



CLAUDINE BOTELHO DE ABREU

**FUNÇÃO ATRIAL ESQUERDA EM GATOS SAUDÁVEIS E
GATOS COM CARDIOMIOPATIA: DA ECOCARDIOGRAFIA
CONVENCIONAL AO *SPECKLE TRACKING* BIDIMENSIONAL**

**LAVRAS – MG
2021**

CLAUDINE BOTELHO DE ABREU

**FUNÇÃO ATRIAL ESQUERDA EM GATOS SAUDÁVEIS E GATOS COM
CARDIOMIOPATIA: DA ECOCARDIOGRAFIA CONVENCIONAL AO *SPECKLE*
TRACKING BIDIMENSIONAL**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias, para a obtenção do título de Doutor.

Profa. Dra. Ruthnéa Aparecida Lázaro Muzzi
Orientadora
Prof. Dr. Rodrigo Bernardes Nogueira
Coorientador
Dra. Arine Pellegrino
Coorientadora

**LAVRAS-MG
2021**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Abreu, Claudine Botelho de.

Função atrial esquerda em gatos saudáveis e gatos com cardiomiopatia : da ecocardiografia convencional ao *speckle tracking* bdimensional / Claudine Botelho de Abreu. - 2021.

85 p. : il.

Orientador(a): Ruthnéa Aparecida Lázaro Muzzi.

Coorientador(a): Rodrigo Bernardes Nogueira, Arine Pellegrino.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2021.

Bibliografia.

1. Felinos. 2. Átrio esquerdo. 3. Strain. I. Muzzi, Ruthnéa Aparecida Lázaro. II. Nogueira, Rodrigo Bernardes. III. Pellegrino, Arine. IV. Título.

CLAUDINE BOTELHO DE ABREU

**FUNÇÃO ATRIAL ESQUERDA EM GATOS SAUDÁVEIS E GATOS COM
CARDIOMIOPATIA: DA ECOCARDIOGRAFIA CONVENCIONAL AO *SPECKLE*
TRACKING BIDIMENSIONAL**

**LEFT ATRIAL FUNCTION IN HEALTHY CATS AND CATS WITH
CARDIOMYOPATHIES: FROM CONVENTIONAL ECHOCARDIOGRAPHY TO
TWO-DIMENSIONAL SPECKLE TRACKING**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias, para a obtenção do título de Doutor.

Aprovada em 28 de outubro de 2021.

Dra. Arine Pellegrino – GATTOS Clínica Veterinária

Dr. Guilherme Gonçalves Pereira – NAYA Especialidades

Dr. Leonardo Augusto Lopes Muzzi – UFLA

Dra. Maira Souza Oliveira Barreto – UFLA

Profa. Dra. Ruthnéa Aparecida Lázaro Muzzi
Orientadora

Prof. Dr. Rodrigo Bernardes Nogueira
Coorientador

Dra. Arine Pellegrino
Coorientadora

**LAVRAS-MG
2021**

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras, que foi minha segunda casa durante 14 anos. Devo à UFLA não só minha formação profissional, mas também pessoal. Minha eterna gratidão ainda é pouco perante tudo que essa universidade magnífica me proporcionou. Deixo aqui meu eterno “orgulho de ser UFLA”.

Ao Programa de Pós-graduação em Ciências Veterinárias por todo conhecimento adquirido, apoio e carinho com que somos tratados. Agradeço pelos títulos que pude alcançar, Residente, Mestre e agora Doutora.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais, FAPEMIG, pelo apoio financeiro durante esses quatro anos de doutorado.

À minha orientadora Professora Ruth, por todo carinho e dedicação conosco, sempre nos tratando como “filhos”. Aprendi com você não só a cardiologia veterinária de excelência, mas também como ser uma pessoa de bom coração. Você é um exemplo de profissional e de ser humano!

Ao Prof. Rodrigo por também ter sido meu orientador e me proporcionar o privilégio de participar de uma equipe tão extraordinária quanto o NEFEL. Esse núcleo de estudos que ama a medicina felina, assim como eu! Foram cinco anos de muito aprendizado, amizade e evolução. Guardo o NEFEL para sempre em meu coração!

Aos amigos que fiz durante essa jornada da pós-graduação, Luiz, Mariana, Lorena Lorraine, Lorena Alves, Henrique, Tatiana. Amizades que ficarão para sempre e que, com certeza, contribuiram muito para que a rotina de trabalho árduo fosse mais leve e gratificante.

Aos alunos de iniciação científica, Ana Beatriz, Ana Flávia, Augusto, Brenda, Felipe, Fernanda, Isabella, Júlia, Larissa, Letícia, Luísa, Mariângela, Nayara, Paula, Rosane e Thaís, por todo auxílio durante a execução da pesquisa. Sem vocês, tudo seria mais difícil! Agradeço não só pelo trabalho braçal, mas pela amizade e as conversas boas que tínhamos durante a realização dos exames.

A banca examinadora, Arine, Guilherme, Leonardo e Maira, por terem aceitado prontamente o convite e contribuírem de forma tão importante para esse trabalho. Profissionais que engrandecem a medicina veterinária, dos quais tenho profundo respeito e admiração.

A todos os gatos e seus tutores que participaram dessa pesquisa, contribuindo para avanços na saúde e qualidade de vida da espécie felina. Especialmente aos meus e à Querida

que, mesmo, não tendo participado ativamente, faz meus dias melhores e mais felizes por todo amor que me proporciona.

Aos professores do Departamento de Medicina Veterinária/UFLA por terem contribuído com tamanha competência e dedicação para minha formação profissional. São ensinamentos que levarei para o resto da vida. Em especial, ao Prof. Raimundo (*in memoriam*) que nos deixou de forma tão triste. Obrigada por tudo que fez por mim na veterinária!

Ao Hospital Veterinário-UFLA, residentes e todos os funcionários, que sempre me recebem com muito carinho. Agradeço por tudo que pude viver nesse lugar, do qual eu saio, mas com certeza deixo um pedaço de mim!

À minha família por todo carinho e apoio, especialmente, ao meu noivo Marcus Vinicius, pelo amor, apoio, compreensão e por ser esse companheiro que divide a vida e sonhos comigo. Amo vocês!

À Deus por conceder-me sabedoria, saúde, força e fé para alcançar meu propósito.

O progresso não é adquirido por acaso ou por sorte, mas através do esforço diário para se autoaperfeiçoar.” (Sharon Lebell)

RESUMO

A introdução da ecocardiografia *speckle tracking* bidimensional (STE-2D) possibilitou o desenvolvimento de novos parâmetros de função atrial, o *strain* (deformação) e *strain rate* (velocidade de deformação). Esses índices têm se mostrado superiores às variáveis ecocardiográficas convencionais lineares e volumétricas. Em gatos, entretanto, há pouca informação sobre a utilização dessa técnica na avaliação da função atrial esquerda. Dessa maneira, o objetivo do presente estudo foi determinar intervalos de referência para *strain* e *strain rate* do átrio esquerdo (AE) nas fases de reservatório (St_R , SR_R), condução (St_{Cd} , SR_{Cd}) e contração (St_{Ct} , SR_{Ct}) em felinos saudáveis e compará-los a um grupo com cardiomiopatias. Foram avaliados 76 gatos saudáveis e 17 com cardiomiopatias. Em 35 gatos saudáveis foi possível obter a deformação nas três fases ($St_R=36,5\%$; $St_{Cd}=25,5\%$; $St_{Ct}=10,9\%$; $SR_R=2,6/s$; $SR_{Cd}= -2,9/s$; $SR_{Ct}= -2/s$). Em todos os felinos, foi possível avaliar o *strain* e *strain rate* de reservatório, que se mostraram reduzidos nos cardiopatas ($St_R=26,2\%$; $SR_R=2,3/s$; $p=0,006$; $p=0,004$). Ambos os parâmetros apresentaram boa capacidade de distinguir os dois grupos, com valores de corte de 31,72% (sensibilidade 70,6% e especificidade 69,7%) para o St_R e de 2,48/s (sensibilidade 70,6% e especificidade 67,1%) para o SR_R . Houve correlação positiva da deformação com fração de ejeção atrial e as variáveis hemodinâmicas E, E/A, E', A', E'/A'. Em conclusão, a STE-2D, principalmente a fase de reservatório, demonstrou ser factível e pode ser uma ferramenta útil para avaliar a função do AE na espécie felina.

Palavras-chave: Felinos. Átrio esquerdo. *Strain*. *Strain rate*.

ABSTRACT

The establishment of two-dimensional speckle tracking echocardiography (STE-2D) enabled the development of new parameters of atrial function, the strain and strain rate. These indices have been shown to be superior to conventional linear and volumetric echocardiographic variables. In cats, however, there is little information about the use of this technique in the assessment of left atrial function. Thus, the aim of this article was to determine reference intervals for left atrial strain and strain rate in the reservoir (StR, SRR), conduction (StCd, SRCd) and contraction (StCt, SRCt) phases in healthy cats and compare them to cats with cardiomyopathies. Seventy-six healthy cats and seventeen cats with cardiomyopathies were evaluated. In 35 healthy animals it was possible to obtain strain and strain rate in the three phases (StR=36.5%; StCd=25.5%; StCt=10.9%; SRR=2.6/s; SRCd= -2.9/s; SRCt= -2/s). In all animals, it was possible to assess strain and strain rate of the reservoir, which were reduced in the cardiopathies ones (StR=26.2%; SRR=2.3/s; $p=0.006$; $p=0.004$). Both parameters showed good ability to distinguish the two groups, with cutoff values of 31.72% (sensitivity 70.6% and specificity 69.7%) for the StR and 2.48/s (sensitivity 70.6% and 67.1% specificity) for the SRR. There was a positive correlation of strain and strain rate with atrial ejection fraction and the hemodynamic variables E, E/A, E', A', E'/A'. In conclusion, STE-2D mainly the reservoir phase demonstrated to be feasible and can be a useful tool to assess the left atrial function in the feline species.

Keywords: Felines. Left atrium. *Strain*. *Strain rate*.

LISTA DE ABREVIATURAS

A	Pico de velocidade do fluxo transmitral devido à contração atrial
A'	Movimento da parede cardíaca durante a contração atrial
AAE	Aurícula esquerda
$A_{AE_{max}}$	Área máxima do átrio esquerdo
$A_{AE_{min}}$	Área mínima do átrio esquerdo
A_{AEP}	Área intermediária do átrio esquerdo
A_{dur}	Duração da onda A transmitral
AE	Átrio esquerdo
AE/Ao	Relação entre diâmetros do átrio esquerdo e da aorta
Ao	Aorta
AR	Velocidade máxima do fluxo venoso pulmonar no final da diástole ventricular
ARdur	Duração do fluxo venoso pulmonar no final da diástole ventricular
CMH	Cardiomiopatia de fenótipo hipertrófico
D	Velocidade máxima do fluxo venoso pulmonar no início da diástole ventricular
DAE_{max}	Diâmetro máximo do átrio esquerdo
DAE_{min}	Diâmetro mínimo do átrio esquerdo
DAE_p	Diâmetro intermediário do átrio esquerdo
DT	Doppler tecidual
E	Pico de velocidade do fluxo transmitral durante a condução atrial
E/A	Relação entre as ondas E e A do fluxo transmitral
E/E'	Relação entre as ondas E do fluxo transmitral e E'
E'	Movimento da parede cardíaca durante a condução atrial
ECG	Eletrocardiograma
FAC_a	Varição fracional da área ativa do átrio esquerdo
FAC_p	Varição fracional da área passiva do átrio esquerdo
FAC_t	Varição fracional da área total do átrio esquerdo
FE	Fração de ejeção
FE_a	Fração de ejeção ativa do átrio esquerdo
FE_p	Fração de ejeção passiva do átrio esquerdo
FE_t	Fração de ejeção total do átrio esquerdo
FS	Fração de encurtamento
FS_a	Fração de encurtamento ativa do átrio esquerdo
FS_p	Fração de encurtamento passiva do átrio esquerdo
FS_t	Fração de encurtamento total do átrio esquerdo
ICC	Insuficiência cardíaca congestiva
IS-AE	Índice de esfericidade do átrio esquerdo
S	Velocidade máxima do fluxo venoso pulmonar durante a sístole ventricular
S'	Movimento da parede cardíaca durante a sístole ventricular
St ou ϵ	<i>Strain</i>
St_{Cd} ou CALS	<i>Strain</i> durante a fase de condução do átrio esquerdo
St_{Ci} ou PACS	<i>Strain</i> durante a fase de contração do átrio esquerdo
St_R ou PALS	<i>Strain</i> durante a fase de reservatório do átrio esquerdo
SR	<i>Strain rate</i>
SR_{Cd} ou SRe	<i>Strain rate</i> durante a fase de condução do átrio esquerdo
SR_{Ci} ou SRa	<i>Strain rate</i> durante a fase de contração do átrio esquerdo
SR_R ou SRs	<i>Strain rate</i> durante a fase de reservatório do átrio esquerdo
STE-2D	Ecocardiografia <i>specke tracking</i> bidimensional
TEA	Tromboembolismo arterial

VAE	Volume do átrio esquerdo
VAEC _{max}	Volume máximo do átrio esquerdo pela ecocardiografia convencional
VAEC _{med}	Volume médio do átrio esquerdo pela ecocardiografia convencional
VAEC _{min}	Volume mínimo do átrio esquerdo pela ecocardiografia convencional
VAES _{max}	Volume máximo do átrio esquerdo pela ecocardiografia <i>speckle tracking</i>
VAES _{min}	Volume mínimo do átrio esquerdo pela ecocardiografia <i>speckle tracking</i>
VAES _p	Volume intermediário do átrio esquerdo pela ecocardiografia <i>speckle tracking</i>
VE	Ventrículo esquerdo
VE _a	Volume de esvaziamento ativo do átrio esquerdo
VE _p	Volume de esvaziamento passivo do átrio esquerdo
VE _t	Volume de esvaziamento total do átrio esquerdo

SUMÁRIO

	PRIMEIRA PARTE.....	11
1	INTRODUÇÃO.....	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
2.1	Ciclo atrial.....	14
2.2	Avaliação do átrio esquerdo.....	15
2.2.1	Dimensões.....	17
2.2.1.1	Lineares.....	17
2.2.1.1.1	Relação átrio esquerdo/aorta.....	17
2.2.1.1.2	Diâmetro.....	19
2.2.1.1.3	Modo M.....	21
2.2.1.2	Área.....	22
2.2.1.3	Volume.....	24
2.2.1.3.1	Área-comprimento.....	25
2.2.1.3.2	Somatório de discos (Simpson).....	26
2.2.2	Hemodinâmica.....	28
2.2.2.1	Fluxo transmitral.....	29
2.2.2.2	Fluxo venoso pulmonar.....	33
2.2.2.3	Doppler tecidual.....	35
2.2.2.4	Fluxo auricular esquerdo.....	37
2.2.3	<i>Speckle tracking</i> bidimensional.....	39
3	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	46
	REFERÊNCIAS.....	47
	ANEXO A – Quantidade de Pets no Brasil e no mundo.....	54
	ANEXO B – Atestado de aprovação CEUA e Registro PRP.....	55
	SEGUNDA PARTE – ARTIGO.....	57
	ARTIGO – FUNÇÃO ATRIAL ESQUERDA PELA ECOCARDIOGRAFIA <i>SPECKLE TRACKING</i> BIDIMENSIONAL EM GATOS SAUDÁVEIS E COM CARDIOMIOPATIA.....	58
1	INTRODUÇÃO.....	58
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	60
2.1	Animais.....	60
2.2	Exame físico.....	60
2.3	Pressão arterial sistólica.....	61
2.4	Eletrocardiografia.....	62
2.5	Ecocardiografia convencional.....	63
2.6	Ecocardiografia <i>speckle tracking</i> bidimensional.....	67
2.7	Análise estatística.....	69
3	RESULTADOS.....	70
4	DISCUSSÃO.....	77
5	CONCLUSÃO.....	81
	REFERÊNCIAS.....	81

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

A população de gatos no Brasil é estimada em 24,7 milhões, com crescimento acumulado de 3% entre os anos de 2018 e 2019, quase o dobro dos cães com 1,7% (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PRODUTOS PARA ANIMAIS DE ESTIMAÇÃO - ABINPET, 2019). De 2013 para 2018, o aumento registrado foi ainda maior, sendo 8,1% para gatos e 3,4% para cães (INSTITUTO PET BRASIL - IPB, 2019). Esses dados sugerem que o número de felinos domésticos tende a ultrapassar o de cachorros no país. Em outras nações, como Rússia, França, Canadá, Bélgica, Alemanha, Suécia, Inglaterra, Holanda e Turquia, a quantidade de gatos já é maior (GROWTH FROM KNOWLEDGE - GfK, 2016). É pressuposto que a população mundial seja de aproximadamente 370 milhões (STATISTA, 2018) (ANEXO A). Dessa maneira, a medicina felina tem se tornado cada vez mais frequente na rotina veterinária, sendo de grande importância a realização de pesquisas envolvendo as enfermidades que acometem a espécie.

As cardiomiopatias estão entre as dez principais causas de morte em gatos (FOX et al., 2019). O fenótipo mais comum é a cardiomiopatia hipertrófica (CMH), com prevalência de 15%, podendo atingir até 29% nos idosos (FUENTES et al., 2020; PAYNE et al., 2015). O risco de morte associado à doença é de 22,8% em cinco anos, independentemente da idade ao diagnóstico. O tempo médio de sobrevivência é significativamente mais curto nos animais que desenvolvem insuficiência cardíaca congestiva (ICC) ou tromboembolismo arterial (TEA) em comparação aos assintomáticos (FOX et al., 2018). O tamanho e função do átrio esquerdo (AE) e a presença de eco-contraste espontâneo ou trombo são importantes marcadores prognósticos para o desenvolvimento de ICC ou TEA (FUENTES et al., 2020).

A ecocardiografia é a técnica mais adequada para avaliar o tamanho e função atrial, devido à sua disponibilidade, segurança, versatilidade e capacidade de imagem em tempo real com alta resolução temporal e espacial (TO et al., 2011; WESSELOWSKI et al., 2014). Em gatos, o tamanho do AE é convencionalmente mensurado utilizando dimensões lineares. Entretanto, essas medidas têm se mostrado menos precisas em comparação à mensuração do volume, já que a câmara é uma estrutura tridimensional e a dilatação pode ocorrer de maneira distinta em todas as direções (DULER; SCOLLAN; LEBLANC, 2019; LINNEY et al., 2014). A avaliação de índices hemodinâmicos do AE também é de extrema importância para identificar pacientes com risco de desenvolver ou estar em ICC (CHETBOUL; BUSSADORI; MADRON, 2016).

Apesar das metodologias convencionais fornecerem índices importantes de função atrial, como as frações de ejeção e encurtamento, elas dependem do ângulo de insonação e do movimento cardíaco. A ecocardiografia *speckle tracking* bidimensional (STE-2D) supera essas limitações. Ela utiliza o rastreamento de pontos no miocárdio, quantificando a deformação atrial (HOIT, 2014). Esta é definida como a variação no comprimento e espessura de um segmento miocárdico, sendo representada pelas variáveis *strain* (taxa de deformação) e *strain rate* (velocidade de deformação) (NESTAAS et al., 2011). O *strain* atrial tem mostrado ser preditor de risco para disfunção do AE, ICC e tromboembolismo de maneira confiável e não invasiva em seres humanos (AHMED et al., 2015; SAHA et al., 2011; SASAKI, et al., 2014). Em medicina veterinária, tem sido utilizado em cães saudáveis (CAIVANO et al., 2016; DERMLIM et al., 2019) e com degeneração mixomatosa da valva mitral como indicador prognóstico (CAIVANO et al., 2018; COELHO et al., 2020; NAKAMURA et al., 2017; TOALDO et al., 2017, 2018). Em gatos, foi encontrado apenas um trabalho que utilizou a STE-2D para avaliar a função do AE, por meio do *strain* de reservatório (KIATSILAPANAN; SURACHETPONG, 2020). Foi demonstrado associação entre a deformação atrial e as alterações estruturais e funcionais do ventrículo esquerdo. Embora o *strain* de reservatório seja o parâmetro que possui mais evidências de utilidade prognóstica (VIEIRA FILHO et al., 2014), a função da câmara não se restringe somente a ele. O ciclo atrial também é constituído pelas fases de condução e contração (MEHRZAD; RAJAB; SPODICK, 2014).

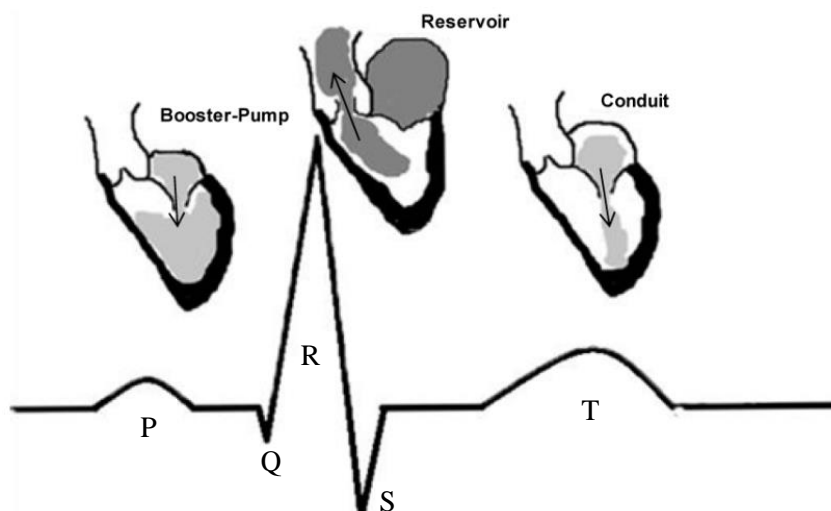
Esse trabalho está dividido em duas partes. A primeira contém um referencial teórico, abordando as principais medidas utilizadas para avaliar o AE, sendo as dimensões lineares (relação átrio esquerdo/aorta, diâmetro e modo M), área, volume (área-comprimento e somatório de discos - Simpson), variáveis hemodinâmicas (fluxo transmitral, fluxo venoso pulmonar, Doppler tecidual e fluxo auricular) e STE-2D (*strain* e *strain rate*). A segunda parte consta de um artigo, objeto dessa pesquisa, que será posteriormente submetido à publicação em periódico de alto impacto na área de cardiologia veterinária. Os objetivos do estudo foram: (1) determinar intervalos de referência de *strain* e *strain rate* do AE nas fases de reservatório, condução e contração pela STE-2D em gatos saudáveis; (2) comparar os valores de *strain* e *strain rate* nas três fases do ciclo atrial entre gatos saudáveis e gatos com cardiomiopatias; (3) analisar a correlação das variáveis obtidas pela STE-2D e o método convencional; e (4) avaliar a sensibilidade e especificidade de ambos os métodos em identificar alterações na função atrial esquerda.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Ciclo atrial

O AE exerce ação fundamental no desempenho cardíaco, contribuindo com o enchimento do ventrículo esquerdo (VE) por meio de suas funções de reservatório, condução e contração (TO et al., 2011). A fase de reservatório compreende a expansão do AE para armazenar o retorno venoso pulmonar durante a sístole ventricular e tempo de relaxamento isovolumétrico, auxiliando em 40% do enchimento do VE. A condução é a transferência passiva do retorno venoso pulmonar para o VE durante o início da diástole, colaborando em 35% do enchimento da câmara. Já na fase de contração, o AE contrai ativamente no final da diástole ventricular, contribuindo com 25% do enchimento do VE (MEHRZAD; RAJAB; SPODICK, 2014; RIMBAS; DULGHERU; VINEREANU, 2015) (FIGURA 1).

Figura 1 – As três fases integradas da função do átrio esquerdo em relação ao eletrocardiograma. Entre as ondas R e T, está representada a fase de reservatório do átrio esquerdo, o qual está recebendo o fluxo venoso pulmonar enquanto o ventrículo esquerdo contrai. Após a onda T, o átrio esquerdo encontra-se na fase de condução, contribuindo com o início do enchimento ventricular. Após a onda P é a fase de contração, onde o átrio esquerdo contribui com o final do enchimento ventricular.



Fonte: Adaptado de Mehrzad, Rajab e Spodick (2014).

Cada uma dessas fases é afetada por fatores tanto do AE quanto do VE, pois há uma interação significativa entre as funções de ambas as câmaras durante o ciclo cardíaco (TO et al., 2011). A função de reservatório é determinada pela complacência atrial, pela descida da base do VE durante a sístole ventricular e pelo volume sistólico final do VE. A condução é

influenciada pela complacência atrial e pelo relaxamento e complacência do VE. A contração reflete a magnitude da contratilidade atrial, mas depende do grau de retorno venoso (pré-carga atrial), pressões diastólicas finais do VE (pós-carga atrial) e volume sistólico final do VE (HOIT, 2014).

O tamanho e função do AE dependem muito da complacência do VE na diástole (MEHRZAD; RAJAB; SPODICK, 2014). Isso torna o AE um marcador útil de disfunção diastólica ventricular (TO et al., 2011). Nesse caso, a função de contração atrial compensa a diminuição do enchimento passivo do VE, contribuindo com 50% ou mais do volume, aumentando as pressões diastólicas finais e, conseqüentemente, a força de ejeção e volume sistólico (MEHRZAD; RAJAB; SPODICK, 2014; SCHOBER; CHETBOUL, 2015). Além disso, o aumento da função de reservatório mantém o gradiente de pressão de enchimento do VE e contribui com a função de contração pelo aumento da pré-carga (MEHRZAD; RAJAB; SPODICK, 2014). Entretanto, com a cronicidade da disfunção diastólica, há comprometimento dessas funções, resultando em aumento de volume atrial (LINNEY et al., 2014). Como este representa apenas um momento específico do ciclo cardíaco, a avaliação da função atrial pode ser mais importante no curso da ICC em gatos (JOHNS; NELSON; GAY, 2012; LINNEY et al., 2014). Ademais, a diminuição da função atrial pode levar à estase sanguínea, corroborando na formação de trombos (SCHOBER; MAERZ, 2006).

2.2 Avaliação do átrio esquerdo

A ecocardiografia é a técnica mais adequada para avaliar o tamanho e função atrial, devido à sua disponibilidade, segurança, versatilidade e capacidade de imagem em tempo real com alta resolução temporal e espacial (TO et al., 2011; WESSELOWSKI et al., 2014). Em gatos, o tamanho do AE é convencionalmente mensurado utilizando dimensões lineares, como a relação entre o AE e aorta (AE/Ao) e o diâmetro máximo (DULER; SCOLLAN; LEBLANC, 2019). Embora pouco utilizadas, a dimensão do eixo curto pelo modo M e a estimativa da área também são métodos citados (JOHNS; NELSON; GAY, 2012). Entretanto, essas medidas têm se mostrado menos precisas na determinação do tamanho do AE em comparação à mensuração do volume em gatos (DULER; SCOLLAN; LEBLANC, 2019). Isso deve-se ao fato da câmara ser uma estrutura tridimensional, onde a dilatação pode ocorrer de maneira distinta em todas as direções (LINNEY et al., 2014).

A função do AE nos felinos pode ser avaliada por medidas lineares e volumétricas; Doppler espectral do fluxo transmitral, venoso pulmonar e apêndice do AE; Doppler tecidual;

e análise de deformação (*speckle tracking*) (QUADRO 1) (HOIT, 2014; JOHNS; NELSON; GAY, 2012; LINNEY et al., 2014; SCHOBER; MAERZ, 2006). Além de determinar o estado hemodinâmico, esses métodos fornecem importantes parâmetros ecocardiográficos de função, como as frações de ejeção e encurtamento, *strain* (St) e *strain rate* (SR). A fração de ejeção é a porcentagem de volume sanguíneo que é ejetado pelo AE durante um batimento cardíaco (RAUCH et al., 2020). A fração de encurtamento é a mudança percentual no diâmetro interno da câmara durante a sístole, principalmente das fibras circunferenciais (KIENLE; THOMAS, 2004). Já a modificação no sentido longitudinal dos segmentos miocárdicos é avaliada pelos índices St e SR. O *strain* longitudinal é a deformação no comprimento de um segmento do miocárdio e o *strain rate* é a deformação por unidade de tempo (NESTAAS et al., 2011).

Quadro 1 – Medidas de tamanho e função atrial de acordo com parâmetro e método utilizados

	Medida	Método	Parâmetro
Dimensão	Linear	AE/Ao	–
		Diâmetro	DAE _{máx} , DAE _p , DAE _{min} FS _t , FS _p , FS _a
		Modo M	
	Área	Planimetria	A _{AE máx} , A _{AE p} , A _{AE min} FAC _t , FAC _p , FAC _a
	Volume	Área-comprimento	VAE _{máx} , VAE _p , VAE _{min} VE _t , VE _p , VE _a FE _t , FE _p , FE _a
Simpson			
Hemodinâmica	Fluxo transmitral	Doppler pulsado	E, A, E/A
	Fluxo venoso pulmonar		S, D, AR, AR _{dur} , Adur/AR _{dur}
	Fluxo auricular		onda 1, onda 2
	Movimento anular mitral	Doppler tecidual	E', A', E'/A', E/E'
Deformação	<i>Strain</i>	<i>Speckle tracking</i>	St _R , St _{Cd} , St _{Ct}
	<i>Strain rate</i>		SR _R , SR _{Cd} , SR _{Ct}

Legenda: A, pico de velocidade do fluxo transmitral devido à contração atrial; A', movimento da parede cardíaca durante a contração atrial; Adur, duração da onda A do fluxo transmitral; A_{AE máx}, área máxima do átrio esquerdo; A_{AE min}, área mínima do átrio esquerdo; A_{AE p}, área intermediária do átrio esquerdo; AE/Ao, relação entre diâmetro do átrio esquerdo e da aorta; AR velocidade do fluxo venoso pulmonar no final da diástole ventricular; AR_{dur}, duração do fluxo venoso pulmonar no final da diástole ventricular; D, velocidade do fluxo venoso pulmonar no início da diástole ventricular; DAE_{máx}, diâmetro máximo do átrio esquerdo; DAE_{min}, diâmetro mínimo do átrio esquerdo; DAE_p, diâmetro intermediário do átrio esquerdo; E, pico de velocidade do fluxo transmitral durante a condução atrial; E', movimento da parede cardíaca durante a condução atrial; FAC_a, variação fracional da área ativa; FAC_p, variação fracional da área passiva; FAC_t, variação fracional da área total; FE_a, fração de ejeção ativa; FE_p, fração de ejeção passiva; FE_t, fração de ejeção total; FS_a, fração de encurtamento ativa; FS_p, fração de encurtamento passiva; FS_t, fração de encurtamento total; IS_D, índice de esfericidade diastólico; IS_S, índice de esfericidade sistólico; S, velocidade máxima sistólica do

fluxo venoso pulmonar; SR_{Cd} , *strain rate* de condução; SR_{Ct} , *strain rate* de contração; SR_R , *strain rate* de reservatório; St_{Cd} , *strain* de condução; St_{Ct} , *strain* de contração; St_R , *strain* de reservatório; VAE_{max} , volume máximo do átrio esquerdo; VAE_{min} , volume mínimo do átrio esquerdo; VAE_p , volume intermediário do átrio esquerdo; VE_a , volume de ejeção ativo; VE_p , volume de ejeção passivo; VE_t , volume de ejeção total

Fonte: Do autor (2021).

2.2.1 Dimensões

Para mensuração das dimensões lineares e volumétricas do AE, deve-se tomar cuidado ao obter as imagens ecocardiográficas, a fim de evitar o encurtamento da câmara. Como o eixo longitudinal do VE e do AE frequentemente encontram-se em planos diferentes, aquisições específicas do AE pelo corte apical devem ser obtidas para otimizar as medições de volume. A base do AE deve estar na sua maior dimensão, o que indica que o plano de imagem passa através da área máxima do eixo curto. O comprimento do AE também deve ser maximizado para garantir o alinhamento ao longo do verdadeiro eixo longo atrial (LANG et al., 2015).

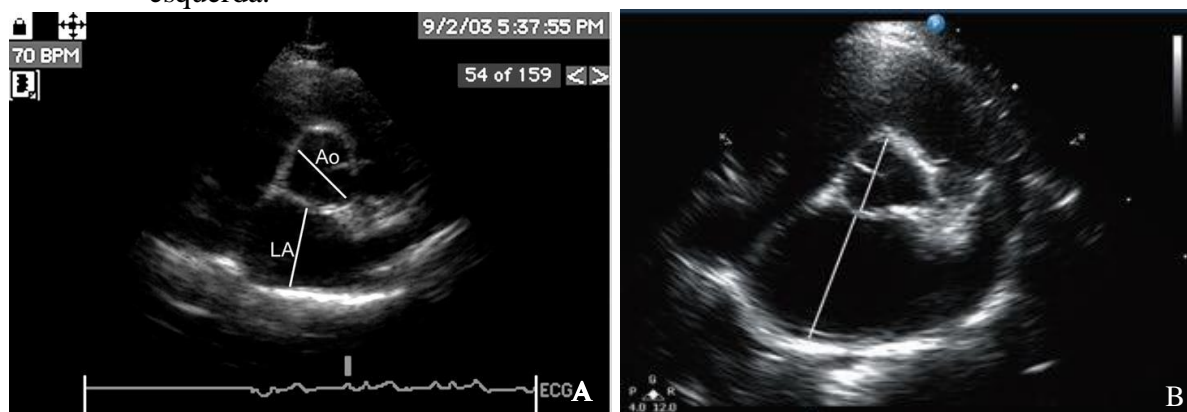
2.2.1.1 Lineares

2.2.1.1.1 Relação átrio esquerdo/aorta

O tamanho do átrio esquerdo é comumente expresso como a razão entre seu diâmetro e o diâmetro da raiz aórtica (AE/Ao). Essa proporção é utilizada para eliminar a influência do tamanho corporal, já que a dimensão da raiz aórtica muda pouco na maioria dos pacientes com doença cardíaca adquirida (ABBOTT; MACLEAN, 2006). A relação AE/Ao é determinada pela ecocardiografia bidimensional, utilizando o corte eixo curto na base do coração, no plano das cúspides aórticas, pela janela paraesternal direita (CÔTÉ et al., 2011). A medida é realizada no início da diástole ventricular, após o fechamento dos folhetos da valva aórtica e antes da abertura dos folhetos da valva mitral, quando o AE atinge seu tamanho máximo (ABBOTT; MACLEAN, 2006; DULER; SCOLLAN; LEBLANC, 2019; HAGGSTROM et al., 2016; HANSSON et al., 2002; LANG et al., 2015; RISHNIW; ERB, 2000). Outros autores, entretanto, recomendam que a mensuração seja realizada no final da diástole, pois os contornos são mais bem definidos, havendo menor risco de confundir com estruturas vasculares (CHETBOUL; BUSSADORI; MADRON, 2016; CHETBOUL et al., 2019; PAYNE et al., 2013, 2015).

Duas técnicas são descritas na literatura. A primeira consiste em traçar uma linha paralela às comissuras das cúspides coronariana direita e não coronariana para mensurar o diâmetro aórtico. Já o diâmetro do átrio esquerdo é mensurado por uma linha paralela à comissura da cúspide coronariana esquerda e não coronariana (FIGURA 2A) (ABBOTT; MACLEAN 2006; CÔTÉ et al., 2011; RISHNIW; ERB, 2000). Na segunda técnica, a linha é traçada a partir do ponto em que a parede aórtica e as cúspides da aorta não coronariana e coronária esquerda se fundem. O diâmetro do AE, então, é mensurado estendendo essa linha à parede atrial livre (FIGURA 2B) (DULER; SCOLLAN; LEBLANC, 2019; HAGGSTROM et al., 2016; HANSSON et al., 2002).

Figura 2 – Imagens ecocardiográficas bidimensionais em corte paraesternal direito do eixo curto na base do coração, ao nível das cúspides aórticas, enfatizando a mensuração da aorta e do átrio esquerdo. A: aorta mensurada por uma linha paralela à comissura da cúspide coronariana direita e não coronariana. B: aorta mensurada a partir da fusão entre as cúspides não coronariana e coronariana esquerda.



Legenda: Ao: aorta; LA: átrio esquerdo.

Fonte: A: Abbot e MacLean (2006); B: Côté et al. (2011).

A relação AE/Ao maior que 1,5 é consistente com aumento do AE (ABBOTT; MACLEAN 2006; HAGGSTROM et al., 2016). Contudo, se a mensuração for realizada no final da diástole (AE/Ao_{min}), ou seja, onde o AE apresenta o menor diâmetro, recomenda-se utilizar o valor de corte de 1,2 (CHETBOUL et al., 2019). O grau da dilatação é geralmente subjetivo, entretanto, uma classificação tem sido proposta, onde valores entre 1,51-1,79 é considerada discreta; 1,8-1,99 moderada; e igual ou maior a 2 acentuada (CÔTÉ et al., 2011). Em gatos, o aumento do AE é um preditor importante para o desenvolvimento de ICC (AE/Ao>1,64 DULER; SCOLLAN; LEBLANC, 2019; AE/Ao>1,8 FUENTES; WILKIE, 2017; AE/Ao>1,71 LINNEY et al., 2014; AE/Ao>1,96 ROHRBAUGH et al., 2020) e TEA (AE/Ao>1,8 FUENTES; WILKIE, 2017; AE/Ao≥2 HOGAN, 2017). Além disso, apresenta

implicações terapêuticas e importância prognóstica nas cardiomiopatias felinas (FUENTES et al., 2020; FUENTES; WILKIE, 2017; PAYNE et al., 2013, 2015).

2.2.1.1.2 Diâmetro

O diâmetro máximo também pode ser empregado para avaliar o tamanho do AE, já que os gatos apresentam pouca variabilidade na conformação corporal (CÔTÉ et al., 2011). Utilizando o corte longitudinal quatro câmaras pela janela paraesternal direita, o diâmetro máximo do átrio esquerdo é mensurado como a maior distância paralela ao anel valvar mitral antes de sua abertura no final da sístole ventricular. A medida inclui desde a parede interna do septo interatrial até o revestimento pericárdico da parede livre (FIGURA 3) (DULER; SCOLLAN; LEBLANC, 2019; LINNEY et al., 2014; SMITH; DUKES-MCEWAN, 2012). O aumento do AE é considerado quando o diâmetro máximo for igual ou maior que 16 mm (SCHOBBER et al., 2007), sendo valores entre 16-19,9 mm aumento discreto; 20-24 mm moderado; e > 24 mm acentuado (CÔTÉ et al., 2011). Diâmetro maior que 16 (FUENTES; WILKIE, 2017), 17 (HOGAN, 2017) e 18,5 mm (ROHRBAUGH et al., 2020) tem sido descritos como preditores para o desenvolvimento de ICC e TEA em felinos com CMH. Ademais, em gatos com dispneia que apresentem valores superiores a 16,5 mm, há maior probabilidade que seja ICC que doença respiratória (SMITH; DUKES-MCEWAN, 2012).

Além de determinar o tamanho do átrio esquerdo, o diâmetro também possibilita avaliar a função atrial. As variações de dimensão da câmara ao longo do ciclo cardíaco são mensuradas e expressas como fração de encurtamento. A medida realizada no final da sístole ventricular, um quadro antes da abertura da valva mitral corresponde ao diâmetro máximo (DAE_{max}) (FIGURA 3A). O diâmetro intermediário (DAE_p) é obtido antes da onda P do eletrocardiograma (FIGURA 3B); e o diâmetro mínimo (DAE_{min}), no pico da contração atrial, um quadro antes do fechamento da valva mitral (FIGURA 3C). Dessa maneira, é possível obter a fração de encurtamento (FS) em cada fase do ciclo atrial: total ($FS_t = DAE_{max} - DAE_{min} / DAE_{max}$), representando a função de reservatório; passiva ($FS_p = DAE_{max} - DAE_p / DAE_{max}$), função de condução; e ativa ($FS_a = DAE_p - DAE_{min} / DAE_p$), função de contração (CHAN et al., 2019; DICKSON et al., 2017; LINNEY et al., 2014;).

Em gatos com CMH, foi observada redução de FS_t e FS_a nos assintomáticos (17,7% e 14,3%) e sintomáticos (16,5% e 13,2%) quando comparado ao grupo saudável (26% e 22,4%) (LINNEY et al., 2014). A redução da FS_t também foi observada em felinos com eco-contraste espontâneo (10%) em relação aos que não possuíam (20%) (SCHOBBER et al., 2007).

Ademais, FS_t , FS_p e FS_a demonstraram valores médios inferiores em gatos cardiopatas sintomáticos (8%, 5% e 4%) quando comparados aos sem doença cardíaca (40%, 18% e 26%) (CHAN et al., 2019).

Figura 3 – Imagens ecocardiográficas bidimensionais em corte paraesternal direito longitudinal quatro câmaras, demonstrando a mensuração do diâmetro linear do átrio esquerdo (AE) nas três fases do ciclo atrial, sendo a maior distância paralela ao anel valvar mitral, da parede interna do septo interatrial à parede livre. A: diâmetro máximo do AE mensurado um quadro antes da abertura da valva mitral. B: diâmetro intermediário do AE antes da onda P do eletrocardiograma. C: diâmetro mínimo do AE mensurado um quadro antes do fechamento da valva mitral.

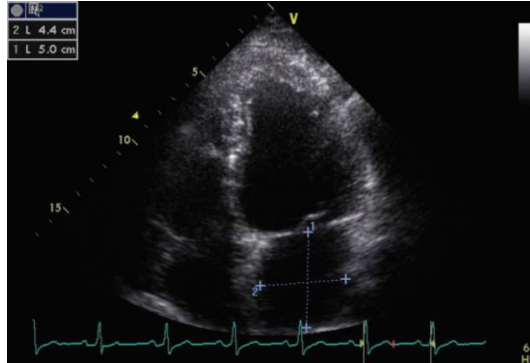


Legenda: LADmax: diâmetro máximo do átrio esquerdo; LADmid: diâmetro intermediário do átrio esquerdo; LADmin: diâmetro mínimo do átrio esquerdo.

Fonte: Linney et al. (2014).

Apesar disso, a dimensão anteroposterior não é representativa do tamanho do AE, uma vez que o remodelamento da câmara não ocorre de forma simétrica. Devido a isso, a medida deve ser associada à determinação do volume, tanto na prática clínica, quanto na pesquisa. Por outro lado, o aumento nas dimensões supero-inferior e médio-lateral altera a geometria do AE (ANCONA et al., 2014). Dessa maneira, um novo método tem sido proposto para descrever as alterações anatômicas do AE na medicina humana: o índice de esfericidade atrial (IS_{AE}). Este é calculado como a razão entre o diâmetro transverso e longitudinal do AE em corte apical quatro câmaras, antes da abertura da valva mitral (FIGURA 4). Foi observado que quanto mais esférico o AE ($IS_{AE} > 0,9$), maior o risco de recorrência de fibrilação atrial em seres humanos (OSMANAGIC et al., 2016).

Figura 4 – Índice de esfericidade atrial esquerdo, calculado como a razão entre o diâmetro transverso e longitudinal antes da abertura da valva mitral em corte apical quatro câmaras. As linhas longitudinal (1) e transversal (2), dividem o átrio esquerdo em quatro quadrados quase idênticos, para mensurar seu comprimento e largura, respectivamente.



Fonte: Ancona et al. (2014).

2.2.1.1.3 Modo M

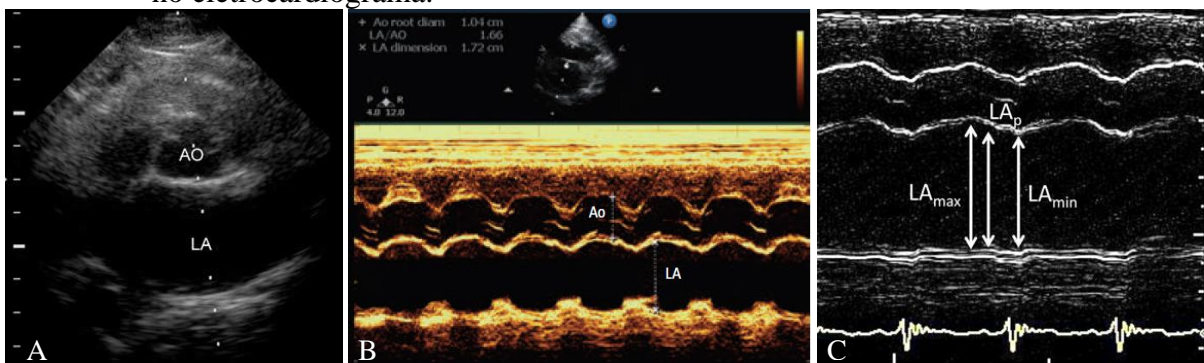
A relação AE/Ao também pode ser mensurada pela ecocardiografia em modo M, utilizando o mesmo corte do modo bidimensional: eixo curto na base do coração pela janela paraesternal direita (CÔTÉ et al., 2011). Entretanto, as medidas desses métodos não são intercambiáveis, sendo maiores no modo bidimensional (ABBOTT; MACLEAN, 2006). O cursor do modo M é direcionado pelo corpo do AE perpendicular às cúspides aórticas (CÔTÉ et al., 2011) (FIGURA 5A). Deve-se ter atenção para não mensurar a aurícula esquerda, o que subestima o tamanho do átrio. Além disso, as veias pulmonares devem ser excluídas para que não se atribua tamanho maior que o real (ABBOTT; MACLEAN, 2006).

O diâmetro da Ao é mensurado no final da diástole ventricular, imediatamente antes da abertura das cúspides. Já o diâmetro do AE é mensurado no final da sístole ventricular quando as cúspides aórticas se fecham (CÔTÉ et al., 2011) (FIGURA 5B). A relação AE/Ao normal derivada do modo M em gatos é 1,25 (DROURR et al. 2005). O método também permite a determinação do DAE_{max} , DAE_P e DA_{min} (FIGURA 5C) e dos parâmetros de função do AE: FS_t ($(DAE_{max}-DAE_{min})/DAE_{max}$), FS_p ($(DAE_{max}-DAE_P)/DAE_{max}$) e FS_a ($(DAE_P-DAE_{min})/DAE_P$) (JOHNS; NELSON; GAY, 2012).

Em gatos com cardiopatia esquerda, a redução de FS_t (<13,6%) e FS_a (<7,7%) apresentaram relação com desenvolvimento de efusão pleural (JOHNS; NELSON; GAY, 2012). Valores de FS_t inferiores a 12% elevam o risco de desenvolvimento de ICC e TEA (FUENTES; WILKIE, 2017). Apesar disso, a medida bidimensional é mais recomendada, já

que não apresenta as limitações de alinhamento do cursor, conforme mencionado (CÔTÉ et al., 2011).

Figura 5 – A: Imagem ecocardiográfica bidimensional do eixo curto, ilustrando a orientação do feixe do modo M para mensurar a aorta e átrio esquerdo. B: Imagem ecocardiográfica em modo M, onde a aorta é mensurada no final da diástole, imediatamente antes da abertura de suas cúspides, e o diâmetro do átrio esquerdo no final da sístole, quando as cúspides aórticas se fecham, utilizando a técnica de ponta a ponta. O diâmetro do átrio esquerdo é indexado ao diâmetro da aorta (AE/Ao). C: Imagem ecocardiográfica em modo M, evidenciando a mensuração dos diâmetros do AE máximo, mínimo e médio correspondendo ao pico da onda P no eletrocardiograma.



Legenda: Ao: aorta; LA: átrio esquerdo; LA_{max}: diâmetro máximo do átrio esquerdo; LA_{min}: diâmetro mínimo do átrio esquerdo; LA_p: diâmetro intermediário do átrio esquerdo.

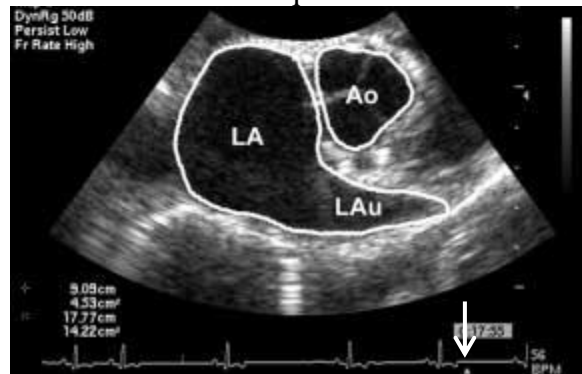
Fonte: A: Abbot e MacLean (2006); B: Côté et al. (2011); C: Johns, Nelson, Gay (2012).

2.2.1.2 Área

O tamanho do AE também pode ser determinado pela área. Por meio de planimetria, as bordas endocárdicas são traçadas, excluindo as veias pulmonares (SCHOBER et al., 2007). É utilizado o corte transversal na base do coração pela janela paraesternal direita (ABBOTT; MACLEAN, 2006; RISHNIW; ERB, 2000) (FIGURA 6) ou no corte longitudinal quatro câmaras (CHAN et al., 2019; JOHNS; NELSON; GAY, 2012; SCHOBER et al., 2007) (FIGURA 7). No primeiro, a medida é realizada na diástole ventricular, imediatamente após o fechamento das cúspides aórticas. A área interna da Ao também pode ser mensurada para determinar a relação AE/Ao (ABBOTT; MACLEAN, 2006; RISHNIW; ERB, 2000). No segundo, a área máxima do AE ($A_{AE_{max}}$) é mensurada no final da sístole ventricular, imediatamente antes da abertura da valva mitral; a área intermediária ($A_{AE_{p}}$) imediatamente antes da onda P; e a área mínima ($A_{AE_{min}}$), após o fechamento da valva mitral durante a diástole ventricular. Nesse método, o índice global de função atrial é a variação fracional da área do AE (FAC) durante o ciclo cardíaco, sendo calculada como: total ($FAC_t = A_{AE_{max}} -$

A_{AEmin}/A_{AEmax}), passiva ($FAC_p = A_{AEmax} - A_{AEP}/A_{AEmax}$) e ativa ($FAC_a = A_{AEP} - A_{AEmin}/A_{AEP}$) (CHAN et al., 2019; DICKSON et al., 2017).

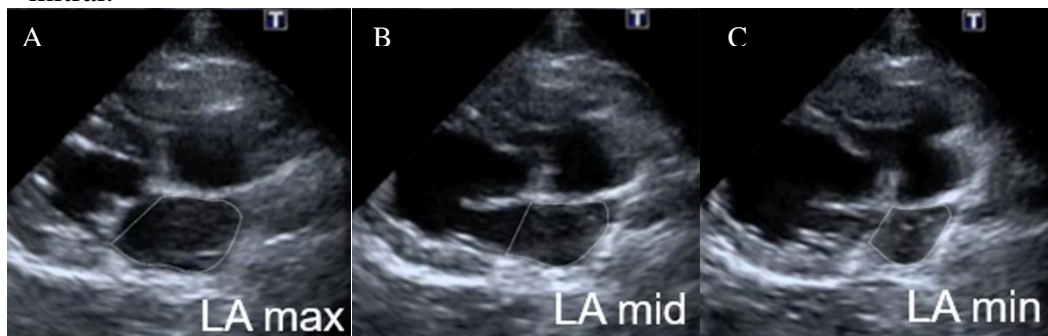
Figura 6 – Imagem ecocardiográfica bidimensional em corte paraesternal direito do eixo curto com contornos das áreas do átrio esquerdo e aorta no início da diástole (seta).



Legenda: Ao: aorta; LA: átrio esquerdo; LAu: aurícula esquerda.

Fonte: Rishniw e Erb (2000).

Figura 7 – Área do átrio esquerdo (AE) mensurada pelo rastreamento de toda a margem da câmara nas três fases do ciclo atrial em corte longitudinal quatro câmaras. A: área máxima do AE no final da sístole, um quadro antes da abertura da valva mitral. B: área intermediária do AE imediatamente antes da onda P no eletrocardiograma. C: área mínima do AE no final da diástole, um quadro antes do fechamento da valva mitral.



Legenda: LAmx: área máxima do átrio esquerdo; LAmid: área intermediária do átrio esquerdo; LAmin: área mínima do átrio esquerdo.

Fonte: Chan et al. (2019).

A área do AE normal em gatos é de $2,75 \text{ cm}^2$ (SCHOBER et al., 2007) e a relação AE/Ao é de 2,36 (ABBOTT; MACLEAN, 2006). A FAC_t mostrou-se reduzida em felinos com eco-contraste espontâneo (9%) em relação aos que não apresentavam (30%) (SCHOBER; MAERZ, 2006). Valores inferiores a 19,4% de FAC_t são consistentes com manifestação de efusão pleural na espécie (JOHNS; NELSON; GAY, 2012). Além disso, FAC_t , FAC_p e FAC_a foram menores em gatos cardiopatas sintomáticos (15%; 9,6% e 12%) comparado aos saudáveis (57%; 24,9% e 53%) (CHAN et al., 2019). A medida planimétrica da área, entretanto, é relativamente demorada e apresenta baixa repetibilidade comparada com

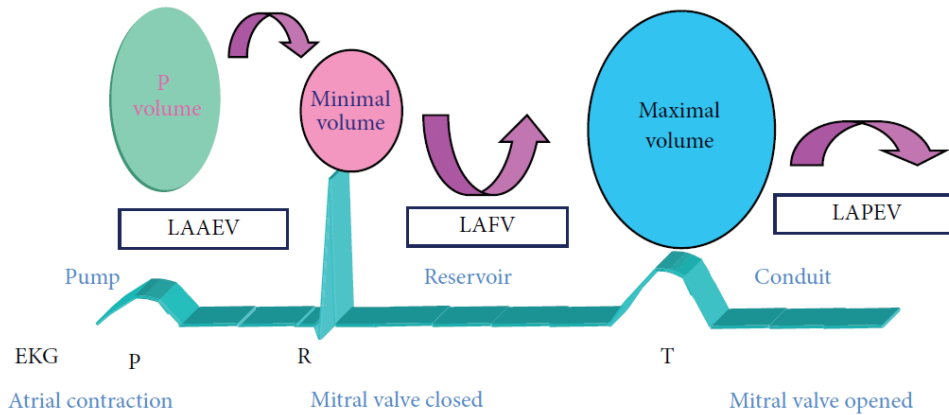
outros índices (ABBOTT; MACLEAN, 2006). Além disso, devido à facilidade com que se pode obter o volume do AE, torna-se desnecessária a mensuração da área (LANG et al., 2015).

2.2.1.3 Volume

O volume atrial é baseado em dimensões obtidas de múltiplos planos, o que abrange alterações no tamanho do AE em todas as direções. Portanto, podem detectar aumento da câmara com maior sensibilidade que a relação AE/Ao, que é determinada por uma dimensão linear única. Em medicina humana, o volume tornou-se o método padrão para determinação do tamanho do AE e as dimensões lineares deixaram de ser utilizadas (LANG et al., 2015; WESSELOWSKI et al., 2014). Embora ainda não seja rotineiramente empregado em exames ecocardiográficos de cães e gatos, o volume atrial esquerdo tem sido cada vez mais estudado em ambas as espécies (DULER; SCOLLAN; LEBLANC, 2019; HOLLMER et al., 2013, 2016; LINNEY et al., 2014; WESSELOWSKI et al., 2014). Na ecocardiografia bidimensional, as medidas volumétricas podem ser obtidas pelos métodos de área-comprimento e somatório de discos (Simpson). Independente da técnica utilizada, o volume do AE deve ser indexado ao peso e/ou área de superfície corporal para permitir uma comparação significativa, já que o tamanho corporal é o principal determinante do tamanho do AE (HOLLMER et al., 2013).

A quantificação volumétrica das funções de reservatório, condução e contração do AE pode ser realizada por meio dos volumes atriais máximo (VAE_{max}), intermediário (VAE_P) e mínimo (VAE_{min}). O VAE_{max} é obtido no final da sístole ventricular, imediatamente antes da abertura da valva mitral; o VAE_P imediatamente antes da sístole atrial ou antes da onda P do ECG; e o VAE_{min} no final da diástole, quando a valva mitral se fecha (HOIT, 2014) (FIGURA 8). A partir desses, as três fases da atividade atrial esquerda são caracterizadas como: volume de esvaziamento total ($VE_t = VAE_{max} - VAE_{min}$) e fração de ejeção total ($FE_t = VAE_{max} - VAE_{min} / VAE_{max}$) representando a função de reservatório; volume de esvaziamento passivo ($VE_p = VAE_{max} - VAE_P$) e fração de ejeção passiva ($FE_p = VAE_{max} - VAE_P / VAE_{max}$) a função de condução; volume de esvaziamento ativo ($VE_a = VAE_P - VAE_{min}$) e fração de ejeção ativa ($FE_a = VAE_P - VAE_{min} / VAE_P$) a função de contração (CHAN et al., 2019; HOLLMER et al., 2013; LINNEY et al., 2014).

Figura 8 – Volumes atriais durante o ciclo cardíaco, correlacionando com as funções de reservatório, condução e contração.



Legenda: LAAEV: volume de esvaziamento ativo do átrio esquerdo; LAFV: volume de esvaziamento total do átrio esquerdo; LAPEV: volume de esvaziamento passivo do átrio esquerdo.

Fonte: Ancona et al. (2014).

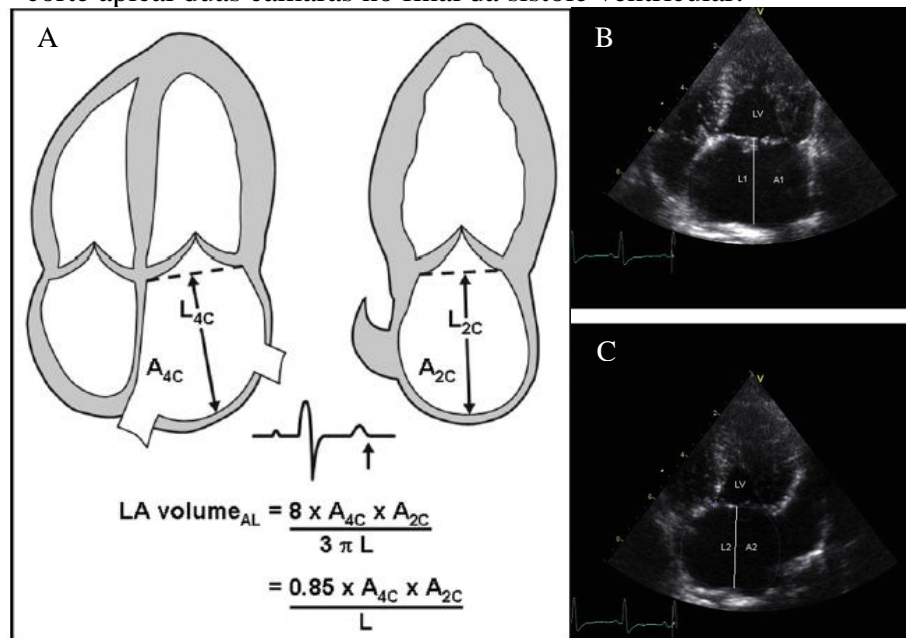
2.2.1.3.1 Área-comprimento

O método área-comprimento foi proposto para superar as limitações das medidas lineares (KHOO et al., 2011). Ele permite avaliação adequada do remodelamento assimétrico do AE, sendo melhor preditor de eventos cardiovasculares. As mensurações devem ser realizadas nos cortes apical quatro e duas câmaras (método biplanar). A avaliação em um único plano, no caso apical quatro câmaras, pressupõe que o AE é circular e os volumes tendem a ser menores (LANG et al., 2015). Entretanto, o corte apical duas câmaras nem sempre apresenta visualização adequada das bordas do AE. Dessa maneira, a utilização do método monoplanar torna a determinação do volume mais simples, rápida e de ampla utilização (RUSSO et al., 2010). Além disso, um estudo em cães demonstrou boa correlação entre os volumes de ambos os métodos (HOLLMER et al., 2016). Portanto, a avaliação monoplanar pode ser utilizada quando a planimetria nos dois cortes for de difícil execução (LANG et al., 2015).

A área do AE é traçada ao longo da borda interna, excluindo a confluência das veias pulmonares e aurícula. Uma linha reta ligando ambos os pontos da inserção dos folhetos mitrais são tomados como a borda do VE. O comprimento do eixo longo do AE é medido do meio do plano do anel mitral ao aspecto superior da câmara (HOLLMER et al., 2013, 2016; WESSELOWSKI, et al. 2014) (FIGURA 9). O comprimento é mensurado nos dois cortes e o menor deles (KHOO et al., 2011) ou a média de ambos (UJINO et al., 2006) é usado na equação: $8/3\pi[(A1.A2)/L]$. A1 e A2 são a área do AE nos cortes apicais quatro e duas

câmaras, respectivamente, e L é o comprimento (LANG et al., 2015). No método monoplanar, a área do corte apical quatro câmaras é empregada duas vezes na equação, substituindo a apical duas câmaras (HOLLMER et al., 2016). Os volumes do AE são mensurados nas três fases do ciclo atrial (VAE_{max} , VAE_P e VAE_{min}) para descrever suas funções, representadas pelas FE_t , FE_p e FE_a (HOLLMER et al., 2013). Apesar das vantagens, a imprecisão das medidas lineares empregadas limita esse método. Dessa maneira, o volume do AE deve ser mensurado utilizando o somatório de discos (LANG et al., 2015).

Figura 9 – Método área-comprimento biplanar. A: Imagem ilustrativa do volume atrial esquerdo mensurado pelo método. B: Imagem ecocardiográfica em corte apical quatro câmaras no final da sístole ventricular. C: Imagem ecocardiográfica em corte apical duas câmaras no final da sístole ventricular.



Legenda: A1 ou A4C: área planimétrica do átrio esquerdo em corte apical quatro câmaras; L1 ou L4C: comprimento do átrio esquerdo em corte apical quatro câmaras; A2 ou A2C: área planimétrica do átrio esquerdo em corte apical duas câmaras; L2 ou L2C: comprimento do átrio esquerdo em corte apical duas câmaras.

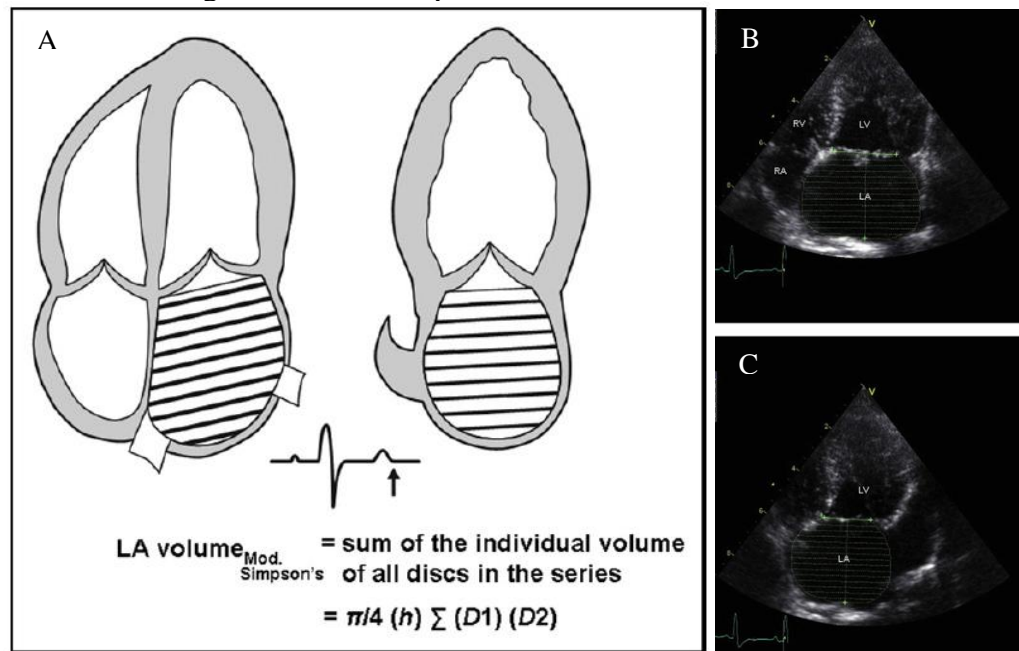
Fonte: A: Ujino et al. (2006); B e C: Hollmer et al. (2016).

2.2.1.3.2 Somatório de discos (Simpson)

O método de somatório de discos de Simpson parte do princípio que o volume de uma figura geométrica pode ser calculado a partir da soma de volumes menores de formato semelhante (LANG et al., 2015). Ou seja, pressupõe que o AE tem uma forma oval e o volume total é mensurado como a soma de uma série de discos ovais empilhados, por meio da seguinte equação: $\pi/4(h)\Sigma(D1)(D2)$. A altura dos discos corresponde ao h; D1 e D2 são os

eixos ortogonais maior e menor avaliados nos cortes apicais quatro e duas câmaras, respectivamente (KHOO et al., 2011) (FIGURA 10). A borda endocárdica do AE é traçada, excluindo aurícula e confluência das veias pulmonares, sendo a interface atrioventricular representada por um plano do anel mitral e não pela ponta dos folhetos valvares (LANG et al., 2015). Os volumes, então, são automaticamente calculados pelo *software* do equipamento (RUSSO et al., 2010).

Figura 10 – Método de somatório de discos de Simpson. A: Imagem ilustrativa do volume atrial esquerdo mensurado pelo método. B: Imagem ecocardiográfica em corte apical quatro câmaras no final da sístole ventricular. C: Imagem ecocardiográfica em corte apical duas câmaras no final da sístole ventricular.



Fonte: A: Ujino et al. (2006); B e C: Hollmer et al. (2016).

A mensuração do volume deve ser realizada pelo método biplanar, pois há menos suposições geométricas sendo, portanto, mais acurado (LANG et al., 2015). Entretanto, a aquisição de imagens apicais duas câmaras em gatos sem sedação é um desafio, além de ser uma técnica que consome mais tempo, tornando-a inviável na rotina clínica (DULER; SCOLLAN; LEBLANC, 2019). Alternativamente, pode-se utilizar um único plano, o apical quatro câmaras (LANG et al., 2015). Nesse caso, considera-se que os discos empilhados são circulares, utilizando a equação: $\pi/4(h)\Sigma(D)^2$ (RUSSO et al., 2010). Em seres humanos, há forte correlação entre as medidas volumétricas biplanar e monoplanar do AE pelo método de Simpson (VIEIRA FILHO et al., 2014). Entretanto, em gatos, foi demonstrado que há diferença entre essas medidas (RAUCH et al., 2020). Por outro lado, a mensuração do VAE_{max}

monoplanar se assemelhou às volumetrias triplanar e tridimensional em corte apical quatro câmaras. Nesse mesmo estudo, a medida monoplanar que mais se aproximou da biplanar foi a realizada em corte paraesternal direito longitudinal quatro câmaras. Como a metodologia ainda não é padronizada na espécie felina, os dois cortes ecocardiográficos citados têm sido utilizados para determinação do volume do AE (DULER; SCOLLAN; LEBLANC, 2019; LINNEY et al., 2014; PAYNE et al., 2013). Contudo, os valores obtidos diferem entre ambos, sendo menores no apical quatro câmaras (DULER; SCOLLAN; LEBLANC, 2019; RAUCH et al., 2020).

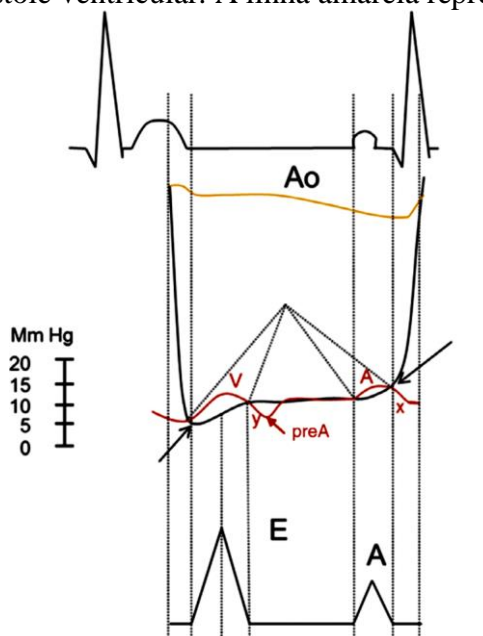
Os volumes do AE são mensurados nas três fases do ciclo atrial (VAE_{max} , VAE_{med} e VAE_{min}) para descrever suas funções, representadas pelas FE_t , FE_p e FE_a (CHAN et al., 2019; LINNEY et al., 2014). Em felinos com CMH, VAE_{min} de 1,46 ml e 0,3 mL/kg no corte apical quatro câmaras distinguiu os animais assintomáticos dos sintomáticos (DULER; SCOLLAN; LEBLANC, 2019). Além disso, também foi observado redução da FE_p em felinos com CMH sintomática (3,36%) em relação aos saudáveis (23,35%). As FE_t e FE_a foram menores tanto nos assintomáticos (50% e 43,65%) quanto nos sintomáticos (24,5% e 18,91%) comparado aos saudáveis (57% e 50,74%). Valores inferiores a 35,7% de FE_t podem sugerir a presença de ICC (LINNEY et al., 2014). Outros achados semelhantes foram relatados, onde FE_t , FE_p e FE_a também se apresentaram reduzidas em gatos cardiopatas sintomáticos (21%; 11,4% e 14%) em comparação aos assintomáticos (62%; 31,3%; 45%) e sem cardiopatia (73%; 35% e 57%) (CHAN et al., 2019).

2.2.2 Hemodinâmica

A disfunção diastólica do VE é uma das primeiras anormalidades funcionais nas cardiomiopatias felinas (SCHOBER; FUENTES; BONAGURA, 2003). Além do relaxamento comprometido, as pressões atriais esquerdas elevadas tendem a aumentar o enchimento diastólico inicial (FUENTES, 2003). A elevação na pressão de enchimento ventricular é fundamental para a patogênese e curso clínico da ICC. Portanto, a avaliação de índices hemodinâmicos do AE é de extrema importância para identificar pacientes com risco de desenvolver ou estar em ICC (CHETBOUL; BUSSADORI; MADRON, 2016). A ecocardiografia é o método não invasivo que permite estimar a pressão do AE (FIGURA 11), utilizando os fluxos transmitral, venoso pulmonar e Doppler tecidual (FUENTES, 2003). As ondas de enchimento (fluxo venoso pulmonar) e esvaziamento do AE (fluxo transmitral) podem ser usadas para avaliar as funções atriais de reservatório, condução e contração. As vantagens são a disponibilidade e simplicidade na aquisição e interpretação (HOIT, 2014).

Contudo, os parâmetros Doppler de fluxo transmitral, fluxo venoso pulmonar e velocidade do tecido anular mitral (Doppler tecidual) não são específicos da função do AE, mas fornecem informações indiretas, uma vez que são afetados pelo desempenho diastólico e sistólico do VE (TO et al., 2011). Outro índice hemodinâmico importante é a velocidade de fluxo da aurícula do AE, que pode indicar disfunção contrátil e prever o risco de TEA quando reduzida (SCHOBER; MAERZ, 2006).

Figura 11 – Curva de pressão do átrio esquerdo (linha vermelha). É caracterizada por um pico no início da diástole (onda V) seguido de uma queda (y), atingindo um nadir (onda pré-A). Durante a diástase, as pressões atrial e ventricular (linha preta) são iguais e aumentam lentamente juntas. Um segundo pico de pressão ocorre após a contração atrial (onda A), seguida de outra redução (x) associada ao enchimento no final da diástole ventricular. A linha amarela representa a pressão aórtica.



Legenda: A: onda de enchimento ventricular no final da diástole do fluxo transmitral; Ao: aorta; E: onda de enchimento ventricular no início da diástole do fluxo transmitral.

Fonte: Chetboul, Bussadori e Madron (2016).

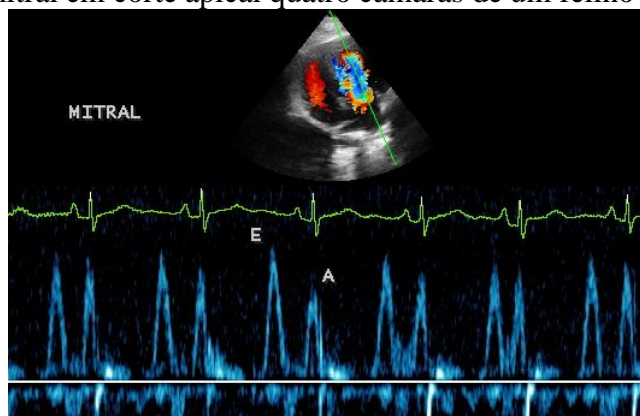
2.2.2.1 Fluxo transmitral

O fluxo transmitral é caracterizado por dois picos de velocidade: onda E que ocorre no início da diástole e corresponde ao enchimento ventricular passivo; e onda A no final da diástole que representa o enchimento ventricular ativo durante a contração atrial, seguindo a onda P no eletrocardiograma (CÔTÉ et al., 2011). Ambos são obtidos por meio do Doppler pulsado em cortes apicais duas ou quatro câmaras, sendo o volume de amostra de 2 mm posicionado nas pontas dos folhetos mitrais abertos (SCHOBER, CHETBOUL, 2015). A

velocidade máxima da onda E é o resultado da interação entre o gradiente de pressão atrioventricular, influenciado pelo enchimento atrial (pré-carga) e as propriedades diastólicas do VE, como relaxamento e gradiente de pressão intraventricular (CHETBOUL; BUSSADORI; MADRON, 2016). Já o pico de velocidade da onda A depende da função sistólica do AE, complacência do VE e condução atrioventricular e é influenciado pela frequência cardíaca, sobrecarga de pressão e idade do paciente. A função sistólica do AE, por sua vez, depende de sua contração e pressão no início da sístole atrial (ANCONA et al., 2014).

A contribuição da função de contração do AE para o enchimento ventricular é estimada pela relação dos picos de velocidade transmitral inicial e final (E/A) (HOIT, 2014). No animal normal, o pico de velocidade da onda E excede a onda A ($E/A > 1$) (FIGURA 12). Com o envelhecimento e durante o primeiro grau de disfunção diastólica do VE, o enchimento no início da diástole (onda E) diminui. A pressão do AE ainda é normal e este contrai para compensar o enchimento ventricular. O resultado é a inversão da relação ($E/A < 1$), caracterizando o padrão de enchimento anormal (FIGURA 13A). Com a progressão da disfunção diastólica, a pressão do AE se eleva e, conseqüentemente, o gradiente de pressão entre AE e VE. Dessa maneira, a velocidade da onda E aumenta ($E/A > 1$), resultando em padrão de enchimento pseudonormal, devido à combinação de relaxamento prejudicado e pressões de enchimento elevadas (FIGURA 13B). A rigidez do VE e a pressão de enchimento continuam a aumentar e o AE perde sua capacidade funcional, culminando em rápido enchimento inicial com término muito abrupto. Conseqüentemente, a onda E torna-se muito alta e estreita ($E/A > 2$), caracterizando o padrão de enchimento restritivo (FIGURA 13C) (ANCONA et al., 2014; CHETBOUL; BUSSADORI; MADRON, 2016; CÔTÉ et al., 2011; SCHOBER; CHETBOUL, 2015). Adicionalmente, em animais jovens saudáveis, pode haver um padrão de fluxo semelhante ao restritivo, denominado de supernormal (FIGURA 14). Este acontece devido a alto tônus simpático, relaxamento ventricular muito intenso e complacência rápida comuns nessa faixa etária. A progressão de um estágio para o próximo nem sempre é sequencial. Alguns gatos podem progredir ou regredir apenas em algumas horas ou dias (SCHOBER; CHETBOUL, 2015). O padrão de enchimento anormal e a relação E/A acima de 1,77 são preditores para o desenvolvimento de ICC em felinos com CMH (ROHRBAUGH et al., 2020). Quando o padrão de enchimento é restritivo, há maior risco de morte (FUENTES; WILKIE, 2017; PAYNE et al., 2013).

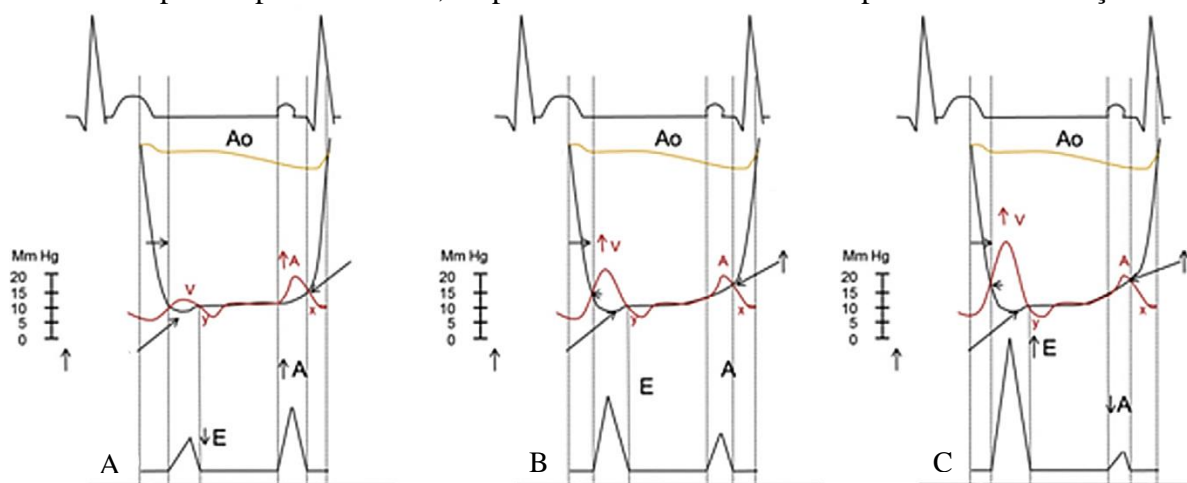
Figura 12 – Doppler pulsado do fluxo transmitral com volume de amostra posicionado a nível da valva mitral em corte apical quatro câmaras de um felino



Legenda: A: onda de enchimento ventricular no final da diástole; E: onda de enchimento ventricular no início da diástole.

Fonte: Hospital Veterinário – UFLA (2021).

Figura 13 – Representação esquemática das curvas de pressão atrial esquerda (linha vermelha), pressão ventricular esquerda (linha preta) e pressão aórtica (linha amarela) durante os três estágios da disfunção diastólica. A: padrão de relaxamento anormal. B: padrão pseudonormal; C: padrão restritivo. Vide texto para mais informações.



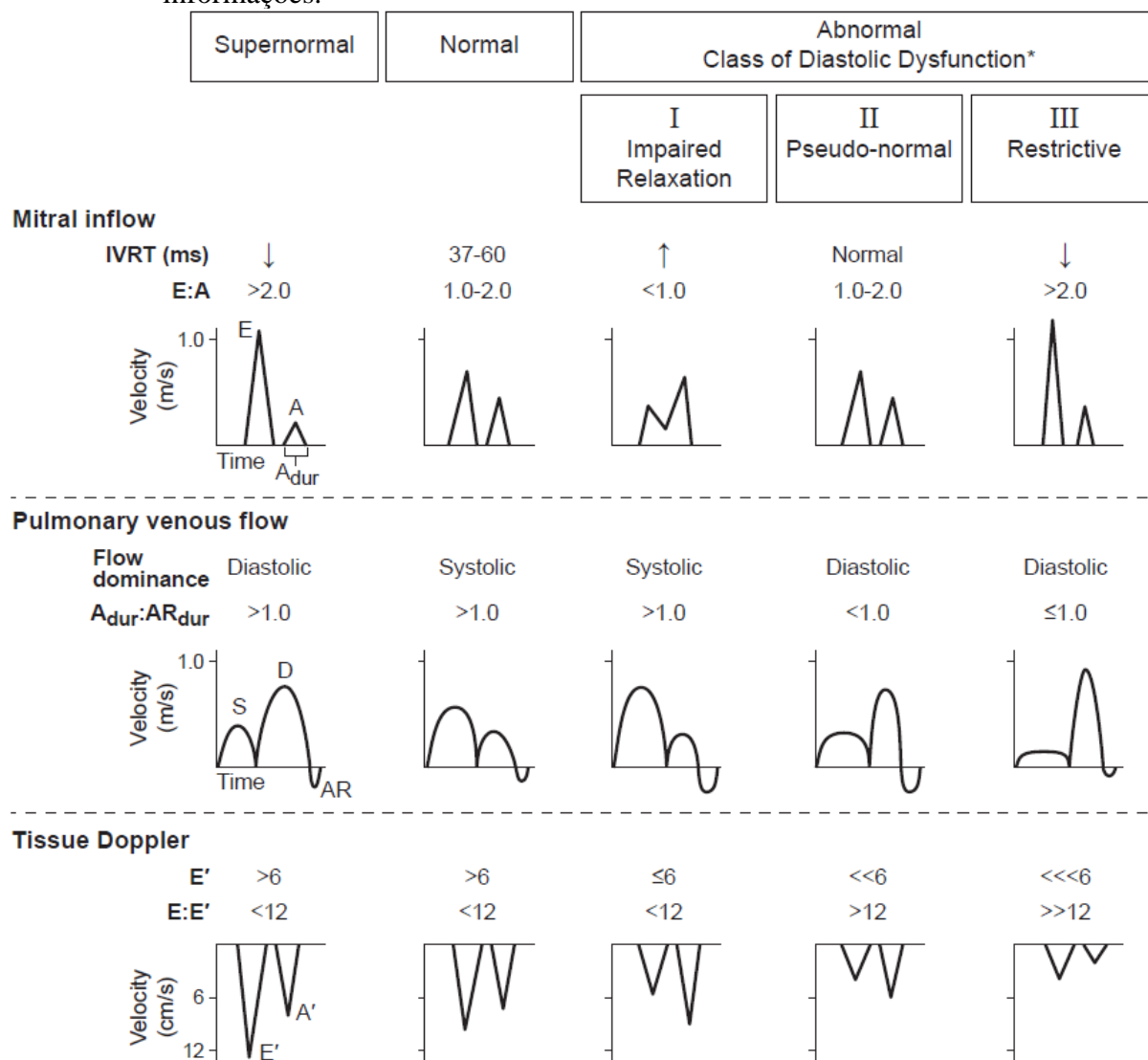
Legenda: A: onda de enchimento ventricular no final da diástole do fluxo transmitral; Ao: aorta; E: onda de enchimento ventricular no início da diástole do fluxo transmitral.

Fonte: Chetboul, Bussadori e Madron (2016).

Muitos gatos têm frequência cardíaca elevada, encurtando os períodos diastólicos. Isso resulta no somatório das fases de enchimento ventricular com fusão das ondas E e A (EAfus) (CÔTÉ et al., 2011). Em seres humanos, a mensuração das ondas parcialmente fusionadas deve ser realizada quando a intercessão de velocidade entre a fase de desaceleração da onda E e a fase de aceleração da onda A é menor que 0,2 m/s (NAGUEH et al., 2016; SCHOBBER; CHETBOUL, 2015). Em gatos, porém, há indicação de mensurar quando o intercepto de ambas as velocidades for menor que 0,4 m/s (ROHRBAUGH et al., 2020). Além de fusão das ondas, o

ritmo acelerado também pode culminar na perda de contração do AE (onda A), como acontece na fibrilação atrial (CHETBOUL; BUSSADORI; MADRON, 2016). Dessa maneira, a classificação da função diastólica do VE baseada somente na relação E/A pode ser impossível (ROHRBAUGH et al., 2020). Portanto, um método alternativo tem sido proposto, considerando pelo menos duas das seis variáveis: tamanho do AE, tempo de relaxamento isovolumétrico (TRIV), fluxo venoso pulmonar, A_{dur}/AR_{dur} , onda E' e relação E/E' (ROHRBAUGH et al., 2020; SCHOBBER; CHETBOUL, 2015) (FIGURA 14). Esses índices devem ser avaliados conjuntamente, as anormalidades isoladas não devem ser usadas como única determinação para iniciar terapia (CÔTÉ et al., 2011).

Figura 14 – Estágios da disfunção diastólica em gatos, representados pelos fluxos transmitral, venoso pulmonar e Doppler tecidual do anel mitral. Vide texto para mais informações.



Legenda: A, pico de velocidade do fluxo transmitral devido à contração atrial; A', movimento da parede cardíaca durante a contração atrial; A_{dur} , duração da onda A transmitral; AR, velocidade do fluxo

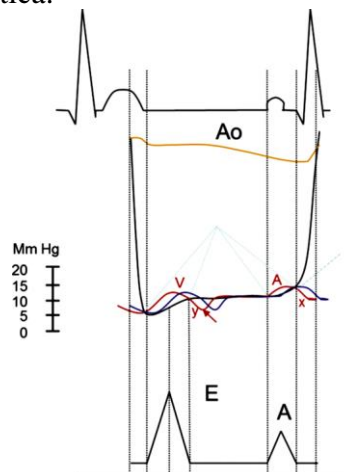
venoso pulmonar no final da diástole ventricular; ARdur, duração do fluxo venoso pulmonar no final da diástole ventricular; D, velocidade do fluxo venoso pulmonar no início da diástole ventricular; E, pico de velocidade do fluxo transmitral durante a condução atrial; E', movimento da parede cardíaca durante a condução atrial; IVRT, tempo de relaxamento isovolumétrico; S, velocidade máxima sistólica do fluxo venoso pulmonar

Fonte: Adaptado de Schober e Chetboul (2015).

2.2.2.2 Fluxo venoso pulmonar

O fluxo venoso pulmonar reflete a dinâmica de enchimento do AE e é fortemente influenciado pelas propriedades diastólicas do VE (SCHOBBER; CHETBOUL, 2015). A pressão venosa pulmonar é semelhante à pressão do AE, diferindo apenas pelo tempo necessário para que as flutuações atriais atinjam as veias pulmonares (CHETBOUL; BUSSADORI; MADRON, 2016) (FIGURA 15). Durante a sístole ventricular, a pressão atrial esquerda diminui como resultado do relaxamento atrial e da descida do anel mitral. Isso permite que as veias pulmonares preencham o AE, formando a onda S, que corresponde à fase de reservatório. Com o enchimento atrial, sua pressão aumenta. Posteriormente, ela diminui no início da diástole ventricular, devido à abertura da valva mitral. O AE, então, funciona como um condutor do fluxo das veias pulmonares para o VE, caracterizado pela onda D (fase de condução atrial). No final da diástole ventricular, há aumento na pressão do AE devido à fase de contração atrial, que resulta em fluxo através da valva mitral (onda A) e fluxo retrógrado nas veias pulmonares denominado de onda AR (SCHOBBER et al., 1998).

Figura 15 – Representação esquemática da relação entre pressão atrial esquerda (linha vermelha) e pressão pulmonar (linha azul). A pressão pulmonar é semelhante à pressão atrial esquerda, diferindo somente no tempo necessário para que as flutuações da pressão atrial atinjam os capilares pulmonares. A linha amarela representa a pressão aórtica.

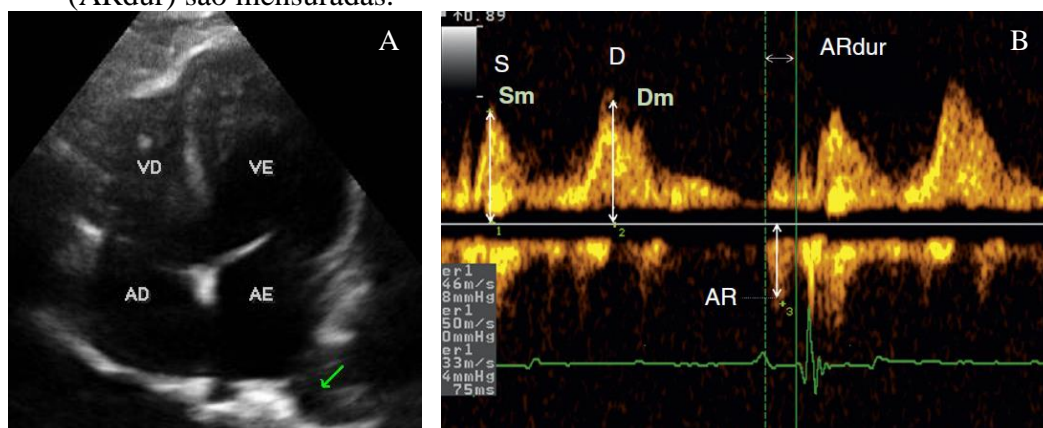


Legenda: A: onda de enchimento ventricular no final da diástole do fluxo transmitral; Ao: aorta; E: onda de enchimento ventricular no início da diástole do fluxo transmitral.

Fonte: Chetboul, Bussadori e Madron (2016).

Para aquisição do fluxo venoso pulmonar, utiliza-se o Doppler pulsado com o volume de amostra entre 3-4 mm posicionado dentro da veia pulmonar 5 mm distal à sua entrada no AE. O ganho deve ser otimizado, a velocidade de varredura ajustada em 150 mm/s e o filtro de baixa velocidade reduzido (SCHOBER, CHETBOUL, 2015). Podem ser utilizados os cortes transversal na base do coração pela janela paraesternal direita (veia pulmonar do lobo caudal esquerdo), oblíquo na janela paraesternal esquerda (veias pulmonares dos lobos médio e cranial direito) (SCHOBER; MAERZ, 2006) e apical quatro câmaras (veia pulmonar do lobo caudal/cranial direito) (SANTILLI; BUSSADORI, 1998; SCHOBER et al., 1998) (FIGURA 16A). Entretanto, o fluxo venoso pulmonar pode ser tecnicamente difícil de obter em alguns gatos (SCHOBER, CHETBOUL, 2015). As principais medidas incluem as velocidades máximas sistólica (S), diastólica inicial (D), diastólica final (AR) e sua duração (ARdur) e a relação S/D (CHETBOUL; BUSSADORI; MADRON, 2016) (FIGURA 16B). A onda S está estritamente correlacionada com a pressão atrial esquerda e a presença de insuficiência mitral. A onda D, por sua vez, correlaciona-se a onda E do fluxo transmitral e é influenciada pelos mesmos fatores. A onda AR corresponde à onda A mitral e é afetada pela pressão do AE no final da diástole, contratilidade atrial e complacência ventricular (SANTILLI; BUSSADORI, 1998).

Figura 16 – A: Imagem ecocardiográfica bidimensional na janela paraesternal esquerda em corte apical quatro câmaras de um gato, evidenciando a posição da veia pulmonar do lobo cranial direito (seta). B: Fluxo venoso pulmonar, evidenciando suas três ondas: sistólica (S), diastólica (D) e diastólica retrógrada (AR). As velocidades máximas das ondas S (Sm), D (Dm) e AR, bem como a duração da onda AR (ARdur) são mensuradas.



Legenda: AD: átrio direito; AE: átrio esquerdo; VD: ventrículo direito; VE: ventrículo esquerdo.

Fonte: A: Hospital Veterinário – UFLA (2021); B: Chetboul, Bussadori e Madron (2016).

O fluxo venoso pulmonar é utilizado como diagnóstico adicional aos padrões de fluxo transmitral, principalmente o enchimento pseudonormal (SCHOBER, CHETBOUL, 2015). Com a deterioração da função diastólica do VE, durante o padrão de enchimento anormal, as funções de reservatório (S) e de bomba (AR) do AE aumentam, enquanto a função de condução (D) diminui. No padrão pseudonormal, a função de condução atrial (D) aumenta, a de reservatório (S) diminui e a de bomba (AR) aumenta significativamente. No padrão restritivo, as funções de reservatório (S) e bomba (AR) do AE estão muito reduzidas e a função de condução (D) torna-se dominante (ANCONA et al., 2014). Em felinos jovens, entretanto, também há dominância do fluxo diastólico (D), devido ao relaxamento vigoroso do VE, sendo caracterizado como supernormal (SCHOBER, CHETBOUL, 2015) (FIGURA 14). A razão S/D estima a função relativa de reservatório para condução do AE (HOIT, 2014). A maioria dos gatos saudáveis tem relação S/D próximo de 1. Entretanto, quando S/D menor ou igual a 0,5, há maior risco de morte em felinos com CMH (PAYNE et al., 2013).

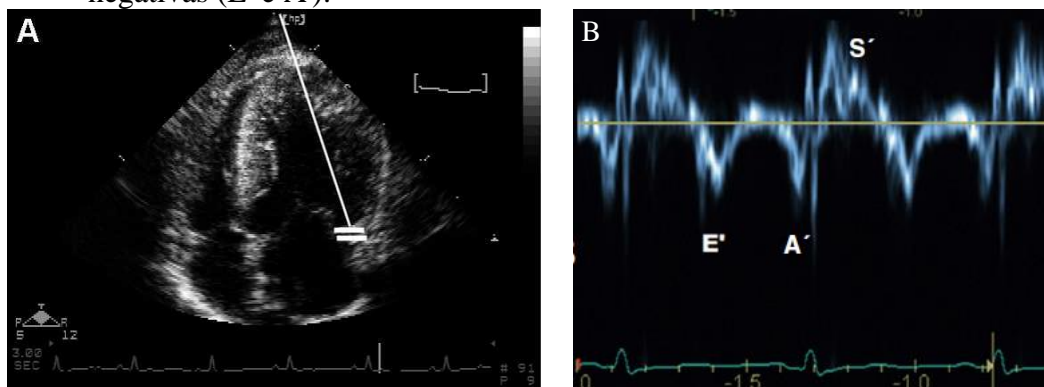
Outro parâmetro utilizado para auxiliar na identificação do padrão de enchimento pseudonormal é a relação entre as durações das ondas A transmitral e AR (Adur/ARdur) (SCHOBER, CHETBOUL, 2015). Em gatos saudáveis e não sedados, a relação Adur/ARdur é considerada $1,01 \pm 0,28$ (DISATIAN; BRIGHT; BOON, 2008). Quando a pressão do AE aumenta ($>20\text{mmHg}$), Adur/ARdur diminui, tornando-se inferior a 1 (CHETBOUL; BUSSADORI; MADRON, 2016). No estágio moderado da disfunção diastólica, o AE trabalha contra o VE menos complacente, portanto, menos sangue entrará neste último, levando ao aumento da pressão no final da diástole. Isso resultará em maior duração do fluxo retrógrado (onda AR) e redução na duração do fluxo anterógrado (onda A) (SCHOBER, CHETBOUL, 2015) (FIGURA 14). Em felinos com CMH, há maior risco de morte quando Adur/ARdur menor que 1 (PAYNE et al., 2013).

2.2.2.3 Doppler tecidual

O Doppler tecidual (DT) é uma técnica ecocardiográfica que avalia a função cardíaca pela quantificação do movimento miocárdico. O padrão de movimento da parede é semelhante ao fluxo valvar, apresentando uma onda sistólica positiva (S') e duas ondas diastólicas negativas (E' e A') (CÔTÉ et al., 2011). A onda S' corresponde à função de reservatório atrial, E' de condução e A' contração (HOIT, 2014). A aquisição do DT é realizada em corte apical quatro câmaras com o volume de amostra de 2-3 mm posicionado no anel mitral na parede livre

(FIGURA 17A). A reprodutibilidade desta é superior ao septo, além da ausência dos efeitos do ventrículo direito. A velocidade de varredura deve ser definida em 100 a 150 mm/s, ganho otimizado e a configuração de filtro de parede mais baixa. Além disso, o registro simultâneo de ECG é obrigatório para identificar corretamente as ondas de movimento do tecido (SCHOBBER, CHETBOUL, 2015). Estas incluem as velocidades sistólica (S'), diastólica inicial (E') e diastólica final (A') (FIGURA 17B).

Figura 17 – A: Imagem ecocardiográfica bidimensional em corte apical quatro câmaras de um gato, com o Doppler tecidual de onda pulsada no anel mitral lateral, perpendicular ao movimento do coração. B: Registro do Movimento anular mitral pelo Doppler tecidual, apresentando uma onda sistólica positiva (S') e duas ondas diastólicas negativas (E' e A').



Fonte: A: MacDonald et al. (2007); B: Chetboul, Bussadori e Madron (2016)

A onda A' é secundária à contração atrial conforme citado, portanto, é um marcador rápido e preciso dessa função. Sua velocidade correlaciona-se com a variação fracional da área e do volume do AE e apresenta-se reduzida em pacientes humanos com disfunção atrial (HESSE et al., 2004). A redução das ondas A' do DT, A do fluxo transmitral e AR do fluxo venoso pulmonar são indicativos de disfunção de contração do AE (SCHOBBER, CHETBOUL, 2015). A onda E' é resultante do relaxamento dos cardiomiócitos da parede ventricular (CHETBOUL; BUSSADORI; MADRON, 2016). Valores de corte de E' inferiores a 6 (SCHOBBER, CHETBOUL, 2015) ou a 7,2 cm/s (KOFFAS et al. 2006) são capazes de distinguir gatos com CMH dos saudáveis, indicando a presença de disfunção diastólica. Na maioria dos felinos com função diastólica normal, E' é maior que A' , exceto em situações de taquicardia. Nesse caso, E' pode ser menor que A' , e uma razão E'/A' entre 0,8-1 pode ser observada, mesmo em gatos saudáveis. Com o relaxamento ventricular prejudicado, a velocidade de E' diminui e ocorre a inversão de E'/A' . O mesmo acontece no padrão pseudonormal, em contraste com o fluxo transmitral que se torna “normalizado”. No enchimento restritivo, as velocidades E' e A' estão muito reduzidas e a relação E'/A' pode

parecer normal (FIGURA 14). Essas características dos índices obtidos pelo DT são de extrema importância para distinção do fluxo transmitral normal do pseudonormal e supernormal do restritivo (SCHOBBER, CHETBOUL, 2015). Contudo, quando há fusão das ondas E' e A', registra-se apenas a velocidade de pico somada (E'A'fus) (ROHRBAUGH et al., 2020).

Conforme citado, a elevação da pressão de enchimento do VE causa diminuição de E' e aumento da onda E transmitral. Portanto, é esperado que a relação E/E' seja alta no padrão pseudonormal ou restritivo e baixa no enchimento anormal (SCHOBBER, CHETBOUL, 2015). Como E' independe do gradiente de pressão atrioventricular, a razão E/E' elimina a influência do relaxamento ventricular na onda E, fornecendo um índice mais preciso da pressão atrial (CHETBOUL; BUSSADORI; MADRON, 2016). Em gatos saudáveis, a relação E/E' é menor que 12 (SCHOBBER, CHETBOUL, 2015). Entretanto, outros autores relataram que E/E' acima de 10 é indicativo de aumento da pressão do AE (SCHOBBER; MAERZ, 2006), observado principalmente nos padrões de enchimento ventricular pseudonormal e restritivo (CHETBOUL; BUSSADORI; MADRON, 2016). Em felinos com CMH, E/E' maior que 19 foi associada a maior risco de morte cardíaca (PAYNE et al., 2013). Nos casos de fusão das ondas (EAfus e E'A'fus), a relação EAFus/E'A'fus acima de 15,1 foi preditor para o desenvolvimento de ICC (ROHRBAUGH et al., 2020).

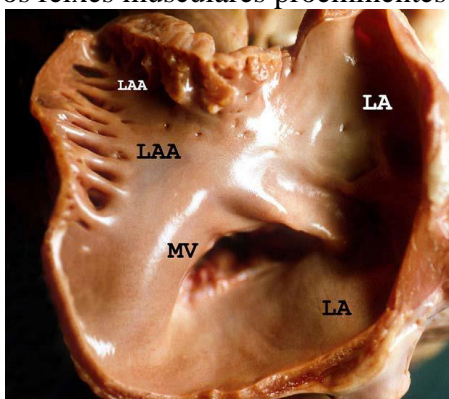
A função diastólica obtida por DT é similar às medidas invasivas em felinos (SCHOBBER; FUENTES; BONAGURA, 2003). Porém, devido à frequência cardíaca elevada, é comum a fusão das ondas E' e A', o que pode dificultar a interpretação nessa espécie. Além disso, as velocidades do DT apresentam baixa repetibilidade (SIMPSON et al., 2007) e estão sujeitas a erros devido à dependência do ângulo de insonação e aos efeitos do movimento cardíaco. Desse modo, essa medida vem sendo substituída pela análise de deformação atrial em pacientes humanos (HOIT, 2014).

2.2.2.4 Fluxo auricular esquerdo

A aurícula esquerda (AAE) é uma bolsa com extremidade cega derivada do AE, sendo embriológica e funcionalmente distinta do mesmo (MEHRZAD; RAJAB; SPODICK, 2014; SCHOBBER; MAERZ, 2006). Apresenta trabeculações musculares proeminentes (músculos pectíneos) e menor velocidade de fluxo sanguíneo, tornando um local frequente de formação de trombos (CÔTÉ et al., 2011) (FIGURA 18). O fluxo da AAE normal é pulsátil com duas ondas: onda 1, representando o esvaziamento da AAE; e onda 2, correspondente ao enchimento da AAE. Ambas são obtidas no final da diástole, imediatamente após a onda P no ECG. A

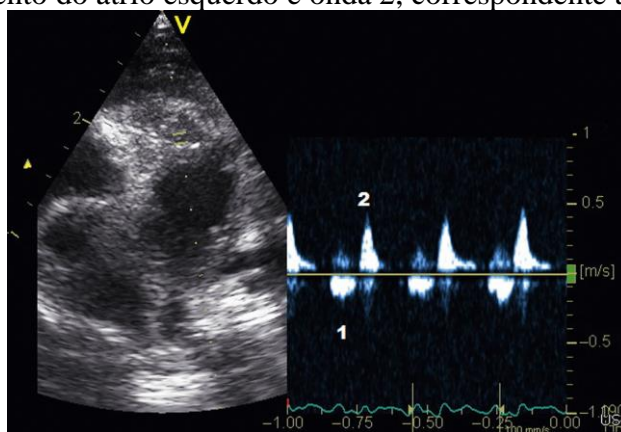
obtenção do fluxo da AAE é realizada em corte eixo curto oblíquo pela janela paraesternal direita ou apical oblíquo na janela paraesternal esquerda (2 câmaras), utilizando Doppler pulsado com volume de amostra entre 5-6 mm (SCHOBER; MAERZ, 2006) (FIGURA 19). Fatores técnicos como alinhamento do feixe ultrassonográfico, posicionamento do volume de amostra, habilidades do operador e configurações do filtro podem afetar o registro do fluxo (SCHOBER; MAERZ, 2005).

Figura 18 – Amostra de necropsia de um coração felino evidenciando a aurícula esquerda aberta (LAA), a cavidade atrial esquerda (LA) e o aspecto dorsal da valva mitral (MV). Observar os feixes musculares proeminentes dentro da aurícula.



Fonte: Schober; Maerz (2005).

Figura 19 – Registro do fluxo sanguíneo normal na aurícula esquerda pelo Doppler pulsado obtido em corte eixo curto oblíquo na janela paraesternal direita em um gato. É caracterizado pela onda 1 negativa no final da diástole, correspondente ao esvaziamento do átrio esquerdo e onda 2, correspondente ao enchimento atrial.

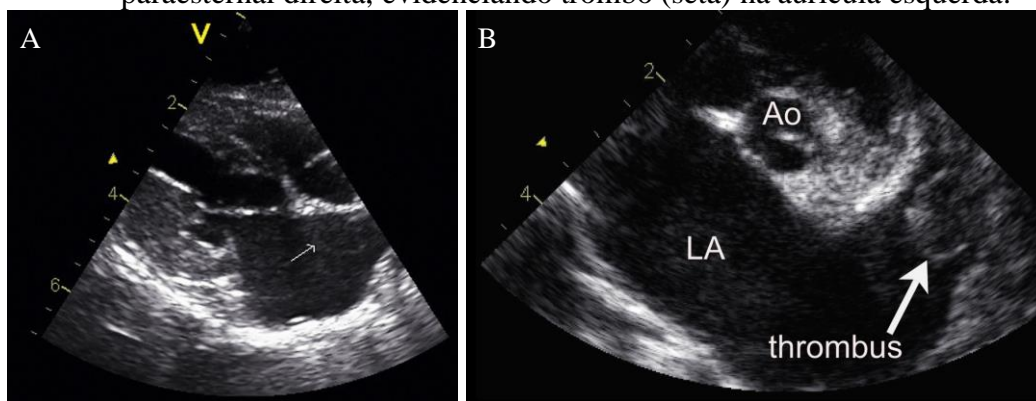


Fonte: Chetboul, Bussadori e Madron (2016).

Com a dilatação do átrio esquerdo, há estase do fluxo sanguíneo que pode levar à agregação de glóbulos vermelhos, criando o eco-contraste espontâneo ou *smoke* (fumaça) (FIGURA 20A). Este pode ser visto dentro do AE ou apenas na AAE, sendo um preditor importante de risco de desenvolvimento de TEA e morte cardíaca (CÔTÉ et al., 2011;

FUENTES; WILKIE, 2017; PAYNE et al., 2013). A prevalência de *smoke* em gatos com cardiomiopatia é de 11,5% (FERASIN et al., 2003). Essa estase sanguínea pode ser diagnosticada precocemente pela redução da velocidade máxima do fluxo da AAE (maior fluxo positivo ou negativo) quando inferior a 0,25 m/s (FUENTES; WILKIE, 2017; SCHOBER; MAERZ, 2006;). Tanto a presença de *smoke*, quanto a redução do fluxo da AAE são preditores de maior risco de morte em gatos com CMH (PAYNE et al., 2013). É importante ressaltar que, além da estase sanguínea, o mecanismo de formação de trombo (FIGURA 20B) é atribuído ao estado hipercoagulável dos felinos e à lesão endotelial pela dilatação do AE, resultando na tríade de Virchow (FUENTES, 2012). O TEA pode se desenvolver em até 11,6% dos gatos com CMH (FOX et al., 2018) e apresenta sobrevida máxima de um ano em somente 2,4% dos casos (BORGEAT et al., 2014).

Figura 20 – Imagens ecocardiográficas bidimensionais de gatos com cardiomiopatia hipertrófica. A: corte longitudinal quatro câmaras pela janela paraesternal direita com eco-contraste espontâneo (seta), devido à estase sanguínea dentro do átrio esquerdo. B: corte eixo curto na base do coração pela janela paraesternal direita, evidenciando trombo (seta) na aurícula esquerda.



Legenda: Ao: aorta; LA: átrio esquerdo.

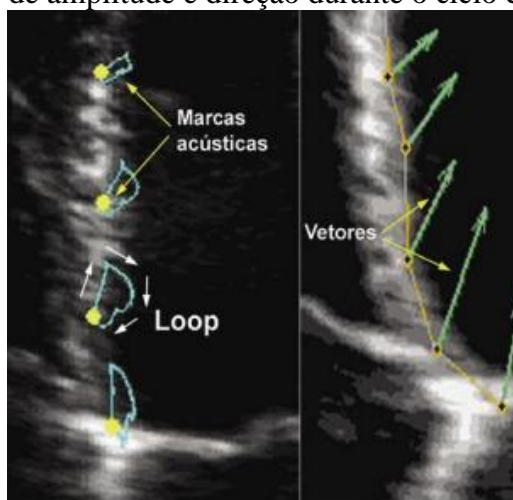
Fonte: A: Chetboul, Bussadori e Madron (2016); B: Fuentes (2012).

2.2.3 *Speckle tracking* bidimensional

A ecocardiografia *speckle tracking* bidimensional (STE-2D) é uma técnica de imagem avançada que permite a análise da deformação miocárdica global e regional (LOCATELLI et al., 2016). O método consiste no rastreamento (*tracking*) de pontos ultrassonográficos (*speckle*) em imagens bidimensionais. A partir do deslocamento desses pontos ao longo do ciclo cardíaco, são gerados vetores de velocidade do movimento da parede, permitindo avaliação quantitativa da deformação miocárdica (DEL CASTILLO; HERSZKOWICZ; FERREIRA,

2010) (FIGURA 21). Esse parâmetro é fornecido independente do ângulo de insonação e movimentos de translação cardíaca (AHMED et al., 2015; IWAMA et al., 2012).

Figura 21 – Esquema das marcas acústicas e sua movimentação em forma de loop. À direita, vetores gerados pela movimentação das marcas acústicas. Estes vetores mudam constantemente de amplitude e direção durante o ciclo cardíaco.



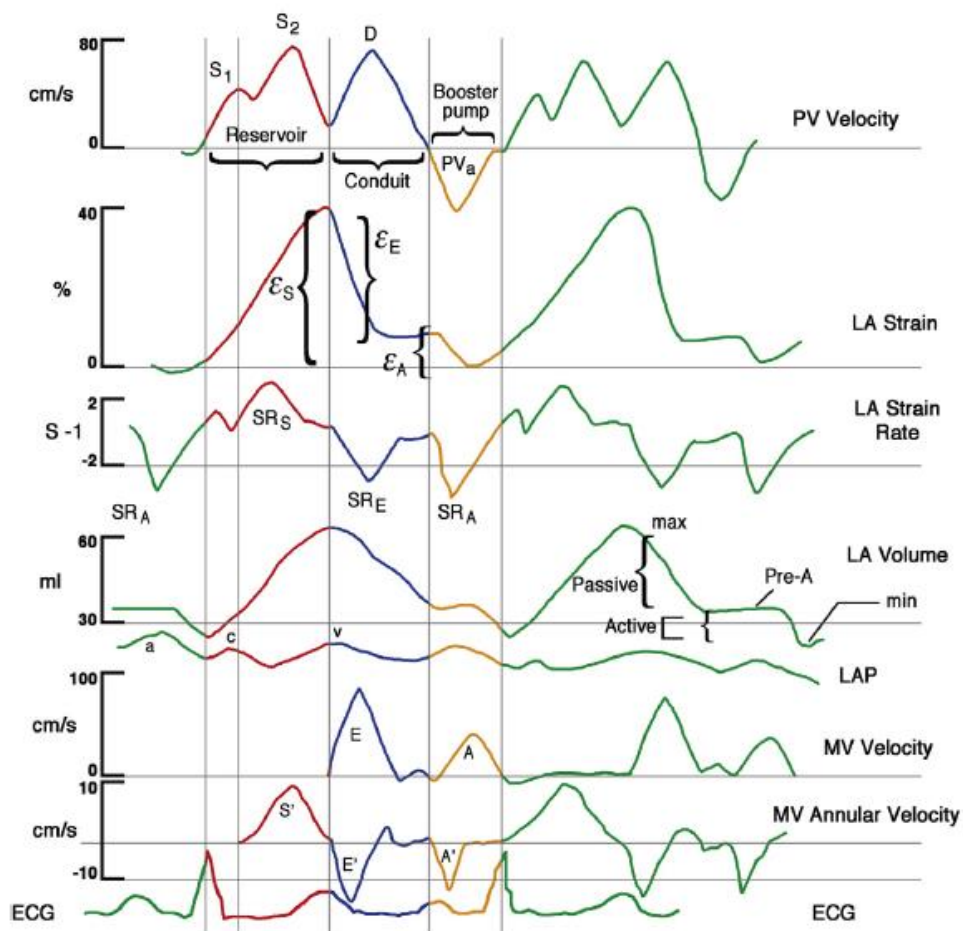
Fonte: Del Castillo, Herszkowicz; Ferreira (2010).

A deformação e a taxa de deformação do miocárdio são denominadas respectivamente de *strain* (St ou ϵ) e *strain rate* (SR) (MOR-AVI et al., 2011). Esses parâmetros foram inicialmente utilizados para avaliar o miocárdio do VE e, posteriormente, aplicados ao AE na avaliação da deformação ativa e passiva (CAMELI et al., 2016; VIEIRA FILHO et al., 2014). O *strain* é uma alteração fracionária no comprimento de um segmento miocárdico, podendo ter valores positivos (alongamento) ou negativos (encurtamento) expressos em porcentagem (%). O *strain rate* corresponde à velocidade na qual essa deformação miocárdica ocorre, sendo expresso por segundo (1/s) (MOR-AVI et al., 2011). Como os vetores de velocidade são decompostos no sentido de disposição das fibras musculares, St e SR podem ser determinados como longitudinal, radial ou circunferencial (COLQUITT; PIGNATELLI, 2016; DEL CASTILLO; HERSZKOWICZ; FERREIRA, 2010). Contudo, os dois últimos sentidos não podem ser calculados para o AE, pois sua parede é fina limitando a resolução espacial (BADANO et al., 2018; VIEIRA FILHO et al., 2014).

Dessa maneira, St e SR descrevem o encurtamento e alongamento longitudinal da parede do AE, permitindo a quantificação de suas três funções: reservatório, condução e contração (NAKAMURA et al., 2017). Além de exibirem a fisiologia da função atrial, as curvas de St e SR acompanham a dinâmica do VE ao longo do ciclo cardíaco (CAIVANO et al., 2018). Durante a sístole ventricular, refletem a distensibilidade atrial independente do ritmo

subjacente. Já no final da diástole, refletem a contratilidade atrial na presença de ritmo sinusal (VIEIRA FILHO et al., 2014). Na fase de reservatório, o AE distende-se à medida que é preenchido de sangue pelas veias pulmonares. A parede atrial é alongada na direção longitudinal e isso fornece um valor de deformação positivo. Após a abertura da valva mitral, na fase de condução, há redução no tamanho do AE e encurtamento do miocárdio no sentido longitudinal. O *strain* diminui formando um platô e a curva de SR correspondente forma um pico negativo. Na fase de contração, o miocárdio atrial encurta-se ainda mais na direção longitudinal, resultando em picos negativos em ambas as curvas (RAUSCH et al., 2018). Na do St, entretanto, há também um pequeno pico positivo pré-contração (CAMELI et al., 2016) (FIGURA 22).

Figura 22 – Funções do átrio esquerdo e sua relação com o ciclo cardíaco: fases de reservatório (vermelho), condução (azul) e contração (amarelo) exibidas na velocidade venosa pulmonar (PV), *strain*, *strain rate*, volume e pressão (LAP) do átrio esquerdo, fluxo transmitral (MV) e Doppler tecidual mitral (MV anular).



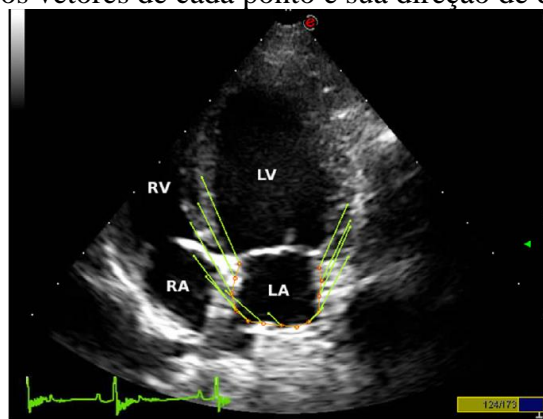
Legenda: a, pico de pressão atrial esquerda após sua contração; A, pico de velocidade do fluxo transmitral devido à contração atrial; A', movimento da parede cardíaca durante a contração atrial; D, velocidade do fluxo venoso pulmonar no início da diástole ventricular; E, pico de velocidade do fluxo transmitral durante a condução atrial; E', movimento da parede cardíaca durante a condução atrial; ϵ_A ,

strain de contração; ECG: eletrocardiograma; ϵ_E , *strain* de condução; ϵ_S , *strain* de reservatório; PVa, velocidade do fluxo venoso pulmonar no final da diástole ventricular; S', movimento da parede cardíaca durante a sístole ventricular; S1 e S2, velocidade máxima sistólica do fluxo venoso pulmonar; SR_A, *strain rate* de contração; SR_E, *strain rate* de condução; SR_S, *strain rate* de reservatório; v, pico de pressão atrial no início da diástole ventricular.

Fonte: Hoit (2014).

Para análise da deformação atrial, são obtidas imagens ecocardiográficas em corte apical quatro câmaras com registro eletrocardiográfico estável (FIGURA 23). O *frame*, com taxa entre 60 e 80/s, deve ser selecionado no início da onda Q (final da diástole) com borda endocárdica visivelmente definida (BADANO et al., 2018; VIEIRA FILHO et al., 2014). O operador traça três pontos: dois no anel mitral e um no teto do AE. Automaticamente, o *software* divide a borda endocárdica em seis segmentos e gera as curvas de St e SR ao longo do ciclo cardíaco (CAIVANO et al., 2016). Entretanto, essa subdivisão da parede atrial não é recomendada, uma vez que o miocárdio é pequeno e as imagens ecocardiográficas geralmente não alcançam resolução confiável. Dessa maneira, a interpretação deve ser baseada somente nos valores globais de St e SR (BADANO et al., 2018).

Figura 23 – Análise por *speckle tracking* bidimensional em corte apical quatro câmaras, otimizado para visualização do átrio esquerdo de um cão. As setas verdes representam os vetores de cada ponto e sua direção de deslocamento.



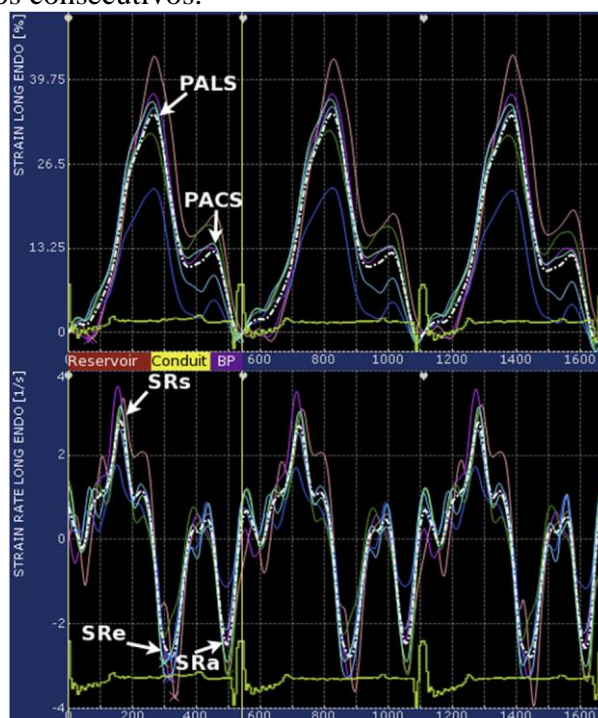
Legenda: LA: átrio esquerdo; LV: ventrículo esquerdo; RA: átrio direito; RV: ventrículo direito.

Fonte: Caivano et al. (2016).

A curva de St longitudinal permite a mensuração de um primeiro pico positivo, que é o St durante a fase de reservatório (St_R ou PALS), correspondente ao período entre a onda R e a onda T no ECG. O segundo pico positivo é o St durante a fase de contração (St_C ou PACS), correspondente à onda P do ECG. O St durante a fase de condução (St_{Cd} ou CALS) é a diferença entre o St reservatório e o de contração (CAIVANO et al., 2018; RAUSCH et al., 2018). Na curva de SR longitudinal, o valor positivo máximo durante a sístole ventricular é o

SR durante a fase de reservatório (SR_R ou SRs). O primeiro pico negativo, no início da diástole ventricular, é o SR durante a fase de condução (SR_{Cd} ou SRe). O segundo pico negativo é o SR durante a fase de contração (SR_{Ct} ou SRa), também correspondente à onda P do ECG (CAIVANO et al., 2018; RAUSCH et al., 2018) (FIGURA 24).

Figura 24 – Curvas longitudinais de *strain* (superior) e *strain rate* (inferior) regionais (linhas coloridas) e globais (linha pontilhada) do átrio esquerdo de um cão durante três ciclos cardíacos consecutivos.



Legenda: BP, bomba de reforço; PALS: pico médio de strain longitudinal atrial; PACS: pico médio do strain de contração atrial; SRs : *strain rate* atrial de reservatório; SRe : *strain rate* atrial de condução; SRa : *strain rate* atrial de contração.

Fonte: Caivano et al. (2018).

A deformação do AE não é influenciada apenas pela rigidez de sua parede. A complacência e contração do VE, que promove a descida da base, também contribuem (VIEIRA FILHO et al., 2014). Os átrios e ventrículos se movem em direções opostas durante o ciclo cardíaco, de modo que o miocárdio atrial se alonga (St positivo) e o ventricular encurta durante a sístole do VE (St negativo) (RIMBAS; DULGHERU; VINEREANU, 2015). Portanto, os valores de St e SR atrial refletem inversamente o padrão de deformação ventricular (VIEIRA FILHO et al., 2014). O relaxamento prolongado do VE leva à diminuição do St_{Cd} e SR_{Cd} , enquanto St_R , SR_R , St_{Ct} e SR_{Ct} aumentam. À medida que a disfunção diastólica progride, ocorre o contrário, St_{Cd} e SR_{Cd} aumentam e St_R , SR_R , St_{Ct} e SR_{Ct} diminuem significativamente (RIMBAS; DULGHERU; VINEREANU, 2015).

O *strain* de reservatório é o parâmetro de deformação atrial que possui mais evidências de utilidade prognóstica (VIEIRA FILHO et al., 2014). Ele representa uma abordagem alternativa para avaliação da pressão de enchimento ventricular. Em seres humanos, valores inferiores a 15,1% indicam aumento da mesma (CAMELI et al., 2016). Além disso, correlaciona-se com a gravidade da disfunção diastólica e pode refletir alterações mais precoces que o VAE (MORRIS et al., 2018). O valor de St_R em função diastólica normal é aproximadamente 45%. Nos padrões de enchimento anormal é em torno de 33%; no pseudonormal, 24%; e no restritivo, 10% (HAJI et al., 2019). O mecanismo para relação inversa pode ser explicado pelo princípio de que a pressão de enchimento do VE é a pós-carga do AE. Sendo assim, se essa pressão está elevada, a função de reservatório atrial (St_R) está reduzida. Isso sugere que o AE pode estar sofrendo algum estresse mecânico (MIYOSHI et al., 2013). A câmara é diretamente exposta ao aumento da pressão diastólica do VE e, devido à parede ser fina, tende a reduzir suas propriedades elásticas e dilatar (CAMELI et al., 2012).

Além do AE, o aumento da pressão de enchimento ventricular também é transmitido às veias pulmonares. Quando a pressão venosa pulmonar excede aproximadamente 25 mmHg, o edema cardiogênico se desenvolve. A disfunção diastólica, portanto, pode culminar em ICC e é a principal alteração funcional em gatos com CMH (CÔTÉ et al., 2011). A gravidade da ICC correlaciona-se negativamente com os valores de St_R e St_{Ct} em seres humanos (AHMED et al., 2015). Foi observado ainda que o St do AE está reduzido na CMH (IIO et al., 2015; TIGEN et al., 2014). Dessa maneira, o St atrial pode ser utilizado para avaliar a função diastólica em pacientes com CMH, a fim de aumentar a precisão diagnóstica de ICC (CAMELI et al. 2016).

O enchimento ventricular prejudicado associado à dilatação do AE pode ainda resultar em disfunção da AAE e estase sanguínea, predispondo à formação de trombos em gatos (HOGAN, 2017). A associação entre estase sanguínea e deformação atrial comprometida foi demonstrada na espécie humana (PROVIDÊNCIA et al., 2013). Além disso, a redução de St_R foi considerada um preditor de risco elevado para tromboembolismo (SAHA et al., 2011). Valores inferiores a 19% puderam prever a disfunção do AE e formação de trombos de maneira confiável e não invasiva (SASAKI, et al., 2014).

Na medicina veterinária, St e SR do AE tem sido avaliados em cães saudáveis e com degeneração mixomatosa da valva mitral (DMVM) com adequada repetibilidade. *Strain* de reservatório e contração são menores nos sintomáticos comparados aos com DMVM assintomática, sendo os melhores preditores de ICC (CAIVANO et al., 2018; NAKAMURA et al., 2017). O *strain* de reservatório ainda é capaz de distinguir os animais entre todas as classes da valvopatia (TOALDO et al., 2017). Já o St_{Ct} é significativamente menor nos cães

assintomáticos (B2) em relação aos predispostos (A) à DMVM (COELHO et al., 2020). *Strain* de reservatório e contração podem ser utilizados como indicadores prognósticos na doença, sendo valor de Str menor que 30% preditor de morte cardíaca na espécie canina (TOALDO et al., 2018).

Em gatos, foi encontrado somente um trabalho que utilizou a STE-2D para avaliar a função atrial (KIATSILAPANAN; SURACHETPONG, 2020). Entretanto, apenas o Str foi determinado de forma global e regional (6 segmentos). Os autores observaram maiores valores dessa variável nos felinos saudáveis (27,2%) comparado aos com CMH com (14,5%) e sem (8,4%) aumento de AE. Houve ainda redução do Str nos segmentos septais basal e medial e laterais basal e medial nos cardiopatas. O *strain* de reservatório correlacionou-se com a espessura da parede do VE, tamanho da câmara e parâmetros de função diastólica, sugerindo associação entre as alterações estruturais e funcionais do VE e a função de reservatório do AE. Além disso, também se correlacionou fortemente com FS_t , FAC_t e FE_t e apresentou alta repetibilidade e reprodutibilidade. No entanto, as funções de condução e contração atriais por meio da STE-2D ainda precisam ser avaliadas na espécie felina.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar da STE-2D ainda não ser utilizada na rotina cardiológica veterinária, ela tem demonstrado ser um método factível e preciso para avaliar a função do AE em várias condições, principalmente na disfunção diastólica, ICC e TEA. A disfunção atrial precede as alterações estruturais, podendo identificar precocemente essas condições clínicas, que são as principais consequências das cardiomiopatias felinas. Contudo, ainda são necessários muitos estudos para validar a utilização da deformação atrial em gatos.

REFERÊNCIAS

- ABBOTT, J. A.; MACLEAN, H. N. Two-dimensional echocardiographic assessment of the feline left atrium. **Journal of Veterinary Internal Medicine**, 20, p. 111-119, 2006.
- AHMED, M. K. et al. Assessment of left atrial deformation properties by speckle tracking in patients with systolic heart failure. **The Egyptian Heart Journal**, v. 67, p. 199-208, 2015.
- ANCONA, R. et al. Left atrium by echocardiography in clinical practice: From conventional methods to new echocardiographic techniques. **The Scientific World Journal**, p. 1-14, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PRODUTOS PARA ANIMAIS DE ESTIMAÇÃO – ABINPET, 2019. **Mercado Pet Brasil 2019**. Disponível em: <<http://abinpet.org.br/mercado/>>. Acesso em: 15 jul. 2020.
- BADANO, L. P. et al. Standardization of left atrial, right ventricular, and right atrial deformation imaging using twodimensional speckle tracking echocardiography: a consensus document of the EACVI/ASE/Industry Task Force to standardize deformation imaging. **European Heart Journal - Cardiovascular Imaging**, v. 19, p. 591-600, 2018.
- BORGEAT, K. et al. Arterial Thromboembolism in 250 Cats in General Practice: 2004–2012. **Journal of Veterinary Internal Medicine**, v. 28, p. 102-108, 2014.
- CAIVANO, D. et al. Left atrial deformation and phasic function determined by 2-dimensional speckle tracking echocardiography in healthy dogs. **Journal of Veterinary Cardiology**, p.1-6, 2016.
- CAIVANO, D. et al. Left atrial deformation and phasic function determined by two-dimensional speckle-tracking echocardiography in dogs with myxomatous mitral valve disease. **Journal of Veterinary Cardiology**, p. 1-13, 2018.
- CAMELI, M. et al. Left atrial strain: a new parameter for assessment of left ventricular filling pressure. **Heart Failure Reviews**, v. 21, p. 65-76, 2016.
- CAMELI, M. et al. Novel echocardiographic techniques to assess left atrial size, anatomy and function. **Cardiovascular Ultrasound**, v. 10, n. 4, p. 1-13, 2012.
- CHAN, I-P. et al. The correlation of left atrial function and circulating n-terminal pro-brain natriuretic peptide levels in cats with heart diseases. **Taiwan Veterinary Journal**, v. 45, n. 4, p. 1–11, 2019.
- CHETBOUL, V. et al. Clinical, epidemiological and echocardiographic features and prognostic factors in cats with restrictive cardiomyopathy: A retrospective study of 92 cases (2001-2015). **Journal of Veterinary Internal Medicine**, v. 33, p. 1222-1231, 2019.
- CHETBOUL, V.; BUSSADORI, C.; MADRON, É. **Clinical echocardiography of the dog and cat**. St. Louis: Elsevier, 2016.
- COELHO, M. R. et al. Evaluation of left atrial function in asymptomatic dogs with chronic myxomatous mitral valve disease: two dimensional feature-tracking echocardiography and

Simpson's monoplanar methods. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 40, n. 3, p. 188-196, 2020.

COLQUITT, J. L.; PIGNATELLI, R. H. Strain imaging: the emergence of speckle tracking echocardiography into clinical pediatric cardiology. **Congenital Heart Disease**, v. 11, p. 199-208, 2016.

CÔTÉ, E. et al. **Feline Cardiology**. Iowa: John Wiley & Sons, 2011.

DEL CASTILLO, J. M.; HERSZKOWICZ, N.; FERREIRA, C. Speckle Tracking - A Contratilidade Miocárdica em Sintonia Fina. **Revista Brasileira de Ecocardiografia e Imagem Cardiovascular**, v. 23, n. 3, p. 46-54, 2010.

DERMLIM, A. et al. The repeatability and left atrial strain analysis obtained via speckle tracking echocardiography in healthy dogs. **Journal of Veterinary Cardiology**, v. 23, p. 69-80, 2019.

DICKSON, D. et al. Two-dimensional echocardiographic estimates of left atrial function in healthy dogs and dogs with myxomatous mitral valve disease. **Journal of Veterinary Cardiology**, p. 1-11, 2017.

DISATIAN, S.; BRIGHT, J. M.; BOON, J. Association of age and heart rate with pulsed-wave Doppler measurements in healthy, nonsedated cats. **Journal of Veterinary Internal Medicine**, v. 22, p. 351-356, 2008.

DROURR, L. et al. Measurement of M-mode echocardiographic parameters in healthy adult Maine Coon cats. **Journal American of Veterinary Medical Association**, v. 226, p. 734-737, 2005.

DULER, L.; SCOLLAN, K. F.; LEBLANC, N. L. Left atrial size and volume in cats with primary cardiomyopathy with and without congestive heart failure. **Journal of Veterinary Cardiology**, v. 24, p. 36-47, 2019.

FERASIN, L. et al. Feline idiopathic cardiomyopathy: a retrospective study of 106 cats (1994–2001). **Journal of Feline Medicine and Surgery** v. 5, p. 151-159, 2003.

FOX, P. R. et al. International collaborative study to assess cardiovascular risk and evaluate long-term health in cats with preclinical hypertrophic cardiomyopathy and apparently healthy cats: The REVEAL Study. **Journal of Veterinary Internal Medicine**, v. 32, p. 930-943, 2018.

FOX, P. R. et al. Long-term incidence and risk of noncardiovascular and all-cause mortality in apparently healthy cats and cats with preclinical hypertrophic cardiomyopathy. **Journal Veterinary Internal Medicine**, v. 33, p. 2572-2586, 2019.

FUENTES, V. L. Arterial thromboembolism: Risks, realities and a rational first-line approach. **Journal of Feline Medicine and Surgery**, v. 14, p. 459-470, 2012.

FUENTES, V. L. Diastolic function - is this the key to successful management of many feline cardiomyopathies?. **Journal of Feline Medicine and Surgery**, v. 5, p. 51-56, 2003.

FUENTES, V. L. et al. ACVIM consensus statement guidelines for the classification, diagnosis, and management of cardiomyopathies in cats. **Journal Veterinary Internal Medicine**, p. 1-16, 2020.

FUENTES, V. L.; WILKIE, L. J. Asymptomatic hypertrophic cardiomyopathy: Diagnosis and therapy. **Veterinary Clinics of Small Animal**, v. 47, p. 1041-1054, 2017.

GROWTH FROM KNOWLEDGE – GfK, 2016. **Man's best friend: global pet ownership and feeding trends**. Disponível em: < <https://www.gfk.com/insights/mans-best-friend-global-pet-ownership-and-feeding-trends>>. Acesso em: 15 jul. 2020.

HAGGSTROM, J. et al. Effect of body weight on echocardiographic measurements in 19,866 pure-bred cats with or without heart disease. **Journal of Veterinary Internal Medicine**, v. 30, p. 1601-1611, 2016.

HAJI, K. et al. Left atrial strain performance and its application in clinical practice. **Cardiovascular Imaging**, p. 1-9, 2019.

HANSSON, K. et al. Left atrial to aortic root indices using two-dimensional and m-mode echocardiography in cavalier king charles spaniels with and without left atrial enlargement. **Veterinary Radiology & Ultrasound**, v. 43, n. 6, p. 568-575, 2002.

HESSE, B. et al. A rapid method to quantify left atrial contractile function: Doppler tissue imaging of the mitral annulus during atrial systole. **European Journal of Echocardiography**, v. 5, p. 86–92, 2004.

HOGAN, D. F. Feline Cardiogenic Arterial Thromboembolism: Prevention and Therapy. **Veterinary Clinics of Small Animal**, p. 1-18, 2017.

HOIT, B. D. Left atrial size and function: role in prognosis. **Journal of the American College of Cardiology**, v. 63, n. 6, p. 493-505, 2014.

HOLLMER, M. et al. Comparison of four echocardiographic methods to determine left atrial size in dogs. **Journal of Veterinary Cardiology**, p. 1-9, 2016.

HOLLMER, M. et al. Left atrial volume and phasic function in clinically healthy dogs of 12 different breeds. **The Veterinary Journal**, v. 197, p. 639-645, 2013.

IIO, C. et al. Characteristics of left atrial deformation parameters and their prognostic impact in patients with pathological left ventricular hypertrophy: Analysis by speckle tracking echocardiography. **Echocardiography**, v. 32, p. 1821- 1830, 2015.

INSTITUTO PET BRASIL – IPB, 2019. **Censo Pet: 139,3 milhões de animais de estimação no Brasil**. Disponível em: < <http://institutopetbrasil.com/imprensa/censo-pet-1393-milhoes-de-animais-de-estimacao-no-brasil/>>. Acesso em: 15 jul. 2020.

IWAMA, M. et al. Left atrial appendage emptying fraction assessed by a feature-tracking echocardiographic method is a determinant of thrombus in patients with nonvalvular atrial fibrillation. **Journal of Cardiology**, v. 59, p. 329-336, 2012.

JOHNS, S. M.; NELSON, O. L.; GAY, J. M. Left atrial function in cats with left-sided cardiac disease and pleural effusion or pulmonary edema. **Journal of Veterinary Internal Medicine**, v. 26, p. 1134-1139, 2012.

KHOO, C. W. et al. Assessment of left atrial volume: a focus on echocardiographic methods and clinical implications. **Clinical Research of Cardiology**, v. 100, p. 97-105, 2011.

KIATSILAPANAN, A.; SURACHETPONG, S. D. Assessment of left atrial function in feline hypertrophic cardiomyopathy by using two-dimensional speckle tracking echocardiography. **BMC Veterinary Research**, v. 16, n. 344, p. 1-10, 2020.

KIENLE, R. D.; THOMAS, W. P. Ecocardiografia. In: NYLAND, T. G.; MATOON, J. S. **Ultra-som Diagnóstico em Pequenos Animais**. 2. ed. São Paulo: Roca, 2004, p. 354-424.

KOFFAS, H. et al. Pulsed tissue Doppler imaging in normal cats and cats with hypertrophic cardiomyopathy. **Journal of Veterinary Internal Medicine**, v. 20, p. 65-77, 2006.

LANG, R. M. et al. Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: An update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. **Journal of the American Society of Echocardiography**, v. 28, p. 1-39, 2015.

LINNEY, C. J. et al. Left atrial size, atrial function and left ventricular diastolic function in cats with hypertrophic cardiomyopathy. **Journal of Small Animal Practice**, v. 55, p. 198-206, 2014.

LOCATELLI, C. et al. Assessment of right ventricular function by feature-tracking echocardiography in conscious healthy dogs. **Research in Veterinary Science**, v. 105, p. 103-110, 2016.

MACDONALD, K. A. et al. Tissue Doppler Imaging in Maine Coon Cats with a Mutation of Myosin Binding Protein C with or without Hypertrophy. **Journal of Veterinary Internal Medicine**, v. 21, p. 232-237, 2007.

MEHRZAD, R.; RAJAB, M.; SPODICK, D. H. The three integrated phases of left atrial macrophysiology and their interactions. **Internal Journal of Molecular Science**, v. 15, p. 15146-15160, 2014.

MIYOSHI, H. et al. Early predictors of alterations in left atrial structure and function related to left ventricular dysfunction in asymptomatic patients with hypertension. **Journal of the American Society of Hypertension**, v. 7, n. 3, p. 206-215, 2013.

MOR-AVI, V. et al. Current and evolving echocardiographic techniques for the quantitative evaluation of cardiac mechanics: ASE/EAE consensus statement on methodology and indications endorsed by the Japanese Society of Echocardiography. **European Journal of Echocardiography**, v. 12, p. 167-205, 2011.

MORRIS, D. A. et al. Potential usefulness and clinical relevance of adding left atrial strain to left atrial volume index in the detection of left ventricular diastolic dysfunction. **Cardiovascular imaging**, v. 11, n. 10, p. 1405-1415, 2018.

Nagueh, S. F. et al. Recommendations for the evaluation of left ventricular diastolic function by echocardiography: an update from the American Society of echocardiography and the European Association of cardiovascular imaging. **Journal of the American Society of Echocardiography**, v. 29, p. 277-314, 2016.

NAKAMURA, K. et al. Left atrial strain at different stages of myxomatous mitral valve disease in dogs. **Journal of Veterinary Internal Medicine**, v. 31, p. 316-325, 2017.

NESTAAS, E. et al. Longitudinal strain and strain rate by tissue Doppler are more sensitive indices than fractional shortening for assessing the reduced myocardial function in asphyxiated neonates. **Cardiology in the Young**, v. 21, p. 1-7, 2011.

OSMANAGIC, A. et al. Left atrial sphericity index predicts early recurrence of atrial fibrillation after direct-current cardioversion: An echocardiographic study. **Clinical Cardiology**, v. 39, n. 7, p. 406-412, 2016.

PAYNE, J. R. et al. Prognostic Indicators in Cats with Hypertrophic Cardiomyopathy. **Journal of Veterinary Internal Medicine**, v. 27, p. 1427-1436, 2013.

PAYNE, J. R. et al. Risk factors associated with sudden death vs. congestive heart failure or arterial thromboembolism in cats with hypertrophic cardiomyopathy. **Journal of Veterinary Cardiology**, v. 17, p. 318-328, 2015.

PROVIDÊNCIA, R. et al. The role of echocardiography in thromboembolic risk assessment of patients with nonvalvular atrial fibrillation. **Journal of the American Society of Echocardiography**, v. 26, p. 801-12, 2013.

RAUCH, J. et al. Comparative assessment of left atrial volume in healthy cats by two-dimensional and three-dimensional echocardiography. **BMC Veterinary Research**, v. 16, n. 263, p. 1-14, 2020.

RAUSCH, K. et al. Reproducibility of global left atrial strain and strain rate between novice and expert using multi-vendor analysis software. **The International Journal of Cardiovascular Imaging**, 2018.

RIMBAS, R. C.; DULGHERU, R. E.; VINEREANU, D. Methodological gaps in left atrial function assessment by 2D speckle tracking echocardiography. **Arquivos Brasileiros de Cardiologia**, v. 105, n. 6, p. 625-636, 2015.

RISHNIW, M.; ERB, H. N. Evaluation of Four 2-Dimensional Echocardiographic Methods of Assessing Left Atrial Size in Dogs. **Journal of Veterinary Internal Medicine**, v.14, p. 429-435, 2000.

ROHRBAUGH, M. N. et al. Detection of congestive heart failure by Doppler echocardiography in cats with hypertrophic cardiomyopathy. **Journal of Veterinary Internal Medicine**, p. 1-11, 2020.

RUSSO, C. et al. Comparison of echocardiographic single- vs. biplane method in the assessment of left atrial volume and validation by real time three-dimensional

echocardiography. **Journal of the American Society of Echocardiography**, v. 23, n. 9, p. 954-960, 2010.

SAHA, S. K. et al. Global left atrial strain correlates with CHADS2 risk score in patients with atrial fibrillation. **Journal of the American Society of Echocardiography**, v. 24, p. 506-512, 2011.

SANTILLI, R.; BURRADORI, C. Doppler echocardiographic study of left ventricular diastole in non-anaesthetized healthy cats. **The Veterinary Journal**, v. 156, p. 203-215, 1998.

SASAKI, S. et al. Left atrial strain as evaluated by two-dimensional speckle tracking predicts left atrial appendage dysfunction in patients with acute ischemic stroke. **BBA Clinical**, p. 40-47, 2014.

SCHOBBER, K. E.; CHETBOUL, V. Echocardiographic evaluation of left ventricular diastolic function in cats: hemodynamic determinants and pattern recognition. **Journal of Veterinary Cardiology**, n. 17, p. 102-133, 2015.

SCHOBBER, K. E. et al. Diagnostic accuracy of electrocardiography and thoracic radiography in the assessment of left atrial size in cats: Comparison with transthoracic 2-dimensional echocardiography. **Journal of Veterinary Internal Medicine**, v. 21, p. 709–718, 2007.

SCHOBBER, K. E.; FUENTES, V. L.; BONAGURA, J. D. Comparison between invasive hemodynamic measurements and noninvasive assessment of left ventricular diastolic function by use of Doppler echocardiography in healthy anesthetized cats. **American Journal of Veterinary Research**, v. 64, p. 93-103, 2003.

SCHOBBER, K. E.; MAERZ, I. Assessment of left atrial appendage flow velocity and its relation to spontaneous echocardiographic contrast in 89 cats with myocardial disease. **Journal of Veterinary Internal Medicine**, v. 20, p.120-130, 2006.

SCHOBBER, K. E.; MAERZ, I. Doppler echocardiographic assessment of left atrial appendage flow velocities in normal cats. **Journal of Veterinary Cardiology**, v. 7, p. 15-25, 2005.

SCHOBBER, K. et al. Pulmonary venous flow characteristics as assessed by transthoracic pulsed Doppler echocardiography in normal dogs. **Veterinary Radiology & Ultrasound**, v. 39, p. 33-41, 1998.

SIMPSON, K. E. et al. Assessment of the repeatability of feline echocardiography using conventional echocardiography and spectral pulse-wave Doppler tissue imaging techniques. **Veterinary Radiology & Ultrasound**, v. 48, p. 58-68, 2007.

SMITH, S.; DUKES-MCEWAN, J. Clinical signs and left atrial size in cats with cardiovascular disease in general practice. **Journal of Small Animal Practice**, v. 53, p. 27-33, 2012.

STATISTA, 2018. **Global dog and cat pet population 2018**. Disponível em: <<https://www.statista.com/statistics/1044386/dog-and-cat-pet-population-worldwide/>>. Acesso em: 15 jul. 2020.

TIGEN, K. et al. Left ventricular and atrial functions in hypertrophic cardiomyopathy patients with very high LVOT gradient: A speckle tracking echocardiographic study.

Echocardiography, v. 31, p. 833-841, 2014.

TO, A. C. Y. et al. Clinical Utility of Multimodality LA Imaging: Assessment of Size, Function, and Structure. **Cardiovascular imaging**, v. 4, n. 7, p. 788-798, 2011.

TOALDO, M. B. et al. Assessment of left atrial deformation and function by 2-dimensional speckle tracking echocardiography in healthy dogs and dogs with myxomatous mitral valve disease. **Journal of Veterinary Internal Medicine**, v. 31, p. 641-649, 2017.

TOALDO, M. B. et al. Prognostic value of echocardiographic indices of left atrial morphology and function in dogs with myxomatous mitral valve disease. **Journal of Veterinary Internal Medicine**, v. 32, p. 914–921, 2018.

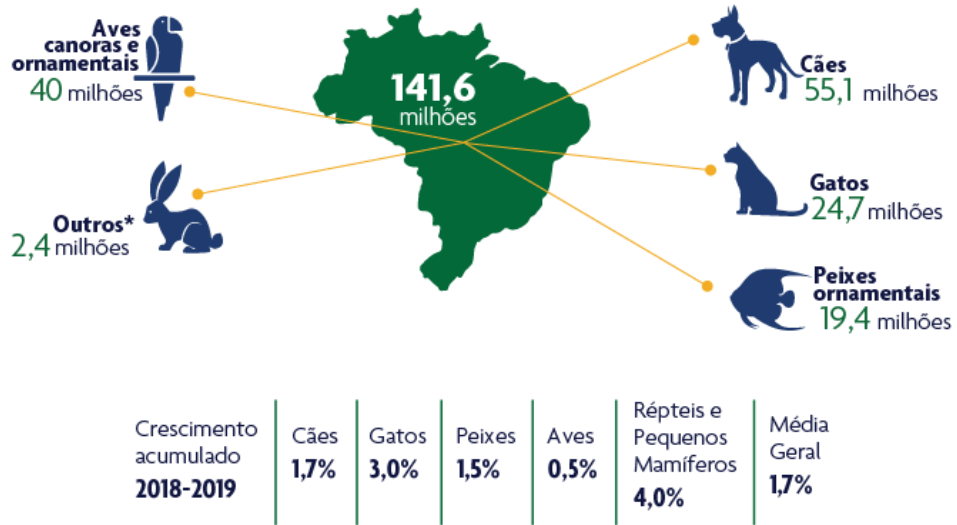
UJINO, K. et al. Two-dimensional echocardiographic methods for assessment of left atrial volume. **American Journal of Cardiology**, v. 98, p. 1185-1188, 2006.

VIEIRA FILHO, N. G. et al. Two-dimensional echocardiography in the evaluation of left atrial volume: A study validated by three- dimensional echocardiography in 143 individuals.

Echocardiography, v. 31, p. 265-272, 2014.

WESSELOWSKI, S. et al. Discrepancies in Identification of Left Atrial Enlargement Using Left Atrial Volume versus Left Atrial-to-Aortic Root Ratio in Dogs. **Journal of Veterinary Internal Medicine**, v. 28, p. 1527-1533, 2014.

ANEXO A - Quantidade de Pets no Brasil e no mundo.

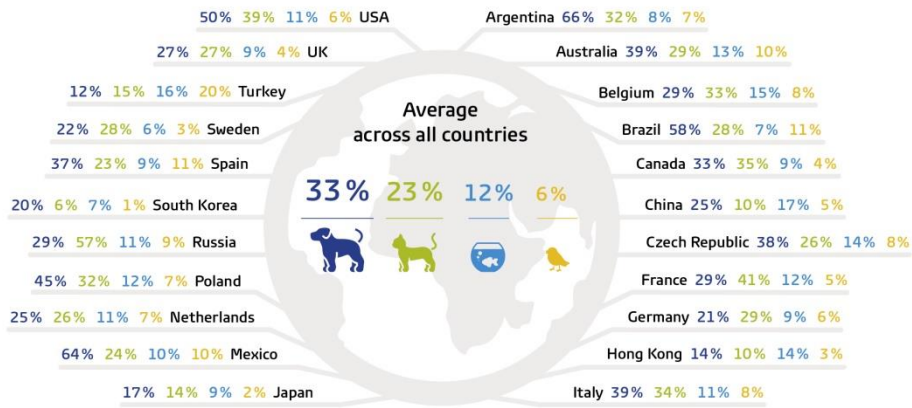


Fonte: ABINPET (2019).



PET OWNERSHIP INTERNATIONALLY

Percentage of people living with different pets in 22 countries



Source: GfK survey among 27,000+ internet users (ages 15+) in 22 countries - multiple answers possible - rounded

© GfK 2016

Fonte: GfK (2016)

ANEXO B – Atestado de aprovação CEUA e Registro PRP

UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA
COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS
Cx.P.3037 - Lavras – MG – 37200-000 – (35) 3829-5182 cba@nintec.ufla.br

ATESTADO DE APROVAÇÃO PROVISÓRIO

(o certificado definitivo será concedido após o cumprimento de todos os critérios exigidos pela Orientação Técnica nº 5, de 27 de abril de 2015, do CONCEA/MCTI)

Atestamos que a proposta intitulada "Avaliação por meio da ecocardiografia *feature tracking* bidimensional da função miocárdica em felinos domésticos", protocolo nº 088/18, sob a responsabilidade de Ruthnéa Aparecida Lázaro Muzzi, Mariana de Resende Coelho, Leonardo Augusto Lopes Muzzi, Antônio Carlos Cunha Lacreta Júnior, Claudine Botelho de Abreu e Luiz Eduardo Duarte de Oliveira, que envolve a produção, manutenção e/ou utilização de animais pertencentes ao filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto homem), para fins de ensino e/ou pesquisa científica, encontra-se de acordo com os preceitos da Lei nº 11.794, de 8 de outubro de 2008, do Decreto nº 6.899, de 15 de julho de 2009, e com as normas edificadas pelo Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CONCEA), do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), e foi aprovada pela COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS (CEUA) da Pró-Reitoria de Pesquisa/UFLA, em reunião de 28/11/2018, podendo ser iniciada a realização da sua parte experimental.

Vigência da autorização: de 01/12/2018 a 31/07/2021
Finalidade: () Ensino (x) Pesquisa Científica
Espécie/linhagem/raça: Gato / diversas
Número de animais aprovados: 140
Peso/Idade: variável / variável
Sexo: macho e fêmea
Origem dos animais: aguardando documentação

Lavras, 28 de novembro de 2018.



Prof. Juliano Vogas Peixoto
Presidente da Comissão de Ética no Uso de Animais CEUA

Universidade Federal de Lavras
Pró-Reitoria de Pesquisa /Comissões Permanentes
Campus Universitário -
Caixa Postal 3037 / CEP 37200 000 – Lavras, MG - Brasil
Tel.: +55 (35) 3829 5182
cba@nintec.ufla.br - www.prp.ufla.br



UFLA - UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS
SIGAA - Sistema Integrado de Gestão de Atividades
Acadêmicas



PROJETO DE PESQUISA

Dados do Projeto de Pesquisa

Código: PVDMV382-2018
 Título do Projeto: Avaliação por meio da ecocardiografia feature tracking bidimensional da função miocárdica em felinos domésticos
 Categoria do Projeto: PESQUISA
 Situação do Projeto: REGISTRADO
 Unidade: DEPARTAMENTO DE MEDICINA VETERINARIA
 Centro: UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS - REITORIA
 Palavra-Chave: Deformação miocárdica, felinos, função atrial, ventrículo direito
 E-mail: ralmuzzi@ufla.br
 Período do Projeto: 01/12/2018 a 10/08/2021

Área de Conhecimento, Grupo e Linha de Pesquisa

Area de Conhecimento: Clínica Veterinária
 Grupo de Pesquisa: PATOLOGIA CLINICA CIRURGICA
 Linha de Pesquisa: Clínica, cirurgia e patologia veterinária

Histórico do Projeto

Data	Situação	Usuário
12/02/2019	CADASTRO EM ANDAMENTO	RUTHNEA APARECIDA LAZARO MUZZI
12/02/2019	AGUARDANDO PARECER DEPARTAMENTO	RUTHNEA APARECIDA LAZARO MUZZI
26/02/2019	APROVADO - CHEFE DEPARTAMENTO	ANTONIO CARLOS CUNHA LACRETA JUNIOR
Observação: aprovado		
26/02/2019	REGISTRADO	MARCIA LIDIA GOMIDE ZANETTI BONETTI

Observação: Aprovado

SEGUNDA PARTE – ARTIGO*

*Elaborado de acordo com a NBR 6022 (ABNT, 2018)

FUNÇÃO ATRIAL ESQUERDA PELA ECOCARDIOGRAFIA *SPECKLE TRACKING* BIDIMENSIONAL EM GATOS SAUDÁVEIS E GATOS COM CARDIOMIOPATIA

Claudine Botelho de Abreu, Ruthnéa Aparecida Lázaro Muzzi, Mariana de Resende Coelho, Luiz Eduardo Duarte de Oliveira, Henrique Souza Andrade, Lorena Aparecida Alves, Lorena Lorraine Alves Furtado, Maira Souza Oliveira Barreto, Arine Pellegrino, Guilherme Gonçalves Pereira, Leonardo Augusto Lopes Muzzi,

RESUMO

A introdução da ecocardiografia *speckle tracking* bidimensional (STE-2D) possibilitou o desenvolvimento de novos parâmetros de função atrial, o *strain* (deformação) e *strain rate* (velocidade de deformação). Esses índices têm se mostrado superiores às variáveis ecocardiográficas convencionais lineares e volumétricas. Em gatos, entretanto, há pouca informação sobre a utilização dessa técnica na avaliação da função atrial esquerda. Dessa maneira, o objetivo do presente estudo foi determinar intervalos de referência para *strain* e *strain rate* do átrio esquerdo (AE) nas fases de reservatório (St_R , SR_R), condução (St_{Cd} , SR_{Cd}) e contração (St_{Ct} , SR_{Ct}) em felinos saudáveis e compará-los a um grupo com cardiomiopatias. Foram avaliados 76 gatos saudáveis e 17 com cardiomiopatias. Em 35 gatos saudáveis foi possível obter a deformação nas três fases ($St_R=36,5\%$; $St_{Cd}=25,5\%$; $St_{Ct}=10,9\%$; $SR_R=2,6/s$; $SR_{Cd}= -2,9/s$; $SR_{Ct}= -2/s$). Em todos os felinos, foi possível avaliar o *strain* e *strain rate* de reservatório, que se mostraram reduzidos nos cardiopatas ($St_R=26,2\%$; $SR_R=2,3/s$; $p=0,006$; $p=0,004$). Ambos os parâmetros apresentaram boa capacidade de distinguir os dois grupos, com valores de corte de 31,72% (sensibilidade 70,6% e especificidade 69,7%) para o St_R e de 2,48/s (sensibilidade 70,6% e especificidade 67,1%) para o SR_R . Houve correlação positiva da deformação com fração de ejeção e as variáveis hemodinâmicas E, E/A, E', A', E'/A'. Em conclusão, a STE-2D, principalmente a fase de reservatório, demonstrou ser factível e pode ser uma ferramenta útil para avaliar a função do AE na espécie felina.

Palavras-chave: felinos, átrio esquerdo, *strain*, *strain rate*

1 INTRODUÇÃO

As cardiomiopatias estão entre as dez principais causas de morte em gatos (FOX et al., 2019). O fenótipo mais comum é a cardiomiopatia hipertrófica (CMH), com prevalência de 15% e, nos idosos, pode chegar até 29% (FUENTES et al., 2020; PAYNE et al., 2015). O risco de morte associado à doença é de 22,8% em cinco anos, independentemente da idade ao diagnóstico. O tempo médio de sobrevivência é significativamente mais curto nos animais que desenvolvem insuficiência cardíaca congestiva (ICC) ou tromboembolismo arterial (TEA) em comparação aos assintomáticos (FOX et al., 2018). O tamanho e função do átrio esquerdo (AE) e a presença de eco contraste espontâneo ou trombo são importantes marcadores prognósticos

para o subestadiamento da CMH assintomática em animais de baixo (B1) ou alto risco (B2) de desenvolver ICC ou TEA (FUENTES et al., 2020).

A ecocardiografia é a técnica mais adequada para avaliar o tamanho e função atrial (TO et al., 2011; WESSELOWSKI et al., 2014). Em gatos, a avaliação do AE é rotineiramente concentrada nas mudanças anatômicas da câmara, ou seja, considera-se alterado quando há dilatação. Entretanto, as alterações anatômicas são o resultado tardio de alterações funcionais (LONGOBARDO et al., 2017; LONGOBARDO, 2020). No início da insuficiência cardíaca, a pressão de enchimento do ventrículo esquerdo (VE) elevada causa remodelamento sutil do AE, que é indetectável pela quantificação anatômica do tamanho. Essa alteração é caracterizada pela deposição de fibras de colágeno no interstício, levando ao enrijecimento atrial e redução na sua função de condução (BOYDEN et al., 1984). Somente quando a rigidez supera a função de reservatório é que ele aumenta de tamanho. Mudanças no volume e área do AE são consequências tardias de fibrose e disfunção da câmara. Assim, sua avaliação deve incluir parâmetros anatômicos e funcionais (LONGOBARDO et al., 2017; LONGOBARDO, 2020).

O aprimoramento das tecnologias ecocardiográficas permitiu o enfoque na avaliação da função cardíaca. A ecocardiografia *speckle tracking* bidimensional (STE-2D) é uma técnica moderna que utiliza o rastreamento de pontos no miocárdio, quantificando a deformação (AHMED et al., 2015; IWAMA et al., 2012). Esta é definida como a mudança no comprimento de um segmento miocárdico, sendo representada pelas variáveis *strain* (taxa de deformação) e *strain rate* (velocidade de deformação) (NESTAAS et al., 2011). Em pacientes humanos, o *strain* atrial correlaciona-se com a gravidade da disfunção diastólica e pode refletir alterações mais precoces que o volume (MORRIS et al., 2018). Além disso, mostrou ser preditor de risco para disfunção do AE, ICC e tromboembolismo de maneira confiável e não invasiva (AHMED et al., 2015; SAHA et al., 2011; SASAKI, et al., 2014). Em medicina veterinária, tem sido utilizado em cães saudáveis (CAIVANO et al., 2016; DERMLIM et al., 2019) e com degeneração mixomatosa da valva mitral com adequada repetibilidade, podendo ser um indicador prognóstico na doença (CAIVANO et al., 2018; COELHO et al., 2020; NAKAMURA et al., 2017; TOALDO et al., 2017, 2018).

Em gatos, foi encontrado apenas um trabalho que utilizou a STE-2D para avaliar a função do AE (KIATSILAPANAN; SURACHETPONG, 2020). Entretanto, somente o *strain* de reservatório foi avaliado, o qual foi menor nos animais com CMH. Os autores relataram associação entre a deformação atrial e alterações estruturais e funcionais do VE. Apesar do *strain* de reservatório ser o parâmetro que possui mais evidências de utilidade prognóstica (VIEIRA FILHO et al., 2014), a função do AE não se restringe somente a ele. O ciclo atrial

também é constituído pela condução e contração, as quais ainda não foram avaliadas. Ademais, a STE-2D pode fornecer outros parâmetros além da deformação, que também não foram incluídos. Como a disfunção do AE é comum em felinos com cardiomiopatias, o presente estudo parte da hipótese de que a deformação nas três fases do ciclo atrial seria menor nos gatos cardiopatas que nos saudáveis, sendo bom indicador de disfunção do AE na espécie felina. Portanto, os objetivos foram (1) determinar intervalos de referência de *strain* e *strain rate* do AE nas fases de reservatório, condução e contração pela STE-2D em gatos saudáveis; (2) comparar os valores de *strain* e *strain rate* nas três fases do ciclo atrial entre gatos saudáveis e gatos com cardiomiopatias; (3) analisar a correlação das variáveis obtidas pela STE-2D e o método convencional; e (4) avaliar a sensibilidade e especificidade de ambos os métodos em identificar alterações na função atrial esquerda.

2 MATERIAL E MÉTODOS






2.1 Animais

O estudo foi conduzido no Hospital Veterinário da Instituição, de dezembro de 2018 a dezembro de 2019, sob o protocolo da Comissão de ética no uso de Animais nº 088/18 (ANEXO B). O consentimento de cada tutor foi obtido antes da inclusão. Foram avaliados inicialmente 182 gatos de diferentes idades, raças e gênero, entre saudáveis e cardiopatas. Os animais foram submetidos a exame físico, hemograma, perfil bioquímico hepático e renal, urinálise, teste Idexx[®] de FIV (imunodeficiência viral felina) e FeLV (leucemia viral felina), pressão arterial sistólica, eletrocardiografia e ecocardiografia sem sedação. Aqueles que apresentavam comportamento agressivo, não permitindo a realização dos exames, foram excluídos. A mensuração de T4 total foi realizada nos gatos a partir de sete anos de idade, segundo as diretrizes para o manejo do hipertireoidismo felino (CARNEY et al., 2016). Nenhum animal recebeu medicamentos antes de ser incluído no estudo.

2.2 Exame físico

Ao exame físico, foram avaliados os seguintes parâmetros: frequência cardíaca e respiratória, auscultação cardiopulmonar, tempo de reperfusão capilar, temperatura retal, hidratação, mucosas, linfonodos e escore corporal (FIGURA 1). Este último foi determinado por três observadores, sendo expresso pela média dessas avaliações.

Figura 1 – Escore de condição corporal felino

	GATO	ECC
	Ausência de gordura corporal perceptível. Costelas e proeminências ósseas facilmente visíveis e palpáveis. Cintura ou reentrância abdominal acentuadas.	1 EMACIADO
	Ausência de gordura corporal palpável. Costelas e proeminências ósseas visíveis e facilmente palpáveis. Reentrância abdominal marcada.	2 MUITO MAGRO
	Gordura corporal mínima. Costelas e proeminências ósseas podem estar visíveis, facilmente palpáveis. Cintura ou reentrância abdominal evidentes.	3 MAGRO
	Gordura corporal mínima. Costelas não visíveis, mas palpáveis. Cintura ou reentrância abdominal aparentes.	4 MAGRO
	Gordura corporal presente, mas não excessiva. Costelas não visíveis, mas palpáveis. Cintura e reentrância abdominal presentes. Bolsa de gordura abdominal mínima.	5 IDEAL
	Gordura corporal moderada. Costelas palpáveis com alguma pressão. Cintura visível, mas não acentuada. Reentrância e gordura abdominal aparentes, mas não acentuadas.	6 SOBREPESO Até 15% acima do peso ideal
	Gordura corporal importante. Costelas palpáveis com dificuldade. Cintura pouco perceptível. Evidente abaulamento abdominal, com bolsa de gordura moderada.	7 SOBREPESO +16% - 30% acima do peso ideal
	Gordura corporal acentuada. Denso depósito de gordura sobre costelas e região lombar. Costelas não palpáveis. Cintura ausente. Distensão abdominal proeminente, com significativo depósito de gordura.	8 OBESIDADE +31% - 45% acima do peso ideal
	Gordura corporal extremamente acentuada. Depósitos de gordura maciços sobre costelas, proeminências ósseas, face e membros. Cintura ausente. Distensão abdominal acentuada, com depósitos de gordura abdominal maciços.	9 OBESIDADE GRAVE A partir de 46% acima do peso ideal

Fonte: Premier® Nutrição clínica, adaptado de Laflame (1997 e 2006).

2.3 Pressão arterial sistólica

A pressão arterial sistólica (PAS) foi determinada pelo método Doppler, segundo as diretrizes do *American College of Veterinary Internal Medicine* (ACVIM, 2018) e *American Association of Feline Practitioners* (AAFP, 2017) (ACIERNO et al., 2018; TAYLOR et al., 2017). Antes da manipulação, todos os animais passaram por período de aclimatização durante dez minutos na sala. Os gatos foram mantidos na posição que se sentissem mais confortáveis, com o mínimo de contenção (FIGURA 2). Para mensuração, utilizou-se o Doppler Parks Medical®, esfigmomanômetro DS66 Welch Allyn® e manguitos com largura aproximada de 30 a 40% da circunferência do membro torácico esquerdo. Foram realizadas de cinco a sete aferições consecutivas, descartando a primeira e feita a média das restantes. Aquelas que apresentassem discrepância de mais de 20% também eram excluídas. Os valores da PAS, a posição do animal e o nível de estresse (TABELA 1) foram registrados.

Figura 2 – Mensuração de pressão arterial sistólica pelo método Doppler em um gato saudável, mantido em posição confortável e com mínima contenção



Fonte: Hospital Veterinário – UFLA (2021).

Tabela 1 – Avaliação do comportamento do gato durante a mensuração da pressão arterial

Comportamento	Avaliação
Calmo	Relaxado durante todo o procedimento, olhando ao redor, posição corporal relaxada, contato visual aceito com piscar de olhos, orelhas para frente, cauda mantida em posição vertical, ronronando, vibrando e/ou amassando.
Cooperativo, mas ansioso	Geralmente calmo e ainda olhando ao redor, mas mostrando alguns sinais de nervosismo (geralmente cauda entre os membros ou posição ligeiramente abaixada).
Nervoso	Esconde-se (esconder a cabeça na pessoa que faz sua contenção ou o corpo todo sob um cobertor) ou agachado, tremendo, evitando o contato visual, orelhas dobradas para os lados e para baixo, cauda entre os membros, pode estar ronronando/amassando.
Agressivo	Sibilando, rosnando ou golpeando com as garras.
Excitado	Tenta brincar com o aparelho de pressão arterial, difícil ficar quieto pois mais interessado em interagir com as pessoas e / ou o ambiente

Fonte: Adaptado de Payne, Brodbelt, Fuentes (2017)

2.4 Eletrocardiografia

O exame eletrocardiográfico foi realizado pelo eletrocardiógrafo digital veterinário InCardio[®]. Os animais foram contidos gentilmente em decúbito lateral direito com os membros estendidos sobre uma mesa com material isolante. O sistema de 12 derivações, modificado por Santilli et al. (2019), foi utilizado na avaliação. Em cada membro, posicionou-se um eletrodo para captação das seis derivações frontais (D1, D2, D3, aVF, aVL, aVR). No sexto espaço

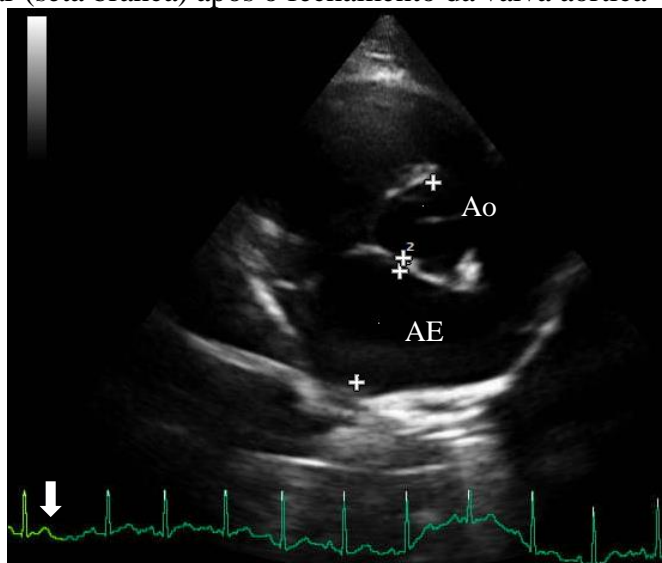
intercostal esquerdo e no primeiro espaço intercostal direito, foram posicionados cinco e um eletrodo, respectivamente, para obtenção das seis derivações precordiais (V1, V2, V3, V4, V5, V6). Todos os eletrodos eram embebidos com álcool, a fim de favorecer a condução do impulso elétrico.

2.5 Ecocardiografia convencional

A avaliação ecocardiográfica foi realizada por três veterinários experientes, utilizando o aparelho Esaote MyLab 40[®] com transdutor de 7,5 a 10 MHz e registro eletrocardiográfico contínuo. Para realização do exame, os gatos foram posicionados e contidos gentilmente em decúbito lateral direito e esquerdo sobre mesa acolchoada. Durante todo procedimento, a sala foi mantida escura e silenciosa, apenas com música ambiente apropriada para a espécie (“*cat songs*”), evitando o máximo de estresse aos animais. A análise das variáveis ecocardiográficas convencionais foi realizada *off-line*, sendo expressas pela média de três mensurações em ciclos cardíacos consecutivos.

As medidas lineares do AE constituíram-se na mensuração da relação AE/Ao, diâmetro e área. A relação AE/Ao foi determinada em corte transversal direito no plano dos vasos da base, no início da diástole ventricular, após o fechamento da valva aórtica (FIGURA 3) (DULER; SCOLLAN; LEBLANC, 2019; HAGGSTROM et al., 2016; HANSSON et al., 2002). O diâmetro foi obtido como a maior distância paralela ao anel valvar mitral em corte longitudinal quatro câmaras direito. O diâmetro máximo do AE (DAE_{max}) foi mensurado no final da sístole ventricular, um quadro antes da abertura da valva mitral; o diâmetro intermediário (DAE_P) antes da onda P do eletrocardiograma; e o diâmetro mínimo (DAE_{min}) no pico da contração atrial, um quadro antes do fechamento da valva mitral (FIGURA 4A). No mesmo batimento e *cine loop*, foi determinada a área por meio de planimetria, traçando as bordas endocárdicas sem incluir as veias pulmonares. A área máxima do AE (AAE_{max}) foi mensurada no final da sístole ventricular, imediatamente antes da abertura da valva mitral; a área intermediária (AAE_P) antes da onda P do eletrocardiograma; e a área mínima (AAE_{min}) após o fechamento valvar durante a diástole ventricular (FIGURA 4B).

Figura 3 – Relação entre átrio esquerdo (AE) e aorta (Ao) de um gato saudável em corte transversal direito no plano dos vasos da base, realizada no início da diástole ventricular (seta branca) após o fechamento da valva aórtica



Fonte: Hospital Veterinário – UFLA (2021).

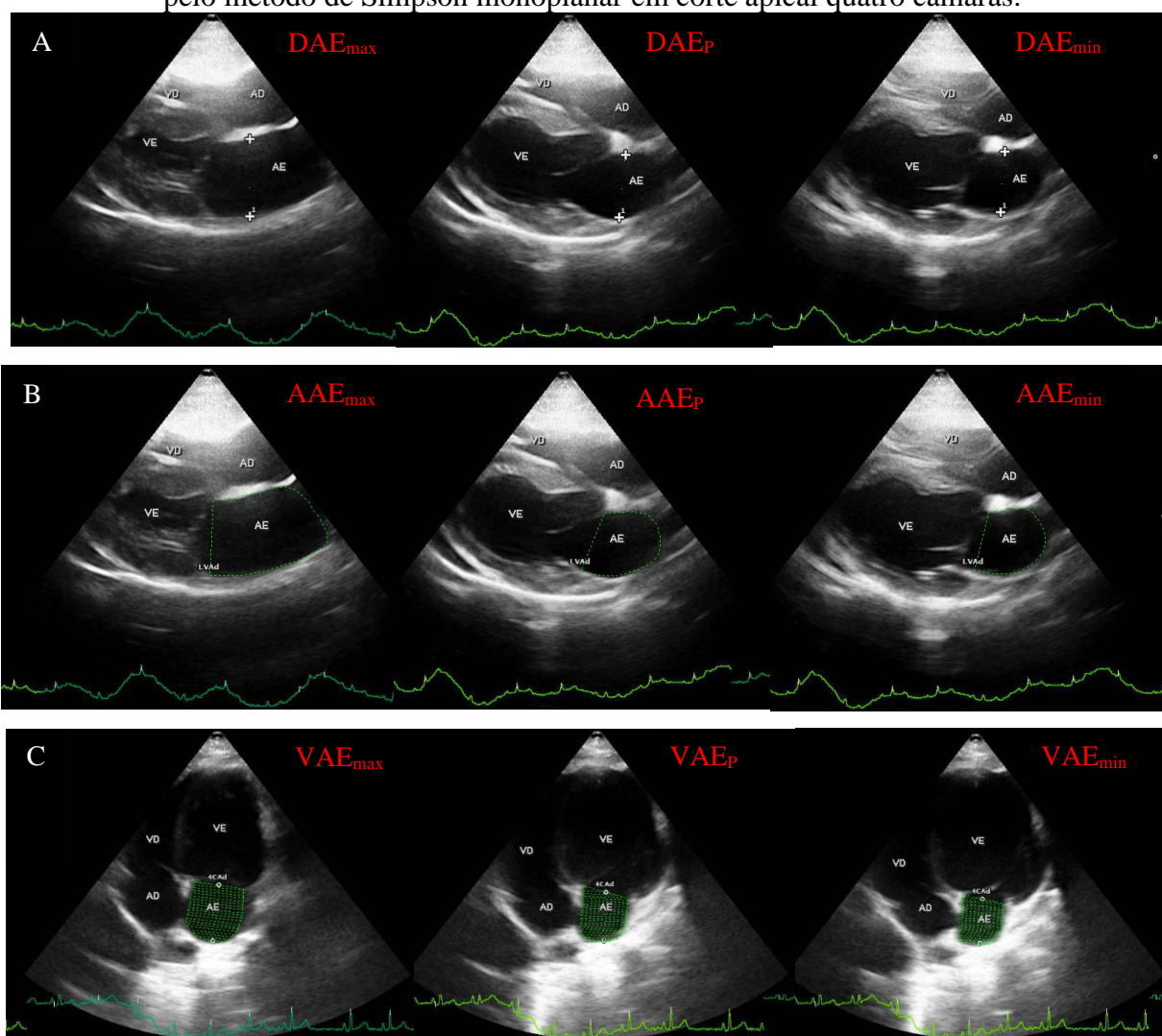
O volume do AE foi determinado pelo método de Simpson monoplanar em corte apical quatro câmaras. A borda endocárdica foi traçada no plano do anel mitral, excluindo aurícula e veias pulmonares. O volume máximo do AE ($VAEC_{max}$) foi obtido no final da sístole ventricular, imediatamente antes da abertura da valva mitral; o volume intermediário ($VAEC_P$) imediatamente antes da sístole atrial ou antes da onda P; e o volume mínimo ($VAEC_{min}$) no final da diástole, quando a valva mitral se fecha (FIGURA 4C). O débito atrial foi gerado automaticamente pelo *software*.

As variáveis de função atrial – fração de encurtamento (FS_{AE}), variação fracional da área (FAC_{AE}) e fração de ejeção (FE_{AE}) – foram determinadas nas fases de reservatório, condução e contração a partir das medidas de diâmetro, área e volume, respectivamente (TABELA 2) (CHAN et al., 2019; DULER; SCOLLAN; LEBLANC, 2019; HOLLMER et al., 2016; JOHNS; NELSON; GAY, 2012; LINEY et al., 2014; SCHOBER et al., 2007; SMITH; DUKES-MCEWAN, 2012).

Utilizando o mesmo batimento e *cine loop* do volume, também foi obtido o índice de esfericidade do AE (IS_{AE}) pela relação entre o diâmetro transverso e o diâmetro longitudinal (OSMANAGIC et al., 2016). Para definir o limite longitudinal, uma linha foi traçada no plano do anel mitral. O IS_{AE} foi mensurado na diástole atrial (IS_D), antes da abertura da valva mitral, e na sístole atrial (IS_S), logo após o fechamento da valva mitral (FIGURA 5). Ainda em corte apical quatro câmaras, a avaliação dos parâmetros hemodinâmicos baseou-se na mensuração da velocidade do pico de enchimento ventricular inicial (onda E), do enchimento tardio devido à

contração atrial (onda A) e a relação onda E/A do fluxo transmitral pelo Doppler pulsado (FIGURA 6A). Na região do anel valvar mitral, utilizando o Doppler tecidual, foram avaliados o pico diastólico inicial (onda E'), o pico diastólico tardio (onda A') e determinada as relações E'/A' e E/E' (FIGURA 6B). As ondas fusionadas e parcialmente fusionadas com velocidade de intercessão maior que 0,4 m/s (ROHRBAUGH et al., 2020) foram desconsideradas.

Figura 4 – Medidas lineares e volumétricas do átrio esquerdo de um gato saudável. A: diâmetros máximo, intermediário e mínimo em corte longitudinal quatro câmaras direito. B: áreas máxima, intermediária e mínima por planimetria em corte longitudinal quatro câmaras direito. C: volumes máximo, intermediário e mínimo pelo método de Simpson monoplanar em corte apical quatro câmaras.



AD, Átrio direito; AE, átrio esquerdo; VD, ventrículo direito; VE, ventrículo esquerdo

Fonte: Hospital Veterinário – UFLA (2021).

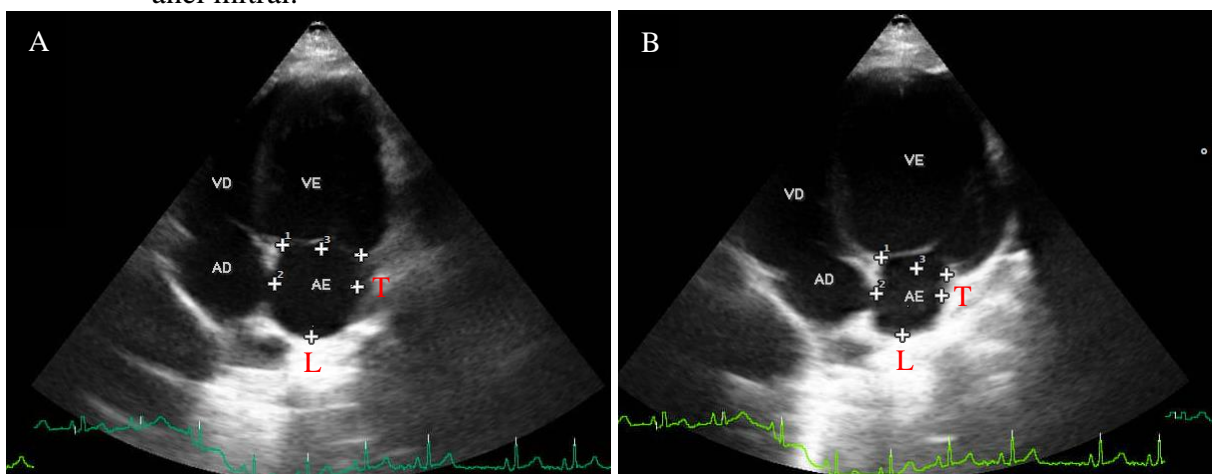
Tabela 2 – Variáveis de função atrial esquerda nas fases de reservatório, condução e contração, representadas como total, ativa e passiva respectivamente

	Fração de encurtamento	Variação fracional da área	Fração de ejeção
Total	$FS_t = \frac{DAE_{max} - DAE_{min}}{DAE_{max}}$	$FAC_t = \frac{AAE_{max} - AAE_{min}}{AAE_{max}}$	$FE_t = \frac{VAE_{max} - VAE_{min}}{VAE_{max}}$
Passiva	$FS_p = \frac{DAE_{max} - DAE_p}{DAE_{max}}$	$FAC_p = \frac{AAE_{max} - AAE_p}{AAE_{max}}$	$FE_p = \frac{VAE_{max} - VAE_p}{VAE_{max}}$
Ativa	$FS_a = \frac{DAE_p - DAE_{min}}{DAE_p}$	$FAC_a = \frac{AAE_p - AAE_{min}}{AAE_p}$	$FE_a = \frac{VAE_p - VAE_{min}}{VAE_p}$

AAE_{max}, área máxima do átrio esquerdo; AAE_{min}, área mínima do átrio esquerdo; AAE_p, área intermediária do átrio esquerdo; DAE_{max}, diâmetro máximo do átrio esquerdo; DAE_{min}, diâmetro mínimo do átrio esquerdo; DAE_p, diâmetro intermediário do átrio esquerdo; FAC_a, variação fracional da área ativa; FAC_p, variação fracional da área passiva; FAC_t, variação fracional da área total; FE_a, fração de ejeção ativa; FE_p, fração de ejeção passiva; FE_t, fração de ejeção total; FS_a, fração de encurtamento ativa; FS_p, fração de encurtamento passiva; FS_t, fração de encurtamento total; VAE_{max}, volume máximo do átrio esquerdo; VAE_{min}, volume mínimo do átrio esquerdo; VAE_p, volume intermediário do átrio esquerdo.

Fonte: Do autor (2021).

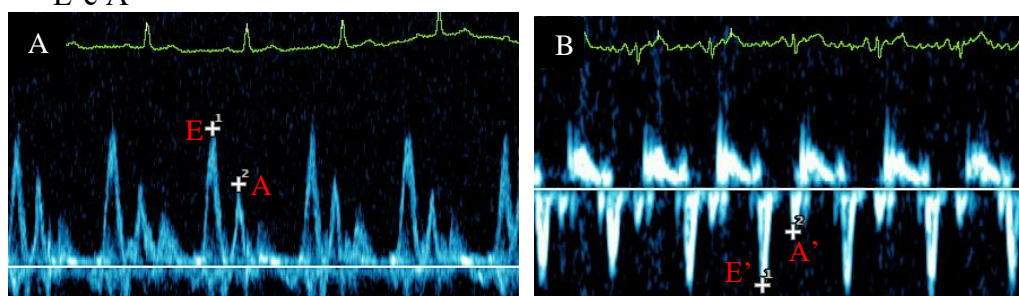
Figura 5 – Índice de esfericidade atrial diastólico (A) e sistólico (B) por meio da relação entre os diâmetros transverso (T) e longitudinal (L) em corte apical quatro câmaras de um gato saudável. Limite longitudinal definido por uma linha traçada a nível do anel mitral.



AD, Átrio direito; AE, átrio esquerdo; VD, ventrículo direito; VE, ventrículo esquerdo

Fonte: Hospital Veterinário – UFLA (2021).

Figura 6 – Variáveis hemodinâmicas do átrio esquerdo de um gato saudável, obtidas em corte apical quatro câmaras. A: Doppler pulsado do fluxo transmitral, representado pelas ondas E e A. B: Doppler tecidual do anel mitral lateral, representado pelas ondas E' e A'



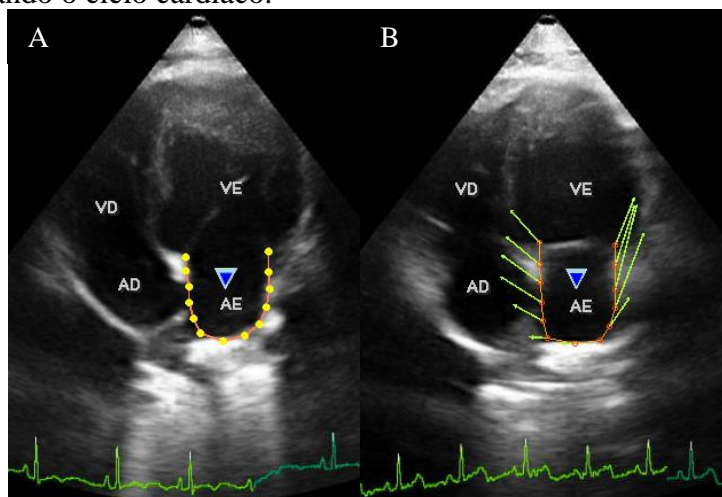
Fonte: Hospital Veterinário – UFLA (2021).

2.6 Ecocardiografia *speckle tracking* bidimensional (STE-2D)

A análise da deformação atrial foi realizada *off-line* por meio do *software* Xstrain™, originalmente projetado para realizar análises do ventrículo esquerdo. Cada variável foi expressa como a média de três ciclos cardíacos consecutivos, sendo utilizado o mesmo batimento e *cine loop* das medidas convencionais – volume e índice de esfericidade. As imagens foram obtidas em corte apical quatro câmaras com registro eletrocardiográfico contínuo. A frequência cardíaca média e a taxa de *frame* de três ciclos durante a aquisição da STE-2D foram registradas.

Considerando o início da onda Q, foram marcados três pontos: dois no anel mitral e um no teto do AE. Automaticamente, mais 10 pontos com linhas equidistantes entre eles foram traçados (FIGURA 7A). Essas 13 marcações acompanharam a borda endocárdica quadro a quadro durante todo o ciclo cardíaco, transformando-se em vetores (FIGURA 7B). Se o rastreamento não estivesse ideal, ajustes manuais eram realizados. O *software*, então, dividiu a borda endocárdica em seis segmentos, gerando um valor médio de *strain* (St) e *strain rate* (SR) do AE (CAIVANO et al., 2016).

Figura 7 – Obtenção de *strain* e *strain rate* do átrio esquerdo pela ecocardiografia *speckle tracking* bidimensional em corte apical quatro câmaras de um gato saudável. A: marcas acústicas circundando a borda endocárdica do átrio esquerdo. B: vetores acompanhando o ciclo cardíaco.

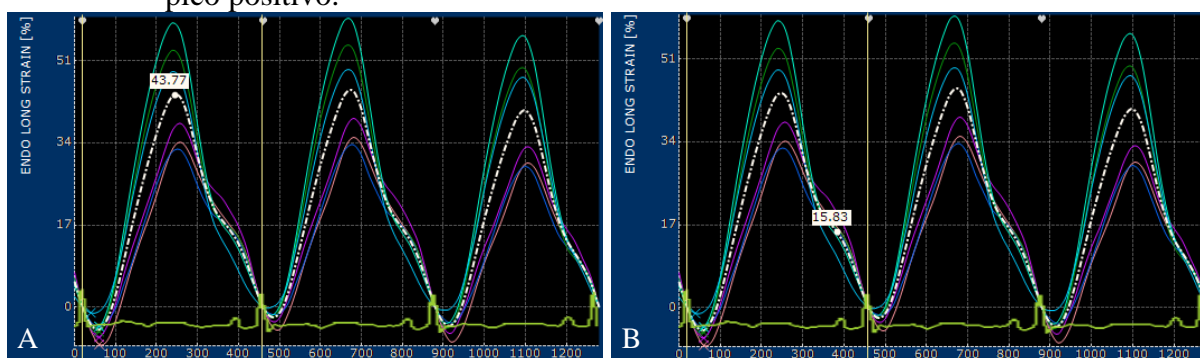


Legenda: AD, Átrio direito; AE, átrio esquerdo; VD, ventrículo direito; VE, ventrículo esquerdo
 Fonte: Hospital Veterinário – UFLA (2021).

Na curva de St longitudinal (FIGURA 8), o primeiro pico positivo representa a função de reservatório (St_R) e o segundo pico positivo a função de contração (St_{Ct}). A função de condução (St_{Cd}) foi calculada como: $St_{Cd} = St_R - St_{Ct}$. Na curva de SR longitudinal (FIGURA 9), o

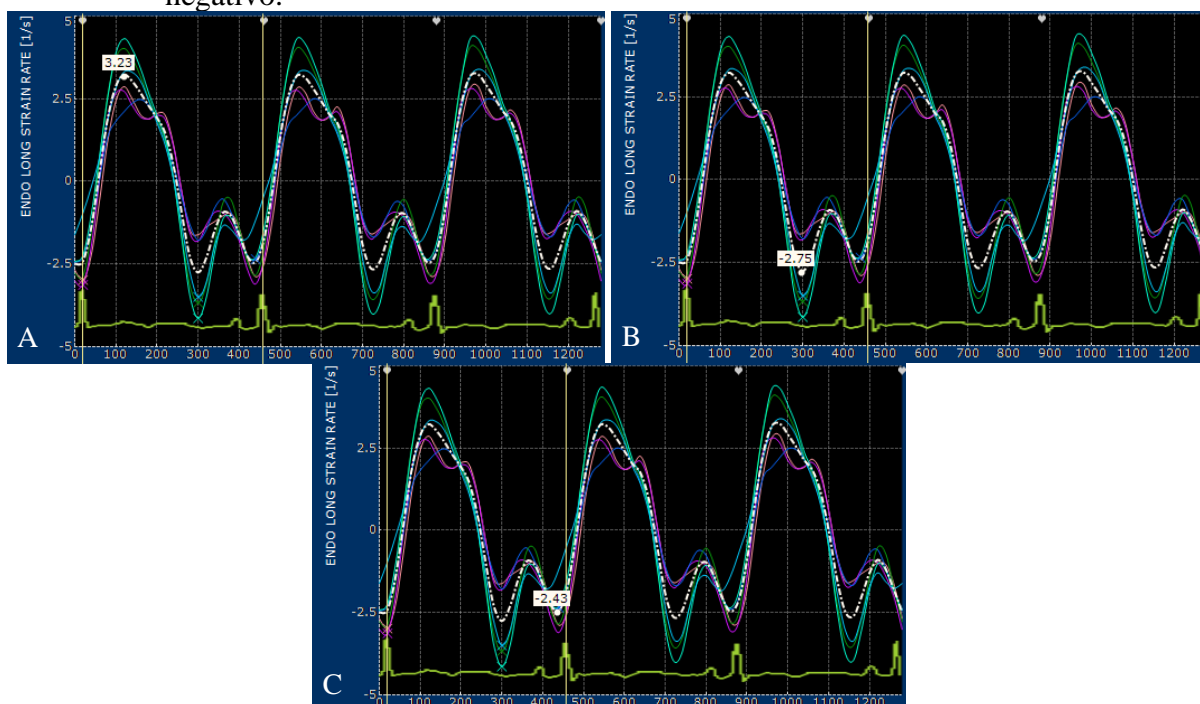
pico positivo é o SR na fase de reservatório (SR_R). O primeiro pico negativo é o SR na fase de condução (SR_{Cd}) e o segundo pico negativo é SR na fase de contração (SR_{Ct}) (CAIVANO et al., 2018). A obtenção dos referidos parâmetros foi realizada posicionando o cursor sobre cada pico na curva que representa a média de todos os segmentos.

Figura 8 – Representação gráfica de *strain* longitudinal do átrio esquerdo de um gato saudável durante três ciclos cardíacos. A linha branca tracejada representa a média de seis segmentos atriais, onde o cursor foi posicionado para obtenção dos valores. A: *strain* de reservatório, o primeiro pico positivo. B: *strain* de contração, o segundo pico positivo.



Fonte: Hospital Veterinário – UFLA (2021).

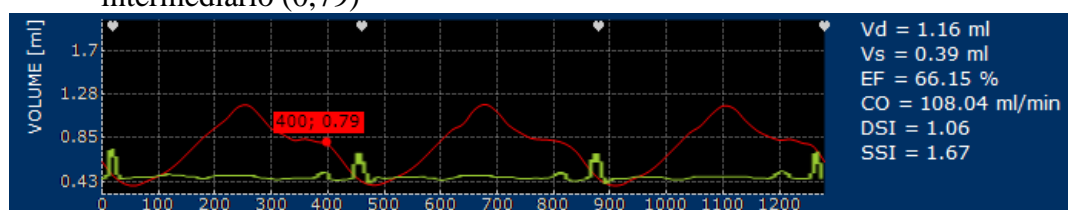
Figura 9 – Representação gráfica de *strain rate* longitudinal do átrio esquerdo de um gato saudável durante três ciclos cardíacos. A linha branca tracejada representa a média de seis segmentos atriais, onde o cursor foi posicionado para obtenção dos valores. A: *strain rate* de reservatório, o primeiro pico positivo. B: *strain rate* de condução, o primeiro pico negativo. C: *strain rate* de contração, o segundo pico negativo.



Fonte: Hospital Veterinário – UFLA (2021).

Automaticamente, foram obtidos ainda os índices de esfericidade diastólico (IS_D) e sistólico (IS_S), débito atrial, fração de ejeção total (FE_t) e os volumes máximo ($VAES_{max}$) e mínimo ($VAES_{min}$). O volume intermediário ($VAES_P$) foi obtido posicionando o cursor sobre o pico que representa a fase de condução na curva volumétrica (FIGURA 10). A partir desses valores, foram calculados os volumes de ejeção total, passivo e ativo e as frações de ejeção passiva e ativa, conforme as variáveis convencionais.

Figura 10 – Curva volumétrica do átrio esquerdo de um gato saudável, obtida pelo *speckle tracking* em três ciclos cardíacos. O posicionamento do cursor sobre o pico antes da contração atrial (final da onda P do eletrocardiograma) demonstra o volume intermediário (0,79)



Legenda: CO, débito; DSI, índice de esfericidade diastólico; EF, fração de ejeção; SSI, índice de esfericidade sistólico; Vd, volume máximo; Vs, volume mínimo

Fonte: Hospital Veterinário – UFLA (2021).

2.7 Análise estatística

A análise estatística foi realizada pelo *software* GraphPad Prism® 5.0. A normalidade de distribuição dos dados foi avaliada pelo teste Shapiro-Wilk. A associação entre idade, peso, variáveis hemodinâmicas, lineares, volumétricas e deformação do AE foi determinada pelo Coeficiente de Correlação de Pearson para dados com distribuição normal e Coeficiente de Correlação de Spearman para aqueles sem distribuição normal. A correlação foi considerada insignificante de 0,00 a $\pm 0,29$; baixa de $\pm 0,30$ a $\pm 0,49$; moderada de $\pm 0,50$ a $\pm 0,69$; alta de $\pm 0,70$ a $\pm 0,89$; e muito alta de $\pm 0,90$ a ± 1 (MUKAKA, 2012). A comparação das variáveis entre animais saudáveis e cardiopatas foi realizada pelo Teste T de uma amostra com distribuição normal e Teste de Wilcoxon para uma amostra sem distribuição normal. Ambos foram comparados à média ou mediana do grupo saudável, obtidas pelos intervalos de referência (IR). A análise da curva ROC (*Receiver operator characteristic*) foi utilizada para determinar a precisão das variáveis em distinguir os gatos saudáveis dos cardiopatas. A área sob a curva (ASC) foi utilizada para interpretação dos testes, sendo: 1,0, perfeito; 0,9–0,99, excelente; 0,8–0,89, bom; 0,7–0,79, regular; 0,51–0,69, ruim; e 0,5 insignificante. Os resultados foram considerados significativos somente se $ASC > 0,7$. O valor de corte ideal foi

definido como o ponto com o maior índice de Youden [(sensibilidade + especificidade) - 1] (CARTER et al., 2016).

Os intervalos de referência com intervalo de confiança a 90% foram calculados pelo Reference Value Advisor® no Microsoft Excel (GEFFRÉ et al., 2011). O método padrão foi utilizado quando $n \geq 40$ e o método robusto com a transformação Box-Cox quando $n < 40$. A confiabilidade intra e interobservador foi determinada pelo Coeficiente de Correlação Intraclasse com intervalo de confiança a 95% pelo *software* MedCalc® 16.8. A confiabilidade intraobservador foi calculada a partir da avaliação de 16 animais saudáveis por um único observador no intervalo de um mês. Já a interobservador, a partir da avaliação cega de dois observadores independentes, analisando 35 gatos saudáveis. Ambas as subamostras foram selecionadas a partir dos animais com frequência cardíaca mais baixa e avaliadas em termos de classificação média, concordância absoluta e modelo de efeitos mistos de duas vias. A confiabilidade intra e interobservador foi classificada como ruim para valores $< 0,5$, moderada entre $\geq 0,5$ e $< 0,75$, boa entre $\geq 0,75$ e $\leq 0,90$ e excelente $> 0,90$ (TERRY; MAE, 2016). Um valor de $p < 0,05$ foi considerado para significância estatística.

3 RESULTADOS

Dos 183 gatos avaliados, 58 foram excluídos por apresentarem alterações hematológicas (13), doença renal crônica (11), FeLV (10), comportamento agressivo (5), comunicação interventricular (4), insuficiência valvar tricúspide (4), bioquímica hepática alterada (2), comunicação interatrial (2), gestação (2), hérnia peritônio-pericárdica (2), FIV (1), hipertireoidismo (1) e otite (1). Dos 125 animais restantes, 32 possuíam imagens ecocardiográficas com qualidade insuficiente para avaliação pela STE-2D e, por isso, também foram excluídos. Assim, um total de 93 gatos foram incluídos no estudo. Desses, 76 eram saudáveis e 17 apresentavam cardiomiopatia (TABELA 3). O escore corporal de todos os gatos foi de 5(4-9) e o comportamento mais frequente foi o “cooperativo, mas ansioso”. A pressão arterial sistólica e parâmetros eletrocardiográficos de todos os animais estavam normais.

Na avaliação ecocardiográfica convencional, os cardiopatas apresentaram maior relação AE/Ao em comparação aos felinos saudáveis, assim como o DAE_{max} , DAE_{min} , VAE_{max} e débito atrial. Além disso, observou-se também que esses animais tinham redução da FAC_t , relação E/A, onda E' e relação E'/A'. Para os demais parâmetros, não houve diferença significativa (TABELA 4). Dos gatos cardiopatas, um animal tinha fusão das ondas E e A e um de E' e A'. Já nos saudáveis, a fusão das ondas E e A foi observada em seis gatos e de E' e A' em dois.

Tabela 3 – Dados clínicos e demográficos de 76 gatos saudáveis e 17 cardiopatas

	Saudáveis	Cardiopatas
Fenótipo (n)	-	Hipertrófico (14) Não específico (3)
Estágio¹	A	B1 (13) B2 (2) C (2)
Padrão racial (n)	SRD (66) Maine Coon (5) Persa (5)	SRD (10) Persa (7)
Idade (meses)	24(3-108)	77±44 meses
Fêmea/Macho (n)	37/39	9/8
Peso (kg)	3,5(1,3-6,9)	4,3±1,3
Aumento de AE² (n)	sem aumento	sem aumento (4) discreto (9) moderado (2) acentuado (2)
Padrão diastólico³ (n)	normal (69) anormal (7)	normal (4) anormal (11) pseudonormal (1) restritivo (1)

AE, átrio esquerdo; SRD, sem raça definida

¹Classificação ACVIM 2020 (FUENTES et al., 2020).

²Baseado na relação AE/Ao: 1,51-1,79, aumento discreto; 1,8-1,99 moderado; ≥2, acentuado (CÔTÉ et al., 2011).

³Segundo Schober e Chetboul (2015).

Tabela 4 – Comparação das variáveis de função atrial esquerda pela ecocardiografia convencional entre 76 gatos saudáveis e 17 cardiopatas

Variáveis	Saudáveis	Cardiopatas	Valor de p
AE/Ao	1,4(1,07-1,48) ^a	1,6(1,2-2,6) ^b	0,0029
DAE_{max} (mm)	11,8(7,77-14,73) ^a	13,67(10,60-25,10) ^b	0,0029
DAE_{min} (mm)	8,0(4,87-11,07) ^a	9,23(7,27-21,03) ^b	0,0021
FS_t (%)	31 (20-51)	30(7-35)	0,2655
FAC_t (%)	50±6 ^a	43±10 ^b	0,0101
VAEC_{max} (ml)	1,1(0,28-2,53) ^a	1,35(0,52-3,93) ^b	0,0468
VAEC_{min} (ml)	0,3(0,08-0,94)	0,34(0,12-2,77)	0,1872
FE_t (%)	68±6	68±17	0,5839
Débito atrial (ml/min)	110,3(39,6-272,13) ^a	157,9(78,03-327,5) ^b	0,0029
IS_D	0,9±0,1	0,91±0,07	0,5444
IS_S	0,8±0,1	0,80±0,12	0,8597
E (m/s)	0,63(0,33-0,95)	0,47(0,43-0,92)	0,1231
A (m/s)	0,46(0,32-0,92)	0,56(0,28-1,4)	0,0719
E/A	1,36(0,72-1,95) ^a	0,80(0,65-2,56) ^b	0,0371
E' (m/s)	0,08(0,03-0,12) ^a	0,06(0,03-0,12) ^b	0,0224
A' (m/s)	0,05(0,03-0,09)	0,06(0,03-0,14)	0,2072
E'/A'	1,72(0,5-4,33) ^a	0,83(0,56-2) ^b	0,0021
E/E'	8,06(5,09-18,67)	8,33(3,75-30,67)	0,2524

AE/Ao, relação entre átrio esquerdo e aorta; A, pico de velocidade do fluxo transmitral devido à contração atrial; A', movimento da parede cardíaca durante a contração atrial; DAE_{max}, diâmetro máximo do átrio esquerdo; DAE_{min}, diâmetro mínimo do átrio esquerdo; E, pico de velocidade do fluxo transmitral durante a condução atrial; E', movimento da parede cardíaca durante a condução atrial; FAC_t,

variação fracional da área total; FE_t, fração de ejeção total; FS_t, fração de encurtamento total; IS_D, índice de esfericidade diastólico; IS_S, índice de esfericidade sistólico; VAE_{max}, volume máximo do átrio esquerdo; VAE_{min}, volume mínimo do átrio esquerdo.

Média e desvio padrão para dados paramétricos; mediana e percentis (mínimo e máximo) para dados não paramétricos.

^{a,b}Médias ou medianas na linha seguidas por diferentes letras minúsculas são estatisticamente diferentes pelo teste T para uma amostra com distribuição normal ou pelo teste de Wilcoxon para uma amostra sem distribuição normal, comparada à média/mediana dos gatos saudáveis obtidas pelo Intervalo de referência (p<0,05).

Fonte: Do autor (2021).

Na avaliação por STE-2D, não foi possível determinar as três fases da função atrial em todos os gatos, devido à fusão da curva pela alta frequência cardíaca. As fases de reservatório, condução e contração foram obtidas somente em 35 gatos saudáveis (TABELA 5), os quais apresentaram frequência cardíaca de 150±15 bpm e taxa de *frame* de 86(60-135)/s. Os demais foram avaliados apenas na fase de reservatório e tinham frequência cardíaca de 192±23 bpm e taxa de *frame* de 55(39-102)/s. Foi observado redução de St_R, SR_R e FE_t nos cardiopatas comparado aos saudáveis. O VAES_{max}, VAES_{min} e débito atrial foram maiores nos cardiopatas. Os índices de esfericidade não demonstraram diferença significativa (TABELA 6).

Tabela 5 – Intervalos de referência das variáveis de função atrial esquerda nas três fases obtidas pela ecocardiografia convencional e *speckle tracking* bidimensional em 35 gatos saudáveis

Variáveis	Reservatório		Condução		Contração	
	IR 90%*	Média±DP**	IR 90%*	Média±DP**	IR 90%*	Média±DP**
St (%)	17,4-54,7	36,5±8,9	10,7-41,3	25,5±7,4	4,6-17,5	10,9±3,1
SR (1/s)	1,6-3,6	2,6±0,5	-1,0 a -5,0	-2,9±1	-1,0 a -3,4	-2,0±0,6
FS (%)	20-48	32±7	5-21	10(5-22)	14-38	24±6
FAC (%)	34-64	49±7	7-32	20±6	24-54	37±7
FE (%)	57-80	67±5	33-59	47±6	24-57	38±8

FAC, variação fracional da área; FE, fração de ejeção; FS, fração de encurtamento; SR, *strain rate*; St, *strain*

*IR (IC 90%), Intervalo de referência com intervalo de confiança a 90%

**Média e desvio padrão (DP) para dados paramétricos; mediana e percentis (mínimo e máximo) para dados não paramétricos.

Fonte: Do autor (2021).

Tabela 6 – Comparação das variáveis de função atrial esquerda pela ecocardiografia *speckle tracking* bidimensional entre 76 gatos saudáveis e 17 cardiopatas

Variáveis	Saudáveis	Cardiopatas	Valor de p
St _R (%)	36,1±7,7 ^a	26,2±3,1 ^b	0,0059
SR _R (1/s)	2,8±0,6 ^a	2,3±0,6 ^b	0,0041
VAES _{max} (ml)	1,3(0,2-3,22) ^a	1,9(0,1-4,9) ^b	0,0021
VAES _{min} (ml)	0,4(0,08-1,44) ^a	0,77(0,32-3,45) ^b	0,0008
FE _t (%)	68±11 ^a	57±13 ^b	0,0042
Débito (ml/min)	140,7(21,03-299,63) ^a	210,9(104,5-408,3) ^b	0,0121

Tabela 6, continuação.

IS_D	1,82(0,71-1,82)	1,18(0,75-2,18)	0,3810
IS_S	1,1(0,2-2,81)	1,17(0,52-1,94)	0,9622

FE_t, fração de ejeção total; IS_D, índice de esfericidade diastólico; IS_S, índice de esfericidade sistólico; SR_R, *strain rate* de reservatório; St_R, *strain* de reservatório; VAE_{max}, volume máximo do átrio esquerdo; VAE_{min}, volume mínimo do átrio esquerdo.

Média e desvio padrão para dados paramétricos; mediana e percentis (mínimo e máximo) para dados não paramétricos.

^{a,b}Médias ou medianas na linha seguidas por diferentes letras minúsculas são estatisticamente diferentes pelo teste T para uma amostra com distribuição normal ou pelo teste de Wilcoxon para uma amostra sem distribuição normal, comparada à média/mediana dos gatos saudáveis obtida pelo Intervalo de referência ($p < 0,05$).

Fonte: Do autor (2021).

Strain e *strain rate* nos animais saudáveis não apresentaram correlação com FS, FAC e FE nas respectivas fases do ciclo atrial, nem com a relação AE/Ao. Houve correlação positiva entre a deformação e as variáveis hemodinâmicas. A relação E/A correlacionou-se de forma moderada com St_R e St_{Cd}; e baixa com SR_{Cd}. As ondas E, E' e A' correlacionaram fracamente com St_R, St_{Cd} e SR_{Cd}. Não houve associação entre a deformação, idade, peso e gênero, com exceção de St_R e St_{Cd}. Ambos correlacionaram negativamente com a idade em baixa intensidade (TABELA 7). Nos gatos com cardiomiopatia, houve correlação positiva moderada de St_R e SR_R com FE_t e a relação E'/A'; e entre St_R e a onda E' (TABELA 8). As variáveis volumétricas da STE-2D demonstraram associação com as da ecocardiografia convencional. Foram observadas correlações muito alta para o VAES_{max}; alta para débito; moderada para VAES_{med} e VAES_{min}; e baixa para FE_p. As medidas lineares não apresentaram associação entre os dois métodos ecocardiográficos (TABELA 9).

Tabela 7 – Correlação entre as variáveis de função atrial esquerda nas três fases por *speckle tracking* bidimensional e ecocardiografia convencional, idade, peso e gênero de 35 gatos saudáveis

	<i>Strain</i>						<i>Strain rate</i>					
	Reservatório		Condução		Contração		Reservatório		Condução		Contração	
	r	p	r	p	r	p	r	p	r	p	r	p
FS	0,21	0,231	0,19	0,280	-0,10	0,549	0,07	0,675	0,02	0,904	0,02	0,929
FAC	0,20	0,259	0,27	0,123	0,26	0,130	0,06	0,722	0,28	0,103	0,09	0,621
FE	0,12	0,488	0,11	0,513	0,18	0,310	0,12	0,511	0,21	0,228	0,06	0,748
AE/Ao	0,06	0,737	-0,01	0,967	0,24	0,174	0,10	0,586	0,02	0,909	-0,09	0,613
E	0,43	0,010*	0,48	0,004*	0,05	0,764	0,20	0,253	0,39	0,021*	-0,05	0,768
A	0,01	0,946	-0,01	0,974	-0,06	0,734	0,14	0,431	0,03	0,881	-0,17	0,320
E/A	0,51	0,002*	0,56	0,001*	0,21	0,215	0,16	0,369	0,47	0,004*	0,17	0,328
E'	0,45	0,006*	0,46	0,005*	0,24	0,160	0,26	0,129	0,40	0,017*	0,12	0,490

Tabela 7, continuação.

A'	0,44	0,009*	0,47	0,004*	0,11	0,548	0,30	0,081	0,47	0,004*	0,12	0,484
E'/A'	-0,03	0,843	0,00	0,993	-0,02	0,922	-0,16	0,363	-0,11	0,522	-0,09	0,608
E/E'	-0,06	0,741	-0,07	0,676	-0,10	0,567	-0,09	0,600	-0,05	0,777	-0,09	0,622
Idade	-0,37	0,029*	-0,41	0,014*	0,00	0,983	-0,27	0,110	-0,25	0,147	0,11	0,544
Peso	-0,15	0,401	-0,29	0,095	0,26	0,126	-0,26	0,125	-0,16	0,360	0,12	0,503
Gênero	0,06	0,722	0,04	0,821	0,26	0,131	-0,04	0,821	-0,02	0,923	0,00	1,000

FAC, variação fracional da área; FE, fração de ejeção; FS, fração de encurtamento

*Significância estatística para o coeficiente de correlação de Pearson para dados paramétricos ou coeficiente de correlação de Spearman para dados não paramétricos ($p < 0,05$).

r, coeficiente de correlação: 0,00 a $\pm 0,29$, insignificante; $\pm 0,30$ a $\pm 0,49$, baixo; $\pm 0,50$ a $\pm 0,69$, moderado $\pm 0,70$ a $\pm 0,89$, alto; $\pm 0,90$ a ± 1 , muito alto

Fonte: Do autor (2021).

Tabela 8 – Correlação entre *strain* (St_R) e *strain rate* (SR_R) de reservatório e as variáveis de função atrial esquerda obtidas pela ecocardiografia convencional em 17 gatos com cardiomiopatias

	St_R		SR_R	
	r	p	r	p
FS_t	0,32	0,240	0,31	0,265
FAC_t	0,30	0,283	0,47	0,078
FE_t	0,61	0,016*	0,58	0,023*
AE/Ao	0,20	0,474	-0,04	0,879
E	0,37	0,174	0,25	0,362
A	0,28	0,311	0,37	0,172
E/A	-0,05	0,869	-0,23	0,399
E'	0,55	0,032*	0,46	0,086
A'	0,18	0,529	0,07	0,798
E'/A'	0,52	0,047*	0,59	0,021*
E/E'	-0,43	0,114	-0,27	0,333

FAC_t, variação fracional da área total; FE_t, fração de ejeção total; FS_t, fração de encurtamento total

*Significância estatística para o coeficiente de correlação de Pearson para dados paramétricos ou coeficiente de correlação de Spearman para dados não paramétricos ($p < 0,05$).

r, coeficiente de correlação: 0,00 a $\pm 0,29$, insignificante; $\pm 0,30$ a $\pm 0,49$, baixo; $\pm 0,50$ a $\pm 0,69$, moderado $\pm 0,70$ a $\pm 0,89$, alto; $\pm 0,90$ a ± 1 , muito alto

Fonte: Do autor (2021).

Tabela 9 – Intervalos de referência e correlação das variáveis volumétricas e lineares do átrio esquerdo entre ecocardiografia convencional e *speckle tracking* bidimensional em 35 gatos saudáveis

	<i>Speckle tracking</i>		Convencional		r	p
	IR (IC 90%)	Média±DP**	IR (IC 90%)	Média±DP**		
VAE_{max} (ml)	0,7-3,0	1,4(0,64-3,22)	0,5-2,5	1,3±0,5	0,92	<0,0001*
VAE_P (ml)	0,3-2,2	0,8(0,23-2,44)	0,2-1,4	0,6(0,18-1,33)	0,66	<0,0001*

Tabela 9, continuação.

VAE_{min} (ml)	0,1-1,4	0,5(0,1-1,44)	0,1-0,8	0,4(0,12-0,94)	0,52	0,0013*
FE_t (%)	40-90	64±12	57-80	67±5	0,11	0,5144
FE_p (%)	18-80	39(22-70)	33-59	47±6	0,34	0,0436*
FE_a (%)	20-61	38±10	24-57	38±8	0,05	0,7596
Débito (ml/min)	34-245	134(75-300)	13-236	113(49-272)	0,80	<0,0001*
IS_D	0,7-1,8	1,2±0,3	0,7-1,1	0,9 (0,69-1,11)	0,13	0,4479
IS_S	0,3-2,2	1,2±0,5	0,7-1,1	0,8 (0,62-1,12)	0,07	0,6861

FE_a, fração de ejeção ativa; FE_p, fração de ejeção passiva; FE_t, fração de ejeção total; IC, intervalo de confiança; IR, intervalo de referência; IS_D, índice de esfericidade diastólico; IS_S, índice de esfericidade sistólico; VAE_{max}, volume máximo do átrio esquerdo; VAE_{min}, volume mínimo do átrio esquerdo; VAE_p, volume intermediário do átrio esquerdo; VE_a, volume de ejeção ativo; VE_p, volume de ejeção passivo; VE_t, volume de ejeção total

*Significância estatística para o coeficiente de correlação de Pearson para dados paramétricos ou coeficiente de correlação de Spearman para dados não paramétricos (p<0,05).

**Média e desvio padrão para dados paramétricos ou mediana e percentis (mínimo e máximo) para dados não paramétricos

r, coeficiente de correlação: 0,00 a ±0,29, insignificante; ±0,30 a ±0,49, baixo; ±0,50 a ±0,69, moderado ±0,70 a ±0,89, alto; ±0,90 a ±1, muito alto

Fonte: Do autor (2021).

A análise da curva ROC evidenciou que as variáveis AE/Ao e VAES_{min} apresentaram resultados excelentes de ASC para distinguir os animais saudáveis dos cardiopatas. A relação AE/Ao foi a que melhor diferenciou os dois grupos, com ASC de 0,83 e valor de corte de 1,49 (sensibilidade 76,5% e especificidade 100%). O VAES_{min} foi o parâmetro da STE-2D com maior capacidade para distinção, com ASC de 0,83 e valor de corte de 0,54 ml (sensibilidade 76,5% e especificidade 77,6%). Para St_R e SR_R, as ACS foram consideradas boas, sendo 0,75 e 0,71, respectivamente. Os valores de corte foram de 31,72% (sensibilidade 70,6% e especificidade 69,7%) para o St_R e de 2,48/s (sensibilidade 70,6% e especificidade 67,1%) para o SR_R (TABELA 10) (FIGURA 11). Em relação à confiabilidade intraobservador, foi ruim para SR_{Ct}; moderada para St_R e St_{Ct}; e boa para St_{Cd}, SR_R e SR_{Cd}. Já a interobservador foi moderada para St_{Ct}, SR_R e SR_{Ct}; e boa para St_R, St_{Cd} e SR_{Cd} (TABELA 11).

Tabela 10 – Análise da curva ROC das variáveis de função atrial esquerda pela ecocardiografia convencional e *speckle tracking* bidimensional para diferenciação entre gatos saudáveis (n=76) e cardiopatas (n=17)

Variáveis	ASC*	IC 95%**	Valor de corte	Sensibilidade (%)	Especificidade (%)	Valor de p
Convencionais						
AE/Ao	0,83	0,67- 0,98	1,49	76,5	100,0	<0,0001
DAE_{max} (mm)	0,76	0,62 -0,89	12,54	64,7	68,4	0,0010
DAE_{min} (mm)	0,78	0,66-0,90	8,715	70,6	72,4	0,0004
FAC_t (%)	0,72	0,57-0,86	47	64,7	65,8	0,0054
VAEC_{max} (ml)	0,67	0,52-0,82	1,215	64,7	67,1	0,0295
Débito (ml/min)	0,73	0,60-0,86	125,4	88,2	63,2	0,0034
E/A	0,70	0,52-0,88	1,19	70,6	75,3	0,0093

Tabela 10, continuação.

E'	0,69	0,52-0,85	0,07	62,5	75,0	0,0191
E'/A'	0,79	0,65-0,92	1,5	75,0	75,0	0,0003
Speckle tracking						
St_R (%)	0,75	0,59-0,91	31,72	70,6	69,7	0,0013
SR_R (1/s)	0,71	0,58-0,85	2,48	70,6	67,1	0,0065
VAES_{max} (ml)	0,76	0,62-0,90	1,54	76,5	76,3	0,0009
VAES_{min} (ml)	0,83	0,73-0,92	0,54	76,5	77,6	< 0,0001
FE_t (%)	0,73	0,61-0,85	64	70,6	67,1	0,0030
Débito (ml/min)	0,70	0,55-0,84	166,3	64,7	63,2	0,0101

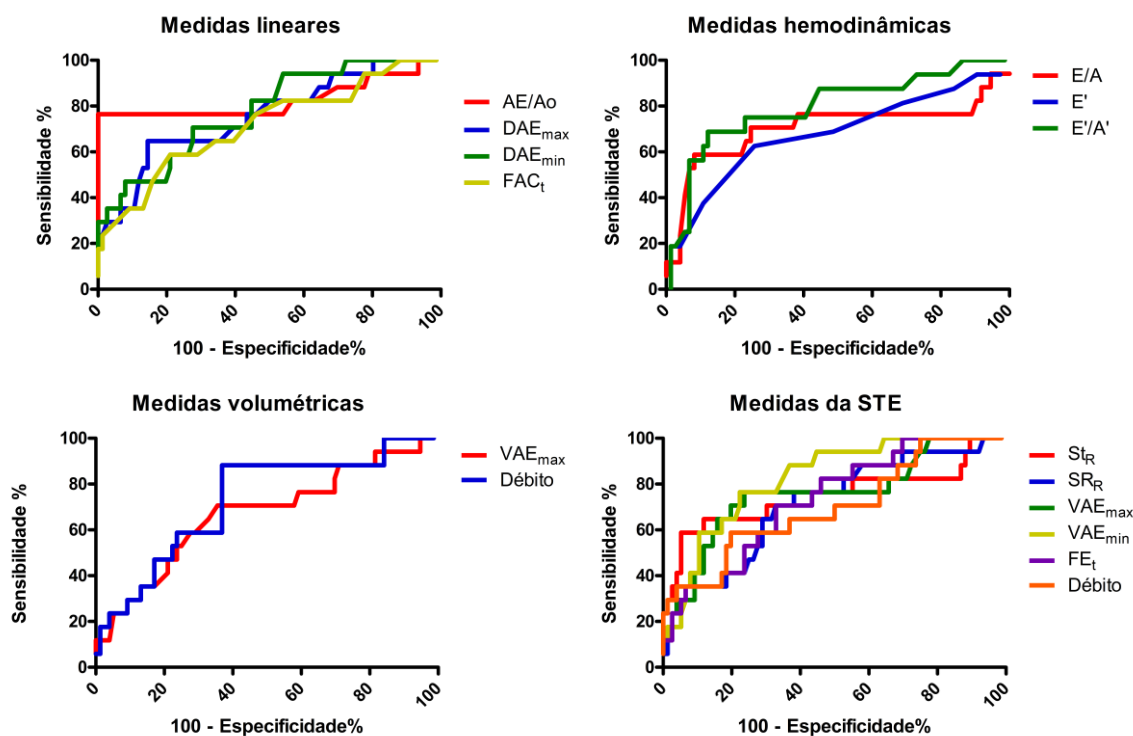
AE/Ao, relação entre átrio esquerdo e aorta; A', movimento da parede cardíaca durante a contração atrial; DAE_{max}, diâmetro máximo do átrio esquerdo; DAE_{min}, diâmetro mínimo do átrio esquerdo; E/A, relação entre o pico de velocidade inicial e final do fluxo transmitral; E', movimento da parede cardíaca durante a condução atrial; FAC_t, variação fracional da área total; FE_t, fração de ejeção total; SR_R, *strain rate* de reservatório; St_R, *strain* de reservatório; VAE_{max}, volume máximo do átrio esquerdo; VAE_{min}, volume mínimo do átrio esquerdo.

*Área sob a curva: 1,0, perfeito; 0,9–0,99, excelente; 0,8–0,89, bom; 0,7–0,79, regular; 0,51–0,69, ruim; e 0,5 insignificante.

**Intervalo de confiança a 95%

Fonte: Do autor (2021).

Figura 11 – Representação gráfica da curva ROC das variáveis de função atrial esquerda pela ecocardiografia convencional e *speckle tracking* bidimensional para diferenciação entre gatos saudáveis (n=76) e cardiopatas (n=17)



AE/Ao, relação entre átrio esquerdo e aorta; A', movimento da parede cardíaca durante a contração atrial; DAE_{max}, diâmetro máximo do átrio esquerdo; DAE_{min}, diâmetro mínimo do átrio esquerdo; E/A, relação entre o pico de velocidade inicial e final do fluxo transmitral; E', movimento da parede cardíaca durante a condução atrial; FAC_t, variação fracional da área total; FE_t, fração de ejeção total; SR_R, *strain rate* de reservatório; St_R, *strain* de reservatório; VAE_{max}, volume máximo do átrio esquerdo; VAE_{min}, volume mínimo do átrio esquerdo.

Fonte: Do autor (2021).

Tabela 11 – Confiabilidade intra e interobservador das variáveis de função atrial esquerda em gatos saudáveis pela ecocardiografia *speckle tracking* bidimensional

Variáveis	Intraobservador		Interobservador	
	CCI*	IC 95%**	CCI*	IC 95%**
St_R	0,72	0,1841-0,9025	0,88	0,7542-0,9367
St_{Cd}	0,79	0,3929-0,9260	0,86	0,7201-0,9279
St_{Ct}	0,72	0,1835-0,9047	0,59	0,1860-0,7905
SR_R	0,81	0,4564-0,9353	0,60	0,2141-0,7977
SR_{Cd}	0,86	0,5974-0,9517	0,89	0,7833-0,9442
SR_{Ct}	0,40	-0,5702-0,7833	0,68	0,3647-0,8365

SR_{Cd}, *strain rate* de condução; SR_{Ct}, *strain rate* de contração; SR_R, *strain rate* de reservatório; St_{Cd}, *strain* de condução; St_{Ct}, *strain* de contração; St_R, *strain* de reservatório

*Coeficiente de correlação intraclasse: CCI<0,5, ruim; 0,5≤CCI<0,75, moderada; 0,75≤CCI≤0,90, boa; CCI>0,90, excelente

**Intervalo de confiança a 95%

Fonte: Do autor (2021).

4 DISCUSSÃO

A função atrial esquerda por meio da deformação foi determinada nas fases de reservatório, condução e contração em gatos. Esse é o primeiro trabalho a empregar a técnica de STE-2D nas três fases do ciclo atrial, estabelecendo intervalos de referência para a espécie felina. Há somente um estudo que utilizou o mesmo método em gatos, porém apenas o St_R foi avaliado (KIATSILAPANAN; SURACHETPONG, 2020). O valor dessa variável relatado pelos autores nos animais saudáveis (27%) foi menor que na atual pesquisa (36%). Essa discrepância provavelmente deve-se à utilização de diferentes equipamentos e *softwares* para análise e pela variação no tamanho amostral. Os resultados obtidos foram semelhantes aos valores de normalidade descritos em cães (CAIVANO et al., 2016) e seres humanos (PATHAN et al., 2017). Nos felinos com cardiomiopatias, houve redução de St_R, assim como relatado por Kiatsilapanan e Surachetpong (2020). Além disso, também foram observadas alterações de SR_R e de outros parâmetros fornecidos pela STE-2D, como VAES_{max}, VAES_{min}, FE_t e débito atrial.

A redução de St_R e SR_R se deve ao aumento da pressão de enchimento ventricular nos gatos cardiopatas. Como essa pressão é a pós-carga do AE, se ela estiver elevada, a função de reservatório atrial (St_R e SR_R) estará diminuída (MIYOSHI et al., 2013). Em seres humanos com cardiomiopatia hipertrófica (IIO et al., 2015; TIGEN et al., 2014) e cães com degeneração mixomatosa valvar mitral (NAKAMURA et al., 2017; CAIVANO et al., 2018; TOALDO et al., 2017) também foi demonstrado redução dessas variáveis. O aumento de VAE_{max}, VAE_{min} e débito atrial nos felinos com cardiomiopatias pode ser explicado pela progressão da disfunção

diastólica ventricular, que acontece principalmente no fenótipo hipertrófico. No início, as funções de reservatório e contração do AE aumentam para manter o enchimento ventricular (MEHRZAD; RAJAB; SPODICK, 2014). Entretanto, à medida que a disfunção diastólica progride, há comprometimento dessas funções atriais, resultando em sobrecarga de volume atrial (LINNEY et al., 2014). Com a função de condução ocorre o contrário. Ela diminui no início da disfunção diastólica e aumenta com a progressão (RIMBAS; DULGHERU; VINEREANU, 2015), conseqüentemente, maior é o débito atrial. A FE_t torna-se reduzida provavelmente por refletir a função do AE, já que sua relação com a dilatação da câmara ainda precisa ser comprovada (KIATSILAPANAN; SURACHETPONG, 2020; LINNEY et al., 2014).

Todos os parâmetros da STE-2D apresentaram diferença entre os grupos, com exceção de IS_D e IS_S . Estes também não foram significativos na ecocardiografia convencional. Portanto, a utilidade de IS_{AE} , reportada na medicina humana, não pode ser comprovada nos felinos avaliados. O método tem sido proposto para descrever alterações anatômicas do AE. O aumento nas dimensões supero-inferior ou médio-lateral alteram sua geometria, superando as limitações da dimensão anteroposterior (DAE), que não é representativa do tamanho (ANCONA et al., 2014). Com o remodelamento, a câmara tende a se tornar mais esférica em seres humanos (OSMANAGIC et al., 2016). Porém, no presente estudo, observou-se que o aumento ocorreu em ambas as dimensões (supero-inferior e médio-lateral), não influenciando na esfericidade. Além disso, o DAE_{max} e DAE_{min} foram superiores ao IS_{AE} na identificação do aumento do AE. Outros trabalhos também demonstraram boa aplicabilidade dessas medidas (DAE_{max} e DAE_{min}) em gatos (LINNEY et al., 2014; SMITH; DUKES-MCEWAN, 2012; ROHRBAUGH et al., 2020; SCHOBER et al., 2007).

De acordo com Duler et al. (2019), provavelmente o AE aumente de forma distinta de cães e seres humanos, ocorrendo principalmente na dimensão lateral ou anteroposterior. Isso explicaria o fato das medidas lineares como AE/Ao e DAE exibirem maiores valores de ASC que VAEC. A relação AE/Ao foi a variável que melhor distinguiu os animais saudáveis dos cardiopatas com valor de corte praticamente igual ao que é descrito na literatura para definir aumento do AE (ABBOTT; MACLEAN 2006; HAGGSTROM et al., 2016). Em relação à STE-2D, o $VAES_{min}$ foi o parâmetro que melhor distinguiu os grupos. *Strain* e *strain rate* de reservatório apresentaram boa ASC, porém, a especificidade para o valor de corte de ambos foi baixa. Isso provavelmente se deva ao número pequeno de animais cardiopatas. Contudo, a soma da especificidade com a sensibilidade resultou em mais de 100%, o que é valor aceitável para um teste (BORST, 2019).

Embora o VAE_{min} tenha demonstrado ser um teste útil pela STE-2D ($VAES_{min}$), na ecocardiografia convencional ($VAEC_{min}$) não apresentou diferença entre os grupos. A correlação entre os dois métodos foi positiva moderada. Já o VAE_{max} teve associação positiva muito forte. Porém, pela ecocardiografia convencional sua ASC foi ruim, sendo considerado um teste preciso apenas pela STE-2D. A FE_t apresentou boa ASC por esse método, mas não diferiu os animais saudáveis dos cardiopatas pelo convencional. Esses achados sugerem a superioridade da STE-2D em identificar alterações no tamanho e função do AE em gatos. O fato de as medidas serem geradas de forma automática, provavelmente diminua a ocorrência de erros pela influência do observador. Além da FE_t , a FS_t também não apresentou diferença entre os grupos na ecocardiografia convencional. Entretanto, a maioria dos trabalhos tem demonstrado redução da FE, FS e FAC nas diferentes fases do ciclo atrial em felinos com cardiomiopatia utilizando esse método (CHAN et al., 2019; DULER; SCOLLAN; LEBLANC, 2019; JOHNS; NELSON; GAY, 2012; KIATSILAPANAN; SURACHETPONG, 2020; LINNEY et al., 2014). No presente estudo, apenas a FAC_t estava alterada. Isso provavelmente se deva ao fato da maioria dos gatos avaliados serem assintomáticos e apresentarem remodelamento discreto do AE, o que também foi observado por outros autores (LINNEY et al., 2014). Os resultados obtidos podem sugerir a precocidade da STE-2D em detectar alterações na função atrial, diferentemente do que fora relatado por Kiatsilapanan e Surachetpong (2020).

Apesar de não demonstrar diferença entre os grupos, a FE_t pelo método convencional correlacionou-se de forma positiva moderada com St_R e SR_R nos cardiopatas, sugerindo a potencial aplicabilidade clínica da STE-2D (DERMLIM et al., 2019). Além disso, a deformação nas fases de reservatório e condução correlacionaram com praticamente todos os parâmetros usuais da função diastólica do VE. Esses achados foram semelhantes a estudo prévio em gatos (KIATSILAPANAN; SURACHETPONG, 2020) e cães (DERMLIM et al., 2019; NAKAMURA et al., 2017; TOALDO et al., 2017). A correlação entre as funções de reservatório e condução e os parâmetros do Doppler pode ser explicada pelo enchimento inicial do AE e relaxamento do VE. Quando o AE está se enchendo, ocorre seu alongamento longitudinal, que é o St_R . O VE, então, relaxa rapidamente, resultando em E, E/A, E', E'/A' altas e A e A' de baixa velocidade. Esse influxo de sangue para o VE corresponde ao esvaziamento passivo do AE, representados pelo St_{Cd} e SR_{Cd} (SUN et al., 2013). Nos gatos com cardiomiopatias, foi observado que a redução do St_R estava diretamente associada à redução de E' e E'/A', podendo ser um parâmetro útil para avaliação da disfunção diastólica nesses animais. Ademais, não houve associação da deformação com idade, peso e gênero, exceto para

St_R e St_{Cd} . Estes apresentaram correlação negativa baixa com a idade. Em cães saudáveis, foram observados resultados semelhantes (DERMLIM et al., 2019). Isso pode ser devido ao efeito do processo de envelhecimento que prejudica o enchimento diastólico inicial do VE (SUN et al., 2013). Ao estabelecer intervalos de referência, essas variáveis demográficas devem sempre ser levadas em consideração, já que podem influenciar os índices ecocardiográficos (DERMLIM et al., 2019).

A tecnologia STE-2D foi factível, apresentando reprodutibilidade e repetibilidade para avaliação da deformação do AE em gatos não sedados com e sem cardiomiopatias. A confiabilidade intra e interobservador foi moderada a boa para todas as variáveis da STE-2D, com exceção de SR_{Ct} que foi ruim na análise intraobservador. Apesar de clinicamente aceitáveis, os valores do coeficiente de correlação intraclassa obtidos devem ser interpretados com cautela. O intervalo de confiança a 95% para a maioria das variáveis cruzou 0,5, o que sugere mensurações de baixa qualidade (CARTER et al., 2016). Isso significa que há 95% de chance de que o verdadeiro valor do coeficiente de correlação intraclassa caia em qualquer ponto desse amplo intervalo de confiança (KOO; LI, 2016). As variáveis que apresentaram confiabilidade ruim a moderada foram principalmente as de função de contração, assim como observado em cães saudáveis utilizando o mesmo *software* (CAIVANO et al., 2016). Segundo esses autores, a alta variabilidade pode ser devido ao método não ser específico para avaliar o AE.

Esse trabalho possui algumas limitações. A principal delas é a frequência cardíaca elevada dos gatos, que impossibilitou determinar a deformação nas três fases do ciclo atrial em todos os animais. A avaliação completa foi factível em 60% dos felinos, os quais apresentaram frequência cardíaca máxima de 165 bpm. Já em cães, a viabilidade relatada varia de 83% a 87%, havendo fusão das curvas em frequências acima de 170 bpm (CAIVANO et al., 2016; 2018). Outra limitação foi a alta qualidade das imagens ecocardiográficas necessárias para realização da STE-2D, o que foi difícil de conseguir em alguns gatos, resultando na exclusão de 26% dos animais. Outro ponto seria a possibilidade de ter sido empregada a tranquilização química, diminuindo o estresse e, conseqüentemente, a frequência cardíaca. Entretanto, é importante determinar os valores de normalidade em felinos não sedados, já que pode haver influência dos fármacos na função cardíaca. Outra limitação seria o pequeno número de gatos com cardiomiopatias e a falta de homogeneidade desse grupo, inviabilizando o fornecimento de índices de risco para desenvolvimento de insuficiência cardíaca. Um último ponto seria a necessidade de adaptar um *software* específico do VE para avaliar o AE, o que pode influenciar

na acurácia dos resultados, embora tenha sido observado o emprego deste mesmo *software* em outras pesquisas.

5. CONCLUSÃO

A avaliação da função atrial esquerda por meio da deformação utilizando a STE-2D demonstrou ser factível e útil na espécie felina. *Strain* e *strain rate* de reservatório apresentaram boa sensibilidade e especificidade para distinguir os gatos cardiopatas dos saudáveis. A associação da deformação do AE com as variáveis de disfunção diastólica ventricular sugere que essa medida pode ser uma alternativa para avaliar a pressão de enchimento do VE. Contudo, mais estudos são necessários para determinar a utilidade clínica e prognóstica da STE-2D nas três fases do ciclo atrial, principalmente nas fases de condução e contração.

REFERÊNCIAS

- ABBOTT, J. A.; MACLEAN, H. N. Two-dimensional echocardiographic assessment of the feline left atrium. **Journal of Veterinary Internal Medicine**, 20, p. 111-119, 2006.
- ACIERNO, M. J. et al. ACVIM consensus statement: Guidelines for the identification, evaluation, and management of systemic hypertension in dogs and cats. **Journal of Veterinary Internal Medicine**, v. 32, p.1803-1822, 2018.
- AHMED, M. K. et al. Assessment of left atrial deformation properties by speckle tracking in patients with systolic heart failure. **The Egyptian Heart Journal**, v. 67, p. 199-208, 2015.
- ANCONA, R. et al. Left atrium by echocardiography in clinical practice: From conventional methods to new echocardiographic techniques. **The Scientific World Journal**, p. 1-14, 2014.
- BORST, M. J. Evidence-Based Practice: The Basic Tools. In: Wietlisbach, C. M. **Cooper's Fundamentals of hand therapy: Clinical Reasoning and Treatment Guidelines for Common Diagnoses of the Upper Extremity**, 3rd ed. Missouri: Elsevier, 2019, p.15-20.
- BOYDEN, P. A. et al. Mechanisms for atrial arrhythmias associated with cardiomyopathy: a study of feline hearts with primary myocardial disease. **Circulation**, v. 69, p. 1036–1047, 1984.
- CAIVANO, D. et al. Left atrial deformation and phasic function determined by 2-dimensional speckle tracking echocardiography in healthy dogs. **Journal of Veterinary Cardiology**, p.1-6, 2016.
- CAIVANO, D. et al. Left atrial deformation and phasic function determined by two-dimensional speckle-tracking echocardiography in dogs with myxomatous mitral valve disease. **Journal of Veterinary Cardiology**, p. 1-13, 2018.

- CARNEY, H. C. et al. 2016 AAFP guidelines for the management of feline hyperthyroidism. **Journal of Feline Medicine and Surgery**, v. 18, p. 400-416, 2016.
- CARTER, J. V. et al. ROC-ing along: Evaluation and interpretation of receiver operating characteristic curves. **Surgery**, v. 159, n. 6, p. 1-8, 2016.
- CHAN, I-P. et al. The correlation of left atrial function and circulating n-terminal pro-brain natriuretic peptide levels in cats with heart diseases. **Taiwan Veterinary Journal**, v. 45, n. 4, p. 1-11, 2019.
- COELHO, M. R. et al. Evaluation of left atrial function in asymptomatic dogs with chronic myxomatous mitral valve disease: two dimensional feature-tracking echocardiography and Simpson's monoplanar methods. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 40, n. 3, p. 188-196, 2020.
- CÔTÉ, E. et al. **Feline Cardiology**. Iowa: John Wiley & Sons, 2011.
- DERMLIM, A. et al. The repeatability and left atrial strain analysis obtained via speckle tracking echocardiography in healthy dogs. **Journal of Veterinary Cardiology**, v. 23, p. 69-80, 2019.
- DULER, L.; SCOLLAN, K. F.; LEBLANC, N. L. Left atrial size and volume in cats with primary cardiomyopathy with and without congestive heart failure. **Journal of Veterinary Cardiology**, v. 24, p. 36-47, 2019.
- FOX, P. R. et al. International collaborative study to assess cardiovascular risk and evaluate long-term health in cats with preclinical hypertrophic cardiomyopathy and apparently healthy cats: The REVEAL Study. **Journal of Veterinary Internal Medicine**, v. 32, p. 930-943, 2018.
- FOX, P. R. et al. Long-term incidence and risk of noncardiovascular and all-cause mortality in apparently healthy cats and cats with preclinical hypertrophic cardiomyopathy. **Journal of Veterinary Internal Medicine**, v. 33, p. 2572-2586, 2019.
- FUENTES, V. L. et al. ACVIM consensus statement guidelines for the classification, diagnosis, and management of cardiomyopathies in cats. **Journal of Veterinary Internal Medicine**, p. 1-16, 2020.
- GEFFRÉ, A. et al. Reference Value Advisor: a new freeware set of macroinstructions to calculate reference intervals with Microsoft Excel. **Veterinary Clinical Pathology**, v. 40, p. 107-112, 2011.
- HAGGSTROM, J. et al. Effect of body weight on echocardiographic measurements in 19,866 pure-bred cats with or without heart disease. **Journal of Veterinary Internal Medicine**, v. 30, p. 1601-1611, 2016.
- HANSSON, K. et al. Left atrial to aortic root indices using two-dimensional and m-mode echocardiography in cavalier king charles spaniels with and without left atrial enlargement. **Veterinary Radiology & Ultrasound**, v. 43, n. 6, p. 568-575, 2002.

- HOLLMER, M. et al. Comparison of four echocardiographic methods to determine left atrial size in dogs. **Journal of Veterinary Cardiology**, p. 1-9, 2016.
- IIO, C. et al. Characteristics of left atrial deformation parameters and their prognostic impact in patients with pathological left ventricular hypertrophy: Analysis by speckle tracking echocardiography. **Echocardiography**, v. 32, p. 1821- 1830, 2015.
- IWAMA, M. et al. Left atrial appendage emptying fraction assessed by a feature-tracking echocardiographic method is a determinant of thrombus in patients with nonvalvular atrial fibrillation. **Journal of Cardiology**, v. 59, p. 329-336, 2012.
- JOHNS, S. M.; NELSON, O. L.; GAY, J. M. Left atrial function in cats with left-sided cardiac disease and pleural effusion or pulmonary edema. **Journal of Veterinary Internal Medicine**, v. 26, p. 1134-1139, 2012.
- KIATSILAPANAN, A.; SURACHETPONG, S. D. Assessment of left atrial function in feline hypertrophic cardiomyopathy by using two- dimensional speckle tracking echocardiography. **BMC Veterinary Research**, v. 16, n. 344, p. 1-10, 2020.
- KOO, T. K.; LI, M. Y. A guideline of selecting and reporting intraclass correlation coefficients for reliability research. **Journal of Chiropractic Medicine**, v. 15, p. 155-163, 2016.
- LAFLAMME, D.P. Development and validation of a body condition score system for cats: A clinical tool. **Feline Practitioners**, v. 25, p. 13-18, 1997.
- LAFLAMME, D. P. Understanding and managing obesity in dogs and cats. **Veterinary Clinics Small Animal Practice**, Philadelphia, v. 36, p. 1283-1295, 2006.
- LINNEY, C. J. et al. Left atrial size, atrial function and left ventricular diastolic function in cats with hypertrophic cardiomyopathy. **Journal of Small Animal Practice**, v. 55, p. 198-206, 2014.
- LONGOBARDO, L. et al. Left atrium in heart failure with preserved ejection fraction: the importance of function before anatomy. **European Heart Journal - Cardiovascular Imaging**, v. 18, p. 730-731, 2017.
- LONGOBARDO, L. The Ancient Contraposition between Anatomy and Function: The Effectiveness of Left Atrial Volume Index and the Advantages of Left Atrial Longitudinal Strain. **Journal of Cardiovascular Echography**, v. 30, p. 47-48, 2020.
- MEHRZAD, R.; RAJAB, M.; SPODICK, D. H. The three integrated phases of left atrial macrophysiology and their interactions. **Internal Journal of Molecular Science**, v. 15, p. 15146-15160, 2014.
- MIYOSHI, H. et al. Early predictors of alterations in left atrial structure and function related to left ventricular dysfunction in asymptomatic patients with hypertension. **Journal of the American Society of Hypertension**, v. 7, n. 3, p. 206-215, 2013.

- MORRIS, D. A. et al. Potential usefulness and clinical relevance of adding left atrial strain to left atrial volume index in the detection of left ventricular diastolic dysfunction. **Cardiovascular imaging**, v. 11, n. 10, p. 1405-1415, 2018.
- MUKAKA, M. M. Statistics Corner: A guide to appropriate use of Correlation coefficient in medical research. **Malawi Medical Journal**, v. 24, n. 3, p. 69-71, 2012.
- NAKAMURA, K. et al. Left atrial strain at different stages of myxomatous mitral valve disease in dogs. **Journal of Veterinary Internal Medicine**, v. 31, p. 316-325, 2017.
- NESTAAS, E. et al. Longitudinal strain and strain rate by tissue Doppler are more sensitive indices than fractional shortening for assessing the reduced myocardial function in asphyxiated neonates. **Cardiology in the Young**, v. 21, p. 1-7, 2011.
- OSMANAGIC, A. et al. Left atrial sphericity index predicts early recurrence of atrial fibrillation after direct-current cardioversion: An echocardiographic study. **Clinical Cardiology**, v. 39, n. 7, p. 406-412, 2016.
- PATHAN, F. et al. Normal ranges of left atrial strain by speckle-tracking echocardiography: A systematic review and meta-analysis. **Journal of the American Society of Echocardiography**, v. 30, p. 59-70, 2017.
- PAYNE, J. R.; BRODBELT, D. C.; FUENTES, V. L. Blood pressure measurements in 780 apparently healthy cats. **Journal of Veterinary Internal Medicine**, v. 31, p. 15-21, 2017.
- PAYNE, J. R. et al. Risk factors associated with sudden death vs. congestive heart failure or arterial thromboembolism in cats with hypertrophic cardiomyopathy. **Journal of Veterinary Cardiology**, v. 17, p. 318-328, 2015.
- RIMBAS, R. C.; DULGHERU, R. E.; VINEREANU, D. Methodological gaps in left atrial function assessment by 2D speckle tracking echocardiography. **Arquivos Brasileiros de Cardiologia**, v. 105, n. 6, p. 625-636, 2015.
- ROHRBAUGH, M. N. et al. Detection of congestive heart failure by Doppler echocardiography in cats with hypertrophic cardiomyopathy. **Journal of Veterinary Internal Medicine**, p. 1-11, 2020.
- SAHA, S. K. et al. Global left atrial strain correlates with CHADS2 risk score in patients with atrial fibrillation. **Journal of the American Society of Echocardiography**, v. 24, p. 506-512, 2011.
- SANTILLI, R. A. et al. Development and assessment of a novel precordial lead system for accurate detection of right atrial and ventricular depolarization in dogs with various thoracic conformations. **American Journal of Veterinary Research**, v. 80, n. 4, p. 358-368, 2019.
- SASAKI, S. et al. Left atrial strain as evaluated by two-dimensional speckle tracking predicts left atrial appendage dysfunction in patients with acute ischemic stroke. **BBA Clinical**, p. 40-47, 2014.

SCHOBER, K. E.; CHETBOUL, V. Echocardiographic evaluation of left ventricular diastolic function in cats: hemodynamic determinants and pattern recognition. **Journal of Veterinary Cardiology**, n. 17, p. 102-133, 2015.

SCHOBER, K. E. et al. Diagnostic accuracy of electrocardiography and thoracic radiography in the assessment of left atrial size in cats: Comparison with transthoracic 2-dimensional echocardiography. **Journal of Veterinary Internal Medicine**, v. 21, p. 709–718, 2007.

SMITH, S.; DUKES-MCEWAN, J. Clinical signs and left atrial size in cats with cardiovascular disease in general practice. **Journal of Small Animal Practice**, v. 53, p. 27-33, 2012.

SUN, J.P. et al. Left atrial regional phasic strain, strain rate and velocity by speckle-tracking echocardiography: normal values and effects of aging in a large group of normal subjects. **International Journal of Cardiology**, v. 168, p. 3473-3479, 2013.

TAYLOR, S. S. et al. ISFM Consensus guidelines on the diagnosis and management of hypertension in cats. **Journal of Feline Medicine and Surgery**, v. 19, p. 288-303, 2017.

TIGEN, K. et al. Left ventricular and atrial functions in hypertrophic cardiomyopathy patients with very high LVOT gradient: A speckle tracking echocardiographic study. **Echocardiography**, v. 31, p. 833-841, 2014.

TO, A. C. Y. et al. Clinical Utility of Multimodality LA Imaging: Assessment of Size, Function, and Structure. **Cardiovascular imaging**, v. 4, n. 7, p. 788-798, 2011.

TOALDO, M. B. et al. Assessment of left atrial deformation and function by 2-dimensional speckle tracking echocardiography in healthy dogs and dogs with myxomatous mitral valve disease. **Journal of Veterinary Internal Medicine**, v. 31, p. 641-649, 2017.

TOALDO, M. B. et al. Prognostic value of echocardiographic indices of left atrial morphology and function in dogs with myxomatous mitral valve disease. **Journal of Veterinary Internal Medicine**, v. 32, p. 914–921, 2018.

VIEIRA FILHO, N. G. et al. Two-dimensional echocardiography in the evaluation of left atrial volume: A study validated by three-dimensional echocardiography in 143 individuals. **Echocardiography**, v. 31, p. 265-272, 2014.

WESSELOWSKI, S. et al. Discrepancies in Identification of Left Atrial Enlargement Using Left Atrial Volume versus Left Atrial-to-Aortic Root Ratio in Dogs. **Journal of Veterinary Internal Medicine**, v. 28, p. 1527-1533, 2014.