



**LUIZ EDUARDO DUARTE DE OLIVEIRA**

**FUNÇÃO VENTRICULAR DIREITA EM FELINOS DOMÉSTICOS SAUDÁVEIS  
NÃO SEDADOS: AVALIAÇÃO PELA ECOCARDIOGRAFIA BIDIMENSIONAL E  
*SPECKLE TRACKING***

**LAVRAS - MG**

**2021**

**LUIZ EDUARDO DUARTE DE OLIVEIRA**

**FUNÇÃO VENTRICULAR DIREITA EM FELINOS DOMÉSTICOS SAUDÁVEIS  
NÃO SEDADOS: AVALIAÇÃO PELA ECOCARDIOGRAFIA BIDIMENSIONAL E  
*SPECKLE TRACKING***

Tese apresentada a Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias, área de concentração em Clínica, Cirurgia e Patologia Veterinária, para a obtenção do título de Doutor em Ciências Veterinárias.

Orientadora  
Profa. Dra. Ruthnéa Aparecida Lázaro Muzzi

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).**

Oliveira, Luiz Eduardo Duarte de.

Função ventricular direita em felinos domésticos saudáveis não sedados: avaliação pela ecocardiografia bidimensional e *speckle tracking* / Luiz Eduardo Duarte de Oliveira. - 2021.

69 p. : il.

Orientador(a): Ruthnéa Aparecida Lázaro Muzzi.

Coorientador(a): Leonardo Augusto Lopes Muzzi.

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

Bibliografia.

1. Cardiologia Veterinária. 2. Gatos. 3. Miocárdio. I. Muzzi, Ruthnéa Aparecida Lázaro. II. Muzzi, Leonardo Augusto Lopes. III. Título.

**LUIZ EDUARDO DUARTE DE OLIVEIRA**

**FUNÇÃO VENTRICULAR DIREITA EM FELINOS DOMÉSTICOS SAUDÁVEIS  
NÃO SEDADOS: AVALIAÇÃO PELA ECOCARDIOGRAFIA BIDIMENSIONAL E  
*SPECKLE TRACKING***

**RIGHT VENTRICULAR FUNCTION IN HEALTHY NON-SEDATED DOMESTIC  
FELINES: EVALUATION BY BIDIMENSIONAL ECHOCARDIOGRAPHY AND  
*SPECKLE TRACKING***

Tese apresentada a Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias, área de concentração em Clínica, Cirurgia e Patologia Veterinária, para a obtenção do título de Doutor em Ciências Veterinárias.

APROVADA em 29 de outubro de 2021.

Prof. Dr. Roberto Baracat de Araújo	UFMG
Profa. Dra. Waleska de Melo Ferreira Dantas	UNIVICOSA
Prof. Dr. Rodrigo Bernardes Nogueira	UFLA
Profa. Dra. Maira Souza de Oliveira	UFLA

Profa. Dra. Ruthnéa Aparecida Lázaro Muzzi  
Orientadora

Lavras – MG  
2021

## AGRADECIMENTOS

Talvez eu devesse ser breve neste ponto do trabalho, mas neste momento sou tomado por uma forte sensação de gratidão e, mesmo que eu escreva muitas linhas, seria incapaz de citar cada pessoa que me foi apoio até aqui.

Agradeço a Deus por se fazer tão presente na minha vida, por colocar pessoas incríveis no meu caminho e por possibilitar que cada dificuldade me fizesse mais forte.

À Professora Ruthnéa Muzzi, pela orientação nos últimos nove anos, por enxergar em mim potencial e me incentivar a explorá-lo, por entender minhas limitações e por compartilhar comigo seu vasto conhecimento. Obrigado por tornar a jornada até aqui mais leve Ruth. Tenho muita sorte e orgulho de ser seu orientado!

Aos membros da banca, Professores, Roberto Baracat de Araújo, Waleska de Melo Ferreira Dantas, Rodrigo Bernardes Nogueira e Maira Souza de Oliveira, por disponibilizarem seu tempo e conhecimento para contribuir com esse estudo. À vocês meu apreço e gratidão!

Aos meus pais, Maria das Graças e Silvério, por me apoiarem em todos os momentos da minha vida, mesmo quando era difícil entender o que se passava. Obrigado pelo colo, pelas orações e pelos conselhos. Meus maiores exemplos de amor, fé, superação e humildade.

Aos meus irmãos Luciana, José Silvério, Vânia (*in memoriam*) e Patrícia, e cunhados Gerson, Solange e Vinicius por serem incentivadores dos meus planos e por me darem os melhores motivos para melhorar, meus amados sobrinhos (Jéssyca, Emanuele, Pedro Lucas, Isabella, Maria Clara, João Vitor, Lívia e Jonas).

A cada um dos animais que possibilitaram a realização deste estudo e aos seus tutores que confiaram em nosso trabalho. Sem vocês nada disso seria possível!

Às colegas Claudine e Mariana, por dividirem comigo as atividades do Laboratório de Cardiologia Veterinária nos últimos seis anos e por me ensinarem tanto. Serei eternamente grato por tudo o que fizemos juntos. Não há palavras para descrever o quanto vocês são importantes para mim e o quanto eu as admiro.

À Tatiana Schulien, Lorena Lorraine, Lorena Alves e Henrique Oliveira, profissionais incríveis que também passaram pelo Laboratório de Cardiologia, marcaram positivamente minha vida e deixaram o caminho até aqui muito mais leve e divertido.

Aos alunos do Programa de Iniciação Científica, Ana Beatriz, Ana Flávia Pereira, Augusto Pedigone, Brenda Faria, Felipe Dias, Fernanda Lima, Isabella Cozadi, Júlia Lima, Larissa Silva, Letícia Vaz, Luísa Kyprianou, Mariangela Endrighi, Nayara Cruz, Paula Arruda, Rosane Costa e Thaís Barbosa que foram fundamentais para a realização dos nossos projetos.

À Naiara, Mariana, Marília, Ivam e Wanderson pela torcida e vibração a cada vitória.

Aos residentes, estagiários, alunos de graduação e funcionários do Hospital Veterinário da UFLA, pelo carinho e pela troca de conhecimentos.

A todos os docentes que contribuíram para minha formação na Pós-graduação, em especial aos Professores Leonardo Augusto Lopes Muzzi, Antônio Carlos Cunha Lacreta Junior, Gabriela Rodrigues Sampaio, Márcio Gilberto Zangeronimo e Raimundo Vicente Souza (*in memoriam*) pelo apoio e incentivo.

Ao Departamento de Medicina Veterinária e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias, pelas incríveis oportunidades de aprendizado.

À Universidade Federal de Lavras, pelo seu ensino de excelência e por me proporcionar os melhores anos da minha vida. Levarei para sempre na memória cada momento vivido em seu campus.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos que foi fundamental para o custeio do projeto.

*“O que me preocupa não é nem o grito dos corruptos,  
dos violentos, dos desonestos, dos sem caráter, dos  
sem ética... O que me preocupa é o silêncio dos bons.”*

(Martin Luther King)

## RESUMO

Ao longo dos anos os felinos domésticos têm ganhado cada vez mais espaço nos lares de todo o mundo. Características comportamentais da espécie, o crescimento vertical das cidades e outras mudanças socioeconômicas parecem contribuir para o crescimento do número de gatos que em alguns países já supera o de cães. As mudanças socioeconômicas também contribuíram para maior sobrevivência dos animais de companhia e, conseqüentemente, para maior incidência de doenças crônicas e degenerativas como as cardiopatias. O exame ecocardiográfico é uma modalidade diagnóstica essencial para a avaliação do paciente cardiopata, entretanto a maioria dos estudos publicados tem foco no ventrículo esquerdo. Trabalhos recentes têm demonstrado que o ventrículo direito foi subestimado, que tem grande importância na fisiologia circulatória e que está envolvido na fisiopatologia de doenças cardiopulmonares e do lado esquerdo do coração. Estes achados encorajam a realização de novos estudos que buscam compreender melhor as câmaras cardíacas direitas e fornecer valores de referência. Este trabalho tem como objetivo avaliar a função ventricular direita de gatos clinicamente saudáveis em diferentes faixas etárias por meio da ecocardiografia convencional e *Speckle Tracking*. Foram incluídos no estudo 88 gatos. Os animais foram divididos em três grupos de diferentes faixas etárias, sendo eles: G1 = filhotes ( $\leq 1$  ano); G2 = jovens adultos (1 a 6 anos), G3 = adultos maduros (7 – 10 anos). Na ecocardiografia convencional foram realizadas medidas lineares e índices de função miocárdica (variação fracional da área, excursão sistólica do plano anelar tricúspide, índice de performance miocárdica e Doppler tecidual). Por meio do *Speckle tracking* bidimensional foram obtidos os índices *strain* e *strain rate* da parede livre do ventrículo direito. As medidas lineares do átrio direito, ventrículo direito e parede livre do ventrículo direito diferiram entre os grupos, sendo menores valores encontrados nos filhotes. As variáveis de função miocárdica convencionais não diferiram com a idade, mas a ecocardiografia *Speckle tracking* demonstrou maiores valores de *strain* (G1:  $27,12 \pm 4,26$ ; G2:  $20,90 \pm 2,59$ ; G3:  $23,57 \pm 4,63$ ;  $p < 0,000$ ) e *strain rate* (G1:  $3,72 \pm 0,72$ ; G2:  $2,88 \pm 0,42$ ; G3:  $2,92 \pm 0,71$ ;  $p < 0,0001$ ) globais da parede livre do ventrículo direito nos animais do G1. A avaliação da deformação dos segmentos miocárdicos indicam que, na parede livre do ventrículo direito de gatos saudáveis, a região basilar tem maior contribuição para contração miocárdica. Em gatos, poucas são as variações ecocardiográficas convencionais determinadas pela idade, entretanto os filhotes apresentam valores de deformação mais altos que os adultos. Valores de referência preliminares para gatos saudáveis não sedados podem ser estabelecidos a partir dos resultados deste estudo.

**Palavras-chave:** Gatos, ecocardiografia, miocárdio, coração, cardiologia.

## ABSTRACT

Over the years, domestic cats have gained each time more space in homes around the world. Behavioral characteristics of the species, the vertical growth of cities and other socioeconomic changes seem to contribute to the increase in the number of cats, which in some countries already surpasses that of dogs. Socioeconomic changes have also contributed to longer survival of pets and, consequently, to a higher incidence of chronic and degenerative diseases such as heart disease. Echocardiographic examination is an essential diagnostic modality for the assessment of cardiac patients, although most published studies focus on the left ventricle. Recent work has meant that the right ventricle has been underestimated, that it has great importance in circulatory physiology and that it is happening in the pathophysiology of cardiopulmonary and left-sided heart diseases. These findings encourage the realization of new studies that seek to better understand themselves according to the right Municipal Chambers and provide reference values. This study aims to evaluate the right ventricular function of clinically healthy cats in different age groups by means of conventional echocardiography and Speckle Tracking. 88 cats were included in the study. The animals were divided into three groups of different age groups, namely: G1 = pups ( $\leq 1$  year); G2 = young adults (1 to 6 years), G3 = mature adults (7 to 10 years). In conventional echocardiography, linear measurements and myocardial function indices (fractional area variation, systolic excursion of the tricuspid annular plane, myocardial performance index and tissue Doppler) were performed. Two-dimensional speckle tracking were collected from the deformation indices and deformation rate of the free wall of the right ventricle. The linear measurements of the right atrium, right ventricle and free wall of the right ventricle differed between the groups, with lower values found in the offspring. Variables of myocardial function did not differ with age, but Speckle tracking echocardiography changes the highest strain values (G1:  $27.12 \pm 4.26$ ; G2:  $20.90 \pm 2.59$ ; G3:  $23.57 \pm 4.63$ ;  $p < 0.000$ ) and strain rate (G1:  $3.72 \pm 0.72$ ; G2:  $2.88 \pm 0.42$ ; G3:  $2.92 \pm 0.71$ ;  $p < 0.0001$ ) free wall images of the right ventricle in G1 animals. The evaluation of the deformation of the myocardial segments indicates that, in the free wall of the right ventricle of healthy cats, the basilar region has a greater contribution to myocardial contraction. In cats, conventional echocardiographic variations are determined by age, however puppies have higher formation values than adults. Preliminary reference values for healthy non-sedated cats can be derived from the results of this study.

**Keywords:** Cats, echocardiography, myocardium, heart, cardiology.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

---

### PRIMEIRA PARTE

---

Figura 1	Representação esquemática do ventrículo direito e seus três principais componentes da câmara; via de entrada, infundíbulo (ou via de saída) e ápice.....	18
Figura 2	Representação esquemática da orientação das fibras miocárdicas para diferentes geometrias e regiões do coração .....	18
Figura 3	Medidas ecocardiográficas das câmaras cardíacas direitas de um felino doméstico saudável em modo bidimensional. A, dimensão do átrio direito; B, dimensão interna do ventrículo direito; C, espessura máxima da parede do ventrículo direito. Imagens obtidas a partir da visão paraesternal direita longitudinal quatro câmaras.....	23
Figura 4	Visão paraesternal direita do eixo curto do base do coração. A: figura esquemática evidenciando as estruturas cardíacas e dos grandes vasos. B: exame ecocardiográfico de felino saudável em modo bidimensional, demonstrando as medidas para a obtenção do índice AP/Ao.....	24
Figura 5	Avaliação ecocardiográfica em felino saudável. Técnica para determinação da variação fracional da área (FAC) do VD. Linhas pontilhadas utilizadas no rastreamento do endomiocárdio na planimetria. Determinação da área do VD no final da diástole (A) e no final da sístole (B).....	25
Figura 6	Técnica para mensuração da TAPSE pelo modo M a partir da vista paraesternal esquerda apical 4 câmaras otimizadas para o VD.....	27
Figura 7	Técnica para mensuração da TAPSE pelo modo 2D a partir da vista paraesternal esquerda apical 4 câmaras.....	28
Figura 8	Representação esquemática do Doppler de onda pulsada, registros de tricúspide e pulmonar demonstrando o cálculo do índice de performance miocárdica.....	30
Figura 9	Representação esquemática dos diferentes tipos de deformação	

	miocárdica. Eixos ortogonais, representados pelos eixos longitudinal, radial e circunferencial são perpendiculares entre si. Deformações tangenciais.....	33
Figura 10	Representação esquemática dos segmentos miocárdicos do ventrículo direito. Vista apical esquerda de quatro câmaras.....	34

---

**SEGUNDA PARTE - ARTIGO**

---

Figura 11	Gato saudável submetido a mensuração de pressão arterial sistólica pelo método Doppler.....	48
Figura 12	Ecocardiografia <i>Speckle Tracking</i> bidimensional do ventrículo direito de um felino saudável. Visão parasternal direita apical quatro câmaras. A, notar marcação dos três pontos (anel tricúspide parietal, anel tricúspide septal e ápice) e exibição das dez linhas para rastreamento da borda endomiocárdica. B, borda endomiocárdica traçada. C, observar a marcação automática da borda epicárdica e a presença de vetores para rastreamento dos marcadores acústicos no miocárdio. D, gráficos e curvas referentes ao <i>Strain</i> longitudinal gerados pelo <i>software</i> considerando cada segmento estudado, representando-os em curvas de diferentes cores.....	53

---

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Variáveis ecocardiográficas convencionais do ventrículo direito de 88 gatos filhotes, adultos jovens e adultos maduros saudáveis.....	56
Tabela 2	Variáveis de função miocárdica regional e global obtidas pela ecocardiografia <i>Speckle tracking</i> bidimensional da parede livre do ventrículo direito de gatos clinicamente saudáveis, em diferentes faixas etárias de 88 gatos saudáveis.....	57
Tabela 3	Correlação entre as variáveis de função ventricular direita por <i>Speckle tracking</i> bidimensional e ecocardiografia convencional, idade, peso e gênero de 88 gatos saudáveis.....	58
Tabela 4	Intervalos de referência com intervalo de confiança a 90% das variáveis de função ventricular direita obtidas pela ecocardiografia convencional e <i>Speckle tracking</i> bidimensional de 88 gatos saudáveis.....	59

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AAFP	<i>American Association of Feline Practitioners</i>
AAHA	<i>American Animal Hospital Association</i>
AD	Átrio direito
ADd	Dimensão interna do átrio direito na diástole
ALT	Alanina aminotransferase
ANOVA	Análise de variância
Ao	Diâmetro aórtico
AP	Diâmetro da artéria pulmonar
AST	Aspartato aminotransferase
AVDs	Área do ventriculo direito no final da sístole
AVDd	Área do ventriculo direito no final da diastole
CEUA	Comissão de Ética no Uso de Animais
CFM	Doppler por mapeamento de fluxo em cores
CAVD	Cardiomiopatia arritmogênica do ventrículo direito
CMD	Cardiomiopatia dilatada
CMH	Cardiomiopatia hipertrófica
CMR	Cardiomiopatia restritiva
CW	Doppler contínuo
ECC	Escore de condição corporal
ECG	Eletrocardiograma
FA	Fosfatase alcalina
FAC	Variação fracional da área
FeLV	Vírus da leucemia felina
FIV	Virus da imunodeficiência felina
GGT	Gama glutamil transferase
HP	Hipertensão pulmonar
HV	Hospital veterinário
IPM	Índice de performance miocárdica
IPM VD	Índice de performance miocárdica do ventrículo direito
Kg	Quilograma
MHz	Mega-hertz
mm	milímetros
PAS	Pressão arterial sistólica
PLVD	Parede livre do ventrículo direito
PW	Doppler pulsado
S'	Velocidade de pico do movimento anular sistólico da tricúspide
ST	<i>Strain</i>
STE	<i>Speckle tracking</i>
SR	<i>Strain rate</i>
TAPSE	Excursão Sistólica do Plano anelar Tricúspide
TDI	Imagem por Doppler tecidual
T4	Tiroxina
UFLA	Universidade Federal de Lavras

VD	Ventrículo direito
VDd	Dimensão interna do ventrículo direito na diástole
VE	Ventrículo esquerdo
2D	Modo bidimensional
2D-STE	<i>Speckle tracking</i> bidimensional

## SUMÁRIO

---

<b>PRIMEIRA PARTE</b>	
<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO ..... 15</b>
<b>2.</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO ..... 17</b>
<b>2.1.</b>	<b>Anatomia e fisiologia do VD..... 17</b>
<b>2.2.</b>	<b>Ecocardiografia..... 20</b>
<b>2.2.1.</b>	<b>Ecocardiografia convencional..... 21</b>
<b>2.2.1.1.</b>	<b>Mensuração de dimensões em modo 2D..... 22</b>
<b>2.2.1.2.</b>	<b>Variação fracional área do VD..... 24</b>
<b>2.2.1.3.</b>	<b>Excursão Sistólica do Plano anelar tricúspide (TAPSE) ..... 26</b>
<b>2.2.1.4.</b>	<b>Índice de Performance Miocárdica (IPM) do VD..... 29</b>
<b>2.2.1.5.</b>	<b>Doppler tecidual..... 31</b>
<b>2.2.2.</b>	<b>Ecocardiografia <i>Speckle Tracking</i> 2D..... 31</b>
<b>3.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES GERAIS ..... 36</b>
<b>4.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 37</b>

---

<b>SEGUNDA PARTE – ARTIGO</b>	
<b>RESUMO</b> .....	<b>44</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>45</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>46</b>
<b>2.1. Animais</b> .....	<b>47</b>
<b>2.2. Ambientação e avaliação comportamental</b> .....	<b>47</b>
<b>2.3. Pressão arterial sistólica</b> .....	<b>48</b>
<b>2.4. Escore de Condição corporal</b> .....	<b>49</b>
<b>2.5. Análises laboratoriais</b> .....	<b>50</b>
<b>2.6. Exame eletrocardiográfico</b> .....	<b>51</b>
<b>2.7. Exame ecocardiográfico</b> .....	<b>51</b>
<b>2.8. Análise estatística</b> .....	<b>53</b>
<b>3. RESULTADOS</b> .....	<b>55</b>
<b>4. DISCUSSÃO</b> .....	<b>59</b>
<b>5. CONCLUSÃO</b> .....	<b>64</b>
<b>6. AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>64</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>65</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>65</b>

---

## PRIMEIRA PARTE

### 1. INTRODUÇÃO

Tem sido crescente o espaço que os felinos domésticos têm ocupado como animais de estimação em todo o mundo. Em alguns países, como Estados Unidos, França, Alemanha e outros (JUSTEN, 2014, GROWTH FROM KNOWLEDGE, 2016), a população de gatos já é inclusive superior a de cães. No Brasil não tem sido diferente e a presença dos gatos nos lares é crescente. De acordo com os dados da Associação Brasileira da Indústria de Produtos Para Animais de Estimação (ABINPET, 2019) entre os anos de 2018 e 2019 os gatos apresentaram um crescimento acumulado de 3%, quase o dobro do crescimento da espécie canina que acumulou 1,7%. A previsão é que nos próximos anos o número de gatos seja superior ao de cães também no Brasil.

Acredita-se que o maior interesse pela espécie felina esteja diretamente relacionado a mudanças socioeconômicas observadas no país nos últimos anos. O crescimento vertical das cidades, com um maior número de pessoas vivendo em menores espaços, assim como as características de maior independência da espécie também contribuem para ascensão do número de gatos. Segundo Carvalho e Pessanha (2013) a mudança socioeconômica também contribuiu para uma nova visão sobre os animais de estimação. Os cães e gatos se tornaram membros das famílias e seus tutores estão cada vez mais empenhados em fornecer os melhores cuidados, impactando diretamente na sobrevivência dos animais. Com a maior longevidade também foi possível observar uma maior incidência das doenças degenerativas e crônicas, como as cardiomiopatias, que são uma das principais causas de óbito em felinos domésticos.

As principais cardiopatias adquiridas em felinos são a cardiomiopatia fenótipo hipertrófica (CMH), cardiomiopatia fenótipo restritiva (CMR), cardiomiopatia fenótipo dilatada (CMD) e a cardiomiopatia fenótipo arritmogênica do ventrículo direito (CAVD), sendo a primeira a mais frequentemente diagnosticada na espécie (FUENTES et al., 2020). A ecocardiografia transtorácica é um exame fundamental para o diagnóstico dessas enfermidades. Trata-se de um método diagnóstico não invasivo do coração e estruturas

subjacentes, que possibilita a avaliação dinâmica dessas estruturas. Este exame complementar tem sido base para diversas pesquisas e se tornado cada vez mais acessível aos médicos veterinários. Entretanto a maior parte dos estudos priorizam a avaliação das câmaras cardíacas esquerdas e, por isso, pouco se sabe sobre o impacto funcional dessas afecções sobre as câmaras direitas.

Nas últimas décadas, após o aumento do uso de novas técnicas diagnósticas não invasivas, foi possível redefinir o papel fisiológico do ventrículo direito (VD) na manutenção da hemodinâmica central, bem como sua importância clínica no desenvolvimento de condições associadas a disfunção ventricular esquerda (HAYRAPETYAN, 2015). Desde então maior importância tem sido dada ao VD.

Estudos anteriores demonstraram aumento da espessura da parede do VD em gatos com CMH e que a hipertrofia está relacionada a gravidade clínica da doença (SCHOBER et al., 2016; VISSER, SLOAN; STERN, 2017). O VD também é considerado um dos mais importantes preditores da evolução clínica em pacientes com doença do leito vascular pulmonar (LA GERCHE; ROBERTS, 2015). Sendo assim, a determinação de parâmetros ecocardiográficos da função ventricular direita em felinos saudáveis é de grande importância para fornecer dados para os clínicos veterinários, além de oferecer subsídios para pesquisas.

Este trabalho teve como objetivo avaliar a função ventricular direita de gatos clinicamente saudáveis e em diferentes faixas etárias por meio da ecocardiografia convencional e *Speckle Tracking*, determinando valores de referência para espécie.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. Anatomia e fisiologia do VD

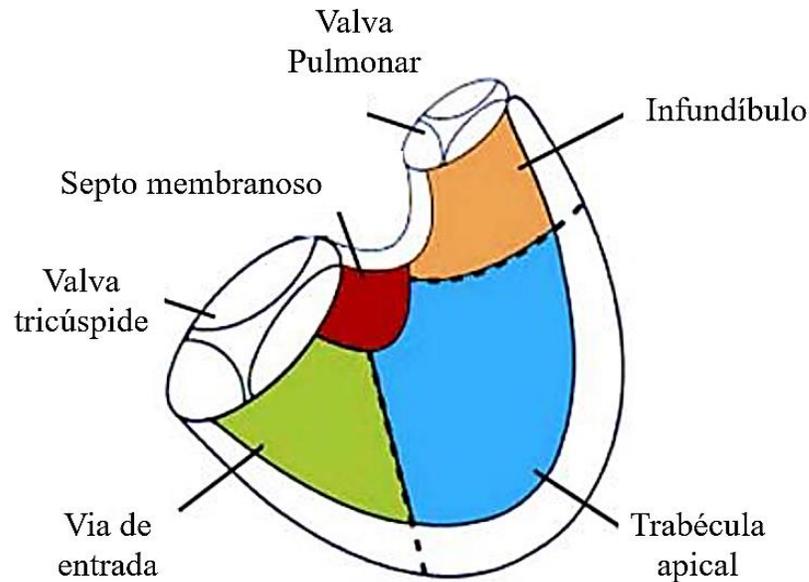
Ambos os ventrículos têm como função bombear o sangue para manter a circulação e a homeostase corporal. A estrutura ventricular está intimamente relacionada a manutenção dessa função mecânica. No entanto, a estrutura anatômica e alguns aspectos fisiológicos dos dois ventrículos são diferentes (HADDAD et al., 2008). Ao contrário do ventrículo esquerdo (VE), o VD tem uma geometria muito complexa, o que desafia sua avaliação, mesmo que por exames complementares tecnológicos (SHEEHAN; REDINGTON, 2008; HAYRAPETYAN, 2015; CHETBOUL; BUSSADORI; MADRON, 2016; VISSER, 2017; CAIVANO et al., 2018; SPALLA et al., 2019; SILVA et al., 2020)

Apesar dos ventrículos bombearem o mesmo volume de sangue, há diferenças consistentes em suas massas musculares (MARAIS; CROLE, 2020.) Acredita-se que a massa do VD seja cerca de um sexto da massa ventricular esquerda. A explicação para tamanha diferença está na condição de carga em que trabalham. Como normalmente opera a uma pressão mais alta que a do VD, o VE tem uma parede mais espessa e com maior massa muscular (PINSKY; TEBOUL, 2005).

Morfologicamente, o VD se diferencia do VE por apresentar trabéculas mais espessas, trabéculas septo marginais (banda moderadora) e falta de continuidade fibrosa entre as válvulas de entrada e saída (FOALE et al., 1986; SHEEHAN; REDINGTON, 2008). O VD apresenta um formato mais triangular na vista lateral e forma de meia lua pela vista transversal, enquanto o VE apresenta uma forma cônica ou elipsoide. Esse formato é influenciado pelo septo interventricular que apresenta uma concavidade em direção a câmara esquerda (FOALE et al., 1986).

O VD pode ser dividido anatomicamente em três partes que consistem em uma via de entrada, uma via de saída (infundíbulo) e uma porção de trabécula apical entre elas (Figura 1) (HAYRAPETYAN, 2015; VISSER, 2017).

Figura 1 – Representação esquemática do ventrículo direito evidenciando seus três principais componentes; via de entrada, infundíbulo (ou via de saída) e ápice.

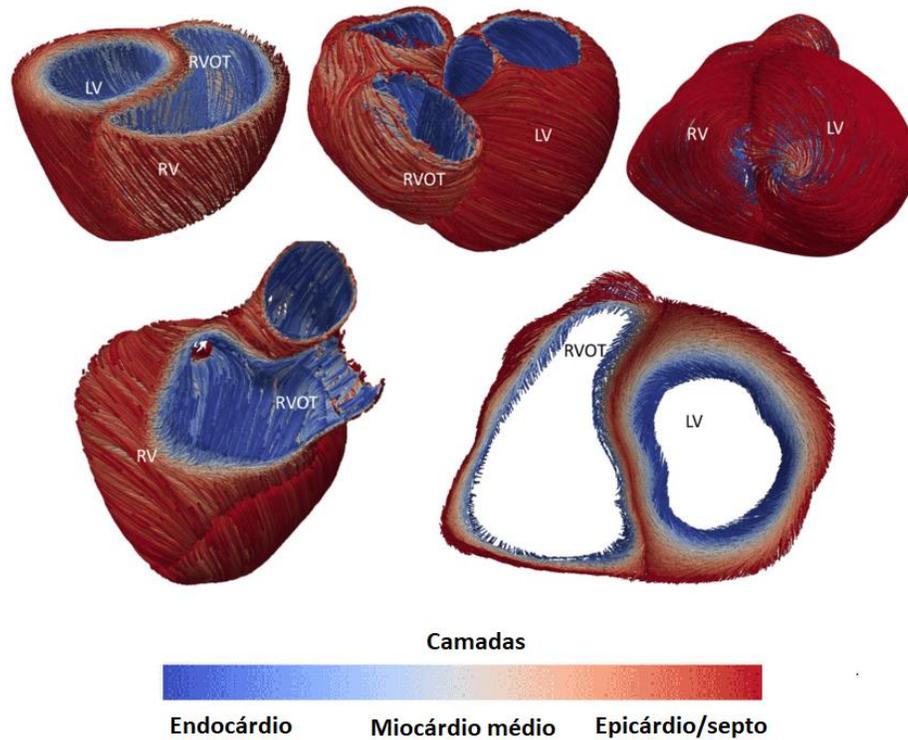


Fonte: Adaptado de Kenneth et al., 2009.

A valva pulmonar se posiciona em um infundíbulo muscular independente, sendo que a crista supraventricular se posiciona entre ela e a valva tricúspide auxiliando na contração muscular da parede livre do VD (SHEEHAN; REDINGTON, 2008).

Para que haja contração, o músculo cardíaco possui fibras que se apresentam de forma complexa em diferentes regiões do miocárdio ventricular (Figura 2). A organização estratégica dessas fibras e a disposição de cardiomiócitos em camadas exercem efeito direto sobre a contratilidade miocárdica, contribuindo para a função mecânica do coração em diferentes planos de deformação (STOECK et al., 2014; MEKKAOUI, et al., 2017). Os planos de deformação que sustentam a ejeção cardíaca são o eixo curto, eixo longo e torção (SPALLA et al., 2019).

Figura 2 – Representação esquemática da orientação das fibras miocárdicas para diferentes geometrias e regiões do coração. LV: ventrículo esquerdo; RV: ventrículo direito; RVOT: via de saída do ventrículo direito.



Fonte: adaptado de Dost et al., 2018.

Ainda sobre a estrutura do miocárdio, a maioria dos estudos já realizados estão relacionados ao VE. Experimentos de dissecação revelaram que suas fibras seguem um padrão helicoidal entre o subendocárdio e o subepicárdio (SHEEHAN; REDINGTON, 2008; CHETBOUL; BUSSADORI; MADRON 2016), sendo que as fibras na camada epicárdica se orientam no sentido ascendente e as da camada endocárdica no sentido descendente. Há ainda uma camada intermediária que apresenta fibras constritoras circunferenciais (CHETBOUL; BUSSADORI; MADRON 2016) que fornecem a principal força motriz do VE, reduzindo o diâmetro ventricular (SHEEHAN; REDINGTON, 2008).

Da mesma forma que o VE o VD também possui fibras helicoidais e sofre torção. No entanto, o VD depende mais do encurtamento longitudinal do que o VE (SPALLA et

al., 2019) e por isso possui principalmente fibras orientadas longitudinalmente, com mínima deformação do eixo curto (SPALLA et al., 2019). O VD se contrai em um padrão "peristáltico" que procede da via de entrada, onde a maioria das fibras são orientadas obliquamente, para o infundíbulo, cujas fibras são circunconais (SHEEHAN; REDINGTON, 2008).

Classicamente o septo interventricular é considerado parte do VE, entretanto, o septo contém fibras longitudinais oriundas do VD. Esse fato sustenta a ideia de que os ventrículos interagem funcionalmente e não podem ser avaliados como entidades isoladas, havendo fibras que ocorrem entre eles em camadas mais superficiais e mais profundas (SHEEHAN; REDINGTON, 2008). A continuidade da miofibra ventricular direita e esquerda, o septo interventricular e o pericárdio, contribuem para a interação entre os dois ventrículos durante o ciclo cardíaco. Essa interação é denominada interdependência ventricular (VISSER, 2016).

## **2.2. Ecocardiografia**

A ecocardiografia transtorácica é um método de diagnóstico não invasivo e não ionizante que possibilita a avaliação do coração e estruturas adjacentes (BOON, 2011). Esse exame de imagem é excepcionalmente útil para o diagnóstico de doenças cardiovasculares em pequenos animais, fornecendo uma grande gama de dados relativos à morfologia e função cardíacas (OYAMA, 2004). No modo bidimensional (2D) e no modo M (modo de movimento), são obtidas imagens dinâmicas do coração. No modo Doppler é possível observar e quantificar os fluxos sanguíneos e pelo Doppler tecidual é possível analisar o movimento do miocárdio (BOON, 2011; CHETBOUL; BUSSADORI; MADRON 2016).

As cardiomiopatias são frequentemente diagnosticadas em gatos, estando entre as dez principais causas de óbito na espécie (FOX et al., 2019). A ecocardiografia é o teste diagnóstico de escolha para avaliação e manejo dessas enfermidades. As principais cardiopatias adquiridas em felinos são a CMH, CMR, CMD e a CAVD, sendo a primeira a mais frequentemente observada (FUENTES et al., 2020).

Durante muitos anos pouca atenção foi dada ao VD, com estudos escassos na literatura. Entretanto, após o aumento do uso de novas técnicas diagnósticas não invasivas foi possível redefinir o papel fisiológico do VD na manutenção da hemodinâmica central, assim como sua importância no desenvolvimento de condições associadas a disfunção ventricular esquerda (HAYRAPETYAN, 2015). Estudos anteriores em felinos reforçam essa teoria. Schober et al. (2016) demonstraram aumento da espessura da parede do VD em gatos com CMH. Visser, Sloan e Stern (2017) reforçaram que a gravidade da hipertrofia do VD está diretamente relacionada a gravidade clínica da CMH. Outros estudos em pacientes humanos demonstraram um papel importante para a disfunção do VD no prognóstico de uma variedade de doenças cardiovasculares (SHEEHAN; REDINGTON, 2008; VISSER, 2017). Apesar disso, em gatos, estudos com foco na avaliação do tamanho e função do VD são limitados (VISSER; SLOAN; STERN, 2017).

### **2.2.1. Ecocardiografia convencional**

A câmara ventricular direita apresenta uma geometria complexa, o que dificulta sua avaliação pela ecocardiografia bidimensional (BOON, 2011; CHETBOUL; BUSSADORI; MADRON, 2016; CAIVANO et al., 2018; SPALLA et al., 2019). Não existe uma maneira fácil de medir essa estrutura, apenas algumas medidas lineares do ventrículo direito foram propostas. Nem mesmo para medida do átrio direito (AD) há valor de referência e seus diâmetros médio ou anteroposterior costumam ser comparados aos do átrio esquerdo (CHETBOUL; BUSSADORI; MADRON, 2016). Essa complexa geometria desafia a modelagem matemática simples, tornando também a avaliação da sua função mais difícil que a do VE (que apresenta geometria elíptica) (CAIVANO et al., 2018; SPALLA et al., 2019; SILVA et al., 2020).

O VD é afetado por uma série de doenças, incluindo hipertensão pulmonar, doença cardíaca do lado esquerdo, cardiomiopatias do ventrículo direito, doença pericárdica, malformações das valvas pulmonar ou tricúspide, *shunts* cardíacos, dentre outros. Na medicina veterinária o reconhecimento clínico da disfunção do VD é subdesenvolvido e baseado na avaliação qualitativa ou em sinais evidentes de insuficiência cardíaca

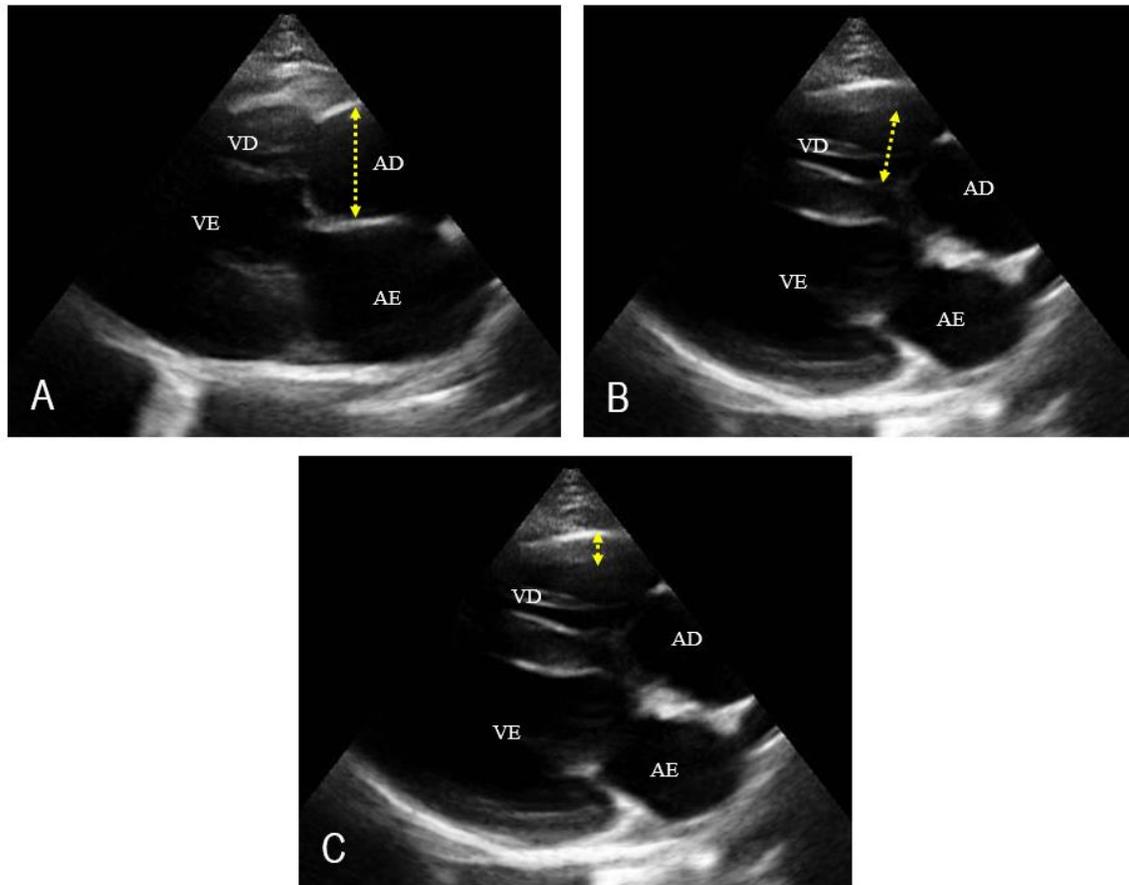
congestiva do lado direito (LING et al., 2012). Consequentemente, os índices medidos e calculados que quantificam a função ventricular podem ser clinicamente úteis na identificação da presença e progressão da disfunção ventricular direita (VISSER et al., 2015).

### **2.2.1.1 Mensuração de dimensões em modo 2D**

Estudos demonstraram que as medidas lineares do VD podem diferir entre gatos saudáveis e gatos com doenças primárias do VE. Em seu estudo, Schober, Savino e Yildiz (2016) identificaram um aumento da espessura da parede livre do VD em gatos com CMH. Já Visser, Sloan e Stern (2017), demonstraram que este remodelamento varia conforme a gravidade da doença. Entretanto, poucas são as medidas descritas na literatura para avaliação das dimensões das câmaras cardíacas direitas em modo 2D (CHETEBOUL, 2016).

Visser, Sloan e Stern (2017) sugeriram um método de mensuração da dimensão interna do AD, dimensão interna do VD e espessura máxima da parede do VD a partir da visão parasternal direita longitudinal quatro câmaras (Figura 3). O diâmetro interno máximo do AD pode ser mensurado do ponto médio do septo interatrial até a parede lateral do AD em um plano paralelo ao anel da valva tricúspide no final da sístole ventricular. A dimensão interna do VD pode ser medida no final da diástole e final da sístole, onde as pontas do folheto tricúspide aberto contatam o endomiocárdio e paralelas ao anel da valva tricúspide. A espessura da parede livre do VD pode ser mensurada no final da diástole em sua espessura máxima, da borda interna do endomiocárdio até a borda externa do epimiocárdio, excluindo da medida o pericárdio.

Figura 3 – Medidas ecocardiográficas das câmaras cardíacas direitas de um felino doméstico saudável em modo bidimensional. A, dimensão do átrio direito; B, dimensão interna do ventrículo direito; C, espessura máxima da parede do ventrículo direito. Imagens obtidas a partir da visão paraesternal direita longitudinal quatro câmaras. AD, átrio direito; VD, ventrículo direito; AE, átrio esquerdo; VE, ventrículo esquerdo.

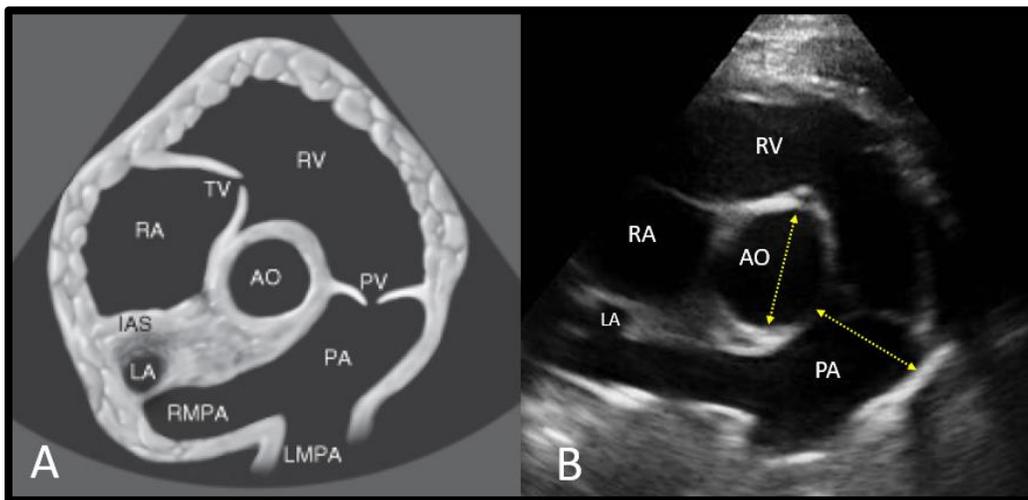


Fonte: Setor de Cardiologia Veterinária -UFLA.

A mensuração da artéria pulmonar (AP) também pode ser realizada pelo modo 2D a partir da visão paraesternal direita em corte transversal no plano dos vasos da base (Figura 4). Para maior precisão o tamanho AP é indexado ao tamanho da aorta (Ao) (SERRES et al., 2007; VISSER; JOHNSON; STERN, 2017; VEZZOSI; SCHOBBER, 2019). Para isso, o diâmetro diastólico final do tronco da artéria pulmonar deve ser mensurado logo abaixo da valva pulmonar fechada e o diâmetro aórtico medido na mesma incidência. A partir dos valores encontrados obtém-se a relação AP/Ao. Este índice ecocardiográfico é útil para

avaliação da artéria AP em situações em que ocorre sua dilatação, como na hipertensão pulmonar (SERRES et al., 2007; VEZZOSI; SCHOBER, 2019).

Figura 4 –Visão paraesternal direita do eixo curto do base do coração. A: figura esquemática evidenciando as estruturas cardíacas e dos grandes vasos. B: exame ecocardiográfico de felino saudável em modo bidimensional, demonstrando as medidas para a obtenção do índice AP/Ao. As setas amarelas representam as medidas da artéria pulmonar e aorta. PV= válvula pulmonar; PA= artéria pulmonar; RMPA=tronco da artéria pulmonar direita; LMPA= tronco da artéria pulmonar esquerda; AO= aorta; RA= átrio direito; RV= ventrículo direito; TV= válvula tricúspide; LA = átrio esquerdo; IAS = septo interatrial.



Fonte: A, BOON, 2011. B, Serviço de Cardiologia Veterinária – UFLA.

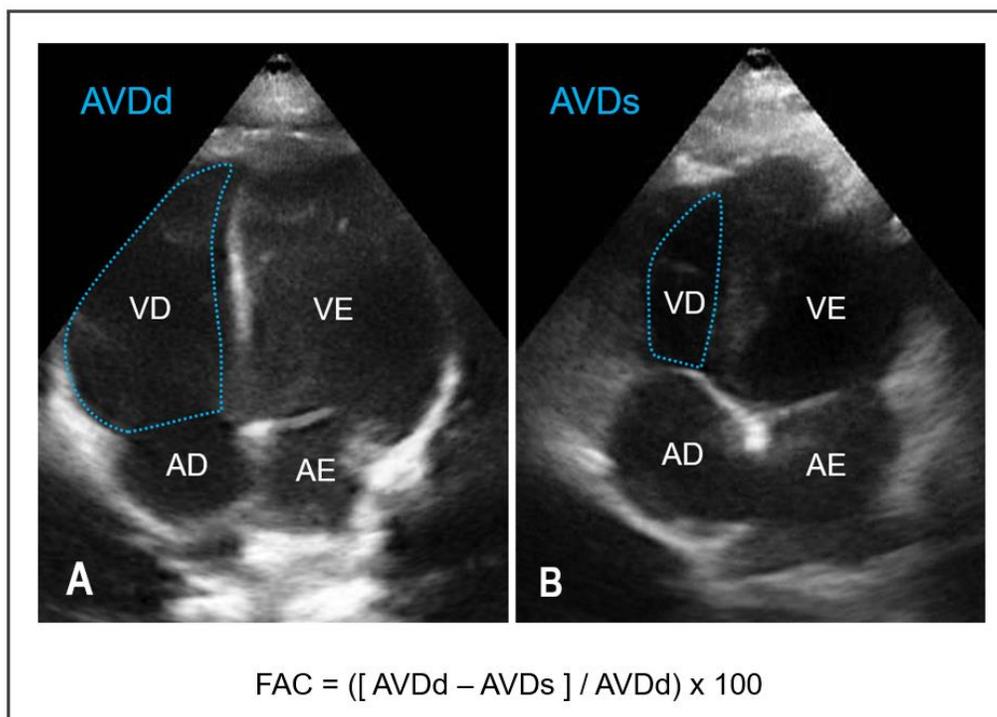
#### 2.2.1.2. Variação fracional da área (FAC) do VD

A função sistólica do VD tem sido avaliada pelo cálculo da variação fracional da área que reflete os componentes longitudinal e radial dessa câmara (ALSOOS; KHADDAM, 2015). Esta variável ecocardiográfica pode ser obtida em modo 2D a partir do corte paraesternal esquerdo apical quatro câmaras e se correlaciona bem com a fração de ejeção do VD avaliado por ressonância magnética em humanos com coração normal e doente (RUDSKI et al., 2010, BOON, 2011; GENTILE-SOLOMON; ABBOTT, 2016).

O cálculo da FAC é determinado por planimetria (Figura 5). Para isso a área do VD é medida rastreando-se as bordas endomiocárdicas, partindo do anel da valva tricúspide até o ápice passando pela parede livre, e depois de volta ao anel da valva percorrendo o septo

interventricular. A área do VD é mensurada no final da sístole (AVDs) e, posteriormente, no final da diástole (AVDd). Os valores obtidos são inseridos na seguinte fórmula: FAC  $([AVDd - AVDs] / AVDd) \times 100$  (CHAPEL et al., 2017; VISSER, 2017; TOALDO et al., 2021). Durante a avaliação é importante ter certeza que todo o VD está presente no corte, incluindo o apex e a parede livre tanto na sístole quanto na diástole. Deve-se ter cuidado para excluir trabeculações durante a planimetria da área do VD (RUDSKI et al., 2010).

Figura 5 – Avaliação ecocardiográfica de um felino saudável Técnica para determinação da variação fracional da área do ventrículo direito. Observar as linhas pontilhadas utilizadas no rastreamento do endomiocárdio na planimetria. Determinação da área do ventrículo direito no final da diástole (A) e no final da sístole (B). Imagens obtidas a partir da visão paraesternal esquerda apical quatro câmaras. VD, ventrículo direito; AD, átrio direito; VE, ventrículo esquerdo; AE, átrio esquerdo.



Fonte: Setor de Cardiologia Veterinária - UFLA.

Uma importante vantagem da FAC é sua relativa independência do ângulo de aquisição das imagens. Entretanto, para identificação precisa da borda endomiocárdica é necessário que sejam obtidas imagens de alta qualidade, o que pode ser considerado uma

limitação para sua utilização em alguns pacientes (GENTILE-SOLOMON; ABBOTT, 2016; VISSER, 2017; CHAPEL et al., 2017). Segundo Boon (2011) a alteração da área fracionária da câmara ventricular direita deve ser de aproximadamente 40–45%. Já Visser et al. (2015) em seu estudo com cães observaram um intervalo de referência entre 32 e 69,1%, variando conforme o peso corporal.

Estudos em cães saudáveis tem demonstrado uma baixa variação intra e interobservador na determinação da FAC, o que reforça a repetibilidade desse índice ecocardiográfico (VISSER, et al., 2015; GENTILE-SOLOMON; ABBOTT, 2016). Em contraste, Chapel et al. (2017) em seu estudo com cães com degeneração mixomatosa da valva mitral observaram uma alta variabilidade das medidas intra e interobservador. Segundo esses mesmos autores as diferenças na população estudada e nos avaliadores podem ter contribuído para este resultado divergente entre os estudos. A cardiomegalia do lado esquerdo também pode ter contribuído uma vez que a interação da pressão ventricular direita e esquerda altera a conformação septal (BOON, 2011; CHAPEL et al., 2017).

### **2.2.1.3. Excursão Sistólica do Plano Anular Tricúspide (TAPSE)**

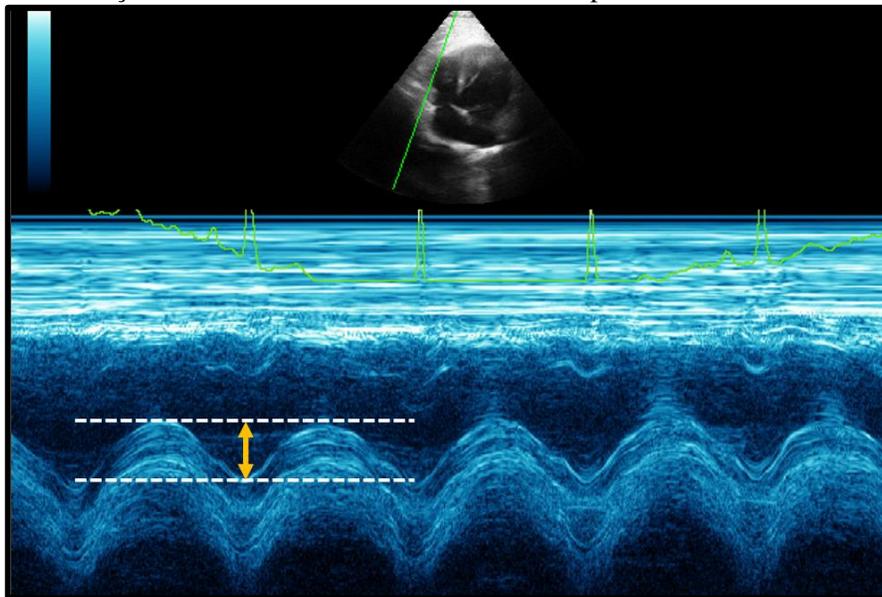
A TAPSE, também conhecida como movimento do anel tricúspide, é uma variável ecocardiográfica que possibilita a mensuração da distância máxima que o anel tricúspide parietal percorre em direção ao ápice do VD durante a sístole, sendo considerado um marcador importante da função longitudinal do VD (SPALLA et al., 2017; VEZZOSI; SCHOBER, 2019; KOST et al., 2021). Quanto maior a movimentação inferior da base na sístole, melhor a função sistólica do VD, sendo assim este índice assume que o deslocamento da base e segmentos adjacentes, pelo corte apical 4 câmaras, reflete a função de toda câmara (RUDSKI et al., 2010).

Quando comparado a outras técnicas ecocardiográficas de avaliação da função ventricular, como Doppler tecidual e *speckle tracking*, a TAPSE se destaca pelos seguintes motivos: 1) não depende de equipamentos ou *software* avançados e de alto custo; 2) não exige imagens de alta qualidade (RUDSKI et al., 2010; SPALLA et al., 2017); 3) não requer tempo prolongado de exame (RUDSKI et al., 2010); 4) não depende de baixas

frequências cardíacas; 5) possui uma curva de aprendizado menos acentuada (SPALLA et al., 2017); 6) independe da geometria do VD (VISSER, 2017). Uma limitação do TAPSE é que sua medida considera a movimentação de um único segmento para avaliar a função da estrutura complexa do VD. Outra limitação é que este índice depende do ângulo de obtenção das imagens (RUDSKI et al., 2010).

A mensuração da TAPSE pode ser obtida na visão paraesternal esquerda apical 4 câmaras otimizado para o VD, pelo modo 2D e pelo modo M (VISSER, 2017; VISSER et al., 2018). No modo M o cursor é posicionado seccionando o anel tricúspide parietal e ápice do VD (Figura 6). O cursor deve ser ajustado o mais paralelo possível com a maior parte da parede livre do VD. Esse alinhamento permite uma medição mais fácil devido à melhor visualização do anel tricúspide ao longo do ciclo cardíaco (VISSER et al., 2015; SPALLA et al., 2017; KOST et al., 2021). O TAPSE é então medido em milímetros entre a posição mais basilar do anel tricúspide no final da diástole e seu deslocamento mais apical no final da sístole (SPALLA et al., 2017; KOST, et al., 2021).

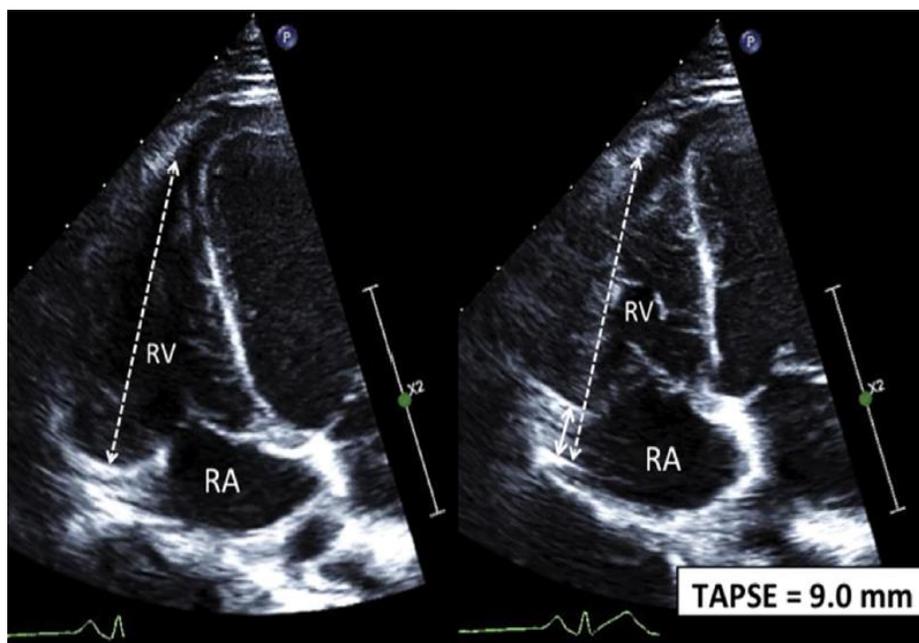
Figura 6 – Exame ecocardiográfico de um felino saudável. Técnica para mensuração da TAPSE pelo modo M a partir da visão paraesternal esquerda apical quatro câmaras otimizadas para o ventrículo direito. Observar o posicionamento do cursor do modo M sobre a região hiperecogênica do anel parietal da tricúspide, paralelo a parede livre do ventrículo direito. As linhas pontilhadas e seta amarela indicam o local para a mensuração do movimento anular da valva tricúspide.



Fonte: Serviço de Cardiologia Veterinária – UFLA.

Para a determinação do TAPSE em modo 2D (Figura 7) um paquímetro digital é utilizado para traçar uma linha do anel tricúspide parietal até o ápice do VD no final da diástole. O “*cine loop*” é então avançado até o final da sístole mantendo-se a linha. Uma segunda linha é traçada a partir da nova localização do anel tricúspide até sua localização original. O comprimento da segunda linha determina o valor do TAPSE (VISSER; SLOAN; STERN, 2017; VISSER et al., 2018).

Figura 7 – Representação da técnica para mensuração da TAPSE pelo modo bidimensional a partir da vista paraesternal esquerda apical quatro câmaras. Observar primeira linha (seta branca pontilhada) traçada durante a diástole da região hiperecogênica do anel tricúspide parietal até o ápice do ventrículo direito. O “*cine loop*” foi então avançado até o final da sístole e a segunda linha (branca contínua) traçada a partir do novo local do anel tricúspide até o seu ponto inicial. O comprimento da segunda linha representa a TAPSE bidimensional.



Fonte: Visser, 2017.

Estudos realizados em cães sugerem intervalos de referência semelhantes: 8-22 mm (PARIAUT et al., 2012); 6,6-23,7 mm (VISSER et al., 2015); 6-21 mm (GENTILE-SOLOMON; ABBOTT, 2016). Em todos os casos foi observada uma variação nos valores

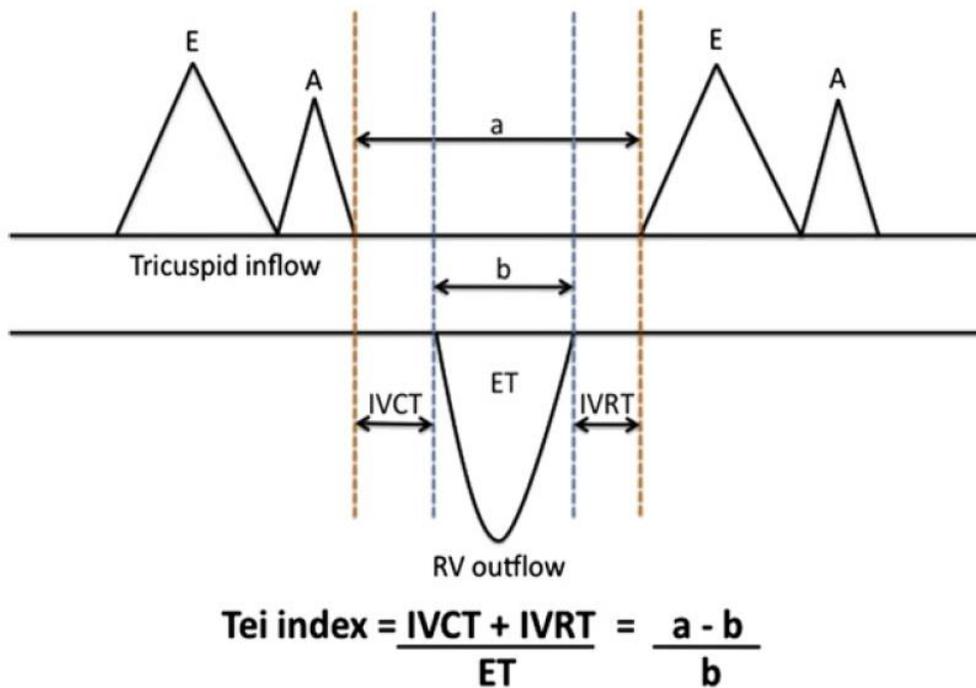
obtidos de acordo com o peso corporal. Ainda na espécie canina, Pariaut et al. (2012) realizaram a avaliação da TAPSE em cães saudáveis e com hipertensão pulmonar (HP). Esse estudo demonstrou que a TAPSE está diminuída na maioria dos cães com HP grave. Segundo os autores uma aplicação importante da medida de TAPSE seria a identificação precoce da disfunção sistólica cardíaca direita secundária a HP.

Spalla, Payne, Borgeat et al. (2017) observaram em seu estudo que a medida do TAPSE em gatos saudáveis variou de 7.4–10.2 mm, enquanto gatos com CMH apresentaram menores valores (4.7–7.6 mm), demonstrando que a sobrecarga cardíaca do VE promovida pela enfermidade impacta diretamente na função ventricular direita. Diferente do que é observado em cães, os gatos tem uma variação menos pronunciada da conformação corporal, entretanto devido à ausência de estudos que correlacionem TAPSE ao peso na espécie os autores recomendam que o valor indicado como referência seja utilizado apenas para gatos entre 3,7 e 5,2 kg.

#### **2.2.1.4. Índice de Performance Miocárdica (IPM) do VD**

O índice de performance miocárdica do ventrículo direito (IPM VD), é um marcador da função global do VD que avalia a sístole e a diástole para determinar o desempenho do miocárdio (KELLIHAN; STEPIEN, 2012; BOON, 2011; CHETBOUL; BUSSADORI; MADRON, 2016; VISSER, 2017). Para obtenção do IPM VD os fluxos de entrada (fluxo da tricúspide) e saída do VD (fluxo da pulmonar) são utilizados. O IPM é igual à soma dos tempos de contração isovolumétrica do VD e de relaxamento isovolumétrico divididos pelo tempo de ejeção (KELLIHAN; STEPIEN, 2012; BOON, 2011; CHETBOUL; BUSSADORI; MADRON, 2016). O método de mensuração e a fórmula usada para obtenção do IPM VD estão ilustrados na Figura 8.

Figura 8 – Representação esquemática do Doppler de onda pulsada, registros de tricúspide e pulmonar demonstrando o cálculo do índice de performance miocárdica. “a” = tempo entre um fluxo e outro de tricúspide, “b” = tempo de ejeção do ventrículo direito, E = velocidade de pico diastólico precoce; A = velocidade de pico durante a contração atrial, ET = tempo de ejeção, IVCT = tempo de contração isovolumétrica, IVRT = tempo de relaxamento isovolumétrico.



Fonte: adaptado de Kellihan e Stepien (2012).

Valores aumentados de IPM VD estão diretamente associados à disfunção do VD, visto que a disfunção sistólica prolonga o tempo de contração isovolumétrica e a disfunção diastólica prolonga o tempo de relaxamento isovolumétrico (BOON, 2011; VISSER, 2017). As principais vantagens desse índice são a independência de imagens 2D de alta qualidade e a não interferência da geometria do VD. Este índice foi estudado em cães saudáveis, mostrando sua reprodutibilidade, alta repetibilidade de medição, sendo demonstrado valor prognóstico em cães com degeneração mixomatosa valvar (VISSER, 2017). As principais limitações para aplicação clínica do IMP VD incluem demora para mensuração (MORITA et al., 2016) e o fato de não demonstrar exatamente qual das funções está alterada sistólica, diastólica ou ambas (CHETBOUL; BUSSADORI; MADRON, 2016).

### **2.2.1.5. Doppler tecidual**

Dentre as variáveis mais confiáveis e reprodutíveis do VD está a imagem do anel tricúspide. Este segmento pode ser avaliado pelo Doppler tecidual para medir a velocidade de excursão longitudinal. Esta velocidade tem sido chamada de S' do anel tricúspide ou velocidade de excursão sistólica, sendo representada por uma onda positiva (RUDSKI, LAI, AFILALO et al., 2010). A imagem por Doppler tecidual (TDI) tem sido utilizada também para avaliação da função ventricular sistólica e diastólica, com informações sobre a velocidade do miocárdio em áreas selecionadas, possibilitando a observação do movimento miocárdico em sístole e diástole (BOON, 2011).

As imagens TDI do anel tricúspide são obtidas a partir da janela paraesternal esquerda, no corte apical quatro câmaras (RUDSKI, LAI, AFILALO et al., 2010). Para que as imagens tenham confiabilidade, o cursor deve ser alinhado o mais paralelo possível ao plano longitudinal da parede livre do VD (VISSER et al., 2015). A obtenção dos registros da região medial e apical da parede livre do VD é desaconselhável no ecocardiograma de rotina, devido a baixas velocidades e grande variabilidade. Devido ao fato do septo interventricular não refletir exclusivamente a função do VD, ele não deve ser utilizado isoladamente para análise desta câmara (RUDSKI, LAI, AFILALO et al., 2010).

De acordo com Rudski, Lai, Afilalo et al. (2010) a onda S' é facilmente mensurada, confiável e reprodutível. Em humanos a velocidade de S' <10 cm/s indica disfunção sistólica de VD, apresentando boa correlação com as outras medidas da função sistólica global de VD.

### **3.3 Ecocardiografia *Speckle Tracking***

A avaliação ecocardiográfica do ventrículo direito tem importante aplicação clínica, incluindo informações prognósticas em pacientes com cardiomiopatia do VE, degeneração mixomatosa da valva mitral, hipertensão pulmonar, doença cardíaca congênita, dentre outras (CHUA, LEVINE, YOSEFY et al., 2009). Entretanto, a técnica convencional não

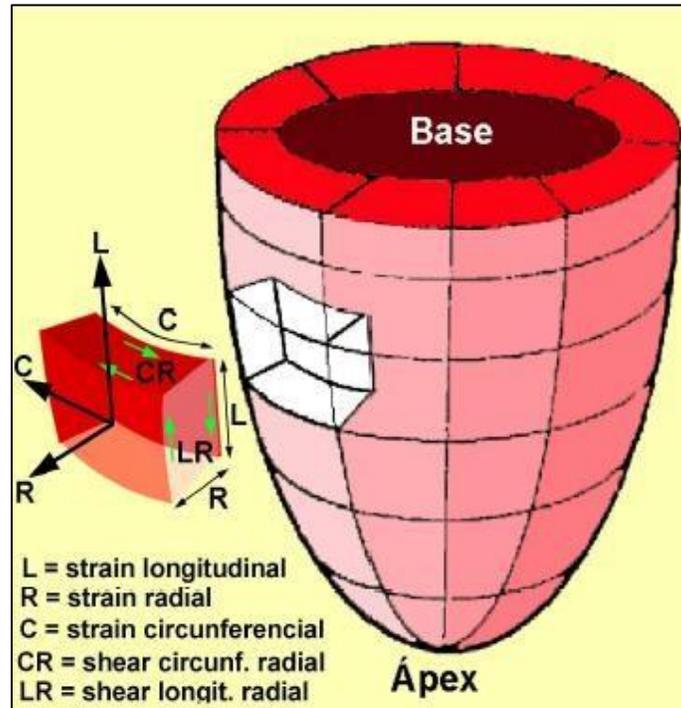
inclui uma avaliação clara da função miocárdica (RAJAGOPAL et al, 2014). Avaliação da função do VD por ecocardiograma bidimensional é limitada devido à forma assimétrica e piramidal desta câmara, que pode variar muito dependendo do plano de imagem. Isso resulta em considerável variabilidade e imprecisão na avaliação da função do VD (CHUA, LEVINE, YOSEFY et al., 2009).

A ecocardiografia *Speckle tracking* bidimensional (2D-STE) é um método não invasivo, que fornece imagens de deformação de tecidos (taxa de deformação), possibilitando uma avaliação precisa da função miocárdica (LOCATELLI et al., 2016). Esse método utiliza imagens 2D para rastreamento de pontos ultrassonográficos no miocárdio durante o ciclo cardíaco. A deformação é determinada a partir do deslocamento desses pontos, possibilitando a avaliação da função miocárdica independente do ângulo de insonação (AHMED et al., 2015).

A mudança de direção e velocidade dos pontos rastreados são representados por vetores, nos quais a direção e magnitude podem indicar a taxa de deformação (*Strain*) e a velocidade de deformação (*Strain rate*) de diferentes segmentos do miocárdio (DEL CASTILLO; HERSZKOWICZ; FERREIRA, 2010). Sendo assim, o *Strain* (ST) refere-se à magnitude de deformação da fibra miocárdica, cuja unidade é dada em %. e o *Strain Rate* (SR) consiste na velocidade que esta deformação acontece e sua unidade representada por 1/s ou s<sup>-1</sup> (WESS, 2011).

A partir do 2D-STE é possível avaliar a deformação miocárdica em planos ortogonais e tangenciais ou de cisalhamento (Figura 9). Os planos ortogonais apresentam sentido de deformação longitudinal, radial e circunferencial, sendo perpendiculares entre si. Já os planos de cisalhamento representam o deslizamento entre o epicárdio e endocárdio (DELCASTILLO, HERSZKOWICZ; FERREIRA, 2010).

Figura 9 – Representação esquemática dos diferentes tipos de deformação miocárdica. Observar que os eixos ortogonais, representados pelos eixos longitudinal, radial e circunferencial são perpendiculares entre si (setas pretas). Deformações tangenciais (setas verdes) representam o deslizamento entre endocárdio e epicárdio.



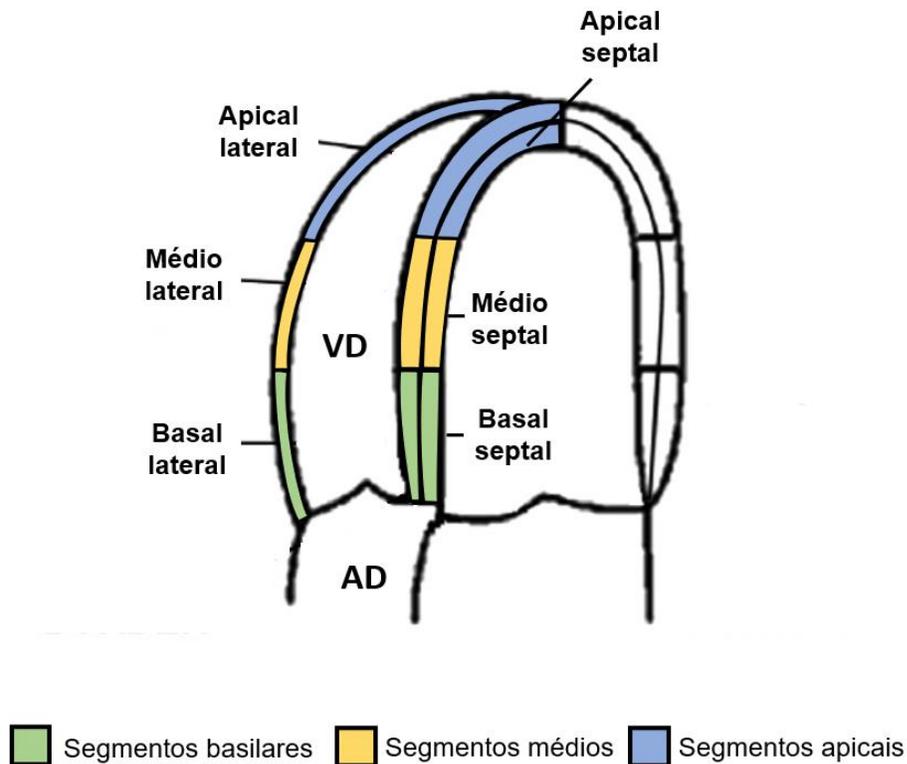
Fonte: Del Castillo (2010).

O ST e SR longitudinais da parede livre do VD, com ou sem inclusão do septo interventricular, adquirido em janela paraesternal esquerda no corte apical quatro câmaras otimizado para o VD têm sido apontados como mais adequados para avaliação funcional do VD (LOCATELLI, et al., 20156; VISSER, 2017). O ST longitudinal representa a deformação do miocárdio que ocorre entre o anel tricúspide e o ápice do coração, no eixo longitudinal (CARNABUCI et al., 2013). É importante ressaltar que quando comparado ao VE, o VD depende mais do encurtamento longitudinal e por isso possui principalmente fibras orientadas longitudinalmente (SPALLA et al., 2019).

A ecocardiografia 2D-STE possibilita a avaliação da função miocárdica regional e global (LOCATELLI, 2016). Neste contexto, o miocárdio ventricular é dividido em seis segmentos (Figura 10), sendo três da parede livre (basilar lateral, médio lateral e apical lateral) e três do septo interventricular (apical septal, médio septal e basilar septal). O ST e

SR global do septo ou da parede livre pode ser determinado pela média dos três segmentos que os compõem, enquanto o ST e SR global do ventrículo consiste na média dos seis segmentos descritos.

Figura 10 – Representação esquemática dos segmentos miocárdicos da parede livre do ventrículo direito e septo interventricular. Vista apical esquerda de quatro câmaras.



Fonte: adaptado de Abreu et al., 2020

As principais vantagens do ST e SR bidimensionais são que a técnica é relativamente independente de ângulo e é capaz de fornecer uma estimativa da função regional e global da câmara analisada (RUDSKI, LAI, AFILALO et al., 2010). Já as limitações para a utilização clínica dessas variáveis incluem a necessidade de *software* adicional e dependência da qualidade da imagem com excelente visualização de bordas miocárdicas (RUDSKI et al., 2010; VISSER, 2017). Além disso o dado “global” é na verdade derivado de um único plano, o que faz com que não seja verdadeiramente

representativo da análise global do VD. Os algoritmos distintos utilizados em diferentes equipamentos podem resultar em valores de normalidade diversos (SILVA et al., 2013; CANTINOTTI et al., 2018; MIREA et al., 2018; SANTARELLI et al., 2019).

O 2D-STE tem sido utilizado em felinos com CMH para avaliar a função ventricular esquerda (SUGIMOTO et al., 2015; SPALLA, BOSWOOD, CONNOLLY et al., 2019; SUZUKI et al., 2019). No entanto estudos em pequenos animais envolvendo o VD ainda são escassos (CARNABUCI et al., 2013; VISSER, 2017).

### **3. CONSIDERAÇÕES GERAIS**

Apesar de ter sido subestimado por muito tempo, o VD tem demonstrado grande importância, não somente na fisiopatologia de doenças cardiopulmonares como também na avaliação de pacientes com doenças do lado esquerdo do coração. A ecocardiografia é uma ferramenta diagnóstica essencial para a avaliação do VD. Novas técnicas como o 2D-STE possibilitam uma avaliação mais precisa da função ventricular, contribuindo para o diagnóstico e tratamento de diversas enfermidades na rotina clínica de pequenos animais. Apesar do número de gatos estar em crescimento em todo o mundo, poucos trabalhos foram realizados na espécie quando comparada aos cães. Estudos como este podem impactar positivamente, gerando subsídios para novas pesquisas e para o médico veterinário na rotina clínica cardiológica

#### 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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.

ALSOOS, F.; KHADDAM, A. Echocardiographic evaluation methods for right ventricular function. **Journal of Echocardiography**, v. 13, n. 2, p. 43-51, 2015.

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: 04 nov 2020.

BOON, J. A. **Veterinary echocardiography**. 2nd ed. Iowa: Wiley- Blackwell, 2011. p. 37-266.

CAIVANO, D.; RISHNIW, M.; BIRETTONI, F. et al. Right ventricular outflow tract fractional shortening: an echocardiographic index of right ventricular systolic function in dogs with pulmonary hypertension. **Journal of Veterinary Cardiology**, v. 20, n. 5, p. 354-363, 2018.

CARNABUCI, C. et al. Assessment of cardiac function using global and regional left ventricular endomyocardial and epimyocardial peak systolic strain and strain rate in healthy labrador retriever dogs. **Research in Veterinary Science**, v. 95, p. 241-248, 2013.

CANTINOTTI, M.; SCALESE, M.; GIORDANO, R. et al. Normative data for left and right ventricular systolic strain in healthy Caucasian Italian children by two-dimensional speckle-tracking echocardiography. **Journal of the American Society of Echocardiography**, v. 31, n. 6, p. 712-720. e6, 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.

CARVALHO, R. L. S.; PESSANHA, L. D. R. Relação entre famílias, animais de estimação, afetividade e consumo: estudo realizado em bairros do Rio de Janeiro. **Revista Sociais e Humanas**, 26(3), 622–637. (2013). <https://doi.org/10.5902/231717586562>.

CHAPEL, E. H.; SCANSEN, B. A.. SCHOBER, K. E. et al. Echocardiographic estimates of right ventricular systolic function in dogs with myxomatous mitral valve disease. **Journal of Veterinary Internal Medicine**, v. 32, n. 1, p. 64-71, 2018.

CHETBOUL, V.; BUSSADORI, C.; MADRON, É. **Clinical echocardiography of the dog and cat**. St. Louis: Elsevier, 2016. p. 20- 37; 111-125.

CHUA, S.; LEVINE, R. A.; YOSEFY, C. et al. Assessment of right ventricular function by real-time three-dimensional echocardiography improves accuracy and decreases interobserver variability compared with conventional two-dimensional views. **European Journal of Echocardiography**, v. 10, n. 5, p. 619-624, 2009.

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, p. 46- 54, 2010.

FOALE, R.; NIHOYANNOPOULOS, P.; McKENNA, W. et al. Echocardiographic measurement of the normal adult right ventricle. **Br Heart J** 56(1): 33-44. 1986.

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

GENTILE-SOLOMON, J. M.; ABBOTT, J. A. Conventional echocardiographic assessment of the canine right heart: reference intervals and repeatability. **Journal of Veterinary Cardiology** 2016;18: 234–47.

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: 07 nov. 2020.

HADDAD, F.; HUNT, S. A.; ROSENTHAL, D. N. et al. Right ventricular function in cardiovascular disease, part I: anatomy, physiology, aging, and functional assessment of the right ventricle. **Circulation**, v. 117, n. 11, p. 1436-1448, 2008.

HAYRAPETYAN, Hamlet. Anatomical and physiological patterns of right ventricle. **J Cardiol Curr Res**, v. 2, n. 1, p. 00049, 2015.

JUSTEN, H. Clínica Veterinária Amiga do Gato. **Revista CFMV**, Brasília, v. 20, n. 62, p. 27-35, maio/ago. 2014.

KELLIHAN, H.B. e STEPIEN, R.L. Pulmonary hypertension in canine degenerative mitral valve disease. **Journal of veterinary cardiology**, West Lafayette, IN, v. 14, n. 1, p. 149-164, 2012.

KOST, L. V.; GLAUS, D. M; DIANA, A. et al. Effect of a single dose of pimobendan on right ventricular and right atrial function in 11 healthy cats. **Journal of Veterinary Cardiology**, 2021.

LA GERCHE, A. e ROBERTS, T. J. Straining the RV to Predict the Future. **JACC: Cardiovascular Imaging**, Washington, DC, v.8, n.2, p. 170-171, 2015.

LING, L. F.; OBUCHOWSKI, N. A.; RODRIGUEZ, L. et al. Accuracy and interobserver concordance of echocardiographic assessment of right ventricular size and systolic function: a quality control exercise. *J Am Soc Echocardiogr* 2012; 25:709-713.

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.

MARAIS, C. A.; CROLE, M. R. Gross morphology of the African lion (*Panthera leo*) heart. **Acta Zoologica**, 2021;00:1–12.

MEKKAOUI, C.; REESE, T. G.; JACKOWSKI, M. P. et al. Diffusion MRI in the heart. **NMR in Biomedicine**, v. 30, n. 3, p. e3426, 2017.

MIREA, O.; PAGOURELIAS, E. D.; DUCHENNE, J. et al. Variability and reproducibility of segmental longitudinal strain measurement: a report from the EACVI-ASE strain standardization task force. **JACC: Cardiovascular Imaging**, v. 11, n. 1, p. 15-24, 2018.

MORITA T, NAKAMURA K, OSUGA T, et al. Repeatability and reproducibility of right ventricular Tei index valves derived from three echocardiographic methods for evaluation of cardiac function in dogs. **American Journal Veterinary Research** 2016;77:715–20.

OYAMA, M. A. Advances in echocardiography. *Veterinary Clinics: Small Animal Practice*, v. 34, n. 5, p. 1083-1104, 2004.

PINSKY, M.; TEBOUL, J. L. Assessment of indices of preload and volume responsiveness. *Curr Opin Crit Care* 11(3): 235-239. 2005.

PARIAUT, R.; SAELINGER, C.; STRICKLAND K. N., et al. Tricuspid annular plane systolic excursion (TAPSE) in dogs: reference values and impact of pulmonary hypertension. **Jurnal of Veterinary Internal Medicine** 2012;26:1148–54.

PAYNE, J. R. et al. Blood Pressure Measurements in 780 Apparently Healthy Cats. **Journal of Veterinary Internal Medicine**, v. 31, p. 15-21, 2017.

RAJAGOPAL, S.; FORSHA D. E.; RISUM, N. et al. Comprehensive assessment of right ventricular function in patients with pulmonary hypertension with global longitudinal peak systolic strain derived from multiple right ventricular views. **Journal of the American Society of Echocardiography**, v. 27, n. 6, p. 657-665. e3, 2014.

RUDSKI, L. G.; LAI, W. W.; AFILALO J, et al. Guidelines for the echocardiographic assessment of the right heart in adults: a report from the American Society of Echocardiography endorsed by the European Association of Echocardiography, a registered branch of the European Society of Cardiology, and the Canadian Society of Echocardiography. **Journal American Society Echocardiography**. 2010;23:685–713 [quiz: 786–8].

SANTARELLI, G.; TOALDO, M. B.; BOUVARD, J. et al. Variability among strain variables derived from two-dimensional speckle tracking echocardiography in dogs by use of various software. **American Journal of Veterinary Research**, v. 80, n. 4, p. 347-357, 2019.

SANTILLI, R. et al. **Eletrocardiografia de cães e gatos**. 2nd ed. São Paulo: Medvet, 2018. p. 21-70.

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, p. 358-368, 2019.

SCHAFFER, S. W.; ITO, T.; AZUMA, J. et al. Mechanisms Underlying Development of Taurine-Deficient Cardiomyopathy. **Hearts**, v. 1, n. 2, p. 86-98, 2020.

SHEEHAN, F.; REDINGTON, A. The right ventricle: anatomy, physiology and clinical imaging. *Heart*, v. 94, n. 11, p. 1510-1515, 2008.

SILVA, A. C.; MUZZI, R. A. L.; OBERLENDER, G. et al. Longitudinal strain and strain rate by two-dimensional speckle tracking in non-sedated healthy cats. *Research in veterinary science*, v. 95, n. 3, p. 1175-1180, 2013.

SILVA, V. B. C.; WOLF, M.; LUCINA, S. B. et al. Assessment of right ventricular systolic function by tissue motion annular displacement in healthy dogs. **Journal of Veterinary Cardiology**, v. 32, p. 40-48, 2020.

SCHOBBER, K. E.; SAVINO, S. I.; YILDIZ, V. Right ventricular involvement in feline hypertrophic cardiomyopathy. **J Vet Cardiol**. 2016;18:297–309.

SERRES F, CHETBOUL V, GOUNI V, et al. Diagnostic value of echo-Doppler and tissue Doppler imaging in dogs with pulmonary arterial hypertension. **Journal Veterinary Internal Medicine**, Denver, CO. v21, p.1280–9. 2007.

SPALLA, I.; PAYNE, J. R.; BORGEAT, K. et al. Mitral Annular Plane Systolic Excursion and Tricuspid Annular Plane Systolic Excursion in Cats with Hypertrophic Cardiomyopathy. **Journal of Veterinary Internal Medicine**, v. 31, p.691-699, 2017.

SPALLA, I.; BOSWOOD, A.; CONNOLLY, D. J.; FUENTES, V. L. Speckle tracking echocardiography in cats with preclinical hypertrophic cardiomyopathy. **Journal of Veterinary Internal Medicine**, v. 33, n. 3, p. 1232-1241, 2019.

STOECK, C. T.; KALINOWSKA, A.; VON DEUSTER, C. et al. Dual-phase cardiac diffusion tensor imaging with strain correction. **PLoS One**, v. 9, n. 9, p. e107159, 2014.

SUGIMOTO, K.; FUJII, Y.; SUNAHARA, H., et al. Assessment of left ventricular longitudinal function in cats with subclinical hypertrophic cardiomyopathy using tissue Doppler imaging and speckle tracking echocardiography. **Journal of Veterinary Medical Science**, p. 14-0354, 2015.

SUZUKI, R. et al. Layer-specific myocardial function in asymptomatic cats with obstructive hypertrophic cardiomyopathy assessed using 2- dimensional speckle-tracking echocardiography. **Journal of Veterinary Internal Medicine**, v. 33, p. 37-45, 2019.

TEI, C. New non-invasive index for combined systolic and diastolic ventricular function. *Journal of Cardiology*, v. 26, p. 135-136, 1995.

TILLEY L.P. **Essentials of Canine and Feline Electrocardiography**. 3rd edn. Philadelphia: Lea and Febiger, 252p. 1992.

TOALDO, M. B; GLAUS, T.; CAMPAGNA, I. et al. Echocardiographic assessment of right ventricular systolic function in healthy Beagle dogs compared to high field cardiac magnetic resonance imaging. **The Veterinary Journal**, v. 271, p. 105653, 2021.

VEZZOSI, T.; SCHOBER, K. E. Doppler-derived echocardiographic evidence of pulmonary hypertension in cats with left-sided congestive heart failure. **Journal of veterinary cardiology**, v. 23, p. 58-68, 2019.

VISSER, L. C.; SCANSEN, B.A.; SCHOBER, K. E. et al. Echocardiographic assessment of right ventricular systolic function in conscious healthy dogs: repeatability and reference intervals. **Journal of Veterinary Cardiology**, v. 17, n. 2, p. 83-96, 2015.

VISSER, L. C.; IM, M. K.; JOHNSON, L. R. e STERN, J. A. Diagnostic Value of Right Pulmonary Artery Distensibility Index in Dogs with Pulmonary Hypertension: Comparison with Doppler Echocardiographic Estimates of Pulmonary Arterial Pressure. **Journal of Veterinary Internal Medicine** 2016; 30: 543–552.

VISSER, L. C.; SLOAN, C. Q.; STERN, J. A. Echocardiographic assessment of right ventricular size and function in cats with hypertrophic cardiomyopathy. **Journal of Veterinary Internal Medicine**, v. 31, n. 3, p. 668-677, 2017.

VISSER, L. C. Right ventricular function: imaging techniques. **Veterinary Clinics: Small Animal Practice**, v. 47, n. 5, p. 989-1003, 2017.

VISSER, L. C.; SINTOV, D. J.; OLDACH, M. S. Evaluation of tricuspid annular plane systolic excursion measured by two-dimensional echocardiography in healthy dogs: repeatability, reference intervals, and comparison with M-mode assessment. **Journal of Veterinary Cardiology**, v. 20, n. 3, p. 165-174, 2018.

VOGT, A. H. et al. AAFP-AAHA Feline life stage guidelines. **Journal of Feline Medicine and Surgery**, v. 12, p. 43-54, 2010.

WESS, G.; KELLER, L.J.M.; KLAUSNITZER, M. et al. Comparison of longitudinal myocardial tissue velocity, strain, and strain rate measured by two-dimensional speckle tracking and by color tissue Doppler imaging in healthy dogs. **Journal of Veterinary Cardiology**, West Lafayette, IN, v. 13, n. 1, p. 31-43, mar. 2011.

## SEGUNDA PARTE

### ARTIGO

**Título:** FUNÇÃO VENTRICULAR DIREITA EM FELINOS DOMÉSTICOS SAUDÁVEIS NÃO SEDADOS: AVALIAÇÃO PELA ECOCARDIOGRAFIA BIDIMENSIONAL E *SPECKLE TRACKING*.

\*Este artigo é uma versão preliminar, considerando que o conselho editorial do periódico, ao qual será posteriormente submetido, poderá sugerir alterações para adequá-lo ao seu próprio estilo.

## FUNÇÃO VENTRICULAR DIREITA EM FELINOS DOMÉSTICOS SAUDÁVEIS NÃO SEDADOS: AVALIAÇÃO PELA ECOCARDIOGRAFIA BIDIMENSIONAL E *SPECKLE TRACKING*

### RESUMO

*Introdução/objetivo:* Pouca atenção tem sido dada ao ventrículo direito, mas o seu envolvimento na disfunção ventricular esquerda foi reconhecido e a determinação de parâmetros de normalidade para sua avaliação é indispensável. A ecocardiografia *Speckle Tracking* é uma modalidade ecocardiográfica sensível usada para quantificar a função miocárdica em complemento à ecocardiografia convencional. No entanto, não há estudos prospectivos que demonstrem valores de normalidade dessa ferramenta na avaliação do ventrículo direito de gatos. Este trabalho teve como objetivo avaliar a função ventricular direita de gatos clinicamente saudáveis em diferentes faixas etárias por meio da ecocardiografia convencional e *Speckle Tracking*. *Animais, material e métodos:* foram incluídos no estudo 88 gatos saudáveis. Os animais foram divididos em três grupos de diferentes faixas etárias, sendo eles: G1 = filhotes ( $\leq 1$  ano); G2 = jovens adultos (1 a 6 anos), G3 = adultos maduros (7 – 10 anos). Na ecocardiografia convencional foram realizadas medidas lineares e índices de função miocárdica (FAC, TAPSE, IPM e TDI). Por meio do *Speckle tracking* bidimensional foram obtidos os índices *strain* e *strain rate* da parede livre do ventrículo direito. *Resultado:* as dimensões internas do átrio e ventrículo direitos na diástole, assim como a dimensão da parede livre do ventrículo direito na diástole diferiram entre os grupos, sendo menores valores encontrados nos filhotes. As variáveis de função miocárdica convencionais não diferiram com a idade, mas a ecocardiografia *Speckle tracking* demonstrou maiores valores de *strain* (G1:  $27,12 \pm 4,26$ ; G2:  $20,90 \pm 2,59$ ; G3:  $23,57 \pm 4,63$ ;  $p < 0,000$ ) e *strain rate* (G1:  $3,72 \pm 0,72$ ; G2:  $2,88 \pm 0,42$ ; G3:  $2,92 \pm 0,71$ ;  $p < 0,0001$ ) globais da parede livre do VD nos animais do G1. A avaliação da deformação dos segmentos miocárdicos indicam que, na parede livre do ventrículo direito de gatos saudáveis, a região basilar tem maior contribuição para contração miocárdica. *Conclusão-* Em gatos, poucas são as variações ecocardiográficas convencionais determinadas pela idade, entretanto os filhotes apresentam valores de deformação mais altos que os adultos. Valores

de referência preliminares para gatos saudáveis não sedados podem ser estabelecidos a partir dos resultados deste estudo.

**Palavras-chave:** cardiologia veterinária, deformação miocárdica, gatos, miocárdio.

## 1. INTRODUÇÃO

As cardiomiopatias são frequentes em gatos, estando entre as dez principais causas de óbito na espécie (FOX et al., 2019). São classificadas de acordo com o fenótipo em cardiomiopatia hipertrófica (CMH), restritiva (CMR), dilatada (CMD) e arritmogênica do ventrículo direito (CAVD), sendo a primeira a mais diagnosticada (FUENTES et al., 2020). A ecocardiografia transtorácica é um exame fundamental para o diagnóstico dessas enfermidades. Entretanto, a maior parte dos estudos prioriza a avaliação das câmaras cardíacas esquerdas e, por isso, pouco se sabe sobre o impacto funcional dessas afecções sobre o ventrículo direito (VD) (SCHOBER; SAVINO; YILDIZ, 2016; VISSER; SLOAN; STERN, 2017).

Schober, Savino e Yildiz (2016), assim como Visser, Sloan e Stern (2017), identificaram aumento da espessura da parede do VD em gatos com CMH. Já Suzuki et al. (2020) demonstraram que o remodelamento do VD também ocorre na CMR. Outros estudos em pacientes humanos indicaram um papel importante da disfunção do VD no prognóstico de uma variedade de doenças cardiovasculares (SHEEHAN; REDINGTON, 2008). Apesar disso, em gatos, estudos com foco na avaliação morfofuncional do VD são limitados (VISSER; SLOAN; STERN, 2017; SILVA, 2020).

A avaliação ecocardiográfica do VD é dificultada por sua complexa geometria que desafia a modelagem matemática, tornando a avaliação da sua função mais difícil que a do ventrículo esquerdo (VE), que apresenta geometria elíptica (CHETBOUL; BUSSADORI; MADRON, 2016; CAIVANO et al., 2018; SPALLA et al., 2019; SILVA et al., 2020). Algumas variáveis ecocardiográficas convencionais têm sido apontadas como opções para avaliação da função ventricular direita em pacientes veterinários. A variação fracional da área (FAC), excursão sistólica do plano anelar tricúspide (TAPSE), o índice de

performance miocárdico (IPM) e a velocidade de pico do movimento anular sistólico da tricúspide (S'), são exemplos dessas variáveis (VISSER, 2017). Entretanto, os parâmetros de avaliação do VD ainda são poucos e limitados (SILVA et al., 2020).

A ecocardiografia *speckle tracking* bidimensional (2D-STE) é uma técnica moderna e não invasiva de avaliação miocárdica que possibilita determinar a deformação miocárdica regional e global (LOCATELLI et al., 2016). Esse método utiliza imagens 2D para rastreamento de pontos ultrassonográficos no miocárdio durante o ciclo cardíaco. A quantificação da deformação é determinada a partir do deslocamento desses pontos, proporcionando a avaliação da função miocárdica independente do ângulo de insonação (AHMED et al., 2015). Por meio desta modalidade ecocardiográfica são obtidas as variáveis Strain (ST) e Strain rate (SR). O ST refere-se a mudança no comprimento de um segmento miocárdico (magnitude de deformação), cuja unidade é dada em %. Já SR consiste na velocidade que esta deformação acontece e sua unidade representada por 1/s ou  $s^{-1}$  (NESTAAS et al., 2011; WESS, 2011).

Em seres humanos, os parâmetros da ecocardiografia 2D-STE variam em diferentes faixas etárias (CANTINOTTI, et al., 2018). Nos gatos, valores de referência para o VD ainda não foram bem definidos, mas é possível que o ST e SR mudem fisiologicamente durante as fases de maturação. Sendo assim, a determinação de valores de normalidade se faz necessária para interpretar corretamente a análise em grupos de idades variadas.

Este trabalho teve como objetivo avaliar a morfologia e função ventricular direita de gatos clinicamente saudáveis e em diferentes faixas etárias por meio da ecocardiografia convencional e *Speckle Tracking* bidimensional, determinando valores de normalidade para espécie.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi conduzido no Hospital Veterinário (HV) da Universidade Federal de Lavras (UFLA), de dezembro de 2018 a dezembro de 2019. Todo o protocolo experimental foi realizado de acordo com as normas para o uso de animais experimentais

da UFLA, devidamente registrada no Comitê de Ética no Uso de Animais (CEUA) sob o protocolo nº 088/18 (Anexo A).

## **2.1. Animais**

Para a realização do experimento foram avaliados gatos domésticos (*Felis catus*) de diferentes gêneros, raças e idades. Esses animais foram divididos em 3 grupos conforme as diretrizes para estagio da vida felina da *American Association of Feline Practitioners* (AAFP) e *American Animal Hospital Association* (AAHA): G1 = filhotes ( $\leq 1$  ano); G2 = jovens adultos (1 a 6 anos), G3 = adultos maduros (7 – 10 anos) (QUIMBY et al., 2020).

Somente foram incluídos no estudo animais clinicamente saudáveis, sem histórico de alteração no estado de saúde durante a anamnese. Para garantir este princípio, todos os animais foram submetidos a exame clínico, hemograma, urinálise, bioquímica sérica (ureia, creatinina, ALT, AST, FA, GGT, proteína total e albumina), teste rápido para detecção de anticorpos da FIV (imunodeficiência viral felina) e antígeno da FeLV (leucemia viral felina) – Idexx<sup>®</sup>, aferição da pressão arterial pelo método Doppler, eletrocardiografia e ecocardiografia convencional. Os animais que se enquadravam no grupo 3 (7 – 10 anos) também foram submetidos a dosagem sérica do T4 total para descartar a ocorrência de hipertireoidismo, conforme as diretrizes para o manejo do hipertireoidismo felino (CARNEY et al., 2016). Todos os animais que apresentaram alterações nos valores de referência dos exames acima citados foram excluídos do projeto.

## **2.2. Aclimação e avaliação comportamental**

Durante todo o experimento preconizou-se a interação positiva com os felinos utilizados, evitando a exposição a situações estressantes como movimentos bruscos, estímulos auditivos, visuais e olfatórios desagradáveis. Ao chegarem no Hospital Veterinário os animais eram imediatamente encaminhados para a sala de exames onde ficavam livres para aclimação durante cinco minutos. Posteriormente os gatos recebiam uma classificação quanto ao tipo de comportamento expressado. Foram empregadas as seguintes classificações de comportamento conforme descrito por Payne et al. (2017):

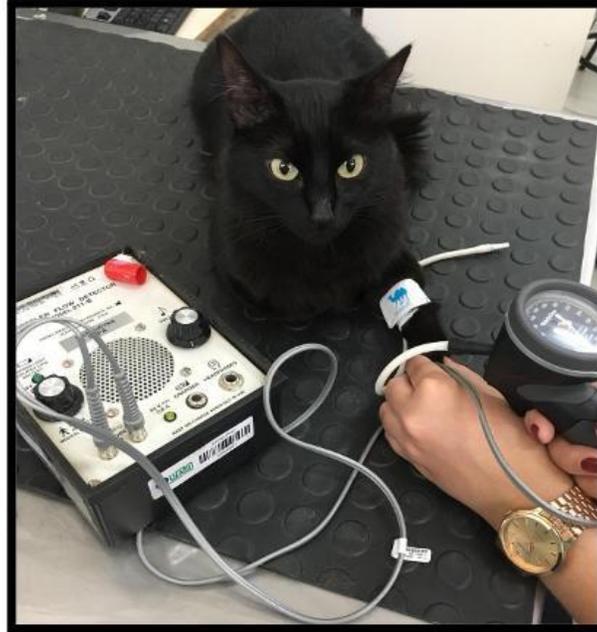
- Calmo – animais que permaneceram relaxados e interagiram sem sinais de ansiedade durante toda a avaliação;
- Cooperativo, mas ansioso – animais que permaneceram a maior parte da avaliação calmos, mas demonstraram algum sinal de nervosismo;
- Nervoso – animais que durante os procedimentos tenderam a se esconder, tremeram, evitaram contato visual, mantiveram as orelhas dobradas e a cauda entre os membros;
- Agressivo/excitado – Animais que permaneceram inquietos, rosnaram ou desferiram golpes com as garras. Os gatos que se enquadraram nesta classificação foram excluídos do estudo.

Durante todo exame ecocardiográfico a interação positiva também foi preconizada, a sala de exames foi mantida escura e silenciosa, sendo reproduzidas “*playlists*” apropriadas para a espécie (“*cat songs*”) em volume ambiente, evitando ao máximo o estresse aos animais.

### **2.3. Pressão arterial sistólica**

A pressão arterial sistólica (PAS) foi aferida nos animais estudados de forma não invasiva pelo método Doppler vascular (Parks Medical® modelo 811-B). Em cada felino foram realizadas seis mensurações consecutivas da PAS. Para uma maior confiabilidade nos resultados a primeira aferição foi excluída, sendo registrada a média entre as demais medidas. Em todos os gatos as mensurações foram realizadas no membro torácico esquerdo com manguito neonatal apropriado para o tamanho do felino (40% da circunferência do membro torácico esquerdo). Durante a mensuração os gatos foram mantidos em decúbito lateral ou esternal, sentados ou em estação, conforme posição de maior conforto, escolhida pelo animal (PAYNE et al., 2017) (Figura 11).

Figura 11 – Gato saudável submetido a mensuração de pressão arterial sistólica pelo método Doppler. Notar que durante a mensuração o animal foi mantido na posição de maior conforto, por ele escolhida, sendo empregada mínima contenção.



Fonte: Serviço de Cardiologia Veterinária – UFLA.

#### 2.4. Escore de Condição Corporal (ECC)

Estudos sugerem que felinos domésticos com crescimento rápido no início da vida, maiores em tamanho e com maior inclinação para ganho de peso são mais propensos a desenvolver cardiomiopatia hipertrófica (FREEMAN et al., 2017). Deficiências nutricionais também estão relacionadas à cardiopatias (SCHAFFER et al., 2020). Baseado nesses dados o ECC dos animais também foi registrado.

Para reduzir a subjetividade da técnica empregada a avaliação do ECC foi realizada por três membros da equipe. O ECC foi avaliado e registrado conforme o método de Laflamme (1997) que considera nove graus de escore, descritos abaixo:

- Graus 1 e 2 (extremamente magros) - As costelas são visíveis em gatos de pelo curto; não há gordura palpável; as vértebras lombares apresentam pouca massa muscular; a asa do fêo é facilmente palpável; há reentrância abdominal

pronunciada.

- Graus 3 e 4 (magro) – As costelas são facilmente palpadas com o mínimo de gordura de recobrimento; a cintura é notável ou pouco perceptível; há mínima gordura e leve reentrância abdominal.
- Grau 5 (ideal) - bem proporcional, observa-se cintura posterior às costelas; costelas palpáveis com leve cobertura de gordura recobrindo-as; pregas de gordura abdominal mínima.
- Graus 6 e 7 (sobrepeso) – As costelas são palpáveis com leve excesso de gordura de recobrimento ou não palpáveis facilmente com moderada cobertura de gordura; a cintura e a gordura abdominal são distinguíveis, mas não perceptível; não há reentrância abdominal; moderadas pregas de gordura abdominal.
- Graus 8 e 9 (obeso) – As costelas não são palpáveis e apresentam excesso de cobertura de gordura; o abdome é distendido, sem cintura ou arredondado, com proeminentes pregas de gordura; depósitos de gordura presentes sobre a região lombar, face e membros.

## **2.5. Análises laboratoriais**

Para realização dos exames hematológicos foram coletados 5 ml de sangue de cada felino pela veia jugular após a antissepsia padrão com álcool 70%. Uma alíquota (0,5 ml) foi armazenada em tubo contendo EDTA para realização do hemograma e dos testes de FIV e FeLV. O restante (4,5 ml) foi armazenado em tubo sem anticoagulante para realização dos testes bioquímicos. Para isso os animais foram contidos em decúbito esternal ou lateral, conforme sua preferência. Os hemogramas foram realizados no laboratório de Patologia Clínica Veterinária da instituição. As análises bioquímicas foram realizadas em instituição parceira por meio do analisador bioquímico automático 3000 – R727<sup>®</sup>. Os testes rápidos para FIV e FeLV (Idexx<sup>®</sup>) foram realizados no Laboratório de Cardiologia Veterinária da instituição. A dosagem do T4 total realizada nos animais do grupo 4 foi realizada em um laboratório de referência.

Para realização da urinálise as amostras de urina foram coletadas por cistocentese. Para isso os animais foram contidos em decúbito dorsal, submetidos a tricotomia e antissepsia (álcool 70%) da região abdominal. Após a coleta as amostras foram protegidas da luz e imediatamente encaminhadas ao Laboratório de Patologia Clínica Veterinária da instituição, onde foram realizadas as análises físico-química e de sedimento.

## **2.6. Exame eletrocardiográfico (ECG)**

Os traçados eletrocardiográficos foram obtidos pelo método computadorizado a partir do aparelho InCardio<sup>®</sup>, sendo padronizado o tempo de registro de três minutos para cada felino estudado. Os animais foram gentilmente contidos em decúbito lateral direito sem auxílio de sedação. Os eletrodos foram posicionados proximal ao olecrano no aspecto caudal dos membros torácicos e na região do ligamento patelar no aspecto cranial dos membros pélvicos, respectivamente, para obtenção das derivações unipolares e bipolares de acordo com o método descrito na literatura (TILLEY, 1992; SANTILLI et al., 2018).

Para a obtenção das derivações precordiais o eletrodo correspondente a V1 foi posicionado no primeiro espaço intercostal no hemitórax direito na altura da junção costocostal. Os demais eletrodos foram posicionados no hemitórax esquerdo, no sexto espaço intercostal a começar pelo V2 que era fixado na altura da junção esternocostal. Em seguida era posicionado pelo eletrodo correspondente a V4 na altura da junção costocostal. O eletrodo V3 era posicionado no ponto médio entre V2 e V4. A distância entre os eletrodos já posicionados foram usadas como referência para fixação dos demais eletrodos, sendo V5 posicionado dorsalmente ao V4 e V6 dorsalmente ao V5. O método de registro eletrocardiográfico das derivações precordiais foi realizado conforme sugerido por Santilli et al. (2019).

## **2.7. Avaliação ecocardiográfica**

As imagens ecocardiográficas foram obtidas por meio de um aparelho de ecocardiografia (Esaote<sup>®</sup> Mylab 40) com transdutores de varredura setorial eletrônica multifrequencial de 7,5-10 MHz com acompanhamento eletrocardiográfico concomitante. Os

exames foram realizados por três médicos veterinários integrantes do serviço de cardiologia do Hospital Veterinário da instituição (ABREU, C.B.; COELHO, M.R.; OLIVEIRA, L.E.D), com um nível semelhante de treinamento e experiência.

Os animais foram submetidos a tricotomia da região ventral do tórax (entre o 2º e 5º espaço intercostal) e gentilmente posicionados em decúbito lateral direito e esquerdo, sem auxílio de anestesia ou sedação. Todos os exames foram realizados com acompanhamento eletrocardiográfico no monitor, sendo os eletrodos posicionados na parte distal dos membros torácicos e pélvicos do paciente. Os animais estudados foram submetidos a exame ecocardiográfico nos modos bidimensional (2D), modo M, Doppler por mapeamento de fluxo em cores (CFM), Doppler pulsado (PW), Doppler contínuo (CW), e Doppler tecidual de acordo com o descrito por Boon (2011). As imagens foram posteriormente avaliadas, em um estudo cego, por meio de *software* específico (MyLab Desk 9.0-Esaote®), sendo realizadas três medidas consecutivas e registrada a média para cada variável.

No modo 2D, a partir do corte parasternal direito longitudinal quatro câmaras, foram mensuradas as dimensões internas do átrio direito e VD na diástole, assim como a espessura da parede livre do VD na diástole. Na visão paraesternal esquerda apical quatro câmaras otimizada para o VD a variação fracional da área do VD (FAC) foi calculada. Na visão paraesternal direita transversal na altura dos vasos da base as dimensões da artéria pulmonar (AP) e da aorta (Ao) foram obtidas (VISSER, SLOAN; STERN., 2017).

No modo Doppler (CFM, PW e CW) os fluxos sanguíneos das valvas pulmonar e tricúspide foram avaliados quanto a presença de regurgitação e tiveram seu gradiente de pressão mensurados. Por meio do PW foram determinados picos de velocidade diastólico inicial e tardio (ondas E e A) do fluxo tricúspide, assim como a relação das ondas E/A. O índice de performance miocárdico (IPM) foi calculado a partir do fluxo da valva tricúspide e da valva pulmonar conforme descrito na literatura (KELLIHAN; STEPIEN, 2012).

Para obtenção dos índices de deformação miocárdica, ST e SR longitudinais, três a cinco ciclos cardíacos consecutivos utilizando uma monitorização contínua do ECG foram armazenados em formato digital. As análises foram realizadas *off-line* por meio do *software* XStrain, algoritmo *optical flow* (versão 10.1, Esaote®) que determina a deformação

miocárdica pela metodologia 2D-STE modalidade *optical flow*. Para o ST e SR longitudinais do VD, *cine-loops* foram adquiridos a partir do corte parasternal esquerdo apical quatro câmaras otimizados para o VD, com taxas de *frames rates* entre 60 e 134 *frames/s*.

Para determinação do ST e SR, foram marcados três pontos no VD, sendo um no anel tricúspide parietal, um no anel tricúspide septal e um no ápice. Em seguida, dez pontos com linhas equidistantes entre eles foram traçados automaticamente pelo aparelho e a borda endomiocárdica foi rastreada sobre esses pontos. Posteriormente a borda epicárdica foi traçada automaticamente pelo *software*, sendo ajustadas quando necessário. Gráficos e curvas das variáveis estudadas foram apresentados pelo *software*, e os valores de ST e SR longitudinais foram mostrados (Figura 12). O ST e o SR longitudinais foram calculados apenas na parede livre do VD, sendo os valores referentes ao septo interventricular descartados. Os segmentos basilar, médio e apical da parede livre foram registrados, assim como a média entre eles, denominada deformação global (VISSER et al., 2015; SPALLA et al., 2019).

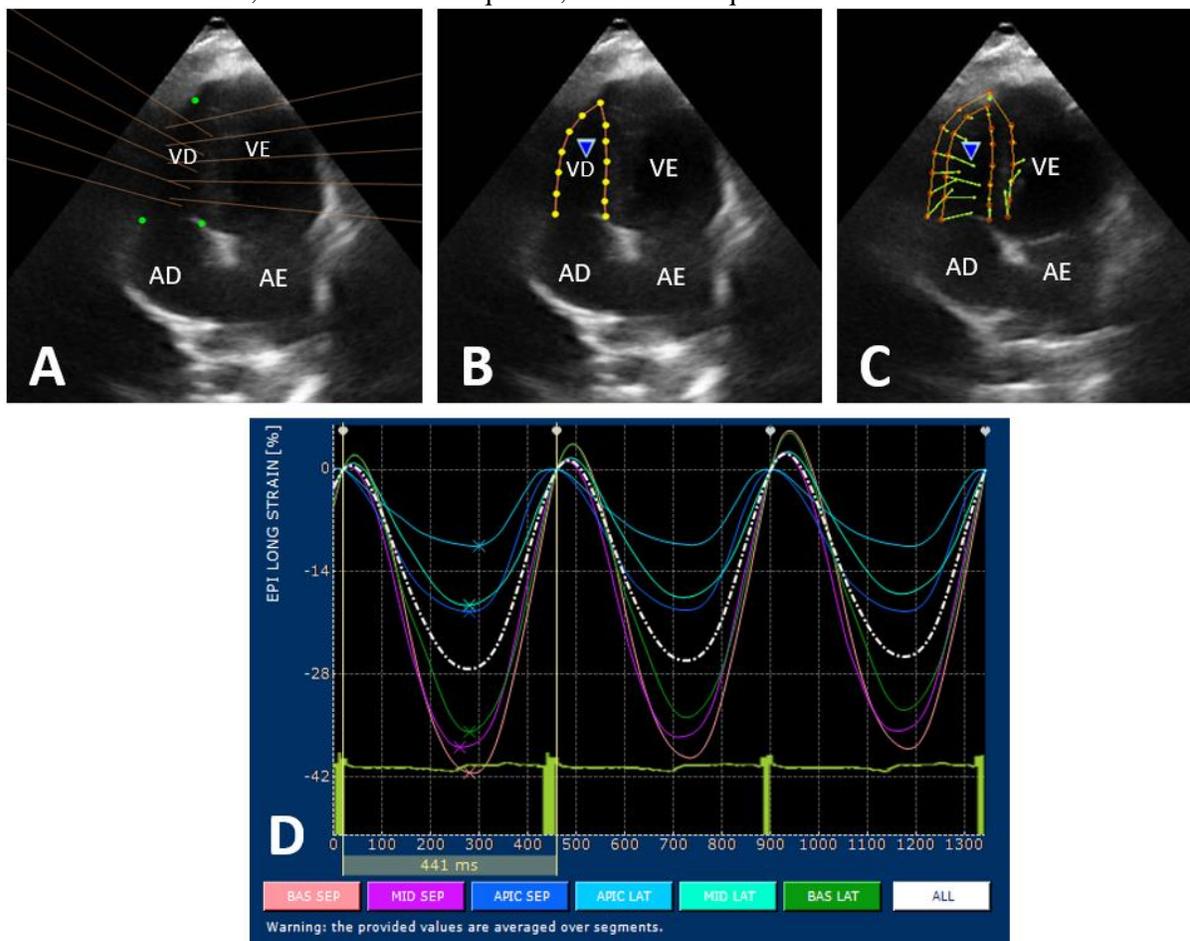
## 2.8. Análise estatística

A análise estatística foi realizada por meio do *software* GraphPad Prism® 5.0. A normalidade de distribuição dos dados foi avaliada pelo teste Shapiro-Wilk. A comparação dos métodos entre os grupos foi realizada pelo teste ANOVA one-way com pós-teste de Tukey para dados com distribuição normal e pelo teste Kruska-Wallis com pós-teste de Dunn para aqueles sem distribuição normal. A associação entre a deformação miocárdica pelo 2D-STE, FAC, TAPSE, IPM, S', idade, peso e gênero 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  $\pm 1$  (MUKAKA, 2012).

Os intervalos de referência com intervalo de confiança a 90% foram calculados pelo Reference Value Advisor® no Microsoft Office Excel (GEFFRÉ et al., 2011). O

método padrão foi utilizado quando  $n \geq 40$  e o método robusto com a transformação Box-Cox quando  $n < 40$ .

Figura 12 – Ecocardiografia *Speckle Tracking* bidimensional do ventrículo direito de um felino saudável. Visão parasternal direita apical quatro câmaras. A, notar marcação dos três pontos (anel tricúspide parietal, anel tricúspide septal e ápice) e exibição das dez linhas para rastreamento da borda endomiocárdica. B, borda endomiocárdica traçada. C, observar a marcação automática da borda epicárdica e a presença de vetores para rastreamento dos marcadores acústicos no miocárdio. D, gráficos e curvas referentes ao *Strain* longitudinal gerados pelo *software* considerando cada segmento estudado, representando-os em curvas de diferentes cores. VD= ventrículo direito; AD= átrio direito; VE= ventrículo esquerdo; AE= átrio esquerdo.



Fonte: Serviço de Cardiologia Veterinária – UFLA.

### 3. RESULTADOS

Dos 146 gatos avaliados, 58 foram excluídos do trabalho. As causas para exclusão foram alterações hematológicas (13), doença renal crônica (11), infecção pelo FeLV (10), comportamento agressivo (5), comunicação interventricular (4), insuficiência valvar tricúspide (4), bioquímica hepática alterada (2), comunicação inter-atrial (2), gestação (2), hérnia peritônio-pericárdica (2), infecção pelo FIV (1), hipertireoidismo (1) e otite (1).

Após a observação dos critérios de inclusão, foram elegíveis para o estudo um total de 88 gatos, sendo eles distribuídos entre o G1 (n= 36), G2 (n= 36) e G3 (n= 16). A maioria era sem padrão racial definido (66), seguido por Maine Coon (13) e persa (9). A mediana da idade em meses foi de 4(3-10) no G1, 36(18-60) no G2 e 96(84-108) no G3. O escore corporal de todos os gatos foi de 5(4-9) e o comportamento mais frequente no momento do exame foi o “cooperativo, mas ansioso”. A ecocardiografia 2D-STE foi possível de ser realizada em um número menor de animais (G1: n=30; G2: n=26; G3: n=13).

Na Tabela 1 estão expostos os dados da ecocardiografia convencional. Nas medidas lineares foram observados valores significativamente menores do diâmetro diastólico do átrio direito (G1:  $9,92 \pm 1,11$ ; G2:  $11,17 \pm 1,17$ ; G3:  $11,01 \pm 1,30$ ;  $p < 0,0001$ ), diâmetro diastólico do VD [G1:  $6,85$  ( $5,2 - 8,9$ ); G2:  $7,8$  ( $5,3 - 8,9$ ) e G3:  $7,0$  ( $6,3 - 8,6$ );  $P=0,0172$ ], parede livre do VD em diástole ( $2,06 \pm 0,23$ ;  $2,46 \pm 0,27$ ;  $2,33 \pm 0,25$ ;  $p < 0,0001$ ), e diâmetro da Ao (G1:  $6,82 \pm 0,71$ ; G2:  $7,77 \pm 0,74$ ; G3:  $7,22 \pm 0,7$ ;  $p < 0,0001$ ) nos animais do G1 quando comparados aos demais. A medida da AP, também apresentou diâmetro menor nos animais do G1 (G1:  $6,89 \pm 0,86$ ; G2:  $8,20 \pm 0,93$ ; G3:  $7,47 \pm 0,59$ ;  $p < 0,0001$ ), mas não houve diferença na relação AP/Ao. No G3 foi observada menor velocidade [G1:  $0,88$  ( $0,67 - 1,23$ ); G2:  $0,86$  ( $0,51 - 1,08$ ); G3:  $0,68$  ( $0,53 - 1,07$ );  $p=0,0021$ ] e gradiente de pressão [G1:  $3,10$  ( $1,80 - 6,00$ ); G2:  $2,99$  ( $1,06 - 4,70$ ); G3:  $1,90$  ( $1,10 - 4,63$ );  $P=0,0023$ ] do fluxo da pulmonar.

**Tabela 1.** Variáveis ecocardiográficas convencionais de 88 gatos filhotes, adultos jovens e adultos maduros saudáveis.

<b>VARIÁVEL</b>	<b>Grupo 1 n=36</b>	<b>Grupo 2 n=36</b>	<b>Grupo 3 n=16</b>	<b>valor de p</b>
<b>ADd (mm)</b>	9,92 ± 1,11 <sup>a</sup>	11,17 ± 1,17 <sup>b</sup>	11,01 ± 1,30 <sup>b</sup>	< 0,0001
<b>VDd (mm)</b>	6,85 (5,2 – 8,9) <sup>a</sup>	7,8 (5,3 – 8,9) <sup>b</sup>	7,0 (6,3 – 8,6) <sup>ab</sup>	0,0172
<b>PLVDd (mm)</b>	2,06 ± 0,23 <sup>a</sup>	2,46 ± 0,27 <sup>b</sup>	2,33 ± 0,25 <sup>b</sup>	< 0,0001
<b>AP (mm)</b>	6,89 ± 0,86 <sup>a</sup>	8,20 ± 0,93 <sup>b</sup>	7,47 ± 0,59 <sup>a</sup>	< 0,0001
<b>Ao (mm)</b>	6,82 ± 0,71 <sup>a</sup>	7,77 ± 0,74 <sup>b</sup>	7,22 ± 0,71 <sup>ab</sup>	< 0,0001
<b>AP/Ao</b>	1,01 (0,85 – 1,16)	1,04 (0,99 – 1,19)	1,03 (1,0 – 1,12)	0,0840
<b>FAC (%)</b>	59 (56 – 68)	60 (56 – 70)	58 (54 – 64)	0,1300
<b>TAPSE (mm)</b>	8,49 ± 1,16	8,67 ± 1,23	7,62 ± 0,91	0,0621
<b>IPM</b>	0,22 ± 0,03	0,25 ± 0,05	0,23 ± 0,05	0,0945
<b>S' (cm/s)</b>	0,12 ± 0,03	0,11 ± 0,02	0,10 ± 0,02	0,1457
<b>E' (cm/s)</b>	0,11 (0,07 – ,17)	0,11 (0,08 – 0,18)	0,10 (0,07 – 0,13)	0,0791
<b>A' (cm/s)</b>	0,09 ± 0,02	0,11 ± 0,03	0,11 ± 0,02	0,0005
<b>E (m/s)</b>	0,60 ± 0,10	0,54 ± 0,12	0,54 ± 0,09	0,05
<b>A (m/s)</b>	0,57 ± 0,14	0,53 ± 0,13	0,49 ± 0,09	0,1511
<b>E/A</b>	1,09 ± 0,23	1,05 ± 0,24	1,10 ± 0,15	0,5982
<b>Pulmonar (m/s)</b>	0,88 (0,67 – 1,23) <sup>a</sup>	0,86 (0,51 – 1,08) <sup>a</sup>	0,68 (0,53 – 1,07) <sup>b</sup>	0,0021
<b>Pulmonar (mmHg)</b>	3,10 (1,80 – 6,00) <sup>a</sup>	2,99 (1,06 – 4,70) <sup>a</sup>	1,90 (1,10 – 4,63) <sup>b</sup>	0,0023

ADd: Dimensão interna do átrio direito na diástole; VDd: dimensão interna do ventrículo direito na diástole; PLVDd: dimensão da parede livre do ventrículo direito na diástole; AP: dimensão da artéria pulmonar; Ao: dimensão da aorta; AP/Ao, relação entre as dimensão da artéria pulmonar e aorta; FAC: variação fracional da área; TAPSE: excursão sistólica do plano anular tricúspide; IPM: índice de performance miocárdica; S': Velocidade de pico do movimento anular sistólico da tricúspide; E': velocidade de pico do movimento anular diastólico inicial da tricúspide; A': velocidade de pico do movimento anular diastólico tardio da tricúspide; E: pico de velocidade de enchimento ventricular inicial; A: pico de velocidade de enchimento ventricular tardio; Pulmonar: fluxo pulmonar.

<sup>a,b</sup> Médias/medianas seguidas por diferentes letras minúsculas na linha diferem entre si pelo teste ANOVA – one way com pós-teste Tukey para dados paramétricos ou pelo Kruskal-Wallis com pós-teste de Dunn para dados não paramétricos ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Do autor (2021).

Em relação as variáveis da ecocardiografia 2D-STE (Tabela 2) foi observada maior magnitude (ST) (G1:  $27,12 \pm 4,26$ ; G2:  $20,90 \pm 2,59$ ; G3:  $23,57 \pm 4,63$ ;  $p < 0,000$ ) e velocidade (SR) (G1:  $3,72 \pm 0,72$ ; G2:  $2,88 \pm 0,42$ ; G3:  $2,92 \pm 0,71$ ;  $p < 0,0001$ ) de deformação global da parede livre do VD nos animais do G1.

Considerando os três segmentos da parede livre, o G1 também apresentou valores maiores de ST longitudinal no segmento basilar, que diferiram do G2, mas foram semelhantes aos do G3 [G1:  $38,63(21,08-55,40)$ ; G2:  $29,05(17,63-37,66)$ ; G3:  $28,97(22,85-48,77)$ ;  $p=0,0005$ ], assim como no médio [G1:  $29,22(20,55-44,69)$ ; G2:  $21,27(14,75-36,84)$ ; G3:  $27,51(17,33-35,27)$ ;  $p=0,0002$ ]. Quanto ao SR, o segmento basilar foi maior no G1 (G1:  $5,31 \pm 1,37$ ; G2:  $4,01 \pm 1,01$ ; G3:  $3,85 \pm 1,15$ ;  $P=0,0001$ ), embora o segmento médio [G1:  $4,21(2,24-6,53)$ ; G2:  $2,89(1,38-5,48)$ ; G3:  $3,18(2,17-5,05)$ ;  $p < 0,0001$ ] tenha sido semelhante entre G1 e G3, repetindo o padrão observado no ST. Em todos os grupos, foi observada maior deformação miocárdica (ST e SR) no segmento basilar, deformação intermediária no segmento médio e menor deformação no segmento apical.

**Tabela 2.** Variáveis de função miocárdica regional e global obtidas pela ecocardiografia *speckle tracking* bidimensional da parede livre do ventrículo direito de gatos clinicamente saudáveis, em diferentes faixas etárias de 69 gatos saudáveis.

SEGMENTO	Grupo 1 n=30	Grupo 2 n=26	Grupo 3 n=13	valor p
<b>Strain longitudinal (%)</b>				
<b>Bas lat</b>	$38,63 (21,08-55,40)^a$	$29,05 (17,63-37,66)^b$	$28,97 (22,85-48,77)^{ab}$	0,0005
<b>Méd lat</b>	$29,22 (20,55-44,69)^a$	$21,27 (14,75-36,84)^b$	$27,51 (17,33-35,27)^{ab}$	0,0002
<b>Apic lat</b>	$12,15 (3,27-26,51)$	$9,69 (4,22-27,00)$	$12,48 (5,60-20,97)$	0,6956
<b>Global PL</b>	$27,12 \pm 4,26^a$	$20,90 \pm 2,59^b$	$23,57 \pm 4,63^b$	$<0,0001$
<b>Strain rate longitudinal (m/s)</b>				
<b>Bas lat</b>	$5,31 \pm 1,37^a$	$4,01 \pm 1,01^b$	$3,85 \pm 1,15^b$	0,0001
<b>Méd lat</b>	$4,21 (2,24-6,53)^a$	$2,89 (1,38-5,48)^b$	$3,18 (2,17-5,05)^{ab}$	$<0,0001$
<b>Apic lat</b>	$1,68 (0,37-3,93)$	$1,41 (0,7-3,51)$	$1,30 (0,73-3,49)$	0,8533
<b>Global PL</b>	$3,72 \pm 0,72^a$	$2,88 \pm 0,42^b$	$2,92 \pm 0,71^b$	$<0,0001$

Bas lat: base lateral; Méd lat: médio lateral; Apic lat: apical lateral; Global PL: global parede livre.

<sup>a,b</sup> Médias/medianas seguidas por diferentes letras minúsculas na linha diferem entre si pelo teste ANOVA – one way com pós-teste Tukey para dados paramétricos ou pelo Kruskal-Wallis com pós-teste de Dunn para dados não paramétricos ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Do autor (2021).

Os testes de associação entre ecocardiografia 2D-STE e as variáveis de função miocárdica convencionais, idade, gênero e peso corporal estão expostos na Tabela 3. O ST e SR globais da parede livre não apresentaram correlação com TAPSE, IPM, S' e gênero. Correlação negativa baixa foi observada entre o ST e a FAC ( $r=-0,31$ ;  $p=0,011$ ). O peso manifestou correlação negativa baixa com a deformação, tanto no ST ( $r=-0,49$ ;  $p<0,0001$ ) quanto no SR ( $r=-0,44$ ;  $p=0,0002$ ). Já a idade apresentou correlação negativa fraca com o ST ( $r=-0,47$ ;  $p<0,0001$ ) e moderada com o SR ( $r=-0,50$ ;  $p<0,0001$ ). A associação entre FAC, IPM, idade e peso corporal também foi testada, mas não foi observada correlação.

Tabela 3 – Correlação entre as variáveis de função ventricular direita por *speckle tracking* bidimensional e ecocardiografia convencional, idade, peso e gênero de gatos saudáveis.

VARIÁVEL	Strain global PLVD		Strain Rate global PLVD	
	r	p	r	P
FAC	-0,31	0,0110*	0,16	0,2944
TAPSE	0,14	0,3400	0,13	0,3773
IPM	-0,13	0,2940	-0,15	0,2448
S'	0,13	0,3110	0,05	0,6729
Idade	-0,47	<0,0001*	-0,50	<0,0001*
Gênero	0,13	0,3060	0,14	0,2540
Peso	-0,49	<0,0001*	-0,44	0,0002*

FAC: variação fracional da área; TAPSE: excursão sistólica do plano anular tricúspide; IPM: índice de performance miocárdica; S': Velocidade de pico do movimento anular sistólico da tricúspide; PLVD: parede livre do ventrículo direito.

\*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  $\pm 1$ , muito alto.

Fonte: Do autor (2021).

Os intervalos de referência calculados para variáveis da ecocardiografia convencional e 2D-STE estão expostos na Tabela 4.

Tabela 4– Intervalos de normalidade com intervalo de confiança a 90% das variáveis de função ventricular direita obtidas pela ecocardiografia convencional e *Speckle tracking* bidimensional de gatos saudáveis em diferentes faixas etárias.

VARIÁVEL	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
<b>Ecocardiografia convencional (n=88)</b>			
<b>ADd</b>	7,4 – 12,1	8,8 – 13,6	8,5 – 14,5
<b>VDd</b>	4,7 – 8,9	5,0 – 9,2	6,1 – 9,2
<b>PLVDd</b>	1,6 – 2,6	1,6 – 2,9	1,8 – 3,0
<b>AP/Ao</b>	0,9 – 1,1	0,9 – 1,1	0,9 – 1,1
<b>FAC</b>	52,4 – 65,5	53,8 – 67,5	52,3 – 68,8
<b>TAPSE</b>	5,8 – 10,6	3,1 – 12,1	5,4 – 9,7
<b>IPM</b>	0,10 – 0,30	0,10 – 0,30	0,10 – 0,40
<b>S'</b>	0,10 – 0,20	0,10 – 0,20	0,10 – 0,20
<b>Strain longitudinal (n=69)</b>			
<b>Bas lat</b>	17,5 – 53,5	14,9 – 37,2	20,2 – 69,1
<b>Méd lat</b>	19,1 – 49,7	14,3 – 37,1	11,8 – 39
<b>Ápic lat</b>	1,7 – 27,6	4,3 – 28,1	3,1 – 25,2
<b>Global PL</b>	19,2 – 36,9	15,4 – 26,4	13 – 34,5
<b>Strain Rate longitudinal (n=69)</b>			
<b>Bas lat</b>	2,5 – 8,2	1,8 – 6,2	1,5 – 6,8
<b>Méd lat</b>	2,2 – 6,8	1,6 – 5,0	1,8 – 6
<b>Ápic lat</b>	0,2 – 4,1	0,7 – 3,6	0,2 – 3,4
<b>Global PL</b>	2,3 – 5,3	2 – 3,8	2,1 – 10,3

ADd: dimensão interna do átrio direito na diástole; VDd: dimensão interna do ventrículo direito na diástole; PLVDd: dimensão da parede livre do ventrículo direito na diástole; AP/Ao, relação entre a dimensão da artéria pulmonar e a dimensão da aorta; FAC: variação fracional da área; TAPSE: excursão sistólica do plano anular tricúspide; IPM: índice de performance miocárdica; S': Velocidade de pico do movimento anular sistólico da tricúspide; Bas lat: base lateral; Med lat: médio lateral; Apic lat: apical lateral; Global PL: global parede livre do ventrículo direito;

Fonte: Do autor (2021).

#### 4. DISCUSSÃO

De acordo com Quimby et al. (2021) a distinção das faixas etárias fornece estrutura para implementar sistematicamente uma abordagem individualizada do estágio de vida para a saúde felina. Os resultados deste estudo apontam diferenças morfológicas e funcionais do VD

em gatos de diferentes faixas etárias, fornecendo suporte para avaliação clínica de filhotes acometidos por cardiopatias congênicas e adultos acometidos por cardiopatias adquiridas. Sendo assim, nesta espécie, as variações de idade devem ser consideradas na avaliação ecocardiográfica convencional e 2D-STE do VD.

Observa-se que o pequeno tamanho, a geometria complexa e as trabeculações endocárdicas espessas são fatores que dificultam a análise ecocardiográfica convencional do VD, como também descrito por vários autores (SCHOBER; SAVINO; YILDIZ, 2016; VISSER, SLOAN; STERN, 2017). Entretanto, o reconhecimento da sua participação em condições associadas a disfunção do VE reforça a necessidade de determinar valores de normalidade para avaliação morfofuncional dessa câmara. Após revisão da literatura, ao que tudo indica este é o primeiro estudo prospectivo a avaliar morfologia e função do VD em gatos saudáveis, comparando possíveis interferências da idade.

Nas medidas lineares, foram observados menores diâmetros das câmaras cardíacas direitas (ADd e VDD) e da parede livre nos animais do G1. Este resultado seria esperado, uma vez que o grupo era composto por filhotes que ainda não haviam terminado o seu desenvolvimento. Resultados semelhantes foram observados por Daimon et al. (2011) que apontaram diferenças relacionadas a idade nos índices ecocardiográficos do VD de seres humanos. Em filhotes caninos, Jeni, et al. (2009) descreveram não somente variações nos tamanhos das estruturas cardíacas como também variações hemodinâmicas durante o crescimento.

Patata et al. (2020) observaram em seu estudo que o diâmetro da AP não diferiu entre gatos saudáveis, gatos com cardiopatia subclínica e gatos com insuficiência cardíaca congestiva. Entretanto, a dimensão da AP geralmente está aumentada em gatos com hipertensão pulmonar. Apesar de ter sido observada diferença estatística no diâmetro da AP entre os grupos estudados, o seu valor indexado ao diâmetro da Ao (AP/Ao) não diferiu com a idade. Os valores de referência encontrados neste estudo para AP/Ao são semelhantes aos propostos por Vezzosi et al. 2019.

O envelhecimento induz mudanças estruturais e funcionais no parênquima pulmonar. A redução da elasticidade pulmonar, da força dos músculos respiratórios e da complacência da parede torácica são as principais alterações observadas (DYER, 2012). Essas alterações podem ter impactos na hemodinâmica resultando em alterações no gradiente de pressão da artéria

pulmonar. Neste estudo o pico de velocidade e o gradiente de pressão da artéria pulmonar foi menor nos gatos adultos maduros. O fato de os animais não terem sido sedados pode ter influenciado esse resultado, uma vez que a excitação eleva a frequência cardíaca, que tem impacto direto sobre o fluxo pulmonar (CARVALHO; ARAÚJO; SILVA, 2006) O menor número de indivíduos neste grupo, de adultos maduros, também pode ter exercido influência.

Não foram observadas diferenças estatísticas entre a idade e a função do VD obtida pela ecocardiografia convencional (FAC, TAPSE, IPM e TDI). Outros estudos também avaliaram a influência da idade em alguns desses índices de função miocárdica, mas os resultados são controversos. Sugimoto e Fujii (2020) não observaram variações no TDI nem nos picos de velocidade de enchimento do VE em gatos acompanhados anualmente entre 1 e 8 anos de idade. Já Koffas et al. (2006) observaram correlação entre a idade e E' em gatos saudáveis entre 10 meses e 14 anos. A TAPSE não correlacionou com a idade no estudo de Visser et al. (2018) com cães. Já a FAC apresentou correlação negativa fraca com a idade no estudo de Locatelli et al. (2016) com a mesma espécie.

Quanto a ecocardiografia 2D-STE, os resultados obtidos demonstraram influência da idade na deformação miocárdica global da parede livre do VD (ST:  $r=-0,47$ ;  $p<0,0001$ ; SR:  $r=-0,49$ ;  $p<0,0001$ ). É possível afirmar que em filhotes felinos tanto a magnitude (ST) quanto a velocidade (SR) do alongamento/encurtamento das fibras miocárdicas são superiores aos observados em adultos jovens ou adultos maduros. Outros estudos em cães (LOCATELLI et al., 2016) e gatos (SUGIMOTO e FUJII, 2020) utilizaram o 2D-STE para analisar a função miocárdica em diferentes idades e não observaram variação. Entretanto, este é o primeiro trabalho a avaliar a função miocárdica por ST e SR de filhotes saudáveis com idade inferior a 12 meses. Marcus et al. (2016), em um estudo com crianças, adolescentes e adultos jovens, demonstraram que durante a puberdade ocorre aumento na deformação miocárdica. De acordo com esses autores, o aumento da massa corporal e tarefas funcionais de trabalho pode ser um dos fatores envolvidos nessa resposta fisiológica. Fatores genéticos e hormonais, também devem ser considerados. Há evidências de que hormônios, como o hormônio do crescimento e os hormônios sexuais, cujas concentrações aumentam durante a puberdade, influenciam o crescimento cardíaco e a função sistólica. É possível que, neste estudo, os maiores valores de ST e SR encontrados no G1 podem ter sido influenciados pela puberdade que parece exercer influência direta sobre as fibras miocárdicas.

Na deformação miocárdica regional o ST diferiu entre o G1 e G2 nos segmentos basilar lateral e médio lateral, mas o grupo três se assemelhou aos demais. O mesmo comportamento ocorreu no SR em segmento médio lateral. Estudos anteriores demonstraram maior variabilidade na medição da deformação segmentar quando comparada a deformação global (WIERZBOWSKA-DRABIK; PLEWKA; KASPRZAK, 2017; MIREA et al, 2018). Essa variabilidade pode ter influenciado o resultado, assim como o menor número de animais avaliados no G3.

Em seu estudo com felinos saudáveis não sedados Silva et al. (2013) demonstraram que os segmentos basais do VE possuem maiores valores de ST e SR do que o segmento médio e apical. No presente estudo, o segmento basilar da parede livre do VD também demonstrou maiores valores que os demais, sendo observado um gradiente da base ao ápice da parede livre (de maior para menor). Este resultado difere do que é amplamente documentado em seres humanos, em que os valores de ST apicais são maiores e o gradiente é invertido (CANTINOTTI et al., 2018). Nos cães também foi demonstrada diferença na deformação entre os segmentos da parede livre do VD, mas na espécie o segmento médio apresentou maiores valores (LOCATELLI et al., 2016). A presença de um gradiente destaca a dominância de camadas longitudinais profundas do VD que estão alinhadas da base ao ápice e permitem maior encurtamento longitudinal. O padrão de gradiente observado em todos os grupos reflete a geometria relativamente constante do coração normal com a maturação (LEVY et al., 2014)

Em alguns animais deste estudo o 2D-STE não pode ser utilizado para avaliação da função longitudinal do VD, devido ao rastreamento inadequado de marcadores acústicos. Este empecilho também foi relatado em estudos anteriores com gatos (SILVA et al., 2013) e cães (WESS, et al., 2011) e pode estar relacionada a frequência cardíacas elevadas dos gatos não sedados no momento do exame.

Por determinar a deformação a partir da movimentação de pontos no miocárdio, o 2D-STE possibilita avaliar a função cardíaca independente do ângulo de aquisição da imagem. É o método mais sensível para avaliar a função cardíaca (AHMED et al., 2015; SUGIMOTO; FUJII, 2020; ADDETIA et al., 2021) e por isso a associação entre ele e as variáveis ecocardiográficas convencionais foram testadas, não sendo observada correlação do método com a maioria dos índices de função da ecocardiografia convencional, tornando-a um índice independente.

Como o VD apresenta fibras orientadas principalmente no sentido longitudinal e mínima deformação do eixo curto, a TAPSE, o ST e SR longitudinais são consideradas variáveis mais úteis para avaliação de sua função (SPALLA; BOSWOOD; CANNOLLY, 2019). Apesar disso, nossos resultados não demonstraram correlação entre TAPSE e 2D-STE. Já a FAC apresentou correlação negativa baixa com o ST, reforçando sua utilidade para avaliação do VD de gatos. Resultado semelhante foi descrito em cães (LOCATELLI et al., 2016). Neste estudo não foi observada correlação entre o peso corporal e a FAC, como ocorre em cães (VISSER et al., 2015), provavelmente devido a baixa variação corporal observada na espécie (SPALLA; PAYNE; BORGEAT, 2017).

De acordo com Addetia et al. (2021) a deformação do VD por 2D-STE provavelmente será a medida de escolha para avaliação do desempenho desta câmara em um futuro próximo. Este trabalho oferece subsídios para estudos posteriores que correlacionem ecocardiografia convencional e 2D-STE com a função do VD em gatos doentes, assim como fornece dados para o manejo clínico de gatos cardiopatas congênitas e adquiridas.

Algumas limitações podem ser apontadas nesta pesquisa. Investigando-se a geometria e função do VD em indivíduos saudáveis, destaca-se que o número de animais adultos maduros foi menor, devido à dificuldade de se encontrar gatos saudáveis nessa faixa etária. Este mesmo fato também impossibilitou a inclusão de um grupo de gatos idosos (>10 anos). Outra possível limitação é a influência do estresse dos gatos não sedados sobre a frequência cardíaca. Para reduzir essa interferência uma interação positiva foi preconizada e os animais não cooperativos foram excluídos, mas ainda assim os valores de referência propostos podem diferir dos encontrados em gatos saudáveis sedados para avaliação ecocardiográfica. É importante ressaltar ainda que os diferentes algoritmos disponíveis em diferentes aparelhos podem resultar em valores de normalidade diversos (SILVA et al., 2013; CANTINOTTI et al., 2018; MIREA et al., 2018; SANTARELLI et al., 2019). Sendo assim, os valores de referência gerados são aplicáveis ao algoritmo *optical flow* (versão 10.1, Esaote®). Salienta-se ainda que os dados obtidos podem não ser aplicáveis a todas as situações clínicas devido a influência de equipamentos, *software*, experiência do observador e qualidade da imagem, que podem influenciar os valores e a variabilidade dos dados.

## 5. CONCLUSÃO

- Os índices ecocardiográficos convencionais da função ventricular direita, incluindo FAC, TAPSE e TDI, sofrem pouca influência da idade nos valores de normalidade.
- Os valores de ST e SR indicaram maior deformação miocárdica em filhotes.
- Valores de referência preliminares para o VD de gatos saudáveis não sedados podem ser estabelecidos a partir dos resultados deste estudo.
- Os valores de normalidade do ST longitudinal global da parede livre do VD para gatos são de 19,6 a 36,9 em filhotes; 14,4 a 26,4 em adultos jovens; 13 a 34,5 em adultos maduros.
- Os valores de normalidade do SR longitudinal global da parede livre do VD para gatos são de 2,3 a 5,3 em filhotes; 2 a 3,8 em adultos jovens; 2,1 a 10,3 em adultos maduros.
- Novas pesquisas devem ser realizadas a fim de avaliar a possível influência da sedação e a confiabilidade dessa técnica em gatos com cardiomiopatias.

## 6. AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão de bolsa de estudo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADDETIA, K; MIYOSHI, T.; CITROET, R. et al. Two-Dimensional Echocardiographic Right Ventricular Size and Systolic Function Measurements Stratified by Sex, Age, and Ethnicity: Results of the World Alliance of Societies of Echocardiography Study. *Journal of the American Society of Echocardiography*, 2021.

AHMED, M. K.; SOLIMAN, M. A.; REDA, A. A. 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.

BOON, J. A. **Veterinary echocardiography**. 2nd ed. Iowa: Wiley- Blackwell, 2011. p. 37-266.

CAIVANO, D.; RISHNIW, M.; BIRETTONI, F. et al. Right ventricular outflow tract fractional shortening: an echocardiographic index of right ventricular systolic function in dogs with pulmonary hypertension. **Journal of Veterinary Cardiology**, v. 20, n. 5, p. 354-363, 2018.

CANTINOTTI, M.; SCALESE, M.; GIORDANO, R. et al. Normative data for left and right ventricular systolic strain in healthy Caucasian Italian children by two-dimensional speckle-tracking echocardiography. **Journal of the American Society of Echocardiography**, v. 31, n. 6, p. 712-720. e6, 2018.

CARNEY, H. C.; WARD, C. R., BAILEY S. J. et al. 2016 AAFP guidelines for the management of feline hyperthyroidism. **Journal of Feline Medicine and Surgery**, v. 18, p. 400- 416, 2016.

CARVALHO, R. O.; ARAÚJO, R. B.; SILVA, E. F. Ecocardiografia modo Doppler pulsado em gatos clinicamente saudáveis. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 58, p. 333-340, 2006.

CHETBOUL, V.; BUSSADORI, C.; MADRON, É. **Clinical echocardiography of the dog and cat**. St. Louis: Elsevier, 2016. p. 20- 37; 111-125.

DAIMON, M.; WATANABE, H.; ABE, Y. et al. Gender Differences in Age-Related Changes in Left and Right Ventricular Geometries and Functions—Echocardiography of a Healthy Subject Group—. *Circulation Journal*, v. 75, n. 12, p. 2840-2846, 2011.

FOX, P. R.; KEENE, B. W.; LAMB, K. 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.

FREEMAN, L. M.; RUSH, J. E.; STERN, J. A. et al. Feline hypertrophic cardiomyopathy: a spontaneous large animal model of human HCM. *Cardiology research*, v. 8, n. 4, p. 139, 2017.

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

GEFFRÉ, A.; CONCORDET, D.; BRAUN, J. P. 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.

JENNI, S.; GARDELLE, O.; ZINI, E. et al. Use of auscultation and Doppler echocardiography in Boxer puppies to predict development of subaortic or pulmonary stenosis. **Journal of Veterinary Internal Medicine**, v. 23, n. 1, p. 81-86, 2009.

KELLIHAN, H.B. e STEPIEN, R.L. Pulmonary hypertension in canine degenerative mitral valve disease. **Journal of veterinary cardiology**, West Lafayette, IN, v. 14, n. 1, p. 149-164, 2012.

KOFFAS, H.; DUKES-MCEWAN, J.; CORCORAN, B. M. et al. Pulsed tissue Doppler imaging in normal cats and cats with hypertrophic cardiomyopathy. **Journal of veterinary internal medicine**, v. 20, n. 1, p. 65-77, 2006.

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.

LEVY, P. T.; MEJIA, A. A. S.; MACHEFSKY, A. et al. Normal ranges of right ventricular systolic and diastolic strain measures in children: a systematic review and meta-analysis. **Journal of the American Society of Echocardiography**, v. 27, n. 5, p. 549-560. e3, 2014.

LOCATELLI, C.; SPALLA, I.; ZANABONI, A. M. 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.

MIREA, O.; PAGOURELIAS, E. D.; DUCHENNE, J. et al. Variability and reproducibility of segmental longitudinal strain measurement: a report from the EACVI-ASE strain standardization task force. **JACC: Cardiovascular Imaging**, v. 11, n. 1, p. 15-24, 2018.

NESTAAS, E.; STØYLEN, A.; BRUNVAND, L. 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.

PAYNE, J. R.; BRODBELT, D. C.; FUENTES, V. L. et al. Blood Pressure Measurements in 780 Apparently Healthy Cats. **Journal of Veterinary Internal Medicine**, v. 31, p. 15-21, 2017.

PATATA, V.; CAIVANO, D.; PORCIELLO, F. et al. Pulmonary vein to pulmonary artery ratio in healthy and cardiomyopathic cats. *Journal of Veterinary Cardiology*, v. 27, p. 23-33, 2020.

QUIMBY, J.; GOWLAND, S.; CARNEY, H. C. et al. 2021 AAHA/AAFP Feline Life Stage Guidelines. *Journal of the American Animal Hospital Association*, v. 57, n. 2, p. 51-72, 2021.

SANTARELLI, G.; TOALDO, M. B.; BOUVARD, J. et al. Variability among strain variables derived from two-dimensional speckle tracking echocardiography in dogs by use of various software. ***American Journal of Veterinary Research***, v. 80, n. 4, p. 347-357, 2019.

SANTILLI, R.; MOISE, N. S.; PARIAUT, R. et al. ***Eletrocardiografia de cães e gatos***. 2nd ed. São Paulo: Medvet, 2018. p. 21-70.

SANTILLI, R. A.; VÁZQUEZ, D. M. P.; GEROU-FERRIANI, M. 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, p. 358-368, 2019.

SCHAFFER, S. W.; ITO, T.; AZUMA, J. et al. Mechanisms Underlying Development of Taurine-Deficient Cardiomyopathy. ***Hearts***, v. 1, n. 2, p. 86-98, 2020.

SCHOBBER, K. E.; SAVINO, S. I.; YILDIZ, V. Right ventricular involvement in feline hypertrophic cardiomyopathy. *Journal Veterinary Cardiology*.18:297–309, 2016.

SHEEHAN, F.; REDINGTON, A. The right ventricle: anatomy, physiology and clinical imaging. *Heart*, v. 94, n. 11, p. 1510-1515, 2008.

SILVA, A. C.; MUZZI, R. A. L.; OBERLENDER, G. et al. Longitudinal strain and strain rate by two-dimensional speckle tracking in non-sedated healthy cats. *Research in veterinary science*, v. 95, n. 3, p. 1175-1180, 2013.

SILVA, V. B. C.; WOLF, M.; LUCINA, S. B. et al. Assessment of right ventricular systolic function by tissue motion annular displacement in healthy dogs. ***Journal of Veterinary Cardiology***, v. 32, p. 40-48, 2020.

SPALLA, I.; PAYNE, J. R.; BORGEAT, K. et al. Mitral Annular Plane Systolic Excursion and Tricuspid Annular Plane Systolic Excursion in Cats with Hypertrophic Cardiomyopathy. ***Journal of Veterinary Internal Medicine***, v. 31, p.691-699, 2017.

SPALLA, I.; BOSWOOD, A.; CONNOLLY, D. J.; FUENTES, V. L. Speckle tracking echocardiography in cats with preclinical hypertrophic cardiomyopathy. ***Journal of Veterinary Internal Medicine***, v. 33, n. 3, p. 1232-1241, 2019.

SUGIMOTO, K.; FUJII, Y.; SUNAHARA, H., et al. Assessment of left ventricular longitudinal function in cats with subclinical hypertrophic cardiomyopathy using tissue Doppler imaging and speckle tracking echocardiography. ***Journal of Veterinary Medical Science***, p. 14-0354, 2015.

SUZUKI, R; YUCHI, Y; KANNO, H. et al. Left and Right Myocardial Functionality Assessed by Two-Dimensional Speckle-Tracking Echocardiography in Cats with Restrictive Cardiomyopathy. **Animals**, v. 11, n. 6, p. 1578, 2021.

TILLEY L.P. **Essentials of Canine and Feline Electrocardiography**. 3rd edn. Philadelphia: Lea and Febiger, 252p. 1992.

TOALDO, M. B; GLAUS, T.; CAMPAGNA, I. et al. Echocardiographic assessment of right ventricular systolic function in healthy Beagle dogs compared to high field cardiac magnetic resonance imaging. **The Veterinary Journal**, v. 271, p. 105653, 2021.

VEZZOSI, T.; SCHOBER, K. E. Doppler-derived echocardiographic evidence of pulmonary hypertension in cats with left-sided congestive heart failure. **Journal of veterinary cardiology**, v. 23, p. 58-68, 2019.

VISSER, L. C.; SCANSEN, B.A.; SCHOBER, K. E. et al. Echocardiographic assessment of right ventricular systolic function in conscious healthy dogs: repeatability and reference intervals. **Journal of Veterinary Cardiology**, v. 17, n. 2, p. 83-96, 2015.

VISSER, L. C.; SLOAN, C. Q.; STERN, J. A. Echocardiographic assessment of right ventricular size and function in cats with hypertrophic cardiomyopathy. **Journal of Veterinary Internal Medicine**, v. 31, n. 3, p. 668-677, 2017.

VISSER, L. C. Right ventricular function: imaging techniques. **Veterinary Clinics: Small Animal Practice**, v. 47, n. 5, p. 989-1003, 2017.

VISSER, L. C.; SINTOV, D. J.; OLDACH, M. S. Evaluation of tricuspid annular plane systolic excursion measured by two-dimensional echocardiography in healthy dogs: repeatability, reference intervals, and comparison with M-mode assessment. **Journal of Veterinary Cardiology**, v. 20, n. 3, p. 165-174, 2018.

WESS, G.; KELLER, L.J.M.; KLAUSNITZER, M. et al. Comparison of longitudinal myocardial tissue velocity, strain, and strain rate measured by two-dimensional speckle tracking and by color tissue Doppler imaging in healthy dogs. **Journal of Veterinary Cardiology**, West Lafayette, IN, v. 13, n. 1, p. 31-43, mar. 2011.

WIERZBOWSKA-DRABIK, K.; PLEWKA, M.; KASPRZAK, J. D. Variability of longitudinal strain in left ventricular segments supplied by non-stenosed coronary artery: insights from speckle tracking analysis of dobutamine stress echocardiograms in patients with high coronary risk profile. **Archives of Medical Science: AMS**, v. 13, n. 1, p. 82, 2017.

## ANEXO



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:	Clinica, cirurgia e patologia veterinária