



ULTRASSONOGRAFIA DOPPLER COLORIDO E DOPPLER ESPECTRAL PARA O ESTUDO DE PEQUENOS FLUXOS

Carla Martí Castelló¹, Nathália Bragato², Iago Martins³, Tatyane Valentina Santos³,
Naida Cristina Borges⁴

¹Mestranda, Escola de Veterinária e Zootecnia da Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Brasil. carla.casmc@gmail.com

²Doutoranda, Escola de Veterinária e Zootecnia da Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Brasil.

³Graduandos, Escola de Veterinária e Zootecnia da Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Brasil.

⁴Doutora, Docente Escola de Veterinária e Zootecnia da Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Brasil.

Recebido em: 08/09/2015 – Aprovado em: 14/11/2015 – Publicado em: 01/12/2015
DOI: http://dx.doi.org/10.18677/Enciclopedia_Biosfera_2015_235

RESUMO

A ultrassonografia Doppler é uma ferramenta importante no estudo do mapeamento de fluxo em várias lesões. Com o objetivo de apresentar essa técnica para o estudo de pequenos vasos e microcirculação na medicina veterinária, esta revisão discorre sobre a matéria. Com este artigo de revisão são tecidas informações relativas aos princípios físicos, métodos de exibição, interpretação da imagem, possíveis artefatos e algumas das aplicações da ultrassonografia Doppler no exame de pequenos vasos e microcirculação.

PALAVRAS-CHAVE: Doppler, ecografia, microcirculação

COLOR DOPPLER AND SPECTRAL DOPPLER ULTRASONOGRAPHY TO STUDY SMALL BLOOD FLOW, A REVIEW

ABSTRACT

Doppler ultrasonography is an important tool as a complementary exam in the study of blood flow in multiple injuries. In order to present this technique in the study of small vessels and microcirculation in veterinary medicine, this review discusses the matter. With this review article comments are done in relation to the physical principles, display methods, image interpretation, possible artifacts and some of the applications of Doppler ultrasound in the examination of small vessels and microcirculation.

KEYWORDS: Doppler, ecography, microcirculation

INTRODUÇÃO

A ultrassonografia Doppler no diagnóstico médico começou no ano 1956 com o trabalho de Shigeo Satomura na Universidade de Osaka. Inicialmente Satomura et al. reportaram a detecção com Doppler do movimento das paredes cardíacas. Desde aquela época têm sido publicadas inúmeras pesquisas sobre a ultrassonografia Doppler, mais intensamente a partir de 1980, quando popularizou-

se a aplicação dessa técnica diagnóstica na detecção de doenças. Um dos primeiros estudos que envolvia circulação menor foi o de Suzuki e Satomura, no ano 1958, sobre a pulsabilidade do globo ocular (SIGEL, 1998). Desde então, a ultrassonografia Doppler tem passado por uma constante evolução dos equipamentos e técnicas possibilitando o estudo não invasivo da hemodinâmica corporal.

A ultrassonografia Doppler aportou novas possibilidades de estudo do fluxo sanguíneo e da microcirculação nos órgãos. Considera-se microvasculatura os vasos de diâmetro médio inferior a 100µm e de velocidade de fluxo inferior a 10mm/s (CHRISTOPHER et al. 1996), esses vasos são arteríolas, capilares e vénulas.

Esta técnica está bem estabelecida na medicina diagnóstica. Em algumas áreas como a cirurgia vascular, nefrologia e cardiologia onde o Doppler vem sendo empregado há vários anos, existem muitas orientações e treinamento para a padronização da aquisição de imagens. Porém, não existem muitas diretrizes para o uso da ultrassonografia Doppler no estudo de pequenos fluxos, apesar de ter ganhado muita importância durante os últimos anos, aportando novos conhecimentos em campos como a oncologia, obstetrícia, cirurgia de transplantes e reumatologia (TORP-PEDERSEN & TERSLEV, 2008).

Contudo, esta é uma ferramenta pouco utilizada na medicina veterinária e ainda é menos usada para o estudo de mapeamento de pequenos fluxos, devido principalmente, ao pouco treinamento do médico veterinário, em consequência da pequena quantidade de dados sobre o assunto na literatura veterinária, quando comparado aos dados da medicina.

A interpretação correta das imagens de fluxo requer conhecimento dos fatores físicos e técnicos que influenciam o sinal Doppler, assim como o conhecimento dos possíveis artefatos causados pelas limitações físicas do modo ou por configurações inadequadas no aparelho, o que pode resultar em diferenças consideráveis da situação fisiológica real. Também é necessário o conhecimento detalhado da anatomia topográfica e vascular da região a ser avaliada além da compreensão dos aspectos dos parâmetros de normalidade e das alterações que podem ocorrer (TORP-PEDERSEN & TERSLEV, 2008).

Visando contribuir com informações sobre o assunto, realizou-se uma revisão de literatura abordando os princípios físicos, métodos de exibição, interpretação da imagem, possíveis artefatos e algumas das aplicações da ultrassonografia Doppler no exame de pequenos vasos e microcirculação.

O SINAL DOPPLER: PRINCÍPIOS FÍSICOS E MÉTODOS DE EXIBIÇÃO

A ultrassonografia é um método de obtenção de imagens não invasivo e seguro o qual baseia-se na obtenção de imagens empregando técnicas de transmissão de pulsos ultrassonográficos, detecção dos ecos, processamento desses ecos e exibição na tela do aparelho. O princípio físico da ultrassonografia em modo Doppler baseia-se no efeito Doppler, o qual descreve a mudança na frequência de onda do som que se produz quando existe movimento relativo entre a fonte emissora e o receptor (NAQVI et al. 2013).

A ultrassonografia Doppler usa a informação adicional nos ecos que retornam, para avaliar o movimento de alvos móveis. Quando o som de alta frequência colide com uma interface estacionária, o som refletido tem essencialmente a mesma frequência ou o mesmo comprimento de onda do som transmitido. Contudo, se a interface refletora estiver em movimento com relação ao

feixe sonoro emitido pelo transdutor, como no caso das células sanguíneas, há uma mudança na frequência do som que se dispersa pelo objeto em movimento. Quando a interfase refletora aproxima-se ao transdutor as ondas são percebidas com maior frequência e por outro lado quando a interfase refletora distancia-se são percebidas com menor frequência (KING, 2006; McDICKEN & HOSKINS, 2014).

Na prática, dentro dos vasos existem muitas células sanguíneas refletindo os ultrassons e essas células movimentam-se com diferentes velocidades e ângulos variados. Assim, os ecos recebidos terão uma ampla gama de frequência e diversas amplitudes a serem analisadas. As frequências dos desvios Doppler são extraídos a partir do sinal complexo detectado e são avaliados pelos analisadores de frequência, que são circuitos eletrônicos capazes de separar as diversas frequências existentes no volume de amostragem e apresentá-las em forma de gráfico (McDICKEN & HOSKINS, 2014).

Em contraste com a ultrassonografia bidimensional em escala de cinza, que exhibe a informação de interfaces teciduais, os instrumentos de ultrassom Doppler são otimizados para exibir informação sobre fluxo. Permite assim, a avaliação da hemodinâmica por meio da análise do som emitido, das ondas espectrais de velocidade e do mapeamento colorido (VIECELLI et al. 2008; McDICKEN & HOSKINS, 2014).

Diferentes técnicas foram desenvolvidas para explorar todas essas informações que a mudança na frequência dos ultrassons proporciona. Assim, atualmente existem vários modos de exibição desta informação, sendo eles Doppler contínuo, Doppler pulsado, Doppler colorido e Doppler de amplitude (VIECELLI et al. 2008; McDICKEN & HOSKINS, 2014). No modo Doppler contínuo são usados dois cristais piezoelétricos, um para emitir os pulsos e outro para receber os ecos desses pulsos, já nos outros modos é usado um só cristal piezoelétrico que serve como emissor e receptor (NYLAN et al. 2005). Entre esses modos, os usados para o estudo de pequenos vasos é microcirculação, são principalmente o Doppler colorido e o Doppler de amplitude, ocasionalmente, também é usado o Doppler pulsado. No estudo da microcirculação o Doppler pulsado costuma a ser usado conjuntamente com o Doppler colorido, no nomeado triplex Doppler.

Doppler colorido

No Doppler colorido, a apresentação em tempo real de informações de fluxo em cor é sobreposta à imagem em escala de cinza, em modo-B (TORP-PEDERSEN & TERSLEV, 2008). Os sinais eco do sangue e tecidos são processados pelo sistema eletrônico por duas vias. Por um lado, alvos estacionários ou em movimento lento fornecem a base da imagem em modo B, por outro lado são captados os ecos das células sanguíneas, como desvios de efeito Doppler, e os desvios médios de frequência são processados, fornecendo informação acerca da presença e direção do movimento, dando assim, imagens em cores (VIECELLI et al. 2008; McDICKEN & HOSKINS, 2014).

Existem diferentes volumes de amostragem dentro de uma região circunscrita chamada de caixa colorida (KING, 2006; CARVALHO et al. 2008). Essa caixa colorida é dividida em vários volumes de amostragem, cada um dos quais é submetido a um processamento de análise independente. O desvio de frequência significativo de cada volume é calculado e mostrado como uma cor, em função da direção do fluxo em relação ao transdutor. Assim, para representar o mapeamento do movimento, é apresentada uma imagem colorida sobre a imagem em modo-B.

(CARVALHO et al. 2008; TORP-PEDERSEN & TERSLEV, 2008; McDICKEN & HOSKINS, 2014) (Figura 1).

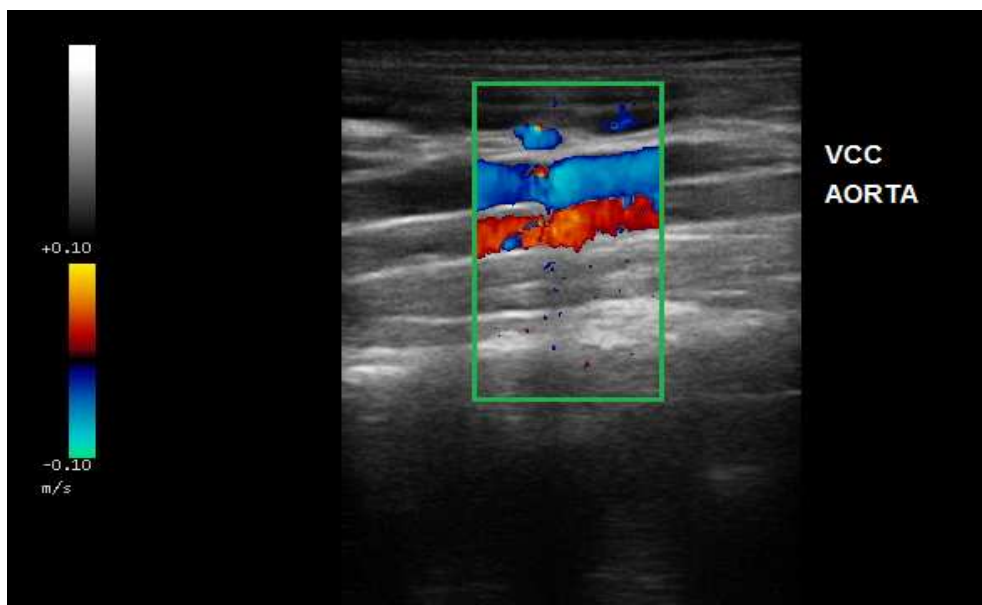


FIGURA 1 – Imagem Doppler colorido da veia cava caudal (VCC) e da artéria aorta. Evidenciando o fluxo sanguíneo em tons de vermelho e azul dentro da caixa colorida (quadrado verde), a barra vertical lateral colorida mostra a direção do fluxo com relação ao transdutor. Cadela adulta sem raça definida de porte pequeno, transdutor linear de frequência de 7,5MHz. Fonte: Arquivos do setor de diagnóstico por imagem do Hospital Veterinário da Universidade Federal de Goiás.

A exibição de fluxo em todo o campo de imagem permite observar a posição e a orientação do vaso de interesse em todos os momentos; o contraste do fluxo na luz do vaso permite visualizar os vasos pequenos, que são invisíveis pelos métodos convencionais de obtenção de imagens (SIGEL, 1998).

Doppler pulsado e tríplex Doppler

No mapeamento Doppler pulsado ou espectral, os ultrassons são produzidos em pulsos sonoros, permitindo um intervalo entre a transmissão do pulso e o retorno do eco, com isso, o volume sensível a partir do qual os dados são amostrados pode ser controlado em termos de forma, profundidade e posição (TORP-PEDERSEN & TERSLEV, 2008; McDICKEN & HOSKINS, 2014). O volume da amostra a ser avaliada é representado por um cursor retangular móvel, ajustável pelo operador, que capta os ecos originados do sangue em movimento que irão atingir o transdutor (CARVALHO et al, 2008) (Figura 2).

O Doppler pulsado pode ser usado por conta própria, alterando lentamente a direção do feixe ou a profundidade, por exemplo em estudos de circulação transcraneal. Porém é mais usado em combinação com ultrassom em modo B, formando o sistema duplex, com a imagem em tempo real e a localização do vaso alvo disposta na tela em modo bidimensional (SIGEL, 1998; CARVALHO et al, 2008; McDICKEN & HOSKINS, 2014).

No estudo da microcirculação, o Doppler pulsado é exibido junto com o Doppler colorido, sendo denominado tríplex Doppler (Figura 2). Isso permite uma

melhor identificação do vaso alvo, disposta na tela em modo Doppler colorido (TORP-PEDERSEN & TERSLEV, 2008; McDICKEN & HOSKINS, 2014).

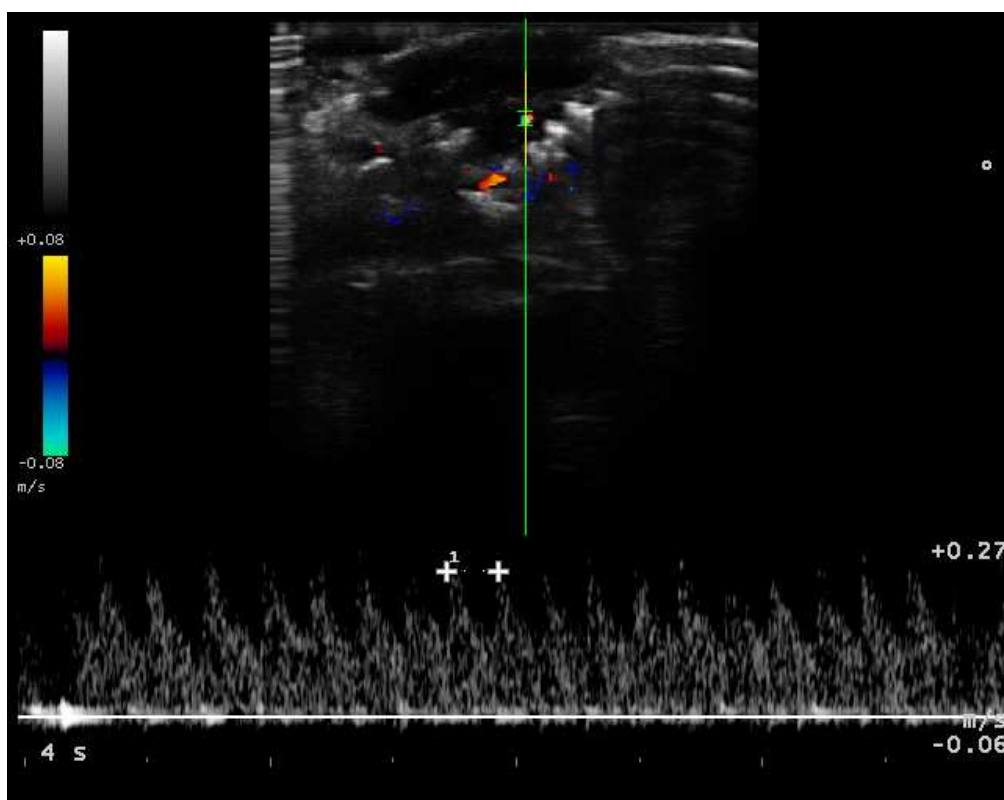


FIGURA 2 – Imagem tríplice Doppler evidenciando o volume da amostra (traços horizontais em verde) e o traçado espectral do fluxo sanguíneo em função do tempo (parte inferior da imagem). Tumor de Ehrlich induzido na zona escapular, Camundongo *Swis* albino. Transdutor linear, frequência 18MHz. Fonte: Arquivos do setor de diagnóstico por imagem do Hospital Veterinário da Universidade Federal de Goiás.

INTERPRETAÇÃO DO SINAL DOPPLER

Para uma interpretação correta das imagens ultrassonográficas em modo Doppler e qualidade do diagnóstico, é fundamental o conhecimento dos princípios físicos e técnicos que influenciam o sinal Doppler, dos modos de exibição disponíveis, dos controles do aparelho e da anatomia topográfica e vascular da área a examinar (TORP-PEDERSEN & TERSLEV, 2008).

Controles do aparelho para uso do Doppler

Os equipamentos modernos permitem o uso de vários processos de otimização das imagens, além de demonstrar, simultaneamente, a imagem em modo bidimensional em tempo real, os gráficos de velocidade do Doppler pulsado e o mapeamento Doppler colorido (CARVALHO et al. 2008).

Os parâmetros e ajustes de processamento de sinal podem ser modificados, permitindo ao examinador explorar os recursos do equipamento para melhorar a qualidade da imagem (CARVALHO, 2008). Os principais parâmetros ajustáveis para o estudo da microcirculação são a frequência Doppler, o tamanho da

caixa colorida, o ganho, a frequência de repetição de pulso e os filtros de parede (TORP-PEDERSEN & TERSLEV, 2008). Estes serão discutidos a seguir.

a) Frequência Doppler

Uma frequência Doppler menor permitirá mais penetração, porém oferecerá uma imagem com mais pixels, assim a maior frequência Doppler dá uma imagem mais detalhada dos vasos, mas a custa de penetração (TORP-PEDERSEN & TERSLEV, 2008).

Para o exame de vasos profundos como os abdominais costuma-se a usar uma frequência baixa, na faixa de 5,0 MHz a 7,5 MHz (CARVALHO et al. 2008; MATTOON et al. 2005). No entanto, com frequências tão baixas a ultrassonografia Doppler sofre severas limitações para o exame de pequenos vasos e microcirculação. Essas limitações, incluem dificuldade para detectar pequenas frequências produzidas por fluxos muito lentos e dificuldade em detectar o sinal de volumes de sangue muito pequenos. Para poder detectar vasos mais pequenos que arteríolas, nesse caso, recomenda-se usar Doppler de amplitude na frequência mais alta possível para essa profundidade (TORP-PEDERSEN & TERSLEV, 2008; McDICKEN & HOSKINS, 2014).

Para avaliação de vasos superficiais, como no caso do estudo de lesões em tendões, costuma-se a usar frequências maiores entre 10 MHz e 18 MHz^{10,15}. Para o estudo de microcirculação esta frequência pode ser aumentada até 50 MHz se for necessário e o transdutor permitir. Apesar de existir essas indicações a frequência ideal deve ser encontrada na prática e não em teoria (TORP-PEDERSEN & TERSLEV, 2008; McDICKEN & HOSKINS, 2014).

b) Tamanho da caixa colorida

A região de amostragem deverá ser a menor possível e restrita à área de maior interesse, a fim de melhorar a taxa de quadros e a resolução espacial (GAO et al. 2010) além de minimizar erros de processamento provocados pela pulsação transmitida pelas estruturas ao redor do vaso ou por movimentos do paciente. Quanto menor for a janela de cor, mais rápida será a taxa de quadro e vice-versa (CARVALHO et al. 2008).

c) Ganho

O ganho Doppler é independente do ganho da escala de cinza e o seu ajuste determina a sensibilidade do sistema ao fluxo. Reduzindo o ganho serão impedidos ruídos e artefatos de movimento, mas os sinais de fluxo fracos não serão detectados. Portanto é importante achar o equilíbrio para detectar os fluxos de interesse sem ter um ganho excessivo. O ajuste excessivo de ganho durante o exame Doppler produz sinais em áreas onde não há fluxo sanguíneo, chamados de fluxo artefactual, mostrando uma imagem com *pixels* coloridos extraluminais (Figura 3A) Uma forma de conseguir um bom ajuste do ganho é aumentá-lo até aparecer ruído aleatório e em seguida baixá-lo até o ruído desaparecer, assim conseguimos o máximo ganho sem presença de fluxo artefactual (Figura 3B) (TORP-PEDERSEN & TERSLEV, 2008).

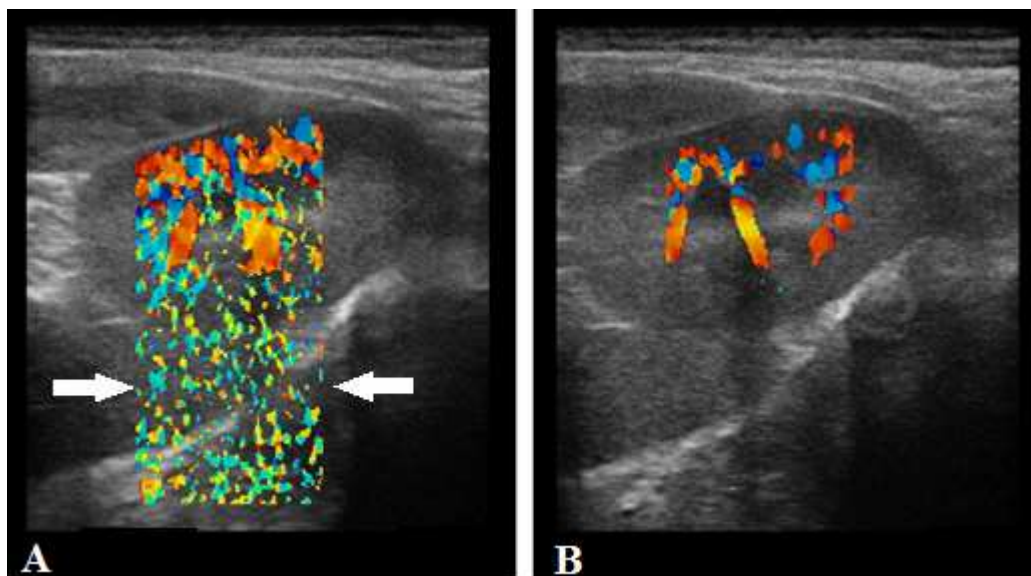


FIGURA 3 – Imagem Doppler colorido do rim esquerdo demonstrando o artefato do ganho. A) uso de ganho excessivo promove a formação de *pixels* extraluminais (setas). B) redução do ganho para obtenção de imagem colorida correspondente ao fluxo sanguíneo nos vasos (estruturas em azul e vermelho). Cadela adulta, sem raça definida, pequeno porte. Transdutor linear de frequência de 7,5MHz.

Fonte: Arquivos do setor de diagnóstico por imagem do Hospital Veterinário da Universidade Federal de Goiás.

d) Ângulo Doppler

O ângulo entre o caminho dos pulsos Doppler e a direção do vaso, deve ser corrigido antes de realizar as medidas de velocidade, particularmente quando o ângulo for maior de 60° , nesse caso pequenas alterações podem resultar em mudanças significativas na velocidade calculada e portanto em medições inexatas (CARVALHO et al. 2008; ROY et al. 2012; STEWART, 2001).

Quando este ângulo for de 90° , a imagem aparecerá obscura ou com ruído, devido ao mínimo ou ausente deslocamento de frequência. Nesse caso, o vaso deverá ser examinado numa posição diferente para conseguir um ângulo mais agudo. (ROY et al. 2012; McDICKEN & HOSKINS, 2014). Se isto não for possível, devem-se utilizar transdutores lineares com feixes sonoros que emitam ondas em ângulo mais agudo, ao passo que a imagem bidimensional permanece a mesma (CARVALHO et al. 2008).

e) Frequência de repetição de pulso (PRF)

A amostragem possui uma frequência específica de pulsação (pulsos por segundo), denominada frequência de repetição de pulso (PRF), que determina a frequência máxima detectável pelo equipamento. O ajuste deste controle determina a frequência de pulsação do feixe de mapeamento Doppler, definindo os limites de velocidades que podem ser amostrados sem a ocorrência de artefatos (TORP-PEDERSEN & TERSLEV, 2008; CARVALHO et al. 2008).

Se a PRF estiver muito baixa, ocorrerá *aliasing* e no caso de PRF muito elevada, lacunas coloridas ilegítimas irão aparecer e imitar uma trombose ou obstrução. O ajuste correto permite uma aparência normal e homogênea do sinal do fluxo (GAO et al. 2010; STEWART, 2001). Em geral, alta PRF é aplicada para evitar o *aliasing* em regiões de elevada velocidade de fluxo sanguíneo. Os fluxos mais

lentos, como no caso de pequenos vasos e microcirculação, precisam de baixa PRF para serem detectados, com o qual será mais difícil evitar o *aliasing* (GAO et al. 2010).

f) Filtros

Os aparelhos Doppler tem filtros que eliminam os sinais de baixa frequência, provenientes de movimentos dos vasos e das partes moles, causados pela respiração e/ou movimentação do paciente, para que estes não sejam visíveis nem audíveis no espectro Doppler (TORP-PEDERSEN & TERSLEV, 2008; CARVALHO et al. 2008).

O uso impróprio desse controle pode remover sinais de fluxo de baixa velocidade, resultando em erro de interpretação. Os filtros devem ser mantidos na sua posição mais baixa para o uso em microcirculação (STEWART, 2001; McDICKEN & HOSKINS, 2014).

Artefatos

A detecção e a exibição da informação sobre frequência relacionada com alvos móveis acrescentam um conjunto de considerações técnicas especiais com relação aos artefatos gerados pelo Doppler. É importante conhecer a fonte desses artefatos e entender sua influência sobre a interpretação das medidas de fluxo obtidas (CARVALHO et al. 2008; GAO et al. 2010). Em seguida são descritos os artefatos mais comumente visualizados no exame da microcirculação.

a) Ruído aleatório

Quando o ganho é demasiado elevado, ruído aleatório torna-se detectável em circuitos Doppler. Na imagem vê-se como focos de cor aparecendo aleatoriamente, é facilmente identificado como um artefato porque os focos de cor não reaparecem na mesma localização do faz de fluxo verdadeiro. O ruído aleatório é utilizado para ajustar o ganho do Doppler, e desaparece quando esse é ajustado corretamente (TORP-PEDERSEN & TERSLEV, 2008).

b) *Aliasing*

Este é um dos artefatos mais conhecido tanto no Doppler espectral como no Doppler colorido, surge quando o desvio máximo da frequência produzido pelo movimento alvo é maior do que a metade da PRF, que é o denominado limite de Nyquist. Quando isso acontecer serão exibidos desvios de frequência mais baixos que os existentes de fato, resultando no erro de informação sobre a velocidade e a direção do fluxo (TORP-PEDERSEN & TERSLEV, 2008; McDICKEN & HOSKINS, 2014).

Quando ocorre efeito *aliasing* no feixe Doppler espectral, parte do espectro que está acima do limite superior fica cortada e aparece erroneamente no lado oposto da linha de base, como a continuação do espectro propriamente dito. A altura do pico transferido é o dobro do que deveria ser se estivesse no lado correto (CARVALHO, 2008) (Figura 4A).

Nas imagens em modo Doppler colorido, fluxos que estão acima do limite de Nyquist, são exibidos com direções erradas, aparecendo o *aliasing* como a cor vermelha no lugar de azul e vice-versa (Figura 5A), e com a velocidade relativa incorreta, pelo tanto também aparece alterado o matiz da cor (TORP-PEDERSEN & TERSLEV, 2008).

As soluções para reduzir os efeitos deste artefato seriam aumentar a PRF (Figuras 4B e 5B) ou reduzir o ângulo Doppler, diminuindo o desvio de frequência; deslocar a linha de base; ou ainda reduzir a frequência do transdutor (CARVALHO, 2009). Em alguns exames de microcirculação com Doppler colorido, onde o estudo é centrado na aparição e distribuição do fluxo, sem interesse na velocidade ou direção o Aliasing não é importante e não deve ser evitado por aumento da PRF, já que isso poderia levar a subdetecção de fluxo. Isso pode acontecer em estudos de neovascularização em tumores ou de inflamação em lesões musculoesqueléticas (TORP-PEDERSEN & TERSLEV, 2008).

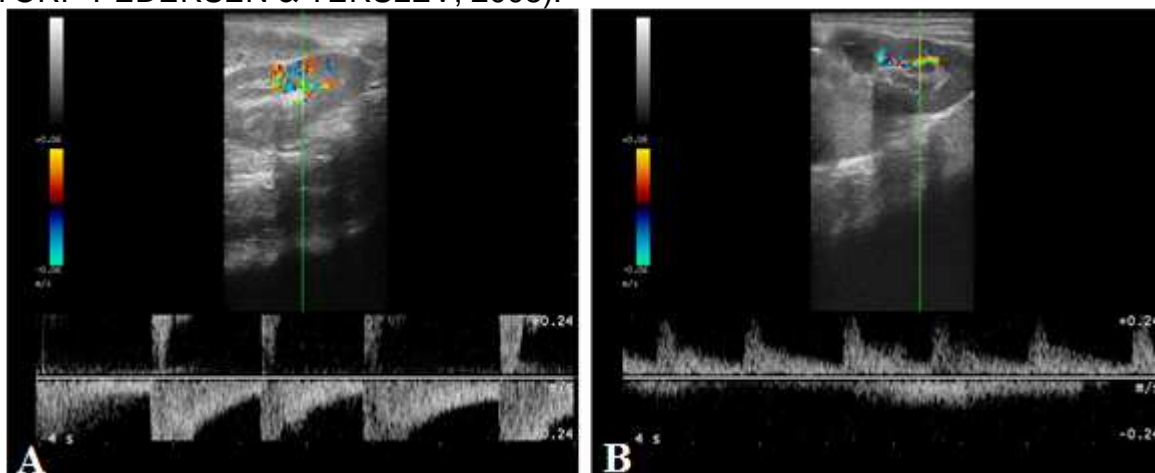


FIGURA 4 – Imagem tríplex Doppler renal. A) fluxo sanguíneo artérias renais arqueadas com artefato de *aliasing* no traçado espectral, ponta do pico do espectro no lado contrário da linha de base. B) imagem corrigida pelo aumento da PRF. Cadela adulta, sem raça definida, porte pequeno. Transdutor linear de 7,5MHz. Fonte: Arquivos do setor de diagnóstico por imagem do Hospital Veterinário da Universidade Federal de Goiás.

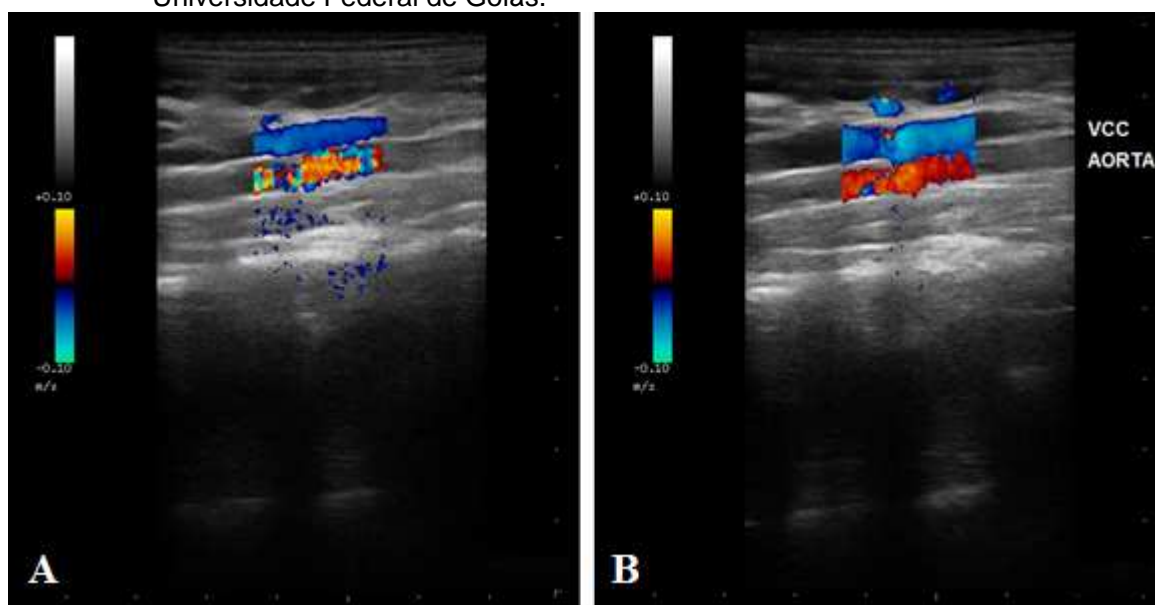


FIGURA 5 – Imagem Doppler colorido da aorta e da veia cava caudal. A) presença de *aliasing* produzindo uma inversão de cor no lúmen do vaso. B) imagem corrigida com o aumento da PRF. Cadela adulta, sem raça definida, porte pequeno. Transdutor linear de frequência de 7,5MHz. Fonte: Arquivos do setor de diagnóstico por imagem do Hospital Veterinário da Universidade Federal de Goiás.

c) Espelho

Qualquer superfície lisa altamente refletora pode atuar como um espelho acústico, o modo Doppler é tão propenso a espelhamento como o modo-B. O artefato de espelho é facilmente visto como tal quando a imagem falsa e uma cópia justaposta da imagem verdadeira. A imagem do espelho é ligeiramente mais complicada de detectar quando a imagem falsa não aparece da mesma forma que a verdadeira (TORP-PEDERSEN & TERSLEV, 2008).

Interpretação da imagem

a) Em Doppler colorido

O Doppler colorido propicia dados sobre a arquitetura vascular do órgão e fornece o mapeamento vascular da região em estudo (SIGEL, 1998). Em relação a direção e a velocidade do movimento das células sanguíneas, o sinal recebido, é decodificado por cores e intensidades da cor, repetitivamente. Assim, é apresentada uma imagem colorida que representa um mapeamento dos componentes móveis em relação à velocidade e ao sentido do movimento (CARVALHO et al. 2008).

Os sinais da movimentação das células sanguíneas são codificados por cores em função do sentido de seu movimento em direção ao transdutor ou contrária a ele. A intensidade das cores (nuances) também indica a velocidade relativa das células. Por convenção, o fluxo em direção ao transdutor é vermelho e o fluxo em direção contrária ao transdutor é azul (Figura 6B). Os fluxos de maior velocidade são demonstrados por tonalidades mais claras, como amarelo e laranja (dirigidos ao transdutor) e tons de azul claro ou verde (contrários ao transdutor) (CARVALHO et al. 2008).

Essa direção do fluxo em relação ao transdutor é ilustrada em uma barra vertical colorida ao lateral da imagem, onde a parte superior da barra, geralmente de cor vermelha é usada para indicar um fluxo em direção ao transdutor e a parte inferior da barra, geralmente em cor azul é indica o fluxo que distancia-se. O grau de saturação da cor é usado para indicar a velocidade relativa, sendo que, essa barra apresenta também valores numéricos, indicando um intervalo com limiar superior e inferior de velocidade. (TORP-PEDERSEN & TERSLEV, 2008; McDICKEN & HOSKINS, 2014).

Uma vantagem da técnica Doppler colorido é a de fornecer informações sobre o movimento em uma grande parte da imagem (SIGEL, 1998). Esta técnica permite avaliar a presença, a direção e a qualidade do fluxo sanguíneo mais rapidamente do que qualquer outra técnica não invasiva, até mesmo em vasos pequenos, que não aparecem no modo bidimensional (Figura 6A). Também é possível a diferenciação entre fluxos rápidos e lentos sem a determinação de valores absolutos (CARVALHO et al. 2008).

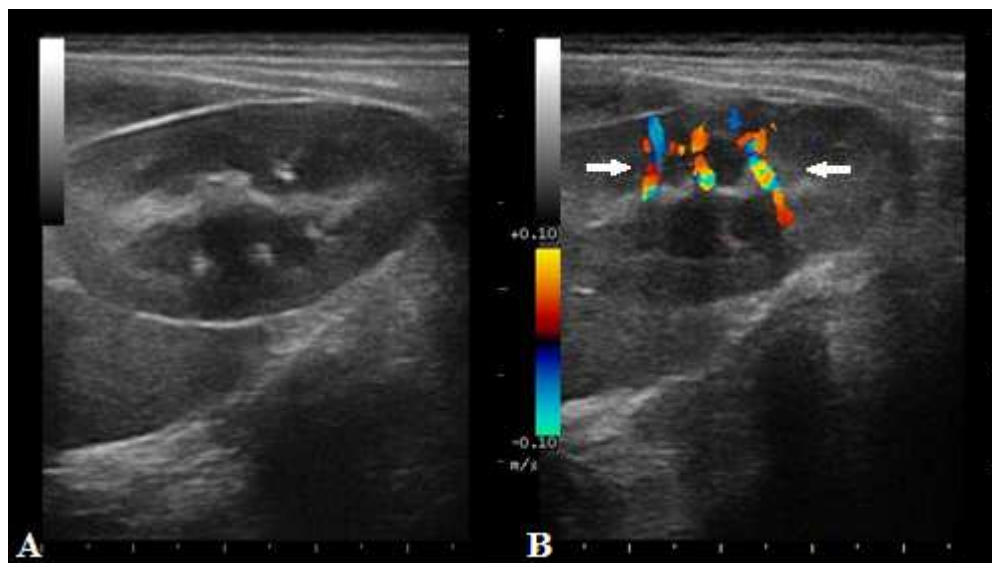


FIGURA 6 – Ultrassonografia do rim. A) imagem bidimensional. B) imagem Doppler colorido evidenciando vasos sanguíneos que não são visualizados no modo bidimensional (setas), o vermelho representa o movimento em direção ao transdutor e o azul o fluxo em direção contrária ao transdutor. Cadela adulta, sem raça definida, porte pequeno. Transdutor linear de 7,5MHz.

Fonte: Arquivos do setor de diagnóstico por imagem do Hospital Veterinário da Universidade Federal de Goiás.

As limitações do fluxo Doppler colorido incluem dependência do ângulo, *aliasing*, incapacidade de exibir todo o espectro Doppler na imagem e artefatos causados pelo ruído (McDICKEN & HOSKINS, 2014; STEWART, 2001). O *aliasing* neste método produz inversão de cor no centro do vaso, com uma mistura de cores na porção brilhante do espectro colorido (TORP-PEDERSEN & TERSLEV, 2008; McDICKEN & HOSKINS, 2014), e assim como no Doppler espectral, este artefato deverá ser compensado pelo ajuste da PRF. Artefatos de ruído promovem turbilhonamento dentro do lúmen de um determinado vaso em estudo, e são observados como a presença de áreas com mosaico de cores e tonalidades variadas (CARVALHO et al. 2008).

Os mapeamentos coloridos permitem a análise da presença ou ausência do fluxo, direção do fluxo, velocidade média e presença ou não de turbulência dentro do vaso (SOLANO et al. 2010). A ausência de sinal Doppler, ou seja, de cor em um determinado segmento de um vaso ou em parte dele, pode sugerir oclusão, trombose ou estenose do mesmo, uma vez descartada a possibilidade de artefato de técnica (SOLANO et al. 2010; NAKAMURA et al. 2008).

No estudo de pequenos vasos é microcirculação, o Doppler colorido permite a análise da presença e ausência do fluxo, o estudo da distribuição, a direção e a velocidade do mesmo. Assim permite estudar vários tipos de lesões e tumores (ANDERSEN et al. 2014; ALFREDSON & ISAKSSON, 2014).

b) Em Doppler espectral

No Doppler espectral, os dados sobre o desvio Doppler são representados na forma de gráficos, como um espectro temporal do sinal que

retorna. O tempo decorrido fica no eixo horizontal ou linha de base e, a frequência de deslocamento Doppler, pode ser vista no eixo vertical (KING, 2006; CARVALHO et al. 2008). A detecção de desvio da frequência Doppler indica movimento do alvo, que na maioria dos casos está relacionado com a presença de fluxo. O sinal de desvio da frequência, positivo ou negativo, indica a direção do fluxo com relação ao transdutor (CARVALHO et al. 2008).

Por convenção, o traçado espectral é disposto acima do zero da linha de base (desvio positivo) quando a frequência do eco retornado é maior do que a frequência transmitida e, por tanto o fluxo encontra-se na direção do transdutor (Figura 7A). Um traçado disposto abaixo da linha de base (desvio negativo) indica que o fluxo está direcionado no sentido contrário ao transdutor e a frequência retornada é menor do que a frequência de transmitida (Figura 7B) (CARVALHO, 2009).

Durante o exame com Doppler pulsado, a frequência de deslocamento Doppler não é disposta somente graficamente, pois também são audíveis². As artérias têm som parecido com um assovio, enquanto as veias possuem som parecido com o vento soprando continuamente (CARVALHO et al. 2008b)

Graficamente as artérias apresentam um traçado onde o fluxo sistólico se observa em forma de picos e o fluxo diastólico como um declive próximo da linha base (Figura 10A). Dependendo da resistividade do fluxo (alta, intermediária ou baixa) o mapeamento espectral apresenta diferentes padrões (CARVALHO, 2009).

O padrão de fluxo venoso (Figura 7B) geralmente é laminar. As condições de pressão intratorácica e intra-abdominal, durante a inspiração e expiração, influenciam a velocidade de fluxo sanguíneo nas veias, promovendo alterações de fase. A maioria das veias tem baixo grau de plasticidade e periodicidade (CARVALHO et al. 2008b; SARTOR & MAMPRIM, 2009).

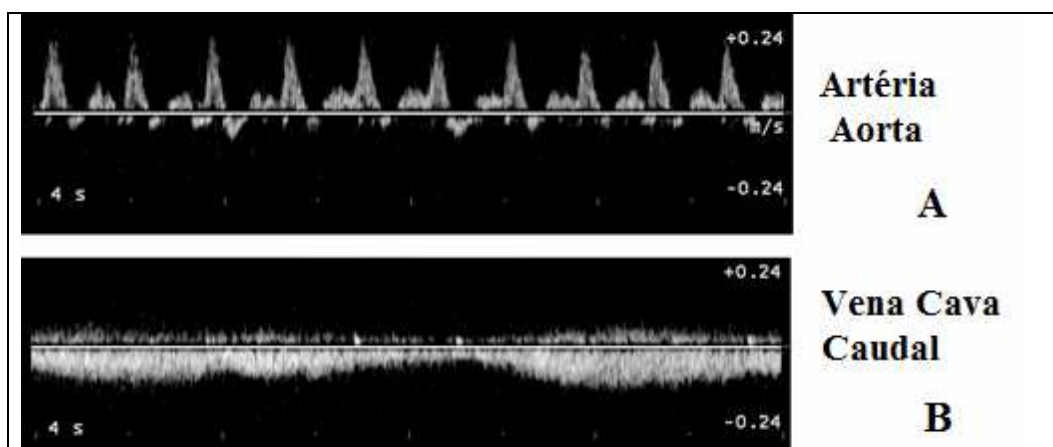


FIGURA 7 – Traçados do Doppler espectral, evidenciando a direção de fluxo. A) fluxo arterial em direção ao transdutor. B) fluxo venoso em direção oposta ao transdutor. Cadela adulta, sem raça definida, porte pequeno. Transdutor linear de 7,5 MHz.

Fonte: Arquivos do setor de diagnóstico por imagem do Hospital Veterinário da Universidade Federal de Goiás.

Para se obter uma análise quantitativa do traçado Doppler, os aparelhos tem a capacidade de calcular a média da frequência de deslocamento ou a velocidade automaticamente (SIGEL, 1998). O ponto máximo alcançado no espectro é denominado velocidade de pico sistólico (VPS) e o ponto mínimo na morfologia da

onda é o valor da velocidade diastólica final (VDF). O fluxo médio pode ser calculado multiplicando-se a velocidade média pela área do vaso (CARVALHO, 2009).

No entanto, informações sobre a impedância vascular não podem ser obtidas apenas pela velocidade absoluta, por isso foram desenvolvidos os índices Doppler. Esses índices comparam o fluxo durante a sístole e a diástole, sendo razões das velocidades obtidas do espectro Doppler (NOVELLAS et al. 2007). Por isso, ao contrário da análise isolada da velocidade, os índices têm como vantagem a independência da correção do ângulo, sendo usados para avaliação de vasos muito pequenos e tortuosos em que é difícil a correção do ângulo.

Os índices Doppler, tais como a proporção sistólica/ diastólica, o índice de resistividade e de pulsabilidade, fornecem informações acerca da resistência arterial ao fluxo sanguíneo, assim indicam alterações que resultam de uma variedade de enfermidades (SIGEL, 1998; NOVELLAS et al. 2007). No estudo de pequenos vasos e microcirculação, esses índices são usados para avaliar alterações nos fluxos dos órgãos que podem indicar doenças, para definir o prognóstico e para acompanhar o tratamento (IZUMI et al. 2000).

Os índices mais utilizados, nas medidas de pequenos vasos, são o índice de resistividade (IR) e o índice de pulsabilidade (IP). O IR, descrito por Pourcelot em 1974, relaciona o resultado da subtração entre as velocidades de pico sistólico e diastólico final sobre a velocidade de pico sistólico ($IR = VPS - VDF / VPS$). O IP, descrito por Grosling e King em 1975, relaciona o resultado da subtração entre as velocidades de pico sistólico e diastólico final sobre a velocidade média ($IP = VPS - VDF / VM$) (CARVALHO 2009).

O aumento na velocidade diastólica leva a um correspondente aumento do fluxo sanguíneo e redução dos índices de resistividade e pulsabilidade (RIESEN et al 2002). Portanto, baixa resistividade de fluxo sugere alto metabolismo e altas resistências sugerem baixo metabolismo. Já índices de resistência aumentados reduzem o fluxo diastólico. Dependendo da alteração que está ocasionando o aumento da resistência, pode-se encontrar até ausência de fluxo diastólico ou a chamada diástole zero (CARVALHO et al. 2008).

A vantagem do IR é sua alta sensibilidade para diferenciar traçados anormais, porque o denominador nunca se torna zero, permitindo sempre a obtenção de um valor para este índice. O IP tem como vantagem o fato de levar em conta a velocidade média, que reflete o que ocorre durante todo o ciclo cardíaco, e não em apenas um momento específico como o IR (McDICKEN et al. 2014).

As alterações dos índices hemodinâmicos auxiliam na identificação da perfusão e de alterações na complacência do leito vascular em estudo, associadas à rejeição de transplantes (SHIMIETD et al. 2008), disfunções de parênquima ou caracterização de malignidade de doenças. Na estenose há redução significativa do volume sanguíneo e aumento da velocidade deste provocando turbulência e aumento do IR e do IP (GRANATA et al. 2009).

Estados inflamatórios são caracterizados por aumento do fluxo sanguíneo em resposta a hiperemia, podendo ocorrer redução da resistência arterial nos tecidos ou órgãos envolvidos. Tem sido relatado aumento dos índices de resistividade em animais com hepatopatia crônica apresentando hipertensão portal (SARTOR & MAMPRIM, 2009) e em cães com infiltração gordurosa hepática difusa de forma proporcional a esteatose hepática (CARVALHO et al. 2012).

Os índices também podem ser utilizados para avaliação dos vasos em tumores, sendo encontrado aumentos significativos do IR e do IP em nódulos

malignos da tireoide em relação aos nódulos benignos e aos vasos sanguíneos normais em um estudo realizado por ZHOU et al. 2012.

APLICAÇÕES DO ESTUDO DE PEQUENOS VASOS E MICROCIRCULAÇÃO COM ULTRASSONOGRAFIA DOPPLER

Atualmente a ultrassonografia Doppler está bem estabelecida em muitos campos da medicina e medicina veterinária. O seu uso está em aumento, sendo continuamente publicados estudos com propostas para aumentar sua aplicação. Na continuação serão analisados a metodologia e resultados de alguns estudos em diferentes áreas da medicina e da veterinária.

Estudo de tumores

Uma das áreas onde a ultrassonografia Doppler, para microcirculação, está sendo mais aplicada é no estudo de tumores. Permite o estudo do fluxo sanguíneo o qual pode ajudar num futuro a direcionar tratamentos mais específicos. Também é usada para estudar padrões de vascularização e neoangiogenese para identificar e classificar os tumores segundo malignidade, e para estudar fatores preditores de metástases (MACHADO et al. 2004).

SOHAIL et al. 2015, publicaram um estudo em que o Doppler de amplitude foi usado para melhorar a obtenção de biopsias. Foi comparada a eficácia diagnóstica de obtenção de biopsias por punção guiada por ultrassonografia Doppler de amplitude, com a obtenção de biopsias por punção de forma aleatória, para o câncer de próstata. Os autores concluíram que a obtenção de biopsias com Doppler de amplitude aumenta a probabilidade de detecção de câncer de próstata, aumentando a sensibilidade e especificidade.

Os tumores orais, têm sido pouco diagnosticados e estudados com Doppler colorido em comparação a outros tumores da cabeça e do pescoço³⁷. Devido, provavelmente, a essa deficiência, recentemente tem sido publicados vários estudos tanto para melhorar o diagnóstico como para identificar características de malignidade e fatores preditores de metástase. Alguns desses exemplos são os estudos realizados por ARIJI et al. 2015 e GHANDI et al. 2015. GHANDI et al. 2015, estudaram a utilidade do Doppler colorido para examinar a vascularização dos carcinomas orais de células escamosas, na mucosa bucal, língua e lábios. Também determinaram os parâmetros hemodinâmicos com triplex Doppler. Os índices de resistividade e pulsabilidade nos pacientes com carcinoma de células escamosas, resultaram significativamente menores que os dos sujeitos saudáveis. Os índices Doppler demonstraram alta sensibilidade e especificidade para o diagnóstico de tumores orais malignos, porém o Doppler colorido não pode substituir o exame histopatológico, deve assumir um papel complementar.

Outro estudo recente com tumores orais foi o realizado por ARIJI et al. 2015, que examina os aspectos ultrassonográficos intrabucais com Doppler do câncer de língua em relação à metástase ao linfonodo cervical. Esse estudo usa a avaliação da microcirculação em modo Doppler de carcinomas de células escamosas da língua para identificar preditores efetivos de metástase linfática tardia. Decidiram usar o modo Doppler potência para estudar o fluxo sanguíneo porque é mais independente do ângulo que o modo Doppler colorido e não sofre *aliasing*. Foi

usado um transdutor intraoral, que emite uma frequência de ultrassom entre 8 e 10MHz.

A presença de metástase no linfonodo cervical é um dos principais fatores que indicam mau prognóstico para os pacientes com câncer de língua. Foram inscritos no estudo 30 pacientes com carcinoma de células escamosas na língua. A informação clínica e os achados ultrassonográficos pré-operatórios foram analisados, sugeriu-se que o fluxo sanguíneo aparece aumentado na artéria lingual profunda no lado do tumor, em comparação com pacientes saudáveis e padrão do fluxo sanguíneo na área em torno dos tumores observa-se alterado (ARIJI et al. 2015).

Os pacientes foram acompanhados por dois anos ou mais, tempo durante o qual foi investigada a presença de metástases em linfonodos cervicais. Os aspectos ultrassonográficos dos pacientes com metástase ao linfonodo e os sem, foram comparados e encontraram-se diferenças significativas no tamanho máximo e mínimo do tumor, tipo clínico, profundidade e espessura do tumor, forma de invasão, índice vascular da área do tumor e assimetria da artéria lingual profunda. Assim, concluiu-se que a ultrassonografia Doppler intraoral, é recomendada para identificar fatores indicadores de metástase no linfonodo cervical (ARIJI et al. 2015).

Outros estudos no campo da oncologia têm como objetivo estudar a vascularizações dos tumores com finalidade de diferenciar malignidade de benignidade. Um exemplo foi o experimento realizado por Sultan et al. 2015, o qual avaliou o papel do Doppler quantitativo na diferenciação de nódulos tireóideos benignos de malignos. Para isso, foram analisadas imagens em Doppler de 100 nódulos, foi avaliada a área de fração vascular, índice de velocidade de fluxo e índice de volume de fluxo no centro e no aro do nódulo e no parênquima circundante. No Doppler colorido os nódulos malignos apresentaram um claro incremento de fluxo sanguíneo, especialmente na região central, em comparação aos nódulos benignos (SULTAN et al. 2015)

A área de fração vascular e o índice de velocidade de fluxo foram mais elevados nos nódulos malignos que nos benignos, enquanto o índice de volume de fluxo não apresentou diferenças significativas. Das três medidas de vascularização estudadas, a área de fração vascular na região central foi a mais eficaz na predição de malignidade, com um alto nível de discriminação entre benigno e maligno, por tanto tem um maior potencial para contribuir na discriminação desse tipo de tumores e fazer que o estudo da vascularização com ultrassonografia Doppler forme parte da avaliação do câncer de tireóides (SULTAN et al. 2015).

O grande número de pesquisas publicadas que estudam o uso de ultrassonografia Doppler em tumores, nos mostra a importância de ter um melhor conhecimento do fluxo nesses, tanto para melhorar o diagnóstico e classificação como para introduzir novas terapias mais direcionadas e focalizadas no tumor como ocorre com as nanoterapias (tratamento com nanopartículas quimioterápicas, com nanopartículas magnéticas, etc.) (JORDAN et al. 2006)

Na medicina veterinária a experiência nessa área é praticamente inexistente e o número de estudos publicados é muito menor. Provavelmente, essa será uma linha de pesquisa crescente nos próximos anos também na veterinária.

Reprodutor feminino

Nos exames dos órgãos reprodutores, o estudo de pequenos vasos e microcirculação com ultrassonografia Doppler, também é muito usado, tanto para reprodutor feminino como masculino. Na medicina humana a obstetrícia é uma área

que publica muitas pesquisas com essa técnica, tanto para estudos de reprodução e enfermidades do sistema reprodutor como em estudos do desenvolvimento e enfermidades fetais.

ESMAEILLOU et al., analisaram o papel da ultrassonografia Doppler transvaginal, no diagnóstico da retenção de restos gravídicos no útero, em mulheres que tem sofrido abortos espontâneos durante o primeiro e segundo trimestre de gestação. A retenção de restos gravídicos é uma complicação comum depois de abortos espontâneos. Costuma a causar sangramento extenso e infecção, mas esses sinais clínicos não são específicos sendo necessário, um método diagnóstico eficaz. Assim, foi introduzida a ultrassonografia transvaginal em modo-B, a qual é de grande ajuda, mas não permite diferenciar coágulos sanguíneos de produtos retidos.

Na pesquisa de ESMAEILLOU et al. (2015), realizaram ultrassonografias transvaginais em modo-B e Doppler em 77 mulheres que sofreram aborto. Com Doppler colorido foi medido o fluxo sanguíneo no endométrio e com o Doppler pulsado foi calculado o índice de resistência (IR) permitindo assim avaliar a impedância do fluxo, o IR foi significativamente menor em pacientes com retenção de produtos gestacionais. Concluiu-se que o Doppler colorido é um método efetivo para detectar pacientes com suspeita de retenção e que esse método pode ser de ajuda para selecionar pacientes para o tratamento conservador. O estudo da ecogenicidade do endométrio combinado com o estudo do padrão vascular (combinação de modo-B e Doppler colorido) demonstrou ser o método ultrassonográfico mais sensível e específico para o diagnóstico de restos gravídicos.

Na medicina veterinária o Doppler colorido, tem sido utilizado para diferenciação de folículo ovariano de cisto ovariano. Pois foi relatado que só é possível a identificação dos vasos intraovarianos pelo Doppler colorido durante o ciclo estral (presença do folículo) ou fase lútea (presença de corpo lúteo) em cães, sendo que o fluxo se torna substancialmente diminuído no anestro possibilitando a identificação do cisto quando associado a ausência de fluxo intraovariano visível (KOSTER et al. 2001; SILVA et al. 2012)

MIRÓ et al. (2015) examinaram com Doppler colorido a atividade dos corpos lúteos em jumentas, depois da indução de luteólise. Quando a reprodução artificial foi desenhada para ser aplicada em éguas, começou a ser usada também em asnos, sem ter em consideração as diferenças fisiológicas entre as duas espécies. O estudo mostrou que o fluxo sanguíneo no corpo lúteo incrementa durante as primeiras três horas após a indução da luteólise, depois desse tempo o fluxo decresce da mesma forma que ocorre nas vacas e não como nas éguas. A forte correlação observada entre o fluxo sanguíneo no corpo lúteo e a concentração de progesterona no plasma sugere que, o Doppler colorido é uma excelente ferramenta para monitorizar a luteólise induzida em jumentas.

Reprodutor masculino

A ultrassonografia Doppler é uma técnica útil e não invasiva para identificar qualquer alteração no fluxo sanguíneo de testículos e escroto e também para realizar o seguimento dos tratamentos (ORTEGA-FERRUSOLA et al. 2014).

HARA et al. (2015), ampliaram o estudo do reprodutor masculino estudando o fluxo do fluído seminal durante a ejaculação, com Doppler colorido. Reportam dois casos onde o Doppler colorido ajudou no diagnóstico de disfunção ejaculatória e no planejamento da terapia. A disfunção ejaculatória causa um deterioro da qualidade da vida sexual e pode causar infertilidade. Realizou-se, nos dois pacientes, uma análise dinâmico durante a ejaculação com Doppler colorido,

usando um transdutor transretal, e as imagens foram comparadas com as obtidas na análise de um voluntário sem disfunção.

Num dos casos o paciente sofria de infertilidade, a análise dinâmico mostrou o colo vesical aberto antes da estimulação, durante a ejaculação, ocorreu contração da próstata, mas o colo vesical, não foi completamente fechado antes do fim da ejaculação, sendo assim o fluido seminal desviado para a vesícula seminal, e não ejetado para o orifício uretral externo, sendo diagnosticado de ejaculação retrógrada (HARA et al. 2015).

No outro caso do mesmo estudo, o paciente sofria de diminuição do orgasmo durante a ejaculação, com um exame endocrinológico normal. O análise dinâmico, evidenciou a falta de incremento de fluxo e contração na próstata durante a estimulação, e movimento lento e não rítmico do fluido seminal. Conclui-se que essa condição de anorgasmia, era causada por uma disfunção do musculo pélvico rítmico. O paciente foi tratado com êxito sendo o primeiro caso de diagnóstico e tratamento exitoso de anorgasmia usando Doppler colorido (HARA et al. 2015). O Doppler colorido aporta novas informações sobre a ejaculação e pode ser de grande utilidade no exame clínico de rotina das disfunções ejaculatórias (HARA et al. 2015).

A ultrassonografia Doppler é uma ferramenta importante na avaliação andrológica em seres humanos, porém, esse método ainda não está muito extenso na veterinária (MIRÓ et al. 2015). Uma das primeiras aplicações, foi na diferenciação entre epidídimo-orquite e torção testicular nos casos de escroto agudo. O primeiro caso está relacionado a aumento do fluxo sanguíneo devido à hiperemia e inflamação, já o segundo caso está relacionada a redução do fluxo sanguíneo, podendo até mesmo não ser identificado nenhum sinal de fluxo no Doppler colorido.

Ortega-Ferrusola et al. 2014, estudaram a possibilidade da aplicação do estudo ultrassonográfico em modo Doppler dos testículos, no diagnóstico de garranhões com problemas reprodutivos. Os testículos são órgãos com importante função endócrina e exócrina, por isso são altamente dependentes de uma adequada perfusão sanguínea. Qualquer alteração no fluxo sanguíneo dos testículos, pode provocar uma alteração na sua função normal.

Em homens, os problemas de fertilidade idiopáticos, frequentemente estão relacionados com compromissos vasculares (REYES et al. 2012). Acredita-se que distúrbios similares poderiam acontecer em garranhões, por isso a ultrassonografia triplex Doppler representa uma melhora no diagnóstico de desordens testiculares (ORTEGA-FERRUSOLA et al. 2014).

ORTEGA-FERRUSOLA et al. (2014), concluíram que a ultrassonografia Doppler é uma técnica útil para a avaliação clínica da fertilidade de garranhões, com um alto potencial para se tornar uma ferramenta indispensável na avaliação andrológica equina e monitorizar os resultados terapêuticos.

SOUZA et al. (2015), realizaram um estudo de fertilidade em cães e incluíram exame ultrassonográfico em modo Doppler, para analisar o fluxo sanguíneo testicular. Houve diferenças subjetivas na ecogenicidade testicular em alguns dos cães inférteis, e diferenças importantes no fluxo de sangue da artéria testicular marginal e artéria intratesticular, que apresentaram uma velocidade de pico sistólico e uma velocidade diastólica final, nos cães estéreis significativamente inferior aos dos cães férteis. Os índices de resistência e pulsatilidade não diferiram entre cães inférteis e férteis. Estes resultados relatam diferenças importantes entre cães inférteis e férteis que podem ser detectados sem um exame invasivo.

Sistema locomotor

O Doppler colorido tem várias utilidades no estudo das lesões do sistema locomotor. É usado para o diagnóstico de lesões que cursam com inflamação e que apresentam aumento do fluxo sanguíneo e para o seguimento do tratamento.

Um estudo de ALFREDSON & ISAKSSON (2014), usou o Doppler colorido para guiar a cirurgia de lesão na inserção do tendão de Aquiles. Os tratamentos propostos para essa enfermidade são exercícios e terapia por ondas de choque, mas a cirurgia é indicada após a falha do tratamento conservador. Não há consenso sobre o tratamento cirúrgico mais eficiente, por esse motivo realizou-se uma pesquisa para avaliar um novo tratamento de cirurgia guiada por Doppler colorido para a tendinopatia insercional de Aquiles.

Durante a pesquisa, 24 pacientes foram tratados cirurgicamente. Após um ano da cirurgia foram avaliadas a dor durante a atividade, a satisfação com o resultado e a qualidade de vida e resultou que o 83% ficaram satisfeitos com o resultado e voltaram a atividade com carga do tendão completa. Concluiu-se que a cirurgia guiada por Doppler colorido é um bom método para o tratamento da dor na tendinopatia de inserção de Aquiles crônica (ALFREDSON & ISAKSSON 2014).

Na medicina veterinária, a ultrassonografia com Doppler colorido também é usada para diagnóstico, prognóstico e seguimento de lesões do locomotor, sobretudo na medicina esportiva equina.

Em estudo de CONZE et al. (2014), o Doppler colorido foi usado para realizar o seguimento do tratamento de lesões de tendão, com células mesenquimais de tronco autólogas. Lesões nos tendões flexores digitais superficiais, foram induzidas cirurgicamente, e duas semanas após de induzir a lesão as células mesenquimais foram injetadas intralesionalmente. As ultrassonografias em modo Doppler colorido foram realizadas regularmente até as 22 semanas, quando os cavalos foram eutanasiados. O fluxo sanguíneo nas lesões tratadas foi significativamente maior que nas controle. Concluiu-se que o tratamento tem efeito benéfico sobre a neovascularização dos tendões durante a cicatrização, e que o Doppler colorido é útil para avaliar o processo de cicatrização pois permite observar as mudanças do fluxo sanguíneo na lesão.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ultrassonografia Doppler é uma técnica diagnóstica que possibilita uma avaliação da hemodinâmica corporal de forma não invasiva. Com os contínuos avanços técnicos, oferece a cada vez mais precisão e possibilidades diagnósticas como o estudo dos pequenos vasos e da microcirculação.

Entretanto, para aplicação correta da técnica é fundamental conhecer os princípios físicos da técnica, compreendendo como o sinal é formado e quais fatores podem interferir na sua formação. Além disso, deve-se ter domínio dos controles do aparelho como a frequência Doppler, o tamanho da amostra, o ganho, o ângulo Doppler, a frequência de repetição de pulso e os filtros. Estes controles devem ser usados em benefício do exame, uma vez que, o uso incorreto induz a formação de artefatos que interferem com a interpretação da imagem, tais como ruído aleatório, *aliasing* e espelho.

Os modos de exibição da informação Doppler usados para o estudo dos pequenos vasos e microcirculação são: Doppler colorido, Doppler de amplitude e Tríplex Doppler o qual combina o Doppler espectral com o Doppler colorido. O modo mais utilizado para o mapeamento de fluxo é o Doppler colorido, pois oferece mais

informação sobre o fluxo, mas o Doppler de amplitude tem a vantagem de detectar fluxos mais lentos sem sofrer artefatos de *aliasing*.

A ultrassonografia Doppler é uma ferramenta diagnóstica que está sendo muito investigada atualmente. Uma grande quantidade de artigos são publicados anualmente, aportando importantes avanços no diagnóstico por imagem. Devido ao aumento da precisão dos aparelhos e as melhorias na qualidade da imagem, nos últimos anos tem aumentado muito as pesquisas que usam essa técnica para estudar os fluxos em diferentes tipos de lesões e tumores. A ultrassonografia em modo Doppler permite estudar a circulação em diversos tipos de lesões e praticamente em qualquer localização anatômica, por isso, existem estudos com esse método diagnóstico em múltiplos campos da medicina, entre os quais destacam-se estudos nas áreas de oncologia, obstetrícia, urologia e ortopedia.

Na medicina veterinária, não existem muitos estudos com ultrassonografia Doppler para o estudo de pequenos fluxos, mas recentemente tem sido publicados alguns trabalhos, a maioria deles na área de reprodução tanto em pequenos animais como em medicina equina, mas também existem estudos em outras áreas como, oncologia e medicina esportiva.

As pesquisas apresentadas, concluem que a ultrassonografia Doppler é de grande utilidade no diagnóstico e controle de muitas enfermidades, podendo substituir ou complementar outras técnicas mais invasivas.

Apesar de existir vários estudos que demonstram a grande utilidade dessa técnica em diferentes áreas da veterinária, ela ainda é pouco empregada na rotina clínica, devido a limitações como alto custo dos aparelhos e falta de especialização dos clínicos. A interpretação correta da ultrassonografia Doppler, precisa de conhecimentos da técnica, mas também de amplos conhecimentos anatômicos, vasculares e fisiopatológicos da área a ser avaliada, por isso exige de grande especialização.

Atualmente o uso da ultrassonografia Doppler para o mapeamento de fluxo na veterinária, praticamente, está restrito a pesquisa e aplicação clínica em grandes centros de referência e hospitais universitários. Com o incremento da especialização na medicina veterinária, e o aumento de publicações e pesquisas relacionadas, espera-se um aumento do uso da ultrassonografia Doppler nos próximos anos.

REFERENCIAS

ALFREDSON, H.; ISAKSSON, M. Ultrasound and Color Doppler-Guided Surgery for Insertional Achilles Tendinopathy-Results of a Pilot Study. **Open Journal of Orthopedics**, Umeå, v. 4, p. 7-14, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4236/ojo.2014.41002>

ANDERSEN, M.; ELLEGAARD, K.; HEBSSGAARD, J. B.; CHRISTENSEN, R.; TORP-PEDERSEN, S.; KVIST, P. H.; SOE, N.; ROMER, J.; VENDEL, N.; BARTELS, E. M.; DANNESKIOLD-SAMSOE, B.; BLIDDAL, H. Ultrasound colour Doppler is associated with synovial pathology in biopsies from hand joints in rheumatoid arthritis patients: a cross-sectional study. **Annals of the Rheumatic Diseases**, Copenhagen, v. 73, p. 678-683, 2014.

ARIJI, Y.; GOTO, M.; FUKANO, H.; SUGITA, Y.; IZUMI, M.; ARIJI, E. Role of intraoral color Doppler sonography in predicting delayed cervical lymph node

metastasis in patients with early-stage tongue cancer: a pilot study. **Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology Oral Radiology**, Nagoya, v. 119, n. 2, p. 246-53, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.oooo.2014.10.021>

CARVALHO, C. F. **Ultrassonografia Doppler em pequenos animais**. São Paulo: Roca, p. 274, 2009.

CARVALHO, C. F.; CHAMMAS, M. C.; CERRI, G. G. Princípios físicos do Doppler em ultrassonografia: revisão bibliográfica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n. 3, p. 872-879, 2008.

CARVALHO, C. F.; CHAMMAS, M. C.; CERRI, G. G. Morfologia duplex Doppler dos principais vasos sanguíneos abdominais em pequenos animais: revisão bibliográfica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 3, p. 880-888, 2008b.

CARVALHO, C. F.; VARGAS, A. M.; JERICÓ, M. M.; VIANI, F. C.; CHAMMAS, M. C.; COGLIATI, B. Ultrassonografia Doppler de veias hepáticas em cães obesos com infiltração gordurosa hepática e comparação com o modelo experimental em ratos. **Veterinária e Zootecnia**, Botucatu, v. 19, n. 1, 35-37, 2012.

CHRISTOPHER, D. A.; BURNS, P. N.; ARMSTRONG, J.; FOSTER, F. S. A high-frequency continuous-wave Doppler ultrasound system for the detection of blood. **Ultrasound in Medicine & Biology**, Toronto, v. 22, n. 9, p. 1191-1203, 1996.

CONZE, P.; VAN SCHIE, H. T. M.; VAN WEEREN, R.; STASZYK, C.; CONRAD, S.; SKUTELLA, T.; HOPSTER, K.; ROHN, K.; STADLER, P.; GEBUREK, F. Effect of autologous adipose tissue-derived mesenchymal stem cells on neovascularization of artificial equine tendon lesions. **Regen Med.**, v. 9, n. 6, p. 743–757, 2014. ISSN: 1746-0751.

ESMAEILLOU H, JAMAL A, ESLAMIAN L, MARSOUSI V, SARVI F, KOKAB A. Accurate Detection of Retained Products of Conceptions after First- and Second-trimester Abortion by Color Doppler. **Journal of Medical Ultrasound**, Tehran, v. 23 p. 34-38, 2015.

GAO, J.; SHIH, G.; AUH, Y. H.; PRINCE M. R.; FUNDERBURK, J.; NG, A. Pitfalls and sources of error of color duplex sonography in screening for renovascular hypertension. **International Journal of Nephrology and Urology**, Budapest, v.2, n. 1, p. 212-223, 2010.

GANDHI, R.; NAYYAR, A. S; BHOWATER; GANDHI, S.; DONGERWAR, G. Color Doppler Ultrasonography in Mapping Oral Squamous Cell Carcinoma. **Middle East Journal of Cancer**, Maharashtra, v. 6, n. 3, p. 179-187, 2015.

GRANATA, A.; FIORINI, F.; ANDRULLI, S.; LOGIAS, F.; GALLIENI, M.; ROMANO, G.; SICUREZZA, E.; FIORE, C. E. Doppler ultrasound and renal artery stenosis: an overview. **Journal of Ultrasound**, Philadelphia, v. 12, p. 133-143, 2009.

HARA, R.; NAGAI, A.; FUJII, T.; FUKUMOTO, K.; OHIRA, S.; JO, Y.; YOKOYAMA, T.; MIYAJI, Y. Practical application of color Doppler ultrasonography in patients with

ejaculatory dysfunction. **International Journal of Urology**, Kurashiki, v. 22, p. 609-611, 2015.

IZUMI, M.; SUGIURA, T.; NAKAMURA, H.; NAGATOYA, K.; IMAI, E.; HORI, M. Differential diagnosis of prerenal azotemia from acute tubular: necrosis and prediction of recovery diseases by Doppler ultrasound. **American Journal Kidney Diseases**, New York, v. 35, n. 4, p. 713-719, 2000.

JORDAN, A.; SCHOLZ, R.; MAIER-HAUFF, K.; VAN LANDEGHEM, F. K. H.; WALDOEFNER, N.; TEICHGRAEBER, U.; PINKERNELLE, J.; BRUHN, H.; NEUMANN, F.; THIESEN, B.; VON DEIMLING, A.; FELIX, R. The effect of thermotherapy using magnetic nanoparticles on rat malignant glioma. **Journal of Neuro-Oncology**, Berlin, v. 78, p. 7-14, 2006.

KING, A. M. Development, advances and application of diagnostic ultrasound in animals. **Veterinary Journal**, London, v. 3, n. 171, p. 408-420, 2006.

KOSTER, K.; NAUTRUP, C. P.; GUNZE-APEL, A. R. A Doppler ultrasonographic study of cyclic changes of ovarian perfusion in the beagle. **Reproduction**, Cambridge, v. 3, n. 122, p. 453-461, 2001.

MACHADO, M. M.; ROSA, A. C. F.; HERMAN, P.; BARROS, N.; MOTA, O. M.; AZEREDO, L. M.; SILVA, O. Q.; SANTANA FILHO, J. B.; CAMPOLI, P. M. O.; BARRETO, P. A.; MILHOMEM, P. M.; MILHOMEM, L. M.; DAHER, M. T.; DAHER, R. T.; CERRI, L. M. O.; SAAD, W. A.; CERRI, G. G. Avaliação dos tumores hepáticos ao Doppler. **Radiologia Brasileira**, São Paulo, v. 37, n.5, p. 371-376, 2004.

MATTOON, J. S.; AULD, D. M.; NYLAND T. G. Técnicas de varredura abdominal por ultra-som. In: NYLAND, T. G.; MATTOON, J. S. **Ultra-som diagnóstico em pequenos animais**. 2a ed. São Paulo: Roca; p. 32-48, 2005.

MCDICKEN W. N.; HOSKINS P. R.; Physics: Principles, Practise and Artefacts. In: POZNIAK M. A.; ALLAN P. L. **Clinical Doppler Ultrasound**. 3rd ed. China: Elsevier; 2014. p. 1-24. ISBN: 9780702050152.

MIRÓ, J.; VILÉS, K.; ANGLADA, O.; MARÍN, H.; JORDANA, J.; CRISCI, A. Color Doppler provides a reliable and rapid means of monitoring luteolysis in female donkeys. **Theriogenology** [online], Bellaterra, v. 83, p. 485-490, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.theriogenology.2014.10.007>

NAKAMURA, H.; INOGE, Y.; KUDO, T.; KURIHARA, N.; SUGANO, N.; IWAI T. Detection of venous emboli using Doppler ultrasound. **Europe Society of Vascular Surgery**, London, v. 35, p. 96-101, 2008.

NAQVI J.; YAP K. H.; AHMAD G.; GHOSH J. Transcranial Doppler Ultrasound: A Review of the Physical Principles and Major Applications in Critical Care. **International Journal of Vascular Medicine**, v. 2013, p. 1-13, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1155/2013/629378>.

NYLAND, T. G.; MATTOON, J. S.; HERRGESELL E. J. Princípios físicos, instrumentação e segurança do diagnóstico por ultra-som. In: NYLAND, T. G.; MATTOON, J. S. **Ultra-som diagnóstico em pequenos animais**. 2a ed. São Paulo: Roca; p. 1-20, 2005.

NOVELLAS, R.; ESPADA, Y.; GOPEGUI R. R. Doppler ultrasonographic estimation of renal and ocular resistive and pulsability indices in normal dogs and cats. **Veterinary Radiology & Ultrasound**, Bellaterra, v. 48, n. 1, p. 69-73, 2007

ORTEGA-FERRUSOLA, C.; GRACIA-CALVO, L. A.; EZQUERRA, J.; PENA, F. J. Use of Colour and Spectral Doppler Ultrasonography in Stallion Andrology. **Reproduction of Domestic Animals**, Cáceres, v. 49, n.4, p. 88–96, 2014. ISSN: 0936–6768.

REYES, J. G.; FARIAS, J. G.; HENRIQUEZ-OLAVARRIET, S.; MADRID, E.; PARRAGA, M.; ZEPEDA, A. B.; MORENO, R. D. The hypoxic testicle: physiology and pathophysiology. **Oxid Med Cell Longev**, Valparaíso, v. 9, n.2, p. 85-92, 2012.

RIESEN, S.; SCHIMID, V.; GASCHEN. L.; BUSATO, A; LANG, J. Doppler measurement of splanchnic blood flow during digestion in unsedated normal dogs. **Veterinary Radiology & Ultrasound**, Berne, v. 43, n.6, p. 554-560, 2002.

ROY, H. S.; ZUO, G.; LUO, Z.; WU, H.; KRUPKA, T. M.; RAN, H.; LI, P.; SUN, Y.; WANG, Z.; ZHENGY, Y. Direct and Doppler angle-independent measurement of blood flow velocity in small-diameter vessels ultrasound microbubbles. **Clinical Imaging**, v. 36, n. 5, p. 577-583, 2012.

SARTOR, R.; MAMPRIM, M. J. Avaliação com Doppler colorido e espectral da veia porta de cães. **Ciência Rural**, Botucatu, v. 39, n. 2, p. 595-603, 2009.

SCHROEDER, R. J.; HAUFF, P.; BARTELS, T.; VOGEL, K.; JESCHKE, J.; HIDAJAT, N.; MAEURER, J. Tumor vascularization in experimental melanomas: correlation between unenhanced and contrast enhanced power Doppler imaging and histological grading. **Ultrasound in Medicine & Biology**, Oxford, v. 27, n. 6, p. 761-771, 2011.

SHIMIEDT, C. W.; DELANEY, F. A.; MCANULTY, J. F. Ultrasonographic determination of resistive index and graft size for evaluating clinical feline renal allografts, **Veterinary Radiology & Ultrasound**, Raleigh, v. 49, n. 1, p. 73-80, 2008.

SIGEL B. A brief history of doppler ultrasound in the diagnosis of peripheral vascular disease. **Ultrasound in Medicine & Biology**, Oxford, v. 24, n. 2, p. 169-176, 1998.

SILVA, L. D. M.; SOUZA, M. B.; BARBOSA, C. C.; PEREIRA B. S.; MONTEIRO, C. L. B.; FREITAS, L. A. Ultrassonografia bidimensional e Doppler para avaliação do trato reprodutor de pequenos animais. **Ciência Animal**, Fortaleza, v. 22, n. 1, p. 339-353, 2012.

SOHAIL, S. K.; SARFRAZ, R.; IMRAN, M.; KHAN, N. A.; YUSUF, N. W. Power doppler ultrasonography guided and random prostate biopsy in prostate cancer

diagnosis: a comparative study. **Journal of Pakistan Medical Association**, Lahore, v. 65, p. 65-68, 2015.

SOLANO, J.; VÁSQUEZ, M.; RÚBIO, E.; SÁNCHEZ, I.; FUENTES, M.; GARCÍA, F. Doppler ultrasound signal spectral response in the measurement the blood flow turbulence caused by stenosis. **Physics Procedia**, México, v. 1, n. 3, p. 605-613, 2010.

STEWART, S. F. C. Effects of transducer, velocity, Doppler angle and instrument settings on the accuracy of color Doppler ultrasound. **Ultrasound in Medicine & Biology**, Oxford, v. 27, n. 4, p. 551-564, 2001.

SOUZA, M.B.; ENGLAND, G. C. W.; MOTA FILHO, A. C.; ACKERMANN, C. L.; SOUSA, C. V. S.; DE CARVALHO, G. G.; SILVA, H. V. R.; PINTO, J. N.; LINHARES, J. C. S.; OBA, E.; DA SILVA, L. D. M. Semen quality, testicular B-mode and Doppler ultrasound, and serum testosterone concentrations in dogs with established infertility. **Theriogenology** [online], Fortaleza, p. 1-6. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.theriogenology.2015.05.015>

SULTAN, L. R.; XIONG, H.; ZAFAR, H. M.; SCHULTZ, S. M.; LANGER, J. E.; SEHGAL, C. M. Vascularity assessment of thyroid nodules by quantitative color Doppler ultrasound. **Ultrasound in Medicine & Biology** [online], Philadelphia, v. 41, n. 5, p. 1287-1293, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2015.01.001>

TORP-PEDERSEN S. T.; TERSLEV L. Settings and artefacts relevant in colour/power Doppler ultrasound in rheumatology. **Annals of the Rheumatic Diseases**, Nordre Fasanvej, v. 67, p. 143-149, 2008. 67: 143-149 [acesso 12 ago 2015]. Disponível em: <http://ard.bmj.com>.

VIECELLI, C. F.; MARTINS, W. P.; GALLARRETA, F. M. P.; BARRA, D. A.; FERREIRA, C; A.; FERREIRA, A. C.; MAUAD FILHO, F. Ultrassonografia Doppler em ginecologia. **Femina**, v. 36, n. 8, p. 497-503, 2008.

ZHOU, J.; ZHOU, P.; ZHAN, W.; ZHOU, C.; ZHOU, W.; DONG, Y. Blood flow resistance in lesion vessels and normal host vessels evaluated by pulsed Doppler ultrasound. **Microvascular Research**, San Diego, v. 84, p. 99-104, 2012.