

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**EFEITOS DO CONDICIONAMENTO SOBRE A FUNÇÃO
VENTRICULAR ESQUERDA DE EQUINOS JOVENS DA
RAÇA PURO SANGUE ÁRABE**

Gabriel Vieira Ramos

Médico Veterinário

2023

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

**EFEITOS DO CONDICIONAMENTO SOBRE A FUNÇÃO
VENTRICULAR ESQUERDA DE EQUINOS JOVENS DA
RAÇA PURO SANGUE ÁRABE**

Discente: Gabriel Vieira Ramos

Orientador: Prof. Dr. José Corrêa de Lacerda-Neto

Coorientador: Prof. Dr. Fábio Nelson Gava

**Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp,
câmpus de Jaboticabal, como parte das
exigências para a obtenção do título de
Mestre em Ciências Veterinárias**

2023

R175e

Ramos, Gabriel Vieira

Efeitos do condicionamento sobre a função ventricular esquerda de equinos jovens da raça Puro Sangue Árabe / Gabriel Vieira Ramos. -- Jaboticabal, 2023

57 f. : il., tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientador: José Corrêa Lacerda-Neto

Coorientador: Fábio Nelson Gava

1. Cardiologia. 2. Cardiologia veterinária. 3. Ecocardiografia veterinária. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

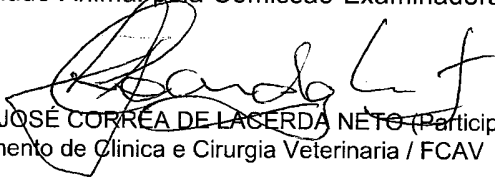
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: EFEITOS DO CONDICIONAMENTO SOBRE A FUNÇÃO VENTRICULAR ESQUERDA DE EQUINOS JOVENS DA RAÇA PURO SANGUE ÁRABE

AUTOR: GABRIEL VIEIRA RAMOS

ORIENTADOR: JOSÉ CORRÊA DE LACERDA NETO

COORDENADOR: FÁBIO NELSON GAVA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Veterinárias, área: Saúde Animal pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. JOSÉ CORRÊA DE LACERDA NETO (Participação Presencial)
Departamento de Clínica e Cirurgia Veterinária / FCAV UNESP Jaboticabal

Profa. Dra. ROSÂNGELA DE OLIVEIRA ALVES CARVALHO (Participação Virtual)
Departamento de Medicina Veterinária / Universidade Federal de Goiás (UFG) - Goiânia/GO

Profa. Dra. ANELISE CARLA CAMPLESI DOS SANTOS (Participação Presencial)
Departamento de Clínica e Cirurgia Veterinária / FCAV UNESP Jaboticabal

Jaboticabal, 11 de outubro de 2023

gov.br Documento assinado digitalmente
ANELISE CARLA CAMPLESI DOS SANTOS
Data: 17/10/2023 11:29:15-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

gov.br Documento assinado digitalmente
ROSANGELA DE OLIVEIRA ALVES CARVALHO
Data: 17/10/2023 11:10:33-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Gabriel Vieira Ramos, nascido em Ribeirão Preto no dia 08 de maio de 1996, é filho de Antônio Carlos Ramos e Maria Elena Vieira Ramos. Graduiu-se médico veterinário em 2020 pela Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – câmpus de Jaboticabal. Em 2017 tornou-se membro do Laboratório de Medicina Esportiva Equina da mesma instituição sob orientação do Prof. Dr. José Corrêa de Lacerda-Neto. Possui experiência em fisiologia, clínica médica e medicina do esporte equino com foco em cardiologia.

EPIÍGRAFE

“Inferior a todos os seus pares no reino animal, enxergando menos, ouvindo menos, cheirando menos, menos veloz, menos ágil o homem fatalmente seria um escravo. O cavalo fez dele um rei.”

Al-Mutanabbi

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo fomento concedido (processo nº 2021/06368-6).

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias da FCAV-Unesp, pela oportunidade e suporte acadêmico.

SUMÁRIO

	Página
CAPÍTULO 1 – Considerações Gerais	1
1.1. Introdução.....	1
1.2. Revisão de Literatura.....	2
1.2.1. Condicionamento físico em equinos.....	2
1.2.2. Efeitos do condicionamento sobre o sistema cardiovascular.....	3
1.3. Referências.....	5
CAPÍTULO 2 – Efeitos do condicionamento sobre a função ventricular esquerda de equinos jovens da raça Puro Sangue Árabe	9
Resumo.....	9
Introdução	10
Material e Métodos.....	11
Resultados.....	15
Discussão.....	29
Conclusões.....	32
Referências.....	32
1.4. APÊNDICES.....	39
1A. Protocolo do teste de estresse.....	40
2A. Protocolo de condicionamento detalhado de acordo com as sessões realizadas.....	41
3A. Variáveis analisadas pelo modo M, uso do Doppler pulsátil e Doppler tecidual para avaliação da função ventricular esquerda de equinos jovens Puro Sangue Árabe em repouso e imediatamente após teste de estresse (TStress).....	42

CERTIFICADO DA COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus de Jaboticabal

**CEUA – COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS****C E R T I F I C A D O**

Certificamos que o projeto de pesquisa intitulado **"AVALIAÇÃO DA FUNÇÃO VENTRICULAR ESQUERDA POR MEIO DA ECODOPPLERCADIOGRAFIA EM EQUINOS PURO SANGUE ÁRABE APÓS TESTE DE ESTRESSE EM ESTEIRA ROLANTE"**, protocolo nº 1795/21, sob a responsabilidade do Prof. Dr. José Corrêa de Lacerda Neto, que envolve a produção, manutenção e/ou utilização de animais pertencentes ao Filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto o homem), para fins de pesquisa científica (ou ensino) - encontra-se de acordo com os preceitos da lei nº 11.794, de 08 de outubro de 2008, no decreto 6.899, de 15 de julho de 2009, e com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CONCEA), e foi aprovado pela COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS (CEUA), da FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS, UNESP - CÂMPUS DE JABOTICABAL-SP, em reunião ordinária de 19 de agosto de 2021.

Vigência do Projeto	25/08/2021 a 25/08/2023
Espécie / Linhagem	<i>Equus caballus</i>
Nº de animais	10
Peso / Idade	339 a 442 kg / 4 a 11 anos
Sexo	6 machos e 4 fêmeas
Origem	Setor de Equinocultura da FCAV — Câmpus de Jaboticabal

Jaboticabal, 19 de agosto de 2021.


Profa. Dra. Fabiana Pilarski
Coordenadora – CEUA

EFEITOS DO CONDICIONAMENTO SOBRE A FUNÇÃO VENTRICULAR ESQUERDA DE EQUINOS JOVENS DA RAÇA PURO SANGUE ÁRABE

RESUMO – O condicionamento físico promove alterações na homeostase que levam a alterações metabólicas importantes em diversos sistemas, dentre eles o sistema cardiovascular. Nos equinos, diversos estudos avaliaram protocolos baseados nas concentrações plasmáticas de lactato, entretanto, poucos autores analisaram a influência destes sobre a função cardíaca. O presente trabalho tem como objetivo estudar as respostas adaptativas sobre a função do ventrículo esquerdo (VE) de equinos jovens, avaliada em repouso e imediatamente após teste de estresse físico (TStress), promovidas pelo condicionamento físico de seis semanas baseado na carga externa necessária para obter concentração plasmática de lactato igual a 2 mmol/L (V_2). Foram utilizados 14 equinos da raça Puro Sangue Árabe jovens, com idades de (média $\pm$ dp) $28,42 \pm 3,75$ meses, sem histórico de condicionamento físico. Os animais foram avaliados por meio da ecocardiografia realizada em repouso e imediatamente após TStress feita antes e após período de condicionamento de seis semanas baseado na V_2 determinada por teste de esforço incremental (TEI) realizado em esteira rolante. Houve melhora na capacidade aeróbia dos animais haja vista o aumento da V_2 ($5,214 \pm 0,328$ vs. $6,763 \pm 0,434$) e V_4 ($5,857 \pm 0,42$ vs. $7,691 \pm 0,549$) ($p < 0,001$) após o período de condicionamento. Houve também reduções da frequência cardíaca (FC) em repouso e da maior FC atingida durante o TStress ($p < 0,001$). O condicionamento promoveu redução no diâmetro interno associado a aumentos nas espessuras do septo interventricular, parede posterior, espessura média e massa do VE ($p < 0,05$). A avaliação realizada após TStress nos animais condicionados revelou aumentos na integral tempo-velocidade (ITV), volume ejetado (Vej), índices sistólico (IS) e cardíaco (IC), tempos de ejeção (TEj) e desaceleração (TD), volume diastólico final (VDF), tempo para o início da velocidade miocárdica radial durante a fase diastólica inicial (tE_m) e tempo para a máxima velocidade do fluxo trasmitral (tEA) com reduções no período pré-ejeção (PPE) e nas razões PPE/TEj, velocidade circunferencial das fibras miocárdicas (Vcf). O protocolo de condicionamento foi capaz de melhorar a capacidade aeróbia dos animais e promover o remodelamento cardíaco associado à melhora da função ventricular esquerda.

Palavras-chave: ecocardiografia, esteira rolante, função cardíaca, lactato, treinamento

EFFECTS OF CONDITIONING ON LEFT VENTRICULAR FUNCTION IN YOUNG PUREBREED ARABIAN HORSES

ABSTRACT – Physical conditioning promotes changes in homeostasis that lead to significant metabolic alterations in various systems, including the cardiovascular system. In horses, several studies have evaluated protocols based on plasma lactate concentrations; however, few authors have analyzed their influence on cardiac function. This present study aims to investigate the adaptive responses to the left ventricular (LV) function of young horses, assessed at rest and immediately after a physical stress test (TStress), induced by six weeks of physical conditioning based on the external load necessary to achieve a plasma lactate concentration of 2 mmol/L (V_2). Fourteen young Arabian Thoroughbred horses, with an average age of 28.42 ± 3.75 months and no prior history of physical conditioning, were used in this study. The animals were evaluated through echocardiography performed at rest and immediately after TStress, both before and after a six-week conditioning period based on V_2 determined by an incremental exercise test (IET) on a treadmill. There was an improvement in the aerobic capacity of the animals, as evidenced by the increase in V_2 (5.214 ± 0.328 vs. 6.763 ± 0.434) and V_4 (5.857 ± 0.42 vs. 7.691 ± 0.549) ($p < 0.001$) after the conditioning period. There were also reductions in resting heart rate (HR) and the maximum HR reached during TStress ($p < 0.001$). Conditioning led to a reduction in the internal diameter associated with increases in the thickness of the interventricular septum, posterior wall, average thickness, and LV mass ($p < 0.05$). The evaluation performed after TStress in conditioned animals revealed increases in integral time-velocity (ITV), stroke volume (SV), systolic indices (SI) and cardiac indices (CI), ejection times (ET) and deceleration times (DT), end-diastolic volume (EDV), time to the onset of radial myocardial velocity during the early diastolic phase (tE_m), and time to maximum transmitral flow velocity (tEA), with reductions in pre-ejection period (PEP) and PEP/ET ratios, circumferential velocity of myocardial fibers (V_{cf}). The conditioning protocol was capable of improving the aerobic capacity of the animals and promoting cardiac remodeling associated with improved left ventricular function.

Keywords: echocardiography, high-speed treadmill, cardiac function, lactate, training

LISTA DE ABREVIATURAS

AE.....	Átrio esquerdo
AE/Ao.....	Relação átrio esquerdo – artéria aorta
A _m	Velocidade parietal radial decorrente da contração atrial esquerda
A.....	Velocidade máxima do fluxo transmitral decorrente da contração atrial esquerda
Ao.....	Diâmetro aórtico
DC.....	Débito cardíaco
DIVEd.....	Diâmetro interno do ventrículo esquerdo em diástole
DIVEs.....	Diâmetro interno do ventrículo esquerdo em sístole
E _m	Velocidade parietal radial máxima no início da diástole
E.....	Velocidade máxima do fluxo transmitral no início da diástole
E ₁	Velocidade parietal radial durante a fase de relaxamento isovolumétrico
EIC.....	Espaço intercostal
E/A.....	Relação entre as velocidades de enchimento ventricular
E _m /A _m	Relação entre as velocidades parietais radiais durante a diástole
E/E _m	Relação entre o fluxo e a velocidade parietal radial diastólicas iniciais
EMP.....	Espessura média de parede
ERP.....	Espessura relativa de parede
FC.....	Frequência cardíaca
FCmax.....	Frequência cardíaca máxima
FE.....	Fração de encurtamento
FE _j	Fração de ejeção
IC.....	Índice cardíaco
IPM.....	Índice de performance miocárdica (índice de Tei)
IS.....	Índice sistólico
ITV.....	Integral tempo-velocidade
JPD.....	Janela paraesternal direita
JPE.....	Janela paraesternal esquerda
LL.....	Limiar de lactato
MFEL.....	Máxima fase estável de lactato
mVE.....	Massa do ventrículo esquerdo
PPE.....	Período pré-ejeção

PPE/TEj.....	Razão entre período pré ejeção – tempo de ejeção
PPVEd.....	Parede posterior do ventrículo esquerdo em diástole
PPVEs.....	Parede posterior do ventrículo esquerdo em sístole
Sld.....	Septo interventricular em diástole
Sls.....	Septo interventricular em sístole
S ₁	Velocidade parietal radial durante a fase de contração isovolumétrica
S _m	Velocidade de contração
TCIV.....	Tempo de contração isovolumétrico
TDE.....	Tempo de desaceleração do fluxo transmitral no início da diástole
TDE _m	Tempo de desaceleração da movimentação parietal radial no início da diástole
tE.....	Tempo para o pico do fluxo transmitral no início da diástole
TEI.....	Teste de esforço incremental
tE _m	Tempo para o início da movimentação parietal no início da diástole
tS ₁	Tempo para o pico da velocidade parietal radial durante a fase de contração isovolumétrica
tS _m	Tempo para o pico da velocidade parietal durante a fase de ejeção ventricular
TStress.....	Teste de estresse
STAo.....	Secção transversal da aorta
TD.....	Tempo de desaceleração
TEj.....	Tempo de ejeção
TPP.....	Tempo para o pico
TRIV.....	Tempo de relaxamento isovolumétrico
V2.....	Velocidade que corresponde à concentração plasmática de lactato igual à 2 mmol/l
V4.....	Velocidade que corresponde à concentração plasmática de lactato igual à 4 mmol/l
Vcf.....	Velocidade média de encurtamento de fibras circunferenciais
VDF.....	Volume diastólico final
Vej.....	Volume ejetado
Vmax.....	Velocidade máxima

VO₂max.....Consumo máximo de oxigênio

VSF.....Volume sistólico final

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2 – Efeitos do condicionamento sobre a função ventricular esquerda de equinos jovens da raça Puro Sangue Árabe

Tabela 1. Média $\pm$ desvio padrão das mensurações lineares absolutas e indexadas à massa corporal (MC) e perímetro torácico (PT) de equinos Puro Sangue Árabe jovens obtidas em repouso e imediatamente após estresse físico nos períodos pré (PreTr) e pós condicionamento (PosTr).....18

Tabela 2. Médias $\pm$ desvio padrão, primeiro e terceiro quartis das variáveis das funções sistólica, diastólica e global do ventrículo esquerdo de equinos Puro Sangue Árabe jovens obtidas em repouso nos momentos pré (PreTr) e pós condicionamento (PosTr).....21

Tabela 3. Médias $\pm$ desvio padrão, primeiro e terceiro quartis das variáveis das funções sistólica e diastólica do ventrículo esquerdo de equinos Puro Sangue Árabe jovens obtidas imediatamente após teste de estresse nos momentos pré (PreTr) e pós condicionamento (PosTr).....25

Tabela 4. Análise fatorial exploratória (AFE) com cargas rotacionadas oblíquas, comunalidades dos fatores e matriz de correlação fatorial para variáveis da função sistólica obtidas em repouso e imediatamente após teste de estresse em equinos Puro Sangue Árabe jovens.....28

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 2 – Efeitos do condicionamento sobre a função ventricular esquerda de equinos jovens da raça Puro Sangue Árabe

Figura 1. (A) Médias $\pm$ desvio padrão (pontos e linhas) das velocidades necessárias para atingir as concentrações plasmáticas de lactato de 2 (V2) e 4 (V4) mmol/l antes (PreTr) e após (PosTr) o período de condicionamento em esteira rolante. *** $p < 0.001$. (B) Valores das concentrações plasmáticas de lactato de um animal obtidos durante os testes incrementais realizados antes (triângulos) e após condicionamento (círculos) com suas respectivas curvas exponenciais (linhas e equações nas cores laranja e verde, respectivamente; $p < 0.05$).....16

Figura 2. Médias $\pm$ desvio padrão (pontos e linhas) dos valores de frequência cardíaca obtidos durante repouso (inferior) e imediatamente após teste de estresse em esteira rolante (superior) antes (PreTr) e após condicionamento (PosTr). * $p < 0.05$; *** $p < 0.001$16

Figura 3. Avaliação de parâmetros sistólicos e diastólicos do ventrículo esquerdo (VE) com uso do Doppler pulsátil e tecidual. (A) Mensuração do fluxo aórtico em repouso pela imagem longitudinal 5-câmaras. O volume amostral de 2 mm foi posicionado na região de abertura da valva aórtica. (B) Mesma imagem representada em A obtida imediatamente após teste de estresse. (C) Mensuração do fluxo transmitral em repouso pela imagem longitudinal 4-câmaras. O volume amostral de 2 mm foi posicionado na região de abertura da valva mitral. A: velocidade de enchimento do VE decorrente da sístole atrial esquerda; E: velocidade de enchimento inicial do VE. (D) Mesma imagem representada em C obtida imediatamente após teste de estresse. EA: espectro resultante da fusão das fases inicial e final de enchimento do VE. (E) Mensuração das velocidades miocárdicas radiais do VE em repouso obtidas na imagem transversal em nível cordal. O volume amostral de 2 mm foi posicionado na região subendocárdica durante a diástole de modo a se manter na região miocárdica durante a sístole. Am: máxima velocidade miocárdica radial durante a fase diastólica final; E₁: máxima velocidade miocárdica radial durante a fase de relaxamento isovolumétrico; E_m: máxima velocidade miocárdica radial durante a fase diastólica

inicial; S₁: máxima da velocidade miocárdica radial durante a fase de contração isovolumétrica; S_m: máxima velocidade miocárdica radial durante a sístole ventricular. (F) Mesma imagem representada em E obtida imediatamente após teste de estresse. A_m: máxima velocidade miocárdica radial durante a fase diastólica final; E₁: máxima velocidade miocárdica radial durante a fase de relaxamento isovolumétrico; E_m: máxima velocidade miocárdica radial durante a fase diastólica inicial; S_m: máxima velocidade miocárdica radial durante a sístole ventricular.....27

CAPÍTULO 1 – Considerações gerais

1.1.Introdução

O rebanho equino brasileiro é um dos maiores do mundo segundo o levantamento realizado pela FAO (Gilbert et al., 2022), com aproximadamente 5,5 milhões de cabeças, as quais representam 9% do rebanho mundial, estimado em 59 milhões de animais. Recentemente, segundo levantamento realizado pelo IBGE (2021), o rebanho brasileiro já soma 5,9 milhões de cabeças, o que representa aumento de 1,9% em relação ao ano de 2020. Dentre estes, os equinos utilizados para esporte e lazer totalizam 1,1 milhão de cabeças. Com este enorme contingente nacional de equinos, o capital envolvido no chamado complexo agronegócio cavalo (CAC) está na casa dos bilhões de reais por ano e tende a crescer. Em 2015, a movimentação econômica total relacionada ao CAC foi de R\$ 16,15 bilhões (CNA, 2020). Além disso, em 10 anos (2006 a 2016) houve aumento de 12% na movimentação econômica total do CAC, atingindo aproximadamente R\$ 16 bilhões. Frente a isso, é de suma importância o aperfeiçoamento de técnicas diagnósticas relativas aos mais variados órgãos e sistemas. No tocante à medicina esportiva equina, é indiscutível a relevância do sistema cardiovascular para o desempenho de equinos atletas. Além disso sabe-se bem que o uso intenso destes animais pode causar adaptações orgânicas deletérias, o que aumenta a preocupação com a sua saúde e bem-estar. O desenvolvimento de metodologias modernas de avaliação da condição física torna necessária a realização de novos trabalhos para acompanhar estes avanços. A apuração de protocolos de avaliação cardíaca possibilitará o diagnóstico precoce de alterações decorrentes de adaptações induzidas tanto pelo exercício como pelo treinamento e possibilitará a adoção de medidas terapêuticas precoces, assim o como aperfeiçoamento de protocolos de treinamento.

O objetivo da presente pesquisa foi avaliar a influência do condicionamento físico baseado na concentração plasmática de lactato sobre a função ventricular

esquerda de equinos jovens Puro Sangue Árabe avaliados em repouso e imediatamente o estresse físico por meio da ecocardiografia transtorácica.

1.2.Revisão de Literatura

1.2.1. Condicionamento físico em equinos

O exercício físico causa modificações na homeostase principalmente pelo aumento da demanda metabólica que leva a respostas adaptativas em uma grande variedade de órgãos, sistemas e processos fisiológicos e, quando induzidas à longo prazo, caracterizam o condicionamento (ou treinamento) (Hinchcliff e Geor, 2008). Nos equinos o condicionamento gera diversas adaptações morfofuncionais que culminam no aumento da capacidade aeróbia máxima (VO_{2max}) (Hinchcliff e Geor, 2008). Para tanto, diversos protocolos de treinamento são descritos, baseados em variáveis fisiológicas como a VO_{2max} (Burnley e Jones, 2007), porcentagem da frequência cardíaca máxima (FC_{max}) (Souza et al., 2013) e determinação da concentração plasmática de lactato (Evans et al., 2010) por meio de testes de esforço incremental (TEI). Relativamente ao lactato, o traçado estabelecido pelas concentrações de lactato determinadas em velocidades crescentes reflete o padrão metabólico predominante em cada intervalo que antecede a determinação (Seeherman e Morris, 2010). O TEI realizado em esteira baseia-se no aumento gradual da carga externa por meio de elevações gradativas na velocidade associada ou não à inclinação. À medida que o TEI avança intensificam-se as demandas energéticas e a participação metabólica das vias anaeróbias se acentua, o que reflete no aumento exponencial da concentração de lactato a partir de determinado ponto (Mazzeo et al., 1986). Este ponto de inflexão é denominado limiar de lactato (LL) cuja velocidade correspondente é considerada representativa da máxima intensidade do exercício na qual há equilíbrio entre a produção e a remoção do lactato do sangue (Tegtbur et al., 1993). O exercício realizado sob a carga correlata ao limiar de lactato promove concentrações de lactato plasmático consideradas constantes ($\Delta[lactato] < 1,0 \text{ mmol/L}$). Este valor é denominado máxima fase estável do lactato (MFEL). A confirmação da MFEL requer testes com duração mínima de 30 minutos à velocidade

do LL, repetidos pelo menos três vezes com pequenos ajustes na velocidade quando necessário, limitando seu uso sob o ponto de vista prático. Para tanto, existem métodos denominados fixos realizados em uma única sessão que estimam a MFEL, dentre eles a velocidade na qual a concentração de lactato atinge 2mmol/L (V2). Tal método é considerado bom preditor da máxima fase estável de lactato em equinos, seja à campo (Lindner, 2010), seja em esteira rolante (Soares et al., 2014) e podem ser utilizados para estabelecer e avaliar programas de condicionamento.

1.2.2. Efeitos do condicionamento sobre o sistema cardiovascular

O treinamento físico é capaz de promover modificações estruturais e funcionais no coração e Morganroth (1975) foi o primeiro a caracterizar diferentes padrões de remodelamento cardíaco em atletas humanos de acordo com a natureza do esporte desempenhado. O remodelamento excêntrico, cuja característica principal é o aumento das câmaras ventriculares com pouca modificação nas espessuras de septo e parede posterior, é principalmente observado em atletas praticantes de exercícios isotônicos (maratonistas, ciclistas, remadores etc.) e tem relação com aumentos importantes na pré-carga. Já o remodelamento concêntrico caracteriza-se por aumentos nas espessuras de parede posterior e septo interventricular associados à redução das câmaras ventriculares e é principalmente observado em atletas que praticam exercícios isométricos (levantadores de peso, fisioculturistas etc.) nos quais ocorrem elevações importantes na pós-carga (Morganroth, 1975; Baggish et al., 2008; Muhl et al., 2008; Kovacs e Baggish, 2016; Rundqvist et al., 2017). Nos equinos atletas é relatado principalmente o remodelamento excêntrico em cavalos de diferentes modalidades e raças (Young, 1999; Young et al., 2005; Buhl e Ersbøll, 2012). Como consequência, as modificações estruturais promovidas pelo exercício em atletas alteram a função cardíaca e caracterizam o quadro denominado “coração de atleta” (D’ascenzi et al., 2021). Tais modificações, quando avaliadas em repouso, podem apresentar características ecocardiográficas similares a determinadas enfermidades cardíacas (Sharma et al., 2015). Para tanto a ecocardiografia pode ser associada à atividade física como método auxiliar na diferenciação entre doenças cardíacas e adaptações promovidas pelo treinamento a qual o exame ecocardiográfico em

repouso não é capaz de detectar *per se* (Lancellotti et al., 2016; Navas De Solis, 2019). Tal associação é denominada ecocardiografia de estresse e, além do exercício, pode ser realizada durante ou após protocolos farmacológicos, com o objetivo de promover efeitos cronotrópicos e inotrópicos positivos sobre o coração, que possibilitam sua avaliação sob estresse. Nos equinos é recomendado que as avaliações cardíacas após estresse (físico ou farmacológico) sejam realizadas em até 120 segundos e com frequência cardíaca (FC) superior a 100 bpm (Navas De Solis, 2019). Como vantagem, o estresse físico é considerado método simples, fisiológico, de elevada sensibilidade, acurácia e especificidade (Belém, 2013). A partir de 2005 a medicina equina incorporou a ecocardiografia de estresse como método complementar na avaliação cardíaca, procedimento amplamente usado na medicina humana (Gehlen et al., 2005).

Dentre as várias modalidades que podem ser utilizados para avaliação ecocardiográfica tanto em repouso quanto após estresse, se destacam o modo B, modo M e uso do princípio Doppler (Marshall et al., 1992; Reef et al., 2004; Schwarzwald, 2019), contando ainda com adaptações destas técnicas como Doppler pulsátil (DP) e Doppler tecidual (DT) (Schwarzwald, 2019). As imagens são obtidas, em sua grande maioria, na janela paraesternal direita (JPD), posicionando-se a probe no quarto espaço intercostal (EIC) direito, podendo-se variar a angulação, rotação, o EIC a ser utilizado e o nível em que a probe pode ser colocada no tórax do paciente (Schwarzwald, 2019). Utiliza-se também a janela paraesternal esquerda (JPE) para mensurações dos fluxos transmitral e aórtico, além da avaliação do átrio esquerdo (AE) (Blissitt e Bonagura, 1995a; Schwarzwald et al., 2007; Schwarzwald, 2019).

Ademais, o ecocardiograma pode ser aplicado para avaliação tanto da função sistólica quanto diastólica do ventrículo esquerdo (VE) por meio de diversos parâmetros. Nos equinos, outros métodos ecocardiográficos vêm sendo utilizados como o emprego do DT para avaliação da movimentação radial da parede do VE (Schwarzwald et al., 2009; Koenig et al., 2017) e que complementam avaliações com DP (Long et al., 1992; Blissitt e Bonagura, 1995a; Blissitt e Bonagura, 1995b). A função sistólica do VE pode ser avaliada por meio de variáveis como período pré-ejeção (PPE), tempo de contração isovolumétrico (TCIV), tempo de ejeção (TEj), relações PPE/TE e TCIV/TE, velocidades das ondas S_1 e S_m , frações de encurtamento (FE) e

ejeção (FEj). Já a avaliação da função diastólica do VE pode ser realizada pela mensuração das velocidades das ondas E, A, E_m , A_m , relações E/E_m , E/A e E_m/A_m e tempo de relaxamento isovolumétrico (TRIV) (Schwarzwald et al., 2009). Há também o índice de performance miocárdica (IPM; índice de Tei) o qual compreende variáveis tanto da função sistólica quanto diastólica como forma de avaliação da função global do VE (Tei et al., 1995).

1.3. Referências

Baggish AL, Yared K, Wang F, Weiner RB, Hutter AM, Picard MH, Wood MJ (2008) The impact of endurance exercise training on left ventricular systolic mechanics. **American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology** 295:H1109–H1116.

Belém L (2013) Ecocardiografia de estresse sob exercício. In.: Camarozano AC, Weitzel LH (Eds.) **Ecocardiografia de Estresse e Contraste**. Rio de Janeiro: Revinter, p. 375 – 381.

Blissitt KJ, Bonagura JD (1995a) Pulsed wave Doppler echocardiography in normal horses. **Equine Veterinary Journal** 27:38–46.

Blissitt KJ, Bonagura JD (1995b) Colour flow Doppler echocardiography in normal horses. **Equine Veterinary Journal** 27:47–55.

Buhl R, Ersbøll AK (2012) Echocardiographic evaluation of changes in left ventricular size and valvular regurgitation associated with physical training during and after maturity in Standardbred trotters. **Journal of the American Veterinary Medical Association** 240:205–212.

Burnley M, Jones AM (2007) Oxygen uptake kinetics as a determinant of sports performance. **European Journal of Sport Science** 7:63–797.

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL (2023) **Notícias** Brasília:DF. Disponível em: <https://www.cnabrazil.org.br/noticias/pecuaria-de-corte-e-equideocultura-sao-temas-de-debate-no-agro-pelo-brasil>. Acesso em 19 jul. 2023

D’ascenzi F, Fiorentini C, Anselmi F, Mondillo S (2021) Left ventricular hypertrophy in athletes: How to differentiate between hypertensive heart disease and athlete’s heart. **European Journal of Preventive Cardiology** 28:1125–1133.

Evans DL, Rainger JE, Hodgson DR, Eaton MD, Rose RJ (2010) The effects of intensity and duration of training on blood lactate concentrations during and after exercise. **Equine Veterinary Journal** 27:422–425.

Gehlen H, Marnette S, Rohn K, Stadler P (2005) Echocardiographic analysis of segmental left ventricular wall motion at rest and after exercise in horses with and without heart disease. **Journal of Equine Veterinary Science** 25:468–479.

Gilbert M, Nicolas G, Cinardi G, Van Boeckel TP, Vanwambeke SO, Wint GRW, Robinson TP (2018) Global distribution data for cattle, buffaloes, horses, sheep, goats, pigs, chickens and ducks in 2010. **Scientific Data** 5:1-11.

Hinchcliff KW, Geor RJ (2008) The horse as an athlete: a physiological overview. In.: Hinchcliff KW, Geor RJ, Kaneps AJ (Eds.). **Equine Exercise Physiology: The Science of Exercise in the Athletic Horse**. Philadelphia: Saunders Elsevier, p. 2–11.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2023) **Estatísticas** Brasília:IBGE. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/31725-rebanho-bovino-cresce-1-5-e-atinge-218-2-milhoes-de-cabecas-em-2020>. Acesso em: 19 jul. 2023.

Koenig TR, Mitchell KJ, Schwarzwald CC (2017) Echocardiographic assessment of left ventricular function in healthy horses and in horses with heart disease using pulsed-wave tissue doppler imaging. **Journal of Veterinary Internal Medicine** 31:556–567.

Kovacs R, Baggish AL (2016) Cardiovascular adaptation in athletes. **Trends in Cardiovascular Medicine** 26:46–52.

Lancellotti P, Pellikka PA et al. (2016) The clinical use of stress echocardiography in non-ischaemic heart disease: recommendations from the European Association of Cardiovascular Imaging and the American Society of Echocardiography. **European Heart Journal – Cardiovascular Imaging** 17:1191–1229.

Lindner AE (2010) Maximal lactate steady state during exercise in blood of horses. **Journal of Animal Science** 88:2038–2044.

Long KJ, Bonagura JD, Darke PGG (1992) Standardised imaging technique for guided M-mode and Doppler echocardiography in the horse. **Equine Veterinary Journal** 24:226–235.

Marshall SA, Levine LA, Weyman A (1992) Echocardiography in cardiac research. In.: Fozzard HA, Haber E, Jennings R, Katz A, Morgan H (Eds.) **The Heart and Cardiovascular System: Scientific Foundations**. New York:Raven Press, p. 380 – 402.

Mazzeo RS, Brooks GA, Schoeller DA, Budinger TF (1986) Disposal of blood [1-13C]lactate in humans during rest and exercise. **Journal of Applied Physiology** 60:232–241.

Mihl C, Dassen WRM, Kuipers H (2008) Cardiac remodelling: concentric versus eccentric hypertrophy in strength and endurance athletes. **Netherlands Heart Journal** 16:129–133.

Morganroth J (1975) Comparative left ventricular dimensions in trained athletes. **Annals of Internal Medicine** 82:521–522.

Navas De Solis C (2019) Cardiovascular response to exercise and training, exercise testing in horses. **Veterinary Clinics of North America - Equine Practice** 35:159–173.

Reef VB, Whittier M, Allam LG (2004) Echocardiography. **Clinical Techniques in Equine Practice** 3:274–283.

Rundqvist L, Engvall J, Faresjö M, Carlsson E, Blomstrand P (2017) Regular endurance training in adolescents impacts atrial and ventricular size and function. **European Heart Journal – Cardiovascular Imaging** 17:681–687.

Seeherman HJ, Morris EA (2010) Application of a standardised treadmill exercise test for clinical evaluation of fitness in 10 Thoroughbred racehorses. **Equine Veterinary Journal** 22:26–34.

Schwarzwalz CC (2019) Equine echocardiography. **Veterinary Clinics of North America - Equine Practice** 35:43–64.

Schwarzwalz CC, Schober KE, Bonagura JD (2007) Methods and reliability of echocardiographic assessment of left atrial size and mechanical function in horses. **American Journal of Veterinary Research** 68:735–747.

Schwarzwalz CC, Schober KE, Bonagura JD (2009) Methods and reliability of tissue doppler imaging for assessment of left ventricular radial wall motion in horses. **Journal of Veterinary Internal Medicine** 23:643–652.

Sharma S, Merghani A, Mont L (2015) Exercise and the heart: the good, the bad, and the ugly. **European Heart Journal** 36:1445–1453.

Soares OAB, Ferraz GC, Martins CB, Dias DPM, Lacerda-Neto JC, Queiroz-Neto A (2014) Comparison of maximal lactate steady state with V2, V4, individual anaerobic threshold and lactate minimum speed in horses. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia** 66:39–46.

Souza BG, Veiga CCP, Oliveira GF, Ferreira AMR, Almeida FQ (2013) Avaliação de um programa de treinamento para cavalos de concurso completo de equitação: efeitos sobre a frequência cardíaca e a curva de lactato. **Revista Brasileira de Medicina Veterinária** 35:385–391.

Tegtbur U, Busse MW, Braumann KM (1993) Estimation of an individual equilibrium between lactate production and catabolism during exercise. **Medicine and science in sports and exercise** 25:620–627.

Tei C. et al. New index of combined systolic and diastolic myocardial performance: a simple and reproducible measure of cardiac function - A study in normals and dilated cardiomyopathy. **Journal of Cardiology**, v. 26, p. 357–366, 1995.

Young LE (1999) Cardiac responses to training in 2-year-old Thoroughbreds: an echocardiographic study. **Equine Veterinary Journal** 31:195–198.

Young LE, Rogers K, Wood JLN (2005) Left ventricular size and systolic function in Thoroughbred racehorses and their relationships to race performance. **Journal of Applied Physiology** 99:1278–1285.

CAPÍTULO 2 – Efeitos do condicionamento sobre a função ventricular esquerda de equinos jovens da raça Puro Sangue Árabe¹

Gabriel V. Ramos¹, Maíra M. Santos¹, Fábio N. Gava² e José C. de Lacerda-Neto^{1*}

¹ Laboratório de Medicina Esportiva Equina, Departamento de Clínica e Cirurgia Veterinária, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal 14884-900, SP, Brasil.

² Departamento de Clínicas Veterinárias, Universidade Estadual de Londrina (UEL), Londrina 86057-970, PR, Brasil.

* Correspondência: j.lacerda@unesp.br

Resumo simples: A realização de exercícios físicos de forma regular é de grande importância para humanos e animais, com benefícios à saúde e bem-estar. Os equinos possuem grande capacidade atlética e cada vez mais pesquisas à respeito da fisiologia do exercício e medicina esportiva para esta espécie se tornam necessárias. Diversos protocolos de treinamentos são descritos para cavalos, porém pouco se sabe quais as adaptações causadas pelo condicionamento sobre o sistema cardiovascular, em especial de animais jovens. Dessa forma, o presente estudo avaliou os efeitos promovidos pelo treinamento em esteira rolante guiado pelo lactato sobre a função ventricular esquerda de equinos jovens. Para tanto, o exame ecocardiográfico foi realizado em repouso e imediatamente após o exercício físico como forma de aumentar a acurácia da avaliação. Foi observado que o condicionamento foi positivo e promoveu modificações estruturais e funcionais no coração que melhoraram o desempenho dos animais.

Resumo: O efeito do condicionamento sobre a função cardíaca de equinos jovens é praticamente desconhecido. Este estudo avaliou por meio da ecocardiografia a função ventricular esquerda (VE) de equinos após condicionamento de seis semanas. Avaliou-se 14 equinos da raça Puro Sangue Árabe jovens, destreinados, em repouso e após teste de estresse (TStress), separadas pelo condicionamento de seis semanas. Houve aumentos da V4 ($p < 0.001$) após o condicionamento com reduções da frequência cardíaca (FC) em repouso e do pico da FC atingida durante o TStress ($p < 0.001$). Houve reduções no diâmetro interno e aumentos nas espessuras do septo interventricular, parede posterior, espessura média e massa do VE ($p < 0.05$). Após o TStress nos animais condicionados observou-se aumentos na integral tempo-velocidade, volume ejetado, índices sistólico e cardíaco, tempos de ejeção (TEj) e desaceleração, volume diastólico final, tempo para o início da velocidade miocárdica radial durante a fase diastólica inicial e tempo para o pico da velocidade do fluxo transmitral com redução no período pré-ejeção (PPE), na razão PPE/TEj e velocidade circunferencial das fibras miocárdicas ($p < 0.05$). O protocolo de condicionamento promoveu adaptações fisiológicas que indicam melhoria da capacidade aeróbia dos animais associada à melhora da função ventricular esquerda.

Palavras-chave: ecocardiografia, função cardíaca, programa de condicionamento, lactato, enduro, fisiologia do exercício, cavalo atleta.

¹ Este capítulo corresponde ao artigo científico submetido à revista *Animals* e encontra-se em avaliação para publicação.

1. Introdução

O exercício físico causa modificação da homeostase principalmente pelo aumento da demanda metabólica, que leva a respostas adaptativas em uma grande variedade de órgãos, sistemas e processos fisiológicos e, quando induzidas de forma estruturada e constante, caracterizam o condicionamento [1]. O condicionamento físico é capaz de promover modificações estruturais e funcionais no coração e Morganroth (1975) [2] foi o primeiro a caracterizar diferentes padrões de remodelamento cardíaco em atletas humanos de acordo com a natureza do esporte desempenhado. O remodelamento excêntrico, cuja característica principal é o aumento das câmaras ventriculares com pouca modificação nas espessuras de septo e parede posterior, é principalmente observado em atletas praticantes de exercícios isotônicos (maratonistas, ciclistas, remadores etc.) e tem relação com aumentos importantes na pré-carga. Já o remodelamento concêntrico caracteriza-se por aumentos nas espessuras de parede posterior e septo interventricular associados à redução das câmaras ventriculares e é principalmente observado em atletas que praticam exercícios isométricos (levantadores de peso, fisioculturistas etc.) nos quais ocorrem elevações importantes na pós-carga [2–6]. De forma similar, o condicionamento gera diversas adaptações morfofuncionais nos cavalos que culminam no aumento do consumo máximo de O_2 (VO_{2max}) (1). Para tanto, diversos protocolos de treinamento descritos são baseados em variáveis fisiológicas como a VO_{2max} [7], porcentagem da frequência cardíaca máxima (%FCmax) [8] e determinação da concentração plasmática de lactato [9] por meio de testes de esforço incremental (TEI). Relativamente ao lactato, o traçado estabelecido pelas concentrações de lactato determinadas em velocidades crescentes reflete o padrão metabólico predominante em cada intervalo que antecede a determinação [10]. O TEI realizado em esteira baseia-se no aumento gradual da carga externa por meio de aumentos graduais na velocidade associada ou não à inclinação. À medida que o TEI avança intensificam-se as demandas energéticas e a participação metabólica das vias anaeróbias se acentua, o que reflete no aumento exponencial da concentração de lactato a partir de determinado ponto [11]. Este ponto de inflexão é denominado limiar de lactato (LL) cuja velocidade correspondente é considerada representativa da máxima intensidade do exercício na qual há equilíbrio entre a produção e a remoção do lactato do sangue [12]. O exercício realizado sob carga correspondente ao LL promove concentrações de lactato plasmático consideradas constantes ($\Delta[\text{lactato}] < 1,0 \text{ mmol/L}$). Este valor é denominado máxima fase estável do lactato (MFEL). A confirmação da MFEL requer testes com duração mínima de 30 minutos à velocidade do LL, repetidos ao menos três vezes com pequenos ajustes na velocidade quando necessário, fatores que limitam seu uso sob o ponto de vista prático. Para tanto, existem métodos denominados fixos, realizados em uma única sessão, que estimam a MFEL, dentre eles a velocidade na qual a concentração de lactato atinge 2 mmol/L (V_2). Tal método é considerado bom preditor da MFEL em equinos, seja à campo [13], seja em esteira rolante [14] e podem ser utilizados para estabelecer e avaliar programas de condicionamento. Em relação ao sistema cardiovascular, nos equinos atletas é relatado principalmente o remodelamento excêntrico para diferentes modalidades e raças [15–17]. Como consequência, as modificações estruturais promovidas pelo exercício em atletas alteram a função cardíaca e caracterizam o quadro denominado “coração de atleta” [18]. Tais modificações, quando avaliadas em repouso, podem apresentar características ecocardiográficas similares a determinadas enfermidades cardíacas [19]. Para tanto a ecocardiografia pode ser associada à atividade física como método auxiliar na diferenciação entre doenças cardíacas e adaptações promovidas pelo treinamento a qual o exame ecocardiográfico em repouso não é capaz de detectar *per se* [20,21]. Tal associação é denominada ecocardiografia de estresse e, além do exercício, pode ser realizada durante ou após protocolos farmacológicos, com o objetivo de promover efeitos cronotrópicos e inotrópicos positivos sobre o coração, que possibilitam sua avaliação sob estresse. Nos equinos é recomendado que as avaliações cardíacas após estresse (físico ou farmacológico) sejam realizadas em até 120 segundos e com frequência cardíaca (FC) superior a 100 bpm [21]. Como vantagem, o estresse físico é considerado método simples, fisiológico, de elevada sensibilidade, acurácia e especificidade [22]. A partir de 2005 a medicina equina incorporou a ecocardiografia de estresse como método complementar na avaliação

cardíaca, procedimento amplamente usado na medicina humana [23]. Dentre os vários métodos descritos para avaliação ecocardiográfica tanto em repouso quanto após estresse, se destacam o modo B, modo M e uso do princípio Doppler [24–26] como Doppler pulsátil (DP) e Doppler tecidual (DT) [26]. Ademais, o ecocardiograma pode ser aplicado para avaliação tanto da função sistólica quanto diastólica do ventrículo esquerdo (VE). Nos equinos, outros métodos ecocardiográficos vêm sendo utilizados como o emprego do DT para avaliação da movimentação radial da parede do VE [27,28] e que complementam avaliações com DP [29–31]. Dessa forma o presente estudo teve como objetivo avaliar as adaptações cardíacas em equinos jovens da raça Puro Sangue Árabe (PSA) por meio da ecocardiografia transtorácica realizada em repouso e imediatamente após estresse físico. Os animais, sem histórico de exercício supervisionado e condicionamento, foram submetidos à um protocolo de treinamento em esteira rolante baseado na V₂ durante seis semanas. A hipótese levantada é que o programa de condicionamento irá promover aumento da capacidade aeróbia associadas a adaptações cardíacas compatíveis com o denominado “coração de atleta”, com melhora das funções sistólica e diastólica do VE tanto em repouso quanto imediatamente após o exercício físico.

2. Material e Métodos

2.1. Animals

Foram utilizados 14 equinos da raça PSA, com idades (média $\pm$ dp) de 28.42 ± 3.75 meses, massa corporal (MC) de 313.3 ± 17 kg e perímetro torácico (PT) de 154.9 ± 4 cm. Os animais pertenciam à criadores particulares e foram utilizados após a assinatura do termo de concordância para participação no estudo. O presente trabalho de pesquisa foi aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (CEUA – FCAV) sob protocolo 1795/21. Os cavalos foram transportados até a FCAV mediante apresentação de exames negativos para anemia infecciosa equina e mormo e ficaram alojados no Setor de Equinocultura da mesma instituição. Para inclusão no estudo, os animais deveriam ser da raça PSA, terem idade inferior a 36 meses, sem histórico prévio de exercício físico forçado ou programa de condicionamento, hígidos e fora de qualquer tipo de tratamento medicamentoso. Previamente ao início do período experimental, todos os animais foram avaliados quanto à higidez por exame físico completo, hemograma e avaliação cardiológica por meio da eletrocardiografia e ecocardiografia em repouso. Os cavalos foram mantidos em piquetes de Tifton de 100 x 70 metros onde foi fornecido feno de *Coast-Cross* associado à 60% da exigência energética para trabalho moderado (aproximadamente 11.13 Mcal/animal/dia) [32] em concentrado comercial e água *ad-libitum*.

Antes do início do período experimental os animais foram aclimatados à esteira rolante durante cinco dias, iniciado por passagens sobre esta desligada com os animais cabresteados e conduzidos individualmente de forma a caminhar, ao passo, sobre a manta de rolagem da esteira, cujo comprimento é de 5 metros. Ao final da atividade, o grupo de 14 equinos caminhou em fila sobre a esteira, dando volta ao prédio por três vezes. No dia seguinte efetuou-se a adaptação dos animais à cilha e repetiu-se a passagem dos animais encilhados ao passo na esteira de modo que todos os animais passassem sobre a manta de rolagem, parada, também dando a volta ao prédio por três vezes. No terceiro dia os cavalos foram colocados na esteira, encilhados e presos à cinta de segurança da esteira rolante quando esta foi então ligada à velocidade que lhes permitiu caminhar ao passo durante 15 minutos. No quarto dia repetiu-se o procedimento anterior, porém a uma velocidade maior que estimulasse o desenvolvimento de trote. No quinto e último dia de adaptação os cavalos foram induzidos à realização de galope reunido tanto no plano horizontal quanto a 2% de inclinação.

2.2. Teste de Esforço Incremental (TEI)

Foram aplicados dois TEI, antes e após período de condicionamento de seis semanas, para determinação dos valores de V₂ e V₄ (definidos como carga externa necessária para que a concentração plasmática de lactato atinja 2 e 4 mmol/L, respectivamente). Durante cada TEI foram registrados eletrocardiogramas por meio de eletrocardiógrafo digital de 12 derivações com frequência de

amostragem de 1200 Hz (ECGPC Vet, Tecnologia Eletrônica Brasileira, São Paulo, Brasil), das quais somente as derivações frontais foram armazenadas. Cada TEI foi iniciado por período de aquecimento de 10 minutos subdividido em duas etapas de cinco minutos à 1.7 m/s e 3.5 m/s, respectivamente, sem inclinação. Finalizado o aquecimento, a esteira foi inclinada em 3% ($\sim 1.84^\circ$) à velocidade de 5 m/s e, após cada etapa de cinco minutos, a velocidade foi aumentada em 0.5 m/s. Entre as etapas a esteira era parada durante um minuto para colheita das amostras sanguíneas. Quando a concentração sanguínea de lactato atingiu valores iguais ou superiores a 4 mmol/L, o teste foi finalizado e de imediato se iniciava o período de desaquecimento por 10 minutos subdividido em duas etapas de 5 minutos à 3.5 m/s e 1.7 m/s, respectivamente, sem inclinação.

2.3. *Teste de Estresse (TStress)*

Foram aplicados dois testes de estresse (TStress), antes e após período de condicionamento de seis semanas, ambos posteriores a cada TEI. Os intervalos entre os TEI e seus respectivos TStress foram de aproximadamente 72 horas. O protocolo utilizado foi similar ao proposto por Lorello et al. (2019) [33], com adaptações para sua realização em esteira rolante. Os TStress foram realizados no plano horizontal no qual, após prévio aquecimento de 10 minutos a 1.7 m/s seguido por 10 minutos a 3.2 m/s, seguiram-se 30 minutos de exercício à velocidade de 5.8 m/s. Na sequência foi realizada a primeira corrida durante 3 minutos a 7.5 m/s, seguida por 5 minutos ao trote cuja velocidade foi entre 3.0 e 3.5 m/s (ajustada de acordo com o conforto do animal durante o andamento). Em seguida, os animais retornaram ao galope por 2.5 minutos à velocidade de 8.5 m/s (segunda corrida). Ao final desta a esteira foi desligada e o exame ecocardiográfico foi imediatamente realizado. Por fim, foi feito o desaquecimento a 1.7 m/s durante 10 minutos. A FC foi registrada durante a avaliação ecocardiográfica com o registro concomitante de ECG de derivação única.

O exame ecocardiográfico foi iniciado pela janela paraesternal esquerda (JPE) seguido pela obtenção das imagens na janela paraesternal direita (JPD). Os tempos necessários para parada total da esteira (T1), obtenção das imagens na JPE (T2), deslocamento do aparelho ultrassonográfico (T3) e obtenção das imagens na JPD (T4) foram registrados. O exame ecocardiográfico foi realizado na seguinte sequência: 1) uso do DP nas imagens longitudinais pela JPE e 2) avaliações em modos B e M e DT pela JPD nas imagens longitudinais e transversais. O protocolo do TStress está representado no Apêndice 1A.

2.4. *Colheita e Processamento das Amostras*

Todas as amostras analisadas foram obtidas durante os TEI. Previamente a cada TEI os animais foram submetidos à venocateterização jugular direita com emprego de cateter de poliuretano estéril (Cateter Para Subclávia U/L CVC, Biomedical, São Paulo, Brasil) 14G x 20 cm implantado de forma asséptica. Foi acoplado ao cateter tubo extensor de 120 cm (Medsonda, Paraná, Brasil) preenchido com solução fisiológica de modo a manter a patência do sistema. Antes de cada colheita, o sistema era limpo aspirando-se 20 ml de conteúdo. Após a limpeza foram colhidos 2 ml de sangue imediatamente transferido para tubos (BD Vacutainer, BD, Nova Jersey, EUA) contendo fluoreto de sódio/Na₂EDTA (3mg/6mg). Ao término de cada colheita o sistema era novamente preenchido com 20 ml de solução fisiológica. Durante o TEI, parte das amostras de sangue total foi submetida à dosagem da concentração de lactato em bioanalisador eletro-enzimático (YSI 2300 Lactate Analyzer, Yellow Springs Instruments, Ohio, EUA) preparado com lisante celular (YSI 1515 Cell Lysing Agent, Yellow Springs Instruments, Ohio, EUA). O restante das amostras foi centrifugado à 3000 rpm (1500 g) durante 10 minutos para suspensão do plasma. As amostras plasmáticas foram congeladas à -15°C e, dentro de 24 horas, foram submetidas à dosagem da concentração de lactato pelo mesmo método descrito previamente sem adição de lisante celular. As concentrações de lactato mensuradas nas amostras de sangue total foram utilizadas somente como parâmetro para condução dos TEI. As concentrações plasmáticas de lactato foram utilizadas na análise estatística e posteriormente discutidas.

2.5. *Condicionamento em Esteira Rolante*

O programa de condicionamento adotado teve duração de seis semanas nas quais cada animal realizou, em dias alternados, cinco de sessões bissemanais de 40 minutos, totalizando 15 sessões. A velocidade de treinamento, determinada no primeiro TEI de forma individual, foi baseada na V2. De modo a minimizar a ocorrência de lesões, o condicionamento foi implementado de forma gradual, a saber: 1ª a 3ª sessão com velocidade de 80% da V2 no plano horizontal; 4ª a 6ª sessão com velocidade de 80% da V2 e 3% de inclinação; 7ª a 9ª sessão com velocidade de 100% da V2 e 3% de inclinação e entre 10ª a 15ª sessão com velocidade de 100% da V2 e 5% de inclinação ($\sim 2.76^\circ$). Cada sessão de treinamento era composta por aquecimento de 10 minutos, subdividido em dois períodos de cinco minutos a 1.6 m/s e 3.4 m/s respectivamente, sem inclinação. Na sequência era iniciado o período de treino propriamente dito com duração de 40 minutos subdivididos em três etapas de 12 minutos, cuja velocidade e inclinação foram estabelecidas de acordo com a sessão, alternadas por duas etapas de dois minutos destinadas à mudança de andamento do animal por meio da elevação ou redução da velocidade e sem inclinação. Tais etapas foram propostas de modo a mitigar o esforço repetitivo e consequentes lesões. Ao final do período de treino era iniciado o desaquecimento a 1.6 m/s durante cinco minutos sem inclinação. O protocolo de condicionamento detalhado está representado no Apêndice 2A.

2.6. Ecocardiografia

Os equinos foram submetidos à ecocardiografia transtorácica do lado direito e esquerdo com um sistema de ultrassom (MyLabAlpha, Esaote SpA, Génova, Itália) e transdutor setorial (SP2430, Esaote SpA., Génova, Itália) multifrequencial de 1 a 4 MHz e penetração máxima de 35 cm. A avaliação foi realizada antes e após o período de condicionamento em duas situações, a saber: 1) em repouso prévio ao TStress onde os animais foram mantidos no Laboratório de Medicina Esportiva Equina em tronco de contenção sobre piso emborrachado, em posição quadrupedal, sem tranquilização e 2) imediatamente após a segunda corrida, ainda sobre a esteira, com esta desligada. As mensurações foram realizadas em modo B com uso do DP e DT e modo M guiado pelo modo B. Para cada variável foram realizadas mensurações em três ciclos cardíacos consecutivos. Todas as variáveis analisadas e cálculos utilizados estão descritos no Apêndice 3A.

2.6.1. Modo Bidimensional

As mensurações em modo B foram realizadas nas imagens longitudinais obtidas na JPD de acordo com as técnicas previamente descritas para equinos [31,34]. Precedentemente ao início do exame, as regiões médias entre o nível do ombro e o cotovelo, tanto esquerda quanto direita, foram tricotomizadas e limpas com posterior aplicação de gel de contato (Carbogel ULT, Carbogel, São Paulo, Brasil) para transmissão ultrassônica. O transdutor foi posicionado perpendicular ao tórax do animal sobre o quarto espaço intercostal (EIC) direito de modo a direcionar o feixe ultrassonográfico para o quarto EIC esquerdo, com leve rotação no sentido horário. A imagem formada, denominada longitudinal 5-câmaras (L5C), permitiu visualização do átrio direito (AD), valva tricúspide (VT), ventrículo direito (VD), septo interventricular (SI), átrio esquerdo (AE), valva mitral (VM), ventrículo esquerdo (VE), via de saída do VE (VSVE), valva aórtica (VA) e aorta (Ao). Nesta imagem foi mensurado o diâmetro aórtico na região de ânulo aórtico durante o pico da sístole ventricular, momento dentro do ciclo cardíaco onde se observa o menor diâmetro da câmara ventricular esquerda, quando a VA se encontra totalmente aberta [35]. Na sequência, o feixe ultrassonográfico foi direcionado caudalmente, em direção ao quinto EIC esquerdo. A imagem formada, denominada longitudinal 4-câmaras (L4C), era composta pelo AD, VT, VD, SI, AE, VM e VE. Na imagem L4C o diâmetro do AE foi mensurado ao final da sístole ventricular quando o diâmetro interno do VE (DIVE) foi o menor dentro do ciclo cardíaco ou um frame antes da abertura da VM.

2.6.2. Modo M

As mensurações de modo M foram realizadas a partir da imagem transversal do VE em plano cordal pela JPD sobre o quarto EIC, com rotação do transdutor de aproximadamente 90 graus no sentido horário. Foram avaliadas a espessura, tanto em sístole (s) quando em diástole (d), do SI (SIs e SId), DIVE

(DIVEs e DIVEd) e espessura da parede posterior do VE (PPVEs e PPVEd). Após obtenção dos valores lineares foi calculada a fração de encurtamento (FE) do VE por meio da seguinte equação [36]:

$$FE (\%) = ((DIVEd - DIVEs) / DIVEd) \times 100, \quad (1)$$

também foram estimados os volumes sistólico e diastólico finais (VSF e VDF, respectivamente) do VE por meio da aplicação da equação modificada por Teichholz et al. (1976) [37], a qual se mostrou adequada para equinos [38,39]:

$$V (cm^3) = (7 \times (DIVE)^3) / (2,4 + DIVE), \quad (2)$$

após a obtenção dos valores de VSF e VDF, aplicou-se a equação para cálculo da fração de ejeção (FEj) do VE:

$$FEj (\%) = ((Vd - Vs) / Vd) \times 100, \quad (3)$$

também foram calculadas as espessuras média (EMP) e relativa (ERP) da parede ventricular e a massa do VE (mVE) [17,40]:

$$EMP = ((PPVEd + SId)) / 2, \quad (4)$$

$$ERP = ((PPVEd + SId)) / PPVEd, \quad (5)$$

$$mVE = 1.04 \times ((DIVEd + PPVEd + SId)^3 - DIVEd^3) - 13.6, \quad (6)$$

2.7. Uso do Doppler

2.7.1. Doppler Pulsátil

As mensurações realizadas contemplaram variáveis relacionadas a função sistólica e diastólica do VE, realizadas a partir de imagens longitudinais pela JPE com emprego do DP. Para registro do fluxo aórtico, o volume amostral de 2 mm foi posicionado na região de abertura da VA. A partir do espectro foram avaliados a integral tempo-velocidade do fluxo aórtico (ITV), volume ejetado (Vej), índice sistólico (IS), débito cardíaco (DC), índice cardíaco (IC), velocidade máxima do fluxo aórtico (Vmax), tempo entre o início e a máxima velocidade do fluxo aórtico (TPP), tempo de desaceleração da fase de ejeção do fluxo aórtico (TD), período entre o início do complexo QRS e início da fase de ejeção do VE (PPE), duração da fase de ejeção do VE (TEj), a relação entre PPE/TE e velocidade média do encurtamento das fibras circunferenciais (Vcf) [41].

Para avaliação da função diastólica do VE, ainda na imagem longitudinal pela JPE sobre o quarto EIC, o volume amostral foi posicionado na região de abertura da VM. Dessa forma, foi avaliado o padrão de enchimento do VE pela análise das ondas E (fase de enchimento rápido) e A (decorrente da sístole do AE) e calculada a relação E/A.

2.7.1. Doppler Tecidual

Para registro do DT foi obtida a imagem transversal do VE obtida pela JPD em nível cordal na qual o volume amostral de 2 mm foi posicionado na PPVE entre os músculos papilares de forma a cobrir a região subendocárdica durante a diástole e permanecer no miocárdio durante a sístole. A avaliação sistólica do VE consistiu na determinação das máximas velocidades miocárdicas radiais durante a fase de contração isovolumétrica (S₁) durante fase ejeção (S_m), o tempo para S₁ (tS₁), o tempo para S_m (tS_m) e o tempo de contração isovolumétrico (TCIV).

A função diastólica do VE foi estudada pela análise das máximas velocidades radiais durante o relaxamento isovolumétrico (E₁), fase diastólica inicial (E_m), fase diastólica final (A_m), relação E_m/A_m, relação E/E_m, tempo de desaceleração da velocidade diastólica inicial (TDE_m), tempo de relaxamento isovolumétrico (TRIV) e o tempo entre o início do complexo QRS e o início da velocidade diastólica inicial (tE_m) [28]. Com base nos valores do TCIV e TRIV, foi calculado o índice de performance miocárdica (IMP) de acordo com a seguinte equação [42]:

$$\text{IMP} = (\text{TCIV} + \text{TRIV}) / \text{TEj}, \quad (7)$$

2.8. Análise Estatística

Os valores de V2 e V4 foram determinados por regressão exponencial na qual o modelo considerou a concentração plasmática de lactato como variável dependente e a velocidade como variável independente. Em relação às análises ecocardiográficas, para cada variável obtida (em repouso e imediatamente após TStress) foram realizadas três mensurações em ciclos cardíacos consecutivos e então calculada a média dos valores. Foi realizada indexação das médias à MC e PT para os valores de SId, SIs, DIVEd, DIVEs, PPVEd e PPVEs segundo a equação alométrica proposta por Cornell et al. (2004) [43]:

$$a = Y / M^b, \quad (8)$$

onde Y é o valor mensurado, M é o valor da MC ou PT do indivíduo elevado à potência b. O valor a resultante representa a variável mensurada indexada (ou normalizada) à MC ou PT. Para equinos PSA, os valores a e b foram previamente calculadas [44]. A normalidade dos resíduos foi avaliada pela inspeção visual do histograma e pelo teste de Shapiro – Wilk e a homogeneidade das variâncias pelo teste de Bartlett. Variáveis consideradas paramétricas tiveram suas médias comparadas pelo teste T de Student enquanto dados não paramétricos foram comparados pelo teste de Wilcoxon, ambos ajustados para amostras pareadas. Os valores obtidos em repouso e após estresse não foram comparados entre si, mas sim individualmente antes e após o condicionamento.

Também foi aplicada análise fatorial exploratória (AFE) com objetivo de estabelecer a estrutura intrínseca ao conjunto de dados originais e assim resumir o máximo de informação contida no mesmo com o mínimo de perda [45]. De modo a atender as exigências conceituais inerentes ao teste, os dados foram divididos em variáveis sistólicas e diastólicas de acordo com os momentos nos quais foram obtidos (e.g. repouso e imediatamente após estresse físico), sem distinção acerca do condicionamento dos animais (e.g. pré e pós condicionamento). Tal divisão também é justificada em razão do tamanho amostral mínimo necessário para emprego da AFE. Acerca das questões estatísticas a serem atendidas previamente à aplicação da análise fatorial, foram empregados o teste de esfericidade de Bartlett em todo o conjunto de dados e cálculo da medida de adequação de amostragem (MAA) de cada variável e de todo o modelo pelo teste de Kayser-Meyer-Olkin (KMO) para o qual foi estabelecido valor mínimo aceitável de 0.5. O número de fatores a ser extraído de cada conjunto de variáveis foi obtido através de quatro métodos distintos, a saber: regra de Kayser-Guttman, análise paralela de Horn, teste de coordenadas ótimas (TCO) e fator de aceleração (FAC). Tanto CO quanto FAC são classificados como soluções não gráficas para o teste Scree de Cattell [46]. Por fim, as cargas fatoriais foram calculadas por meio da rotação oblíqua do tipo Promax. Para realização de todas as análises e gráficos foi utilizado o software RStudio (2023.03.1+446 "Cherry Blossom" para Windows, Posit Software, Boston, EUA). O nível de significância estabelecido foi de 5%.

3. Resultados

Dois animais foram retirados do estudo devido a lesões ocorridas na região da articulação metacarpo-falangeana do membro torácico esquerdo. Quando detectadas, os indivíduos foram prontamente encaminhados para o Hospital Veterinário “Governador Laudo Natel” para avaliação clínica. Ambos permaneceram em repouso associado ao tratamento medicamentoso apropriado e, portanto, descontinuaram o protocolo experimental.

O protocolo de condicionamento promoveu adaptações fisiológicas nos animais, como observado na Figura 1A. Houve aumento tanto nos valores médios de V2 ($p < 0.001$) quanto V4 ($p < 0.001$) obtidos no TEI realizado após o condicionamento. A Figura 1B mostra o deslocamento à direita da curva lactato-velocidade de um indivíduo obtida por meio de regressão exponencial ($p < 0.05$). Foi observado aumento significativo da MC (313.3 ± 17 kg vs. 321.2 ± 20 kg; $p = 0.008$) e PT (155 ± 4 cm vs. 158 ± 5 cm; $p = 0.004$) durante o período experimental.

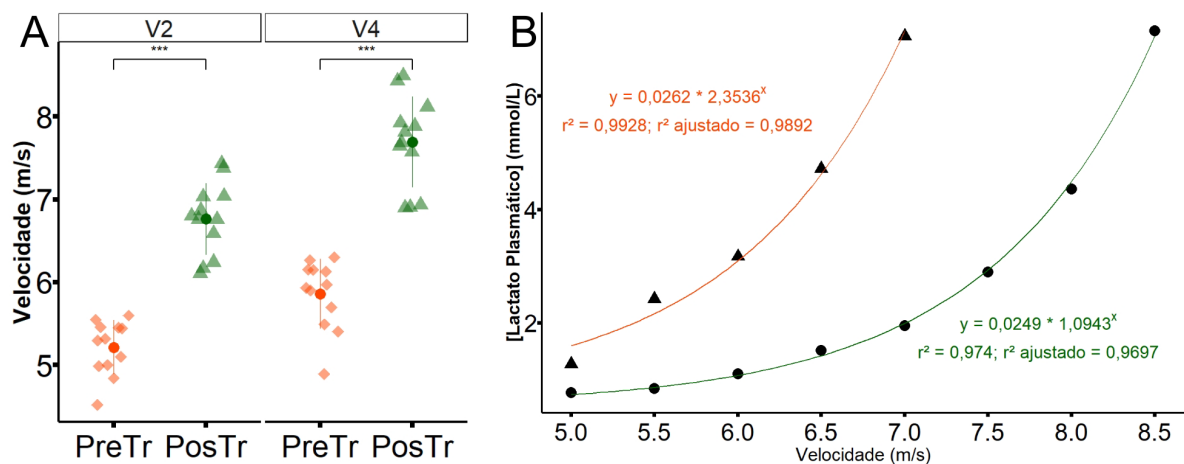


Figura 1. (A) Médias $\pm$ desvio padrão (pontos e linhas) das velocidades necessárias para atingir as concentrações plasmáticas de lactato de 2 (V2) e 4 (V4) mmol/l antes (PreTr) e após (PosTr) o período de condicionamento em esteira rolante. *** $p < 0.001$. (B) Valores das concentrações plasmáticas de lactato de um animal obtidos durante os testes incrementais realizados antes (triângulos) e após condicionamento (círculos) com suas respectivas curvas exponenciais (linhas e equações nas cores laranja e verde, respectivamente; $p < 0.05$).

Já os valores médios de FC reduziram após o condicionamento, tanto em repouso ($p < 0.05$) quanto imediatamente após o exercício ($p < 0.001$) como mostrado na Figura 2.

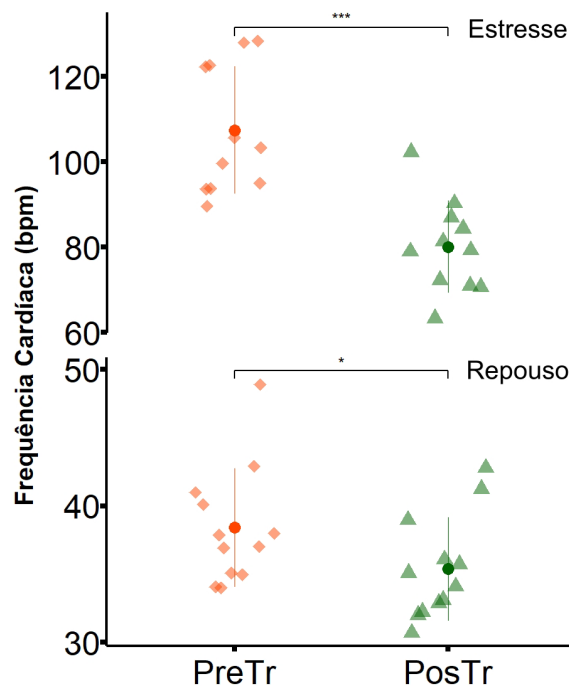


Figura 2. Médias $\pm$ desvio padrão (pontos e linhas) dos valores de frequência cardíaca obtidos durante repouso (inferior) e imediatamente após teste de estresse em esteira rolante (superior) antes (PreTr) e após condicionamento (PosTr). * $p < 0.05$; *** $p < 0.001$.

Também foi analisada a influência do treinamento sobre a elevação da FC promovida pelo TStress. Nos animais não condicionados, o pico da FC atingida no TStress foi de 102 ± 20 bpm, com variação de 64 bpm e em relação à FC em repouso (38 ± 4 bpm; $p < 0.001$). Após o condicionamento a elevação da FC também foi significativa, com variação da FC de 43 bpm ($p < 0.05$) entre o repouso (35 ± 4 bpm) e imediatamente após o TStress (78 ± 12 bpm). As mensurações lineares obtidas pelo exame

ecocardiográfico sem indexação, indexadas à MC e PT estão apresentadas na Tabela 1. Como consequência da utilização da equação os valores indexados são apresentados sem unidades de medida.

Tabela 1. Média $\pm$ desvio padrão das mensurações lineares absolutas e indexadas à massa corporal (MC) e perímetro torácico (PT) de equinos Puro Sangue Árabe jovens obtidas em repouso e imediatamente após estresse físico nos períodos pré (PreTr) e pós condicionamento (PosTr).

REPOUSO									
	Médias $\pm$ dp (cm)			Médias $\pm$ dp (indexadas a MC)			Médias $\pm$ dp (indexadas ao PT)		
	PreTr.	PosTr.	p	PreTr.	PosTr.	p	PreTr.	PosTr.	p
Ao	4.31 $\pm$ 0.379	4.477 $\pm$ 0.405	0.351						
AE	8.813 $\pm$ 0.935	9.045 $\pm$ 0.676	0.332						
SI _d	2.513 $\pm$ 0.248	2.580 $\pm$ 0.227	0.031	0.318 $\pm$ 0.033	0.323 $\pm$ 0.029	0.224	0.013 $\pm$ 0.002	0.013 $\pm$ 0.001	0.912
DIV _{Ed}	9.508 $\pm$ 0.568	9.357 $\pm$ 0.410	0.224	1.274 $\pm$ 0.071	1.242 $\pm$ 0.063	0.041	0.05 $\pm$ 0.003	0.048 $\pm$ 0.003	0.014
PPV _{Ed}	1.883 $\pm$ 0.272	2.164 $\pm$ 0.175	0.012	0.142 $\pm$ 0.018	0.161 $\pm$ 0.013	0.023	0.003 $\pm$ 0.001	0.003 $\pm$ 0.001	0.234
SI _s	3.701 $\pm$ 0.212	3.981 $\pm$ 0.219	0.002	0.264 $\pm$ 0.014	0.280 $\pm$ 0.014	0.012	0.013 $\pm$ 0.001	0.014 $\pm$ 0.001	0.043
DIV _{Es}	5.998 $\pm$ 0.612	5.789 $\pm$ 0.637	0.331	0.901 $\pm$ 0.089	0.863 $\pm$ 0.101	0.233	0.068 $\pm$ 0.007	0.064 $\pm$ 0.008	0.164
PPV _{Es}	2.939 $\pm$ 0.512	3.339 $\pm$ 0.375	0.013	0.279 $\pm$ 0.049	0.313 $\pm$ 0.031	0.022	0.0051 $\pm$ 0.001	0.0052 $\pm$ 0.001	0.041
EMP	2.199 $\pm$ 0.171	2.372 $\pm$ 0.129	0.004						
ERP	0.473 $\pm$ 0.064	0.508 $\pm$ 0.037	0.065						
mVE (g)	1891 $\pm$ 234	2052 $\pm$ 186	0.034						
ESTRESSE									
	Médias $\pm$ dp (cm)			Médias $\pm$ dp (indexadas a MC)			Médias $\pm$ dp (indexadas ao PT)		
	PreTr.	PosTr.	p	PreTr.	PosTr.	p	PreTr.	PosTr.	p
Ao	4.406 $\pm$ 0.622	4.560 $\pm$ 0.228	0.913						
AE	8.293 $\pm$ 0.792	8.837 $\pm$ 0.764	0.082						
SI _d	2.376 $\pm$ 0.244	2.583 $\pm$ 0.197	0.049	0.3 $\pm$ 0.033	0.323 $\pm$ 0.021	0.073	0.013 $\pm$ 0.001	0.013 $\pm$ 0.001	0.132
DIV _{Ed}	9.125 $\pm$ 0.362	9.6 $\pm$ 0.606	0.049	1.236 $\pm$ 0.047	1.274 $\pm$ 0.084	0.271	0.048 $\pm$ 0.002	0.05 $\pm$ 0.003	0.244
PPV _{Ed}	1.973 $\pm$ 0.239	2.095 $\pm$ 0.231	0.223	0.149 $\pm$ 0.016	0.156 $\pm$ 0.017	0.273	0.003 $\pm$ 0.001	0.003 $\pm$ 0.001	0.733
SI _s	3.698 $\pm$ 0.234	4.149 $\pm$ 0.25	< 0.001	0.263 $\pm$ 0.018	0.292 $\pm$ 0.018	0.001	0.013 $\pm$ 0.001	0.014 $\pm$ 0.001	0.006
DIV _{Es}	5.868 $\pm$ 0.282	6.084 $\pm$ 0.548	0.072	0.881 $\pm$ 0.049	0.907 $\pm$ 0.085	0.334	0.066 $\pm$ 0.004	0.067 $\pm$ 0.006	0.543
PPV _{Es}	2.998 $\pm$ 0.336	3.264 $\pm$ 0.365	0.083	0.283 $\pm$ 0.027	0.306 $\pm$ 0.034	0.131	0.005 $\pm$ 0.001	0.005 $\pm$ 0.001	0.831
EMP	2.150 $\pm$ 0.116	2.339 $\pm$ 0.123	0.005						
ERP	0.476 $\pm$ 0.027	0.490 $\pm$ 0.051	0.408						
mVE (g)	1718 $\pm$ 185	2094 $\pm$ 187	0.001						

Ao: diâmetro aórtico; AE: diâmetro do átrio esquerdo; SId: espessura do septo interventricular ao final da diástole; DIVEd: diâmetro interno do ventrículo esquerdo (VE) ao final da diástole; PPVEd: espessura da parede posterior do VE ao final da diástole; SIs: espessura do septo interventricular ao final da sístole; DIVEs: diâmetro interno do VE ao final da sístole; PPVEs: espessura da parede posterior do VE ao final da sístole; EMP: espessura média da parede; ERP: espessura relativa da parede; mVE: massa do VE. Valores de *p* e *p* em *italico* foram obtidos pelo teste T de Student e Wilcoxon, respectivamente. Valores de *p* em **negrito** indicam diferença estatística à 5% de significância.

As variáveis sistólicas e diastólicas obtidas em repouso estão apresentados na Tabela 2. No que concerne à função sistólica, somente S_m apresentou diferença estatística após o período de treinamento. Diferenças foram observadas na análise da função diastólica, em E_l , E_m , A_m , E e na relação E/A . As demais variáveis não apresentaram diferenças significativas.

Tabela 2. Médias $\pm$ desvio padrão, primeiro e terceiro quartis das variáveis das funções sistólica, diastólica e global do ventrículo esquerdo de equinos Puro Sangue Árabe jovens obtidas em repouso nos momentos pré (PreTr) e pós condicionamento (PosTr).

FUNÇÃO SISTÓLICA							
	PreTr			PosTr			P
	Média $\pm$ dp	1º Quartil	3º Quartil	Média $\pm$ dp	1º Quartil	3º Quartil	
VSF (cm ³)	188.1 $\pm$ 30.1	172.5	201.4	169.3 $\pm$ 42.4	135.5	196.2	0.162
FE (%)	37.01 $\pm$ 3.97	34.06	40.11	38.17 $\pm$ 5.55	34.01	42.98	0.545
FEj (%)	62.52 $\pm$ 5.73	59.52	66.17	65.66 $\pm$ 7.1	60.53	71.74	0.305
ITV (cm)	31.32 $\pm$ 5.38	27.17	34.25	32.01 $\pm$ 4.23	30.13	34.33	0.651
STAo (cm ²)	14.78 $\pm$ 2.45	14.16	16.05	15.94 $\pm$ 2.8	14.46	18.86	0.337
Vej (cm ³)	467.4 $\pm$ 96.9	411.3	528.7	509.5 $\pm$ 108.6	461.8	577	0.277
IS	1.435 $\pm$ 0.345	1.16	1.63	1.594 $\pm$ 0.378	1.423	1.741	0.306
DC (l/min)	17.54 $\pm$ 4.02	15.27	19.71	18.04 $\pm$ 4.43	15.50	20.45	0.745
IC	3.134 $\pm$ 0.353	3.12	3.30	3.177 $\pm$ 0.202	3.123	3.253	0.770
Vmax (m/s)	0.958 $\pm$ 0.141	0.85	1.06	0.981 $\pm$ 0.128	0.916	1.07	0.536
TPP (ms)	139.4 $\pm$ 19.2	130	148	130.3 $\pm$ 17.3	120	140	0.210
TEj (ms)	479.3 $\pm$ 71.2	455.6	492.7	471.9 $\pm$ 30.01	449.3	490.7	0.266
TD (ms)	336.8 $\pm$ 66.7	317.9	373.3	341.9 $\pm$ 25.7	338.7	356.7	0.875
PPE (ms)	135.3 $\pm$ 44.1	116	131	119.6 $\pm$ 22.8	106	127.67	0.084
PPE/TEj	0.288 $\pm$ 0.102	0.25	0.29	0.256 $\pm$ 0.059	0.226	0.264	0.098
Vcf (cm/s)	0.791 $\pm$ 0.125	0.67	0.86	0.815 $\pm$ 0.136	0.699	0.879	0.490
S ₁ (m/s)	0.081 $\pm$ 0.013	0.078	0.087	0.077 $\pm$ 0.019	0.065	0.087	0.574
S _m (m/s)	0.113 $\pm$ 0.008	0.102	0.118	0.101 $\pm$ 0.008	0.097	0.104	0.034
tS ₁ (ms)	31.80 $\pm$ 9.65	26.67	34	28.83 $\pm$ 6.57	26	32	0.469
tS _m (ms)	93.89 $\pm$ 32.58	67	118	80.45 $\pm$ 31.99	60.67	81.33	0.221
TCIV (ms)	90.74 $\pm$ 14.56	85	98.67	90.31 $\pm$ 14.79	80	96	0.942

Continua...

Continuação...

FUNÇÃO DIASTÓLICA							
	PreTr			PosTr			P
	Média ± dp	1º quartil	3º quartil	Média ± dp	1º Quartil	3º Quartil	
VDF (cm ³)	507.3 ± 64.5	493.5	539.9	489.1 ± 49.03	461.1	499.4	0.202
E ₁ (m/s)	0.079 ± 0.015	0.069	0.084	0.058 ± 0.013	0.05	0.07	< 0.001
E _m (m/s)	0.330 ± 0.035	0.31	0.35	0.299 ± 0.040	0.288	0.33	0.008
tE _m (ms)	617.2 ± 36.2	601.3	642.7	625.8 ± 21.8	610.7	626.7	0.515
TDE _m (ms)	58.22 ± 19.62	48	62.67	83.89 ± 45.57	42.67	129.33	0.107
A _m (m/s)	0.098 ± 0.016	0.089	0.111	0.081 ± 0.010	0.07	0.09	0.006
E _m /A _m	3.452 ± 0.772	2.824	3.974	3.748 ± 0.741	3.585	4.151	0.196
TRIV (ms)	63.14 ± 10.73	57.33	70	54.56 ± 10.48	48	56	0.088
E (m/s)	0.718 ± 0.078	0.677	0.725	0.627 ± 0.077	0.576	0.689	0.007
tE (ms)	131.8 ± 23.9	120	139.3	128.5 ± 18.5	114	142	0.671
TDE (ms)	137.3 ± 39.8	111	152	133.8 ± 27.9	116	146	0.837
A (m/s)	0.383 ± 0.037	0.369	0.408	0.378 ± 0.04	0.353	0.4	0.641
E/A	1.897 ± 0.308	1.73	1.91	1.697 ± 0.231	1.55	1.83	0.037
E/E _m	2.191 ± 0.267	1.997	2.4	2.167 ± 0.520	1.94	2.35	0.622

FUNÇÃO GLOBAL							
	PreTr			PreTr			P
	Média ± dp	1º Quartil	3º Quartil	Média ± dp	1º Quartil	3º Quartil	
IPM	0.349 ± 0.072	0.331	0.342	0.313 ± 0.0534	0.273	0.333	0.187

VSF: volume sistólico final; FE: fração de encurtamento; FEj: fração de ejeção; ITV: integral tempo-velocidade; STAo: secção transversal da Aorta; Vej: volume ejetado; IS: índice sistólico; DC: débito cardíaco; IC: índice cardíaco; Vmax: máxima velocidade do fluxo aórtico; TPP: tempo entre o início e a máxima velocidade de ejeção do VE; TEj: duração da fase de ejeção do VE; TD: tempo entre a máxima velocidade e o fim do fluxo aórtico; PPE: período pré ejeção; PPE/TEj: relação entre período pré ejeção e tempo de ejeção; Vcf: velocidade circunferencial das fibras miocárdicas; S₁: máxima velocidade miocárdica radial do VE durante a fase de contração isovolumétrica; S_m: máxima velocidade miocárdica radial do VE durante a sístole; tS₁: tempo entre o início e a máxima velocidade da fase de contração isovolumétrica; tS_m: tempo entre o início e a máxima velocidade de S_m; TCIV: tempo de contração isovolumétrico; VDF: volume diastólico final; E₁:

máxima velocidade durante a fase de relaxamento isovolumétrico; E_m : máxima velocidade miocárdica radial do VE durante a fase de enchimento inicial; tE_m : tempo entre o início do complexo QRS e o início da onda E_m ; TDE_m : tempo de desaceleração da onda E_m ; A_m : máxima velocidade miocárdica radial decorrente da sístole atrial esquerda; E_m/A_m : relação entre E_m e A_m ; TRIV: tempo de relaxamento isovolumétrico; E : máxima velocidade da fase inicial de enchimento do VE; tE : tempo entre o início e a máxima velocidade da onda E ; TDE : tempo de desaceleração da onda E ; A : máxima velocidade da fase tardia de enchimento do ventrículo esquerdo (VE); E/A : relação entre E e A ; E/E_m : relação entre E e E_m ; IPM: índice de performance miocárdica. Valores de p e p em itálico foram obtidos pelo teste T de Student e Wilcoxon, respectivamente. Valores de p em negrito indicam diferença estatística à 5% de significância.

Os resultados referentes à avaliação cardíaca realizada imediatamente após o exercício estão compilados na Tabela 3. Dentre as variáveis sistólicas, diferenças foram observadas nos valores de ITV, Vej, IS, IC, TE, TD, PPE, Vcf e na relação PPE/TE. Em relação à função diastólica, as variáveis VDF, tE_m e a relação EA/ E_m diferiram entre si. Destaca-se que as variáveis S_1 , tS_1 , TCIV, E_1 , TRIV e IPM obtidas na avaliação em repouso não foram realizadas sob estresse físico. Para a função sistólica as variáveis S_1 e tS_1 não foram mensuradas devido à dificuldade de determinar a presença da onda S_1 no espectro obtido pelo emprego do DT e, como consequência, o TCIV não foi calculado. De forma similar na avaliação diastólica não foi possível a determinação da onda E_1 e, à vista disto, o TRIV também não foi calculado. Ademais, houve fusão das ondas E e A o que levou à avaliação conjunta das variáveis relacionadas (EA, tEA , TDEA, EA/ E_m) e impossibilitou o cálculo da relação E/A. Dada a não obtenção dos valores de TCIV e TRIV, o IPM não foi calculado.

Tabela 3. Médias $\pm$ desvio padrão, primeiro e terceiro quartis das variáveis das funções sistólica e diastólica do ventrículo esquerdo de equinos Puro Sangue Árabe jovens obtidas imediatamente após teste de estresse nos momentos pré (PreTr) e pós condicionamento (PosTr).

	FUNÇÃO SISTÓLICA						
	PreTr			PosTr			p
	Média $\pm$ dp	1º Quartil	3º Quartil	Média $\pm$ dp	1º Quartil	3º Quartil	
VSF (cm ³)	172.2 $\pm$ 19	165.9	180	187.7 $\pm$ 36.04	174.8	215.1	0.173
FE (%)	35.67 $\pm$ 2.08	34.15	37.32	36.67 $\pm$ 2.72	35	37.30	0.352
FEj (%)	62.64 $\pm$ 2.60	60.87	64.28	63.91 $\pm$ 3.45	61.87	64.68	0.344
ITV (cm)	23.44 $\pm$ 6.27	18.75	26.67	28.62 $\pm$ 4.13	25.83	30.67	0.022
STAo (cm ²)	15.58 $\pm$ 3.89	15.18	17.71	16.38 $\pm$ 1.7	15.24	16.99	0.966
Vej (cm ³)	360.5 $\pm$ 129.3	288.1	430.7	460.7 $\pm$ 62.5	419.9	495.4	0.021
IS	1.142 $\pm$ 0.376	0.934	1.389	1.439 $\pm$ 0.211	1.31	1.6	0.035
DC (l/min)	38.29 $\pm$ 13.83	29.65	42.85	36.67 $\pm$ 5.91	33.12	40.23	0.638
IC	3.323 $\pm$ 0.166	3.26	3.40	3.240 $\pm$ 0.223	3.16	3.31	0.023
Vmax (m/s)	1.184 $\pm$ 0.204	1.03	1.36	1.126 $\pm$ 0.132	1.046	1.204	0.241
TPP (ms)	120.3 $\pm$ 11.7	112	127.5	129 $\pm$ 24.1	118.7	149.3	0.262
TEj (ms)	281.3 $\pm$ 38.8	252	317.1	363.1 $\pm$ 41.9	332	389.7	< 0.001
TD (ms)	160.9 $\pm$ 39.9	129.5	190	234 $\pm$ 48.1	200	262.5	< 0.001
PPE (ms)	111.7 $\pm$ 19	94	128	89.60 $\pm$ 24.88	69.33	110.5	0.009
PPE/TEj	0.414 $\pm$ 0.107	0.33	0.51	0.254 $\pm$ 0.082	0.185	0.312	< 0.001
Vcf (cm/s)	1.265 $\pm$ 0.152	1.15	1.34	1.033 $\pm$ 0.14	0.95	1.10	< 0.001
S _m (m/s)	0.107 $\pm$ 0.035	0.105	0.125	0.113 $\pm$ 0.01	0.11	0.123	0.415
tS _m (ms)	86.34 $\pm$ 26.04	75.17	96	70.67 $\pm$ 13.67	62	77.33	0.144

Continua...

Continuação...

FUNÇÃO DIASTÓLICA							
	PreTr			PosTr			P
	Média ± dp	1º Quartil	3º Quartil	Média ± dp	1º Quartil	3º Quartil	
VDF (cm ³)	462.9 ± 40.6	426.4	489.2	518.7 ± 70.7	475.4	572.4	0.045
E _m (m/s)	0.248 ± 0.09	0.208	0.269	0.292 ± 0.049	0.257	0.32	0.143
tE _m (ms)	481.2 ± 49.1	445.7	522.7	564.2 ± 24.2	558	576	0.002
TDE _m (ms)	66.66 ± 36.67	37	84.5	59.64 ± 18.43	47	61.33	0.594
A _m (m/s)	0.101 ± 0.036	0.074	0.12	0.088 ± 0.024	0.075	0.092	0.398
E _m /A _m	2.907 ± 0.728	2.49	3.22	3.534 ± 1.115	2.75	4.1	0.155
EA (m/s)	0.775 ± 0.104	0.71	0.85	0.693 ± 0.127	0.603	0.78	0.135
tEA (ms)	93.48 ± 44.44	65	118.5	124.6 ± 26.7	110	136	0.013
TDEA (ms)	114.8 ± 41.3	114	130	140.4 ± 30.8	118.5	168	0.142
EA/E _m	3.443 ± 1.017	2.98	3.9	2.520 ± 0.837	2.08	3.06	0.048

VSF: volume sistólico final; FE: fração de encurtamento; FEj: fração de ejeção; ITV: integral tempo-velocidade; STAo: secção transversal da Aorta; Vej: volume ejetado; IS: índice sistólico; DC: débito cardíaco; IC: índice cardíaco; Vmax: máxima velocidade do fluxo aórtico; TPP: tempo entre o início e a máxima velocidade de ejeção do VE; TEj: duração da fase de ejeção do VE; TD: tempo entre a máxima velocidade e o fim do fluxo aórtico; PPE: período pré ejeção; PPE/TEj: relação entre período pré ejeção e tempo de ejeção; Vcf: velocidade circunferencial das fibras miocárdicas; S_m: máxima velocidade miocárdica radial do VE durante a sístole; tS_m: tempo entre o início e a máxima velocidade de S_m; VDF: volume diastólico final; E_m: máxima velocidade miocárdica radial do VE durante a fase de enchimento inicial; tE_m: tempo entre o início do completo QRS e o início da onda E_m; TDE_m: tempo de desaceleração da onda E_m; A_m: máxima velocidade miocárdica radial decorrente da sístole atrial esquerda; E_m/A_m: relação entre E_m e A_m; EA: máxima velocidade resultante da fusão entre as fases de enchimento do ventrículo esquerdo (VE); tEA: tempo entre o início e a máxima velocidade da onda EA; TDEA: tempo de desaceleração da onda EA; EA/E_m: relação entre EA e E_m. Valores de p e p em itálico foram obtidos pelo teste T de Student e Wilcoxon, respectivamente. Valores de p em negrito indicam diferença estatística à 5% de significância.

A Figura 3 ilustra diferenças entre as imagens ecocardiográficas obtidas em repouso (Figura 3-A, C e E) e imediatamente após o TStress (Figura 3-B, D e F).

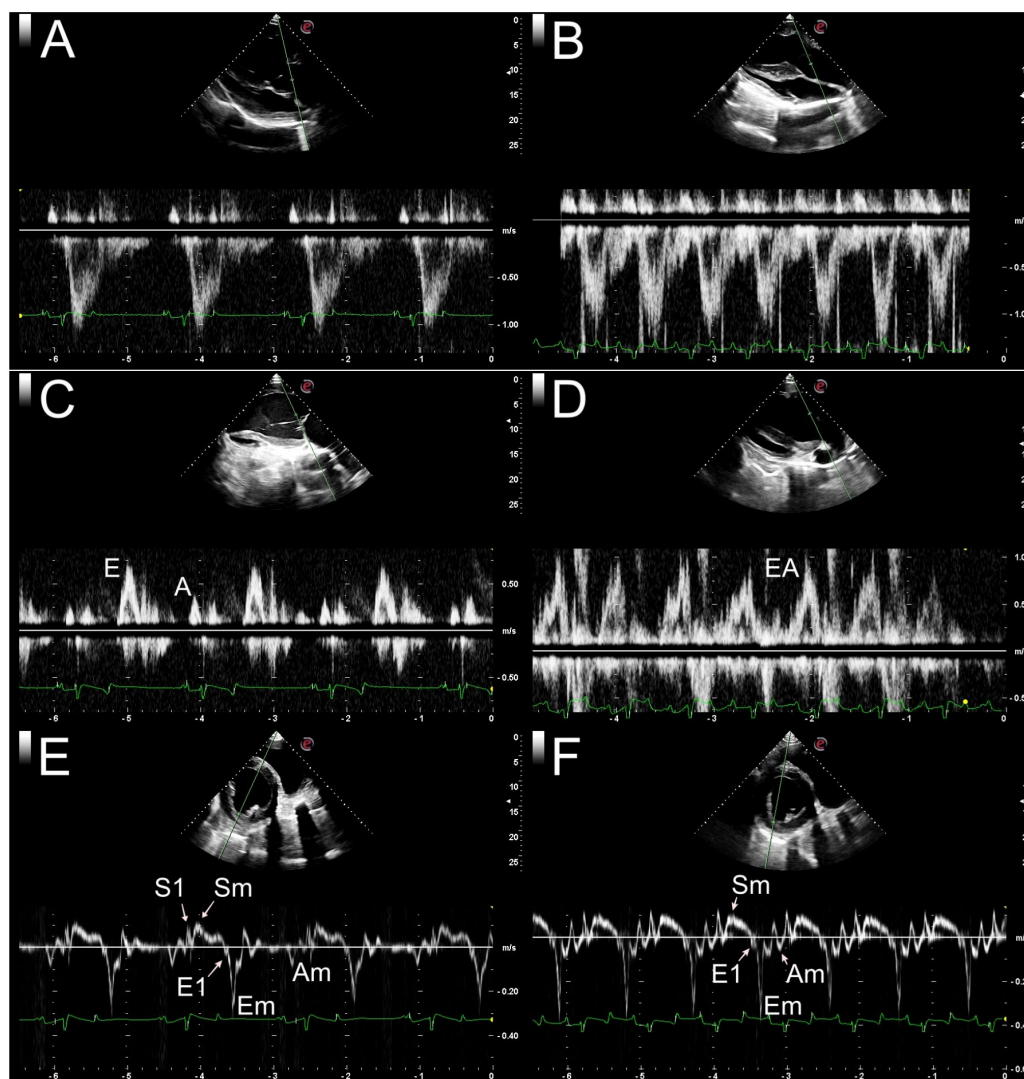


Figura 3. Avaliação de parâmetros sistólicos e diastólicos do ventrículo esquerdo (VE) com uso do Doppler pulsátil e tecidual. (A) Mensuração do fluxo aórtico em repouso pela imagem longitudinal 5-câmaras. O volume amostral de 2 mm foi posicionado na região de abertura da valva aórtica. (B) Mesma imagem representada em A obtida imediatamente após teste de estresse. (C) Mensuração do fluxo transmitral em repouso pela imagem longitudinal 4-câmaras. O volume amostral de 2 mm foi posicionado na região de abertura da valva mitral. A: velocidade de enchimento do VE decorrente da sístole atrial esquerda; E: velocidade de enchimento inicial do VE. (D) Mesma imagem representada em C obtida imediatamente após teste de estresse. EA: espectro resultante da fusão das fases inicial e final de enchimento do VE. (E) Mensuração das velocidades miocárdicas radiais do VE em repouso obtidas na imagem transversal em nível cordal. O volume amostral de 2 mm foi posicionado na região subendocárdica durante a diástole de modo a se manter na região miocárdica durante a sístole. Am: máxima velocidade miocárdica radial durante a fase diastólica final; E1: máxima velocidade miocárdica radial durante a fase de relaxamento isovolumétrico; Em: máxima velocidade miocárdica radial durante a fase diastólica inicial; S1: máxima da velocidade miocárdica radial durante a fase de contração isovolumétrica; Sm: máxima velocidade miocárdica radial durante a sístole ventricular. (F) Mesma imagem representada em E obtida imediatamente após teste de estresse. Am: máxima velocidade miocárdica radial durante a fase diastólica final; E1: máxima velocidade miocárdica radial durante a fase de relaxamento isovolumétrico; Em: máxima velocidade miocárdica radial durante a fase diastólica inicial; Sm: máxima velocidade miocárdica radial durante a sístole ventricular.

Os dados obtidos pela AFE estão expressos na Tabela 4. Tal análise foi utilizada somente nas variáveis sistólicas devido ao tamanho mínimo necessário de variáveis e observações que permitem sua aplicação. Dentre as 21 variáveis sistólicas obtidas em repouso, 12 foram mantidas e destas foram extraídos quatro fatores. Na avaliação pós estresse, 12 das 18 variáveis sistólicas foram mantidas com posterior extração de três fatores.

Tabela 4. Análise fatorial exploratória (AFE) com cargas rotacionadas oblíquas, communalidades dos fatores e matriz de correlação fatorial para variáveis da função sistólica obtidas em repouso e imediatamente após teste de estresse em equinos Puro Sangue Árabe jovens.

Cargas Rotacionadas Oblíquas					
REPOUSO					
	Fator				Comunalidade
	1	2	3	4	
VSF		-0.888			0.789
FE		1.002			0.994
FEj		0.779			0.637
Vej	0.952				0.919
IS	0.930				0.865
DC	0.931				0.867
TEj			0.966		0.947
TD			0.966		0.945
Vcf			-0.770		0.592
PPE/TEj				-0.592	0.411
ITV				0.641	0.640
Vmax				0.939	0.971
Soma de Cargas Quadradas	3.015	2.956	2.763	2.251	
Variância Proporcional	0.215	0.211	0.197	0.161	
Variância Cumulativa	0.215	0.426	0.624	0.785	
MATRIZ DE CORRELAÇÃO FATORIAL					
Fator	1	2	3	4	
1	1				
2	0.0224	1			
3	-0.0874	0.2695	1		
4	0.2985	-0.334	-0.1118	1	
ESTRESSE					
	Fator			Comunalidade	
	1	2	3		
VSF			-0.707	0.499	
FE			0.987	0.995	
FEj			0.993	0.995	
Vej		0.827		0.975	

IS		0.894	0.979
DC		1.085	0.861
PPE		-0.475	0.523
ITV	0.584		0.74
TEj	1.049		0.995
TD	0.941		0.927
PPE/TEj	-0.729		0.803
Vcf	-1.024		0.885

Soma de Cargas Quadradas	4.420	3.023	2.745
Variância Proporcional	0.368	0.252	0.229
Variância Cumulativa	0.368	0.620	0.849

MATRIZ DE CORRELAÇÃO FATORIAL			
Fator	1	2	3
1	1		
2	-0.302	1	
3	0.495	-0.495	1

VSF: volume sistólico final; FE: fração de encurtamento; FEj: fração de ejeção; Vej: volume ejetado; IS: índice sistólico; DC: débito cardíaco; PPE: período pré ejeção; TEj: tempo de ejeção; TD: tempo de desaceleração do fluxo aórtico; Vcf: velocidade circunferencial das fibras miocárdicas; PPE/TEj: relação entre PPE e tempo de ejeção; ITV: integral tempo-velocidade; Vmax: máxima velocidade do fluxo aórtico.

4. Discussão

O programa de condicionamento baseado no método da V2 utilizou mostrou-se capaz para promover adaptações fisiológicas nos animais e promoveu melhorias na função do VE tanto em repouso quanto sob estresse físico. Tanto a V2 quanto a V4 aumentaram significativamente (Figura 1-A). Tais aumentos foram de 29.8% e 31.5% na V2 e V4, respectivamente. Tais resultados indicam a maior participação do metabolismo muscular aeróbio promovido pelo condicionamento e, associado ao aumento do VEj sob estresse físico, sugerem aumento do VO_2 , calculado como o produto da FC, VEj (que resultam no DC) e a diferença arterio-venosa de O_2 , segundo a equação de Fick [47].

Outro parâmetro que indica melhoria no condicionamento físico é a redução da FC em repouso. Diversos trabalhos relatam diminuição dos valores da FC em humanos e ratos submetidos ao treinamento [48–51]. Tal resposta também foi descrita em equinos [52,53] em consonância com os resultados observados no presente estudo. O mecanismo responsável pela redução da FC em indivíduos treinados não foi totalmente elucidado. Estudos demonstraram que o condicionamento físico promove alterações intrínsecas ao coração, em especial no nó sinoatrial [48,52]. Em um estudo que avaliou a influência do condicionamento sobre a FC intrínseca (determinada após o bloqueio farmacológico dos ramos simpático e parassimpático) de equinos jovens e idosos, foi observada diminuição desta nos animais jovens ao passo que nenhuma alteração foi vista no grupo de animais idosos [53]. Betros et al. (2013) [53] também observaram aumento significativo do volume plasmático nos animais jovens que, associado à redução da FC intrínseca, podem explicar a bradicardia promovida pelo condicionamento com manutenção do volume ejetado e débito cardíaco, como observado no presente estudo. Houve também redução da FC máxima atingida imediatamente após do estresse físico (Figura 3). Resultados similares foram observados em atletas humanos jovens cuja FC máxima obtida durante exercício foi menor quando comparada à indivíduos controles [54]. Analisadas em conjunto, as reduções na FC basal e imediatamente após TStress sugerem o aumento da FC reserva decorrente do condicionamento e este é um importante fator acerca da melhoria na capacidade aeróbia. Entretanto, não é possível

afirmar que houve aumento da FC reserva no presente estudo visto que, tanto os TEI quanto os TStress empregados são testes de intensidade submáxima e, portanto, a FC máxima dos animais não foi atingida, inviabilizando o cálculo da FC reserva.

O teste de estresse utilizado foi capaz de elevar significativamente a FC em relação aos valores obtidos em repouso. Em relação aos animais pré-condicionados, a o maior valor de FC atingido pelos animais condicionados após o TStress foi menor. Tais resultados se assemelham a um estudo que avaliou a influência de um programa de treinamento de seis semanas sobre FC máxima de equinos atingida durante as sessões de condicionamento no qual foi observada redução progressiva, porém não significativa [55]. A diferença entre o protocolo de treinamento utilizado por Mlyneková et al. (2016) [55] associada a não utilização de um TStress específico podem explicar a alteridade entre os resultados. Outro ponto a se considerar acerca do maior valor da FC atingida pelos animais condicionados é que esta foi inferior ao valor mínimo de 100 bpm/minutos estabelecido pela literatura para avaliação ecocardiográfica após exercício físico [21].

Houve crescimento significativo dos animais dentro do período experimental haja vista o aumento da MC e PT. Diversos fatores podem influenciar o desenvolvimento de potros dentre eles a raça, idade, sexo, nível nutricional etc. [56]. Os equinos, de modo geral, apresentam padrão similar de crescimento no período de 0 a 18 meses de idade independente da raça e de condições ambientais [57]. Para animais da raça PSA com dois anos de idade observou-se que o PT de machos e fêmeas eram equivalentes, respectivamente, à 97% e 91% do observado em animais adultos com mais de 60 meses [58]. De forma similar ao PT, a MC de equinos com 24 meses de idade se aproxima dos valores observados em animais adultos, como mostrado por Huntington et al. (2020) [57] para potros da raça Puro Sangue Inglês. Apesar das reduzidas diferenças entre animais jovens de 24 meses de idade e animais adultos no que concerne ao desenvolvimento corporal baseado em medidas acima mencionadas, pouco se sabe sobre o desenvolvimento cardíaco dos equinos durante seu crescimento. Isto posto, a indexação (ou normalização) de determinadas variáveis ecocardiográficas fez-se necessária de forma a atenuar possíveis diferenças relacionadas ao desenvolvimento. Nos cavalos, dentre os métodos propostos para normalização das medidas dimensionais do VE obtidas em modo M, àquele realizado por regressão exponencial utilizando o PT são mais acuradas [59].

Dentre as mensurações lineares do VE obtidas em repouso, foram observados aumentos dos valores normalizados do SIs, PPVEs associados a elevações na EMP e mVE e redução do DIVEd. Resultados similares foram observados em ratos submetidos ao exercício de enduro durante seis semanas nos quais houve aumento da mVE e, após 12 semanas, houve também aumento do DIVEd em relação ao grupo controle [60]. Tal padrão é caracterizado como hipertrofia concêntrica e é correlacionado à atletas que desempenham exercícios de força classificados como estáticos ou isométricos e diferem da hipertrofia excêntrica associada à esportes dinâmicos ou isotônicos [2,5,6,61]. Tais padrões são considerados também nos estudos com equinos [15]. Entretanto, uma meta análise realizada com estudos em atletas humanos de diversas modalidades mostrou valores próximos entre o DIVEd de maratonistas e atletas de força [62]. Além do aumento da pré-carga devido principalmente à expansão do volume plasmático, a intensa mobilização muscular observada em maratonistas promove aumento também na pós-carga. De forma similar, equinos de enduro mobilizam grandes grupamentos musculares durante longos períodos e estão sujeitos à aumentos importantes tanto da pré quanto da pós-carga. Pouco se sabe sobre a intensidade e duração mínimas de protocolos de treinamento necessárias para promover remodelamento cardíaco em indivíduos não atletas sem histórico de treinamento [5]. Dessa forma, ao considerar o período de condicionamento empregado neste estudo, levanta-se a hipótese que, a curto prazo, equinos jovens tendem a apresentar adaptações de caráter concêntrico. À medida que o período de treinamento avança, ocorre o aumento do DIVEd como observado por Young (1999) [15] em equinos jovens da raça Puro Sangue Inglês de 2 anos de idade após 18 semanas de condicionamento. A não detecção de alterações volumétricas do VE após curtos períodos de treinamento pode ter relação também com a subestimação tanto do VDF quanto VSF pela ecocardiografia bidimensional [63]. Estudos mais recentes realizados em humanos

demonstraram que, apesar do aumento da mVE, outros parâmetros como V_{sis} e FE podem se manter dentro do intervalo de normalidade [18].

Dentre as variáveis sistólicas, somente a S_m apresentou alteração e, acerca da função diastólica, as variáveis E₁, E_m, A_m, E e a relação E/A reduziram após o condicionamento. A função sistólica em repouso é pouco afetada em atletas humanos com elevadas cargas de treinamento, com independência do tipo de modalidade praticada [5]. No presente estudo, a função sistólica dos animais em repouso avaliada após o condicionamento, na prática, não se alterou visto que somente a S_m apresentou redução. Além da diminuição da FC, a hipertrofia ventricular associada à diminuição do DIVE_d pode reduzir a velocidade de contração miocárdica, em contraste com o remodelamento excêntrico no qual é observado o aumento desta [4]. Em concordância com o presente estudo, Rundqvist et al. (2016) [3] observaram reduções na S_m de adolescentes submetidos ao treinamento de resistência em relação à indivíduos não treinados. Em outro estudo foi observada redução da deformação longitudinal global em atletas olímpicos de diversas modalidades quando comparados a indivíduos controles [64]. Tais achados indicam que, de forma similar aos humanos, o treinamento pode provocar alterações no padrão de movimentação miocárdica em equinos sem que haja redução da função cardíaca. Entretanto, é importante ressaltar que nos cavalos somente a velocidade circunferencial do VE pelo DT pode ser avaliada haja vista a dificuldade de obtenção de imagens longitudinais de toda extensão do VE, inviabilizando a determinação das velocidades longitudinais. Já alterações na função diastólica estão correlacionadas com o tipo de remodelamento provocado pelo treinamento. Em humanos é relatada diminuição de parâmetros diastólicos em atletas que apresentavam remodelamento concêntrico [5], similar ao que foi observado no presente trabalho. Além disso, tais alterações na função diastólica podem estar associadas ao aumento da capacidade reserva do coração, haja vista a maior amplitude de aumento das variáveis quando analisadas sob estresse físico nos animais condicionados.

A avaliação ecocardiográfica sob estresse físico foi capaz de detectar respostas adaptativas na função do VE decorrentes do condicionamento. Dentre os parâmetros sistólicos o IC, PPE, PPE/TEj e V_{cf} apresentaram redução sob estresse após o condicionamento. A diminuição do IC está associada à equação que utiliza a MC como denominador e, portanto, o crescimento dos animais associado à diminuição não significativa observada no DC pode explicar tal alteração. De forma similar, considerando a equação utilizada para obtenção da V_{cf}, a diminuição desta pode estar associada ao aumento observado no TEj. Reduções na movimentação radial de equinos submetidos ao estresse físico em FC acima de 80 bpm já foram descritas e podem ter correlação com o padrão de ativação ventricular dos mamíferos de forma geral, que se inicia na região septal apical com posterior propagação para a base do coração [65]. A redução no PPE pode ser explicada pelo aumento da pressão diastólica final [66] que ocorre no exercício devido a elevação da pré-carga [67] e, associado ao aumento do TEj, promove também diminuição da relação PPE/TEj.

O tamanho do coração possui importante correlação com a performance de equinos jovens em corridas, com destaque a variáveis diastólicas que se associam de forma significativa com parâmetros de performance [16]. A função diastólica é diretamente influenciada pelo exercício haja vista o aumento do volume plasmático observado em atletas. À longo prazo, as variações na pré e pós-carga, que ocorrem durante as sessões de exercício, entre outros fatores, resultam no remodelamento cardíaco. No presente estudo, a elevação do VDF observada nos animais condicionados sob estresse físico concorda com resultados obtidos em humanos atletas [68]. O enchimento do VE em atletas tem relação com o aumento da fase diastólica inicial e menor contribuição da sístole atrial esquerda com consequente aumento da relação E/A [69]. Entretanto, no presente estudo não foi possível o cálculo da relação E/A sob estresse físico devido à fusão das ondas e sua avaliação de forma conjunta pode explicar a redução não significativa observada. Outro ponto que reflete melhora da função diastólica é a diminuição da relação E/E_m, avaliada no presente estudo como EA/E_m, e sua associação com a pressão de enchimento do VE [70]. Menores pressões de enchimento ventricular estão associadas, dentre outros fatores, ao aumento da complacência somado ao relaxamento mais eficiente do VE e podem ser interpretados como respostas adaptativas benéficas promovidas pelo treinamento. Entretanto, estudos recentes

demonstraram que a relação E/E_m obtida sob estresse físico ou farmacológico não é bom indicador da pressão de enchimento do VE [71,72]. Portanto o resultado acerca da relação EA/E_m observado deve ser interpretado com cautela. Já o aumento das variáveis temporais observados pós condicionamento pode ser explicado tanto pela elevação do VDF quanto pela redução da FC máxima atingida no TStress, a considerar a correlação negativa que existe entre a FC e os tempos cardíacos sistólicos e diastólicos. Ainda acerca do VDF, a elevação desta tem influência direta sobre a ITV, Vej, IS, TEj e TD, o que explica os aumentos detectados no presente estudo.

O emprego da AFE revelou maior interação entre as variáveis sistólicas promovidas pelo estresse físico frente à redução no número de fatores extraídos além da maior correlação entre estes. Os resultados demonstram a integração entre as diversas variáveis sistólicas analisadas no estudo e a capacidade do exercício em modificar o padrão de resposta sistólico de modo a suprir a elevação da demanda metabólica. Além disso, os elevados valores de comunalidade observados indicam boa capacidade do modelo em explicar grande parte da variância presente nos dados a considerar os reduzidos valores de singularidade encontrados. O maior entendimento acerca da interação que existe entre as diferentes variáveis sistólicas tanto em repouso quanto sob estresse físico são bases para a aplicação de testes de estresse como ferramenta diagnóstica na avaliação cardíaca de equinos. Entretanto, tais resultados devem ser interpretados com cautela visto que não foi considerado o grau de condicionamento dos animais de modo a atender o número mínimo de observações por variável.

Apesar de inovador, o presente estudo apresentou diversas limitações. A ausência de grupo controle gera dúvidas a respeito das alterações cardiovasculares atribuídas ao condicionamento, haja vista o crescimento dos animais durante o período experimental com consequentes modificações estruturais e funcionais do coração devido ao seu desenvolvimento. Além disso, o alojamento em piquetes permite a atividade física espontânea dos animais e que podem, associadas ao programa de condicionamento, influenciar nas adaptações fisiológicas observadas. Outra limitação importante são as barreiras anatômicas inerentes ao exame ecocardiográfico de equinos, principalmente durante a avaliação sob estresse que requer movimentação do operador durante sua realização e associada a elevada FR dos animais após o exercício comprometem a qualidade das imagens obtidas. Além disso, durante a mudança da janela ecocardiográfica ocorre a diminuição da FC que pode comprometer os resultados obtidos. Ademais, avaliação cardíaca realizada pelo DT deve ser interpretada com cautela em equinos visto que as velocidades miocárdicas obtidas são referentes somente à movimentação radial do VE e contrastam com estudos em humanos, onde é calculada a média das velocidades miocárdicas septais e laterais obtidas em imagens longitudinais e que permitem a avaliação de outros padrões de movimentação.

5. Conclusões

O protocolo de treinamento utilizado promoveu hipertrofia concêntrica associada ao aumento da capacidade aeróbia de cavalos jovens e melhora das funções sistólica e diastólica do VE tanto em repouso quanto após estresse físico. A ecocardiografia de estresse se mostrou capaz de elucidar modificações na função ventricular esquerda não detectadas em repouso, com grande potencial de utilização também na avaliação cardiológica de equinos.

Referências

1. Hinchcliff, K.W.; Geor, R.J. The Horse as an Athlete: A Physiological Overview. In *Equine Exercise Physiology: The Science of Exercise in the Athletic Horse*; Hinchcliff, K.W., Geor, R.J., Kaneps, A.J., Eds.; Saunders Elsevier: Philadelphia, 2008; pp. 2–11.
2. Morganroth, J. Comparative Left Ventricular Dimensions in Trained Athletes. *Ann Intern Med* 1975, 82, 521, doi:10.7326/0003-4819-82-4-521.

3. Rundqvist, L.; Engvall, J.; Faresjö, M.; Carlsson, E.; Blomstrand, P. Regular Endurance Training in Adolescents Impacts Atrial and Ventricular Size and Function. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* **2016**, jew150, doi:10.1093/ehjci/jew150.
4. Baggish, A.L.; Yared, K.; Wang, F.; Weiner, R.B.; Hutter, A.M.; Picard, M.H.; Wood, M.J. The Impact of Endurance Exercise Training on Left Ventricular Systolic Mechanics. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology* **2008**, 295, H1109–H1116, doi:10.1152/ajpheart.00395.2008.
5. Kovacs, R.; Baggish, A.L. Cardiovascular Adaptation in Athletes. *Trends Cardiovasc Med* **2016**, 26, 46–52, doi:10.1016/j.tcm.2015.04.003.
6. Muhl, C.; Dassen, W.R.M.; Kuipers, H. Cardiac Remodelling: Concentric versus Eccentric Hypertrophy in Strength and Endurance Athletes. *Netherlands Heart Journal* **2008**, 16, 129–133.
7. Burnley, M.; Jones, A.M. Oxygen Uptake Kinetics as a Determinant of Sports Performance. *Eur J Sport Sci* **2007**, 7, 63–79, doi:10.1080/17461390701456148.
8. Souza, B.G.; Veiga, C.C.P.; Oliveira, G.F.; Ferreira, A.M.R.; Almeida, F.Q. Avaliação de Um Programa de Treinamento Para Cavalos de Concurso Completo de Equitação: Efeitos Sobre a Frequência Cardíaca e a Curva de Lactato. *Rev Bras Med Vet* **2013**, 35, 385–391.
9. Evans, D.L.; Rainger, J.E.; Hodgson, D.R.; Eaton, M.D.; Rose, R.J. The Effects of Intensity and Duration of Training on Blood Lactate Concentrations during and after Exercise. *Equine Vet J* **2010**, 27, 422–425, doi:10.1111/j.2042-3306.1995.tb04965.x.
10. Seeherman, H.J.; Morris, E.A. Application of a Standardised Treadmill Exercise Test for Clinical Evaluation of Fitness in 10 Thoroughbred Racehorses. *Equine Vet J* **2010**, 22, 26–34, doi:10.1111/j.2042-3306.1990.tb04730.x.
11. Mazzeo, R.S.; Brooks, G.A.; Schoeller, D.A.; Budinger, T.F. Disposal of Blood [1-13C]Lactate in Humans during Rest and Exercise. *J Appl Physiol* **1986**, 60, 232–241, doi:10.1152/jap.1986.60.1.232.
12. Tegtbur, U.; Busse, M.W.; Braumann, K.M. Estimation of an Individual Equilibrium between Lactate Production and Catabolism during Exercise. *Med Sci Sports Exerc* **1993**, 25, 620–627.
13. Lindner, A.E. Maximal Lactate Steady State during Exercise in Blood of Horses. *J Anim Sci* **2010**, 88, 2038–2044, doi:10.2527/jas.2009-2693.
14. Soares, O.A.B.; Ferraz, G.C.; Martins, C.B.; Dias, D.P.M.; Lacerda-Neto, J.C.; Queiroz-Neto, A. Comparison of Maximal Lactate Steady State with V2, V4, Individual Anaerobic Threshold and Lactate Minimum Speed in Horses. *Arq Bras Med Vet Zootec* **2014**, 66, 39–46, doi:10.1590/S0102-09352014000100007.
15. Young, L.E. Cardiac Responses to Training in 2-Year-Old Thoroughbreds: An Echocardiographic Study. *Equine Vet J* **1999**, 31, 195–198, doi:10.1111/j.2042-3306.1999.tb05217.x.
16. Young, L.E.; Rogers, K.; Wood, J.L.N. Left Ventricular Size and Systolic Function in Thoroughbred Racehorses and Their Relationships to Race Performance. *J Appl Physiol* **2005**, 99, 1278–1285, doi:10.1152/jap.2004.01319.2004.

17. Buhl, R.; Ersbøll, A.K. Echocardiographic Evaluation of Changes in Left Ventricular Size and Valvular Regurgitation Associated with Physical Training during and after Maturity in Standardbred Trotters. *J Am Vet Med Assoc* **2012**, *240*, 205–212, doi:10.2460/javma.240.2.205.
18. D'Ascenzi, F.; Fiorentini, C.; Anselmi, F.; Mondillo, S. Left Ventricular Hypertrophy in Athletes: How to Differentiate between Hypertensive Heart Disease and Athlete's Heart. *Eur J Prev Cardiol* **2021**, *28*, 1125–1133, doi:10.1177/2047487320911850.
19. Sharma, S.; Merghani, A.; Mont, L. Exercise and the Heart: The Good, the Bad, and the Ugly. *Eur Heart J* **2015**, *36*, 1445–1453, doi:10.1093/eurheartj/ehv090.
20. Lancellotti, P.; Pellikka, P.A.; Budts, W.; Chaudhry, F.A.; Donal, E.; Dulgheru, R.; Edvardsen, T.; Garbi, M.; Ha, J.-W.; Kane, G.C.; et al. The Clinical Use of Stress Echocardiography in Non-Ischaemic Heart Disease: Recommendations from the European Association of Cardiovascular Imaging and the American Society of Echocardiography. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* **2016**, *17*, 1191–1229, doi:10.1093/ehjci/jew190.
21. Navas de Solis, C. Cardiovascular Response to Exercise and Training, Exercise Testing in Horses. *Veterinary Clinics of North America - Equine Practice* **2019**, *35*, 159–173, doi:10.1016/j.cveq.2018.11.003.
22. Belém, L. Ecocardiografia de Estresse Sob Exercício. In *Ecocardiografia de Estresse e Contraste*; Camarozano, A.C., Weitzel, L.H., Eds.; Revinter: Rio de Janeiro, **2013**; p. 375 ISBN 978-85-372-0492-4.
23. Gehlen, H.; Marnette, S.; Rohn, K.; Stadler, P. Echocardiographic Analysis of Segmental Left Ventricular Wall Motion at Rest and After Exercise in Horses With and Without Heart Disease. *J Equine Vet Sci* **2005**, *25*, 468–479, doi:10.1016/j.jevs.2005.09.007.
24. Marshall, S.A.; Levine, L.A.; Weyman, A. Echocardiography in Cardiac Research. In *The Heart and Cardiovascular System: Scientific Foundations*; Fozzard, H.A., Haber, E., Jennings, R.B., Katz, A.M., Morgan, H.E., Eds.; Raven Press, **1992**; p. 1700.
25. Reef, V.B.; Whittier, M.; Allam, L.G. Echocardiography. *Clinical Techniques in Equine Practice* **2004**, *3*, 274–283.
26. Schwarzwald, C.C. Equine Echocardiography. *Veterinary Clinics of North America - Equine Practice* **2019**, *35*, 43–64, doi:10.1016/j.cveq.2018.12.008.
27. Koenig, T.R.; Mitchell, K.J.; Schwarzwald, C.C. Echocardiographic Assessment of Left Ventricular Function in Healthy Horses and in Horses with Heart Disease Using Pulsed-Wave Tissue Doppler Imaging. *J Vet Intern Med* **2017**, *31*, 556–567, doi:10.1111/jvim.14641.
28. Schwarzwald, C.C.; Schober, K.E.; Bonagura, J.D. Methods and Reliability of Tissue Doppler Imaging for Assessment of Left Ventricular Radial Wall Motion in Horses. *J Vet Intern Med* **2009**, *23*, 643–652, doi:10.1111/j.1939-1676.2009.0287.x.
29. Blissitt, K.J.; Bonagura, J.D. Colour Flow Doppler Echocardiography in Normal Horses. *Equine Vet J* **1995**, *27*, 47–55, doi:10.1111/j.2042-3306.1995.tb04989.x.
30. Blissitt, K.J.; Bonagura, J.D. Pulsed Wave Doppler Echocardiography in Normal Horses. *Equine Vet J* **1995**, *27*, 38–46, doi:10.1111/j.2042-3306.1995.tb04988.x.

31. Long, K.J.; Bonagura, J.D.; Darke, P.G.G. Standardised Imaging Technique for Guided M-mode and Doppler Echocardiography in the Horse. *Equine Vet J* **1992**, *24*, 226–235, doi:10.1111/j.2042-3306.1992.tb02820.x.
32. Council, N.R. *Nutrient Requirements of Horses*; Sixth.; National Academies Press: Washington, D.C., **2007**; ISBN 978-0-309-10212-4.
33. Lorello, O.; Ramseyer, A.; Burger, D.; Gerber, V. Cardiovascular Variables in Eventing and Endurance Horses over a Season. *Journal of Veterinary Cardiology* **2019**, *21*, 67–78, doi:10.1016/j.jvc.2018.08.004.
34. Long, K.J. Two-Dimensional and M-Mode Echocardiography. *Equine Vet Educ* **1992**, *4*, 303–310.
35. Lang, R.M.; Badano, L.P.; Mor-Avi, V.; Afilalo, J.; Armstrong, A.; Ernande, L.; Flachskampf, F.A.; Foster, E.; Goldstein, S.A.; Kuznetsova, T.; et al. Recommendations for Cardiac Chamber Quantification by Echocardiography in Adults: An Update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* **2015**, *16*, 233–271, doi:10.1093/ehjci/jev014.
36. Marr, C.M.; Patteson, M. Echocardiography. In *Cardiology of the horse*; Marr, C.M., Bowen, I.M., Eds.; Saunders Elsevier, **2010**; p. 294 ISBN 978-0-7020-2817-5.
37. Teichholz, L.E.; Kreulen, T.; Herman, M. V.; Gorlin, R. Problems in Echocardiographic Volume Determinations: Echocardiographic-Angiographic Correlations in the Presence or Absence of Asynergy. *Am J Cardiol* **1976**, *37*, 7–11, doi:10.1016/0002-9149(76)90491-4.
38. Lord, P.F.; Croft, M.A. Accuracy of Formulae for Calculating Left Ventricular Volumes of the Equine Heart. *Equine Vet J* **1990**, *22*, 53–56, doi:10.1111/j.2042-3306.1990.tb04735.x.
39. Lightowler, C.; Pidal, G.; Cattáneo, M.; Garcia Liñeiro, J. Diámetros y Volúmenes Del Ventrículo Izquierdo Del Caballo Determinados Por Ecocardiografia. *Arch Med Vet* **2002**, *34*, 135–146, doi:10.4067/S0301-732X2008000100001.
40. Devereux, R.B.; Reichek, N. Echocardiographic Determination of Left Ventricular Mass in Man. Anatomic Validation of the Method. *Circulation* **1977**, *55*, 613–618, doi:10.1161/01.CIR.55.4.613.
41. Borde, L.; Amory, H.; Leroux, A.A.; Alhaidar, A.; Bordet, F.I.; Detilleux, J.; Sandersen, C.C. Echocardiographic Assessment of Left Ventricular Systolic Function in Colic Horses. *J Equine Vet Sci* **2011**, *31*, 481–487, doi:10.1016/j.jevs.2011.01.011.
42. Tei, C.; Ling, L.H.; Hodge, D.O.; Bailey, K.R.; Oh, J.K.; Rodeheffer, R.J.; Tajik, A.J.; Seward, J.B. New Index of Combined Systolic and Diastolic Myocardial Performance: A Simple and Reproducible Measure of Cardiac Function - A Study in Normals and Dilated Cardiomyopathy. *J Cardiol* **1995**, *26*, 357–366.
43. Cornell, C.C.; Kittleson, M.D.; Della Torre, P.; Häggström, J.; Lombard, C.W.; Pedersen, H.D.; Vollmar, A.; Wey, A. Allometric Scaling of M-Mode Cardiac Measurements in Normal Adult Dogs. *J Vet Intern Med* **2004**, *18*, 311–321, doi:10.1892/0891-6640(2004)18<311:ASOMCM>2.0.CO;2.
44. Al-Haidar, A.; Moula, N.; Leroux, A.; Farnir, F.; Deleuze, S.; Sandersen, C.; Amory, H. Reference Values of Two-Dimensional and M-Mode Echocardiographic Measurements as a Function of Body Size in Various Equine Breeds and in Ponies. *Journal of Veterinary Cardiology* **2017**, *19*, 492–501, doi:10.1016/j.jvc.2017.08.008.

45. Hair Jr., J.F.; Black, W.C.; Babin, B.J.; Anderson, R.E.; Tatham, R.L. *Análise Multivariada de Dados*; Hair Jr., J.F., Black, W.C., Babin, B.J., Anderson, R.E., Tatham, R.L., Eds.; 6. ed.; Bookman: Porto Alegre, 2009;
46. Raïche, G.; Walls, T.A.; Magis, D.; Riopel, M.; Blais, J.-G. Non-Graphical Solutions for Cattell's Scree Test. *Methodology* **2013**, *9*, 23–29, doi:10.1027/1614-2241/a000051.
47. Beltz, N.M.; Gibson, A.L.; Janot, J.M.; Kravitz, L.; Mermier, C.M.; Dalleck, L.C. Graded Exercise Testing Protocols for the Determination of VO₂ Max: Historical Perspectives, Progress, and Future Considerations. *Journal of Sports Medicine* **2016**, *2016*, 1–12, doi:10.1155/2016/3968393.
48. Barnard, R.J.; Corre, K.; Cho, H. Effect of Training on the Resting Heart Rate of Rats. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* **1976**, *35*, 285–289.
49. Wilmore, J.H.; Stanforth, P.R.; Gagnon, J.; Leon, A.S.; Rao, D.C.; Skinner, J.S.; Bouchard, C. Endurance Exercise Training Has a Minimal Effect on Resting Heart Rate: The HERITAGE Study. *Medicine & Science in Sports & Exercise* **1996**, *28*, 829–835, doi:10.1097/00005768-199607000-00009.
50. Kang, S.-J.; Kim, Eon-ho; Ko, K.-J. Effects of Aerobic Exercise on the Resting Heart Rate, Physical Fitness, and Arterial Stiffness of Female Patients with Metabolic Syndrome. *J Phys Ther Sci* **2016**, *28*, 1764–1768, doi:10.1589/jpts.28.1764.
51. Coswig, V.S.; Barbalho, M.; Raiol, R.; Del Vecchio, F.B.; Ramirez-Campillo, R.; Gentil, P. Effects of High vs Moderate-Intensity Intermittent Training on Functionality, Resting Heart Rate and Blood Pressure of Elderly Women. *J Transl Med* **2020**, *18*, 88, doi:10.1186/s12967-020-02261-8.
52. Kuwahara, M.; Hiraga, A.; Kai, M.; Tsubone, H.; Sugano, S. Influence of Training on Autonomic Nervous Function in Horses: Evaluation by Power Spectral Analysis of Heart Rate Variability. *Equine Vet J* **2010**, *31*, 178–180, doi:10.1111/j.2042-3306.1999.tb05213.x.
53. Betros, C.L.; McKeever, N.M.; Manso Filho, H.C.; Malinowski, K.; McKeever, K.H. Effect of Training on Intrinsic and Resting Heart Rate and Plasma Volume in Young and Old Horses. *Comp Exerc Physiol* **2013**, *9*, 43–50, doi:10.3920/CEP12020.
54. Liu, L.; Yan, X.; Xiao, S.; Deng, S.; Zhang, C.; Luo, L. Cardiac Reserve Mobilization Trend during Exercise and Recovery after Exercise. *J Biomed Sci Eng* **2013**, *06*, 699–703, doi:10.4236/jbise.2013.67085.
55. Mlyneková, E.; Halo, M.; Maršálek, M.; Starostová, L. Impact of Training Load on the Heart Rate of Horses. *Acta fytotechnica et zootechnica* **2016**, *19*, 167–170, doi:10.15414/afz.2016.19.04.167-170.
56. Filho, H.C.M.; Hunka, M.M.; Wanderley, E.K.; Mélo, S.K.M.; Beltrão, M. do R.; Abreu, J.M.G.; Manso, H.E.C.C. Pattern of Development in Foals from Four Different Breeds between Birth and Weaning. *Open J Vet Med* **2014**, *04*, 72–77, doi:10.4236/ojvm.2014.45009.
57. Huntington, P.J.; Brown-Douglas, C.G.; Pagan, J.D. Growth and Development of Thoroughbred Horses. *Anim Prod Sci* **2020**, *60*, 2093, doi:10.1071/AN19629.
58. Abed El-Rahim, T. *Agricultural Tatoum University Magazine*. 2008, pp. 153–167.
59. Al-Haidar, A.; Leroux, A.; Borde, L.; Deleuze, S.; Cerri, S.; Sandersen, C.; Amory, H.; Farnir, F. Relationship Between Echocardiographic Measurements and Body Size in Horses. *J Equine Vet Sci* **2013**, *33*, 107–114, doi:10.1016/j.jevs.2012.05.063.

60. Fenning, A.; Harrison, G.; Dwyer, D.; Rose'Meyer, R.; Brown, L. Cardiac Adaptation to Endurance Exercise in Rats. In *Biochemistry of Hypertrophy and Heart Failure*; Kirshenbaum, L.A., Dixon, I.M.C., Singal, P.K., Eds.; Springer US: Boston, MA, 2003; Vol. 251 ISBN 978-1-4613-4853-5.
61. Fagard, R.H. Impact of Different Sports and Training on Cardiac Structure and Function. *Cardiology Clinics* **1992**, *10*, 241–256.
62. Pluim, B.M.; Zwinderman, A.H.; van der Laarse, A.; van der Wall, E.E. The Athlete's Heart. *Circulation* **2000**, *101*, 336–344, doi:10.1161/01.CIR.101.3.336.
63. Jenkins, C.; Moir, S.; Chan, J.; Rakhit, D.; Haluska, B.; Marwick, T.H. Left Ventricular Volume Measurement with Echocardiography: A Comparison of Left Ventricular Opacification, Three-Dimensional Echocardiography, or Both with Magnetic Resonance Imaging. *Eur Heart J* **2009**, *30*, 98–106, doi:10.1093/eurheartj/ehn484.
64. Caselli, S.; Montesanti, D.; Autore, C.; Di Paolo, F.M.; Pisicchio, C.; Squeo, M.R.; Musumeci, B.; Spataro, A.; Pandian, N.G.; Pelliccia, A. Patterns of Left Ventricular Longitudinal Strain and Strain Rate in Olympic Athletes. *Journal of the American Society of Echocardiography* **2015**, *28*, 245–253, doi:10.1016/j.echo.2014.10.010.
65. Schefer, K.D.; Bitschnau, C.; Weishaupt, M.A.; Schwarzwald, C.C. Quantitative Analysis of Stress Echocardiograms in Healthy Horses with 2-Dimensional (2D) Echocardiography, Anatomical M-Mode, Tissue Doppler Imaging, and 2D Speckle Tracking. *J Vet Intern Med* **2010**, *24*, 918–931, doi:10.1111/j.1939-1676.2010.0542.x.
66. Talley, R.C.; Meyer, J.F.; McNay, J.L. Evaluation of the Pre-Ejection Period as an Estimate of Myocardial Contractility in Dogs. *Am J Cardiol* **1971**, *27*, 384–391, doi:10.1016/0002-9149(71)90435-8.
67. Maehara, K.; Maruyama, Y.; Yoshikata, S.; Takishima, T. Effects of Exercise Stress on Left Ventricular End Diastolic Pressure-Length Strain Relations in Dogs with and without Coronary Stenosis. *Cardiovasc Res* **1992**, *26*, 770–778, doi:10.1093/cvr/26.8.770.
68. Le, T.-T.; Bryant, J.A.; Ting, A.E.; Ho, P.Y.; Su, B.; Teo, R.C.C.; Gan, J.S.-J.; Chung, Y.-C.; O'Regan, D.P.; Cook, S.A.; et al. Assessing Exercise Cardiac Reserve Using Real-Time Cardiovascular Magnetic Resonance. *Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance* **2017**, *19*, 7, doi:10.1186/s12968-017-0322-1.
69. D'Andrea, A.; Radmilovic, J.; Carbone, A.; Mandoli, G.E.; Santoro, C.; Evola, V.; Bandera, F.; D'Ascenzi, F.; Bossone, E.; Galderisi, M.; et al. Speckle Tracking Evaluation in Endurance Athletes: The "Optimal" Myocardial Work. *Int J Cardiovasc Imaging* **2020**, *36*, 1679–1688, doi:10.1007/s10554-020-01871-z.
70. Barbosa, M.M.; Leite, A. Avaliação Da Função Diastólica Pela Ecocardiografia de Estresse. In *Ecocardiografia de Estresse e Constraste*; Camarozano, A.C., Weitzel, L.H., Eds.; Revinter: Rio de Janeiro, 2013; pp. 129–133.
71. Pugliese, N.R.; De Biase, N.; Conte, L.; Gargani, L.; Mazzola, M.; Fabiani, I.; Natali, A.; Dini, F.L.; Frumento, P.; Rosada, J.; et al. Cardiac Reserve and Exercise Capacity: Insights from Combined Cardiopulmonary and Exercise Echocardiography Stress Testing. *Journal of the American Society of Echocardiography* **2021**, *34*, 38–50, doi:10.1016/j.echo.2020.08.015.

72. Sharifov, O.F.; Gupta, H. What Is the Evidence That the Tissue Doppler Index E/E' Reflects Left Ventricular Filling Pressure Changes After Exercise or Pharmacological Intervention for Evaluating Diastolic Function? A Systematic Review. *J Am Heart Assoc* **2017**, *6*, doi:10.1161/JAHA.116.004766.

APÊNDICES

Tabelas complementares ao artigo “Efeitos do condicionamento sobre a função ventricular esquerda de equinos jovens da raça Puro Sangue Árabe

1A – Protocolo do teste de estresse (TStress).

	Velocidade	Duração	Inclinação	Tempo	Determinações
Repouso	0 m/s	-	-	T0	EcoDopplercardiografia
Aquecimento	1.7 m/s	10 min	0%	T1	-
	3.2 m/s	10 min	0%		
Exercício	5.8 m/s	30 min	0%	T2	-
1º Tiro	7.5 m/s	3 min	0%	T3	-
Manutenção	3.0 a 3.5 m/s	5 min	0%	T4	-
2º Tiro	8.5 m/s	2,5 min	0%	T5	EcoDopplercardiografia
Desaquecimento	1.7 m/s	10 min	0%	T6	-

2A – Protocolo de condicionamento detalhado de acordo com as sessões realizadas.

Fases	Duração (min)	1ª a 3ª Sessões		4ª a 6ª Sessões		7ª a 9ª Sessões		10ª a 15ª Sessões	
		Velocidade (m/s)	Inclinação (%)	Velocidade (m/s)	Inclinação (%)	Velocidade (m/s)	Inclinação (%)	Velocidade (m/s)	Inclinação (%)
Aquecimento	05	1.6	0	1.6	0	1.6	0	1.6	0
	05	3.4	0	3.4	0	3.4	0	3.4	0
Treino	12	80% V2	0	80% V2	3	100% V2	3	100% V2	5
	02	Mudança de andamento	0	Mudança de andamento	0	Mudança de andamento	0	Mudança de andamento	0
	12	80% V2	0	80% V2	3	100% V2	3	100% V2	5
	02	Mudança de andamento	0	Mudança de andamento	0	Mudança de andamento	0	Mudança de andamento	0
	12	80% V2	0	80% V2	3	100% V2	3	100% V2	5
Desaquecimento	05	1.6	0	1.6	0	1.6	0	1.6	0

V2: velocidade na qual a concentração plasmática de lactato atinge 2mmol/l

3A – Variáveis analisadas pelo modo M, uso do Doppler pulsátil e Doppler tecidual para avaliação da função ventricular esquerda de equinos jovens Puro Sangue Árabe em repouso e imediatamente após teste de estresse (TStress)

Variáveis da função sistólica do ventrículo esquerdo (VE)		
Modo M		
FE (%)	Fração de encurtamento	$FE = \left(\frac{DIVEd - DIVEs}{DIVEd} \right) * 100$
VSF (cm³)	Volume sistólico final	$VSF = (7 * [DIVEs]^3) / (2,4 + DIVEs)$
FEj (%)	Fração de ejeção	$FEj = \left(\frac{VDF - VSF}{VDF} \right) * 100$
EMP (cm)	Espessura média da parede do VE	$EMP = (PPVEd + SId) / 2$
ERP	Espessura relativa da parede do VE	$ERP = (PPVEd + SId) / PPVEd$
mVE (g)	Massa do VE	$mVE = 1,04 * ([DIVEd + PPVEd + SId]^3 - DIVEd^3) - 13,6$
Doppler Pulsátil		
ITV (cm)	Integral tempo-velocidade do fluxo aórtico	$ITV = \sum V_i * \Delta T$
STAo (cm²)	Secção transversal da aorta	$ST Ao = \pi * (Ao * 0,5)^2$
Vej (cm³)	Volume ejetado	$Vej = VTI * STAo$
IS	Índice sistólico	$IS = Vej / PC$
DC	Débito cardíaco	$DC = (Vej * FC) / 1000$
IC	Índice cardíaco	$IC = (DC + 1000) / PC$
Vmax (m/s)	Velocidade máxima do fluxo aórtico	Velocidade mensurada no pico do fluxo aórtico
TPP (ms)	Tempo para o pico	Tempo entre o início e o pico do fluxo aórtico *
TEj (ms)	Tempo de ejeção	Duração total do fluxo aórtico
TD (ms)	Tempo de desaceleração do fluxo aórtico	Tempo entre o pico e o final do fluxo aórtico *
PPE (ms)	Período pré-ejeção	Entre o início do complexo QRS e o início do fluxo aórtico
PPE/TE	Razão entre PPE e TE	
Vcf (cm/s)	Velocidade média de encurtamento das fibras circunferenciais do VE	$VCF = \frac{DIVEd - DIVEs}{DIVEd * TE / 1000}$
Doppler Tecidual		
S ₁ (m/s)	Velocidade parietal radial durante a fase de contração isovolumétrica	Pico positivo da velocidade de movimentação parede durante a fase de contração isovolumétrica
S _m (m/s)	Velocidade parietal radial durante a fase de ejeção ventricular	Pico positivo da velocidade de movimentação parede durante a ejeção
tS ₁ (ms)	Tempo para o pico da velocidade parietal radial durante a fase de contração isovolumétrica	Tempo entre o início e o pico da movimentação parietal durante a contração isovolumétrica *
tS _m (ms)	Tempo para o pico da velocidade parietal radial durante a fase de ejeção ventricular	Tempo entre o início e o pico da movimentação parietal durante a ejeção *
TCIV (ms)	Tempo de contração isovolumétrico	Tempo entre o início de S ₁ e o início de S _m *
Variáveis da função diastólica do ventrículo esquerdo		
Modo M		
VDF (cm³)	Volume diastólico final	$VDF = (7 * [DIVEd]^3) / (2,4 + DIVEd)$
Doppler Pulsátil		
E (m/s)	Velocidade do fluxo transmitral no início da diástole	Primeiro pico positivo da velocidade no início da diástole ventricular
tE (ms)	Tempo para o pico de E	Tempo entre o início e o pico de E *
TDE (ms)	Tempo de desaceleração de E	Tempo entre o pico e o final de E *
A (m/s)	Velocidade do fluxo transmitral decorrente da contração atrial esquerda	Segundo pico positivo da velocidade ao final da diástole ventricular
E/A	Razão entre E e A	

Continua...

Continuação...

Doppler Tecidual		
E_1 (m/s)	Velocidade parietal radial durante a fase de relaxamento isovolumétrico	Pico negativo da velocidade parietal durante a fase de relaxamento isovolumétrico
E_m (m/s)	Velocidade parietal radial no início da diástole	Pico negativo da velocidade parietal durante o início da diástole
tE_m (ms)	Tempo para o início de E_m	Tempo entre o início do QRS e o início de E_m *
TDE_m (ms)	Tempo de desaceleração de E'	Tempo entre o pico e final E_m *
A_m (m/s)	Velocidade parietal radial decorrente da contração atrial esquerda	Pico negativo da velocidade parietal durante o final da diástole
E_m/A_m	Razão entre E_m e A_m	
E/E_m	Razão entre E e E_m	Relação entre o fluxo transmitral inicial e a movimentação parietal circunferencial
$TRIV$ (ms)	Tempo de relaxamento isovolumétrico	Tempo entre o início de E_1 e o início de E_m *
Índice da função sistólica e diastólica do ventrículo esquerdo		
IPM	Índice de performance miocárdica (Índice de Tei)	$IPM = \frac{TCIV + TRIV}{TE}$

* Foi considerado início ou final das ondas o ponto onde o espectro formado pelo DP e DT cruzou a linha de base. Nos casos em que o traçado não retornou à linha de base, o ponto mais próximo à linha horizontal entre duas ondas consecutivas foi utilizado como referência para determinação de início ou final. Após o TStress, nos casos de fusão entre ondas consecutivas, estas foram analisadas de forma conjunta.