



UNIVERSIDADE
LUSÓFONA

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE LISBOA
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA
MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA VETERINÁRIA

**Alterações morfológicas e funcionais cardíacas de equinos de
salto de obstáculos treinados por 10 semanas na passadeira
aquática**

Dissertação apresentada a Provas Públicas para a obtenção do Grau de Mestre em Medicina Veterinária, orientada por Professora Doutora Clarisse Coelho e Mestre Carolina Nascimento [coorientadora].

Ana Laura Gouveia Braz

2025

www.ulusofona.pt



UNIVERSIDADE
LUSÓFONA

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE LISBOA
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA
MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA VETERINÁRIA

Alterações morfológicas e funcionais cardíacas de equinos de salto de obstáculos treinados por 10 semanas na passadeira aquática

Ana Laura Gouveia Braz

VERSÃO FINAL

Dissertação defendida por Ana Laura Gouveia Braz em provas públicas na Universidade Lusófona, Centro Universitário de Lisboa no dia 21/11 de 2025, perante o júri, nomeado pelo Despacho de Nomeação n.º: 510/2025, de 27 de outubro, com a seguinte composição:

Presidente: Professora Doutora Catia Filipa Marques (FMV, Universidade Lusófona, Centro Universitário de Lisboa)

Vogal: Professor Doutor Mário Cotovio (FMV, Universidade Lusófona, Centro Universitário de Lisboa) - Arguente

Orientador: Professora Doutora Clarisse Coelho (FMV, Universidade Lusófona, Centro Universitário de Lisboa)

Este trabalho também foi orientado pela Professora Mestre Carolina Nascimento (coorientadora).

Ana Laura Gouveia Braz

2025

"This is getting harder "
sighed the boy



"Then every step you take
is a bigger victory."

Charlie Mackesy

Agradecimentos

Chegar ao fim deste trabalho é, para mim, motivo de profunda gratidão. Olhando para trás, vejo que este percurso foi feito de muito mais do que esforço individual: foi construído com o apoio, a amizade e a inspiração de tantas pessoas que me acompanharam ao longo destes anos.

Em primeiro lugar, expresso a minha sincera gratidão à minha orientadora, Prof. Dr. Clarisse Coelho, pela orientação científica, pela disponibilidade constante e por toda a confiança depositada em mim. À minha coorientadora, Prof. Carolina Nascimento, agradeço a dedicação e a paciência que tanto contribuíram para o crescimento deste projeto.

Ao Centro da Hidrovet, agradeço por ter aberto as suas portas e por todo o apoio logístico e científico que tornou possível a realização deste estudo. A todos os colegas e profissionais que participaram direta ou indiretamente no trabalho de campo, deixo o meu reconhecimento pela ajuda incansável e pelo espírito de equipa.

À Clínica Veterinária Militar de Equinos, onde realizei o meu primeiro estágio, agradeço pela forma calorosa como fui recebida, pela oportunidade de aprender com profissionais dedicados e pela experiência enriquecedora que contribuiu imensamente para o meu crescimento pessoal e académico. Agradeço especialmente à minha orientadora externa, Tenente Médica Veterinária Joana Rodrigues, ao Tenente Médico Veterinário Gonçalo Camacho e ao Major Médico Veterinário David Couto, pelos conselhos técnicos, pela partilha de conhecimento e pela disponibilidade constante para ensinar e esclarecer dúvidas. A vossa orientação e exemplo foram fundamentais para aprofundar o meu entendimento sobre a prática clínica e sobre a importância do rigor, da disciplina e da dedicação na Medicina Veterinária.

À Tierklinik Lüsche GmbH, onde realizei o meu segundo estágio, agradeço pela confiança, pelo ambiente de aprendizagem estimulante e por me permitirem consolidar conhecimentos que levarei para o futuro da minha carreira. Devo a minha profunda gratidão ao Médico Veterinário Mathias Dierckx pela companhia e pela paciência ao ouvir os meus devaneios.

Aos meus colegas e amigos da universidade, obrigada por partilharem comigo longas horas de estudo, risadas, desafios e vitórias. Agradeço também aos meus três amigos mais

chegados, ao Francisco, à Maria Isabel e à Maria Inês pelo apoio incondicional e pela amizade que me deu força em cada etapa.

Ao Miguel, obrigada pela paciência, pela compreensão e pelo amor constante, mesmo nos momentos de maior pressão e mesmo quando sou uma chata. Obrigada por estares sempre presente, por me acalmares nas fases mais difíceis e por celebrares comigo cada pequena conquista. A tua força, o teu apoio e o teu bom humor foram essenciais para me manter equilibrada ao longo deste percurso. Obrigada por acreditares em mim e por me lembrares sempre do que realmente importa. Agradeço também, do fundo do coração, à tua família, que me acolheu de forma tão simpática e calorosa, tornando-me parte do vosso mundo com generosidade e carinho.

À Bruna, que mais do que uma amiga, mais do que uma irmã, é o meu porto seguro e a minha maior fonte de conforto, obrigada por tudo. Obrigada por estares sempre presente, por me ouvires com paciência infinita, por me fazeres rir nos momentos em que mais precisava e por me dares força quando o caminho parecia demasiado longo. A tua amizade é uma das maiores bênçãos da minha vida.

À minha família, a base de tudo o que sou — ao meu pai, que me ensinou força, à minha mãe, que me ensinou resiliência, e à minha irmã mais velha, que me ensinou a ser confiante — obrigada por acreditarem sempre em mim, mesmo quando eu duvidava. O vosso amor, apoio e exemplo foram a minha maior inspiração. Cada conquista que celebro tem um pouco de cada um, e é graças a vocês que consegui enfrentar os desafios com coragem e determinação. Esta etapa é tanto minha como vossa. À minha família alargada, obrigada por todas as palavras de incentivo e pelo carinho que nunca faltou.

À Dona Branca e à minha Avó Emília, que, mesmo já não caminhando comigo, permanecem vivas em cada passo que dou. Serão para sempre a minha inspiração sobre o que significa crescer sem perder o brilho da infância, a alegria genuína e a bondade simples que deixaram em mim. A vossa memória acompanha-me todos os dias e continua a guiar-me com o mesmo amor, doçura e luz com que sempre o fizeram.

Por fim, agradeço à Merlin, à Marie, ao Poko e à Poppie, que, sem saberem, recordam-me diariamente a razão pela qual escolhi dedicar-me a esta área — são, em muitos sentidos, a origem e o destino desta jornada.

A todos os que, de alguma forma, contribuíram para que este trabalho se tornasse realidade, deixo um profundo e sincero obrigada.

Resumo

O treino em passadeira aquática (PA) pode otimizar as capacidades cardiovascular e muscular, reduzindo a carga no esqueleto axial. Este estudo teve como objetivo investigar os índices ecocardiográficos e a concentração de troponina de cavalos de salto de obstáculos após o treino na PA. Seis cavalos aptos a competir, com ~16 anos de idade e ~578 kg, foram avaliados antes (PRETR) e depois (TR) de um treino que incluiu PA (20 min, duas vezes por semana, água na altura do carpo) em uma sequência de exercícios conhecida, por 10 semanas. Os animais foram seu próprio controlo, pois praticavam as atividades com regularidade. No PRETR e TR, os animais foram examinados por meio de um teste de campo de salto (TSO), quando amostras de sangue foram obtidas antes e aos 240 minutos de recuperação para análise da troponina cardíaca (cTnI). Em repouso, antes dos TSOs, as ecocardiografias foram realizadas com transdutor de matriz faseada (1,9-4 MHz). A visão paraesternal direita de eixo curto do ventrículo esquerdo (VE) usando o Modo B foi obtida ao nível dos músculos papilares e, usando um Modo M guiado, as seguintes medidas foram obtidas diretamente: espessura do septo interventricular (SIV), diâmetro interno do VE (DIVE) e espessura da parede posterior do VE (EPPVE) no final da diástole (d) e sístole (s) e frequência cardíaca (FC). Foram calculados o volume diastólico final (Vd) e o volume sistólico final (Vs), a fração de encurtamento (FEnc%), a fração de ejeção (FEj%), o volume de ejeção (VEj) e o débito cardíaco (DC). Os dados foram analisados utilizando o teste-t pareado ($p \leq 0,05$). O treino na PA levou a aumentos significativos de SIVd (~ 2,56 vs. ~ 2,79 cm), EPPVEs (~ 4,21 vs. 4,48 cm), FEj% (~ 75,0 vs. ~ 78,6%), FEnc% (~ 46,8 vs. 50,2%), DC (~ 16,7 vs. ~ 21,3 L/min) e FC (~ 31,2 vs - 36,3 bpm); e uma diminuição significativa dos DIVEs (~ 5,99 vs. 5,68 cm). Os níveis de cTnI não foram influenciados pelo TSO em TR pós-treino, quando se registaram valores mais baixos do que no PRETR. Na população estudada, as alterações anatomofisiológicas cardíacas foram induzidas pelo treino de força gerado pelo trabalho na água, sem promover a fadiga muscular, como mostra a análise de cTnI.

Palavras-chave: Cavalos, Exercício, Troponina, Treino.

Abstract

Water treadmill (WT) training can optimize cardiovascular and muscular capacity while reducing the load on the axial skeleton. This study aimed to investigate troponin concentration and echocardiographic indices of jumping horses after WT training. Six fit-to-compete horses, ~16 years-old, ~578 kg, were evaluated before (PRETR) and after (TR) a training that included WT (20min, twice/week, water at carpus height) in a well-known exercise sequence for 10 weeks. Animals were their own control as they practiced the activities regularly. At PRETR and TR, animals were examined through a show jumping field test (SJT) when blood samples were obtained before and at 240 minutes of recovery for cardiac troponin analysis (cTnI). At rest, before SJTs, echocardiographies were performed with phased array transducer (1.9-4MHz). Short axis right parasternal view of the left ventricle (LV) using B-Mode was obtained at the level of the papillary muscles, and using a guided M-Mode, the following measurements were obtained directly: interventricular septal thickness (IVS), LV internal diameter (LVID), and posterior wall thickness (LVPW) at end-diastole (d) and systole (s) and heart rate (HR). LV end diastolic volume (EDV) and end systolic volume (ESV), fractional shortening (FS%), ejection fraction (EF%), stroke volume (SV) and cardiac output (CO) were calculated. Data was analyzed using paired t-test ($p \leq 0.05$). WT training led to significant increases of IVSd (~2.56 vs. ~2.79cm), LVPWs (~4.21 vs. 4.48cm), EF (~75.0 vs. ~78.6%), FS (~46.8 vs. 50.2%), CO (~16.7 vs. ~21.3L/min) and HR (~31.2 vs- 36.3 bpm); and a significant decrease of LVIDs (~5.99 vs. 5.68cm). cTnI levels were not influenced by post-training SJT, in which lower values were recorded compared to PRETR. In the studied population, cardiac anatomo-physiological changes were induced by strength training generated by working in the water (WT), without promoting muscle fatigue, as shown by cTnI analysis.

Keywords: Horses, Exercise, Troponin, Training.

Lista de Abreviaturas, Siglas e Símbolos

~ - Média

ATP - Trifosfato de Adenosina

BASAL – Avaliação da Aptidão Física 10 Semanas antes do Treino

B-mode - do inglês, *Two-dimensional Mode*

bpm- Batimentos por Minuto

CO - do inglês, *Cardiac Output*

CTE - Carga de Trabalho do Exercício

cTn – Troponina Cardíaca

cTnI – Troponina Cardíaca I

cTnT - Troponina Cardíaca T

CVME - Clínica Veterinária Militar de Equinos

DC - Débito Cardíaco

DIVE - Diâmetro Interno do Ventrículo Esquerdo

DIVEd - Diâmetro Interno do Ventrículo Esquerdo durante a Diástole

DIVEs - Diâmetro Interno do Ventrículo Esquerdo durante a Sístole

EA - Escola das Armas

EDV - do inglês, *End Diastolic Volume*

EF - do inglês, *Ejection Fraction*

EPPVE - Espessura da Parede Posterior do Ventrículo Esquerdo

EPPVEd - Espessura da Parede Posterior do Ventrículo Esquerdo durante a Diástole

EPPVEs - Espessura da Parede Posterior do Ventrículo Esquerdo durante a Sístole

ESV - do inglês, *End Systolic Volume*

et al. - E outros, da locução latina "*et alli*"

FC - Frequência Cardíaca

FCpico – Frequência Cardíaca Pico

FEj% - Fração de Ejeção

FEn% - Fração de Encurtamento

FR – Frequência Respiratória

FS - do inglês, *Fractional Shortening*

HR - do inglês, *Heart Rate*

IVS - do inglês, *Interventricular Septal Thickness*

IVSd – do inglês, *Interventricular Septal Thickness During Diastole*

Kg – Quilogramas

LAC - Concentração de Lactato Plasmático

LV - do inglês, *Left Ventricle*

LVID – do inglês, *Left Ventricle Internal Diameter*

LVPW - do inglês, *Left Ventricle Posterior Wall Thickness*

LVPWs - do inglês, *Left Ventricle Posterior Wall Thickness During Systole*

MHz - *Megahertz*

mL/kg/min - Mililitros por Quilograma por Minuto

M-mode – do inglês, *Movement Mode*

mmol/L - Milimoles Por Litro

Modo B - modo Bidimensional

Modo M - Modo de Movimento

PA - Passadeira Aquática

PRETR – Avaliação da Aptidão Física uma Semana antes do Treino

SIV – Espessura do Septo Intraventricular

SIVd - Espessura do Septo Interventricular durante a Diástole

SIVs - Espessura do Septo Interventricular durante a Sístole

SNA - Sistema Nervoso Autônomo

SO – Salto de Obstáculos

SV - do inglês, *Stroke Volume*

T0 – Avaliação e Recolha de Amostras Antes do Exercício Físico

T1 - Avaliação e Recolha de Amostras Até 5 Min Após a Conclusão do Exercício Físico

T2 - Avaliação e Recolha de Amostras Até 30 Min Após a Conclusão do Exercício Físico

T3 - Avaliação e Recolha de Amostras Até 4 Horas Após a Conclusão do Exercício Físico

TC – Temperatura Corporal

TnC – Troponina C

TnI – Troponina I

TnT – Troponina T

TPA - Treino em Passadeira Aquática

TR – Avaliação da Aptidão Física Pós Treino

TSO – Testes de Campo de Salto de Obstáculos

V140 – Velocidade a 140 Batimentos por Minuto

V200 - Velocidade a 200 Batimentos por Minuto

Vd - Volume Ventricular Esquerdo na Diástole

VE - Ventrículo Esquerdo

VL2 - Velocidade Atingida quando o LAC é igual a 2 mmol/L

VO₂ - Consumo de Oxigénio

VO₂max - Consumo Máximo de Oxigénio

VEj - Volume de Ejeção

Vs - Volume Ventricular Esquerdo na Sístole

WTT – do inglês, *water treadmill training*

Índice Geral

<i>Agradecimentos</i>	3
<i>Resumo</i>	7
<i>Abstract</i>	8
<i>Lista de Abreviaturas, Siglas e Símbolos</i>	9
<i>Índice Geral</i>	12
<i>Índice de Tabelas</i>	14
<i>Índice de Figuras</i>	15
<i>Índice de Gráficos</i>	16
1 Casuística de Estágio	17
1.1 Introdução	17
1.2 Clínica Veterinária Militar de Equinos	17
1.3 Tierklinik Lüsche GmbH	19
2 Introdução	22
2.1 Salto de Obstáculos	22
2.2 Treino em Equídeos	23
2.3 Passadeira Aquática.....	25
2.4 Eficiência Cardíaca	28
2.5 Efeito do Treino no Coração de Equídeos	29
2.6 Avaliação Cardiológica do Equino Atleta.....	32
2.6.1 Frequência Cardíaca.....	33
2.6.2 Ecocardiografia	37
2.6.3 Troponina	41
2.7 Objetivos do Estudo	44
3 Material e Métodos	47
3.1 Animais	47

3.2	Delineamento do Estudo.....	48
3.3	Treino de 10 Semanas usando a Passadeira Aquática.....	48
3.4	Ecocardiografia	50
3.5	Teste de Campo de Salto de Obstáculos	52
3.6	Análise estatística	54
4	<i>Resultados</i>.....	55
5	<i>Discussão</i>.....	58
6	<i>Conclusão</i>	65
7	<i>Referências Bibliográficas</i>.....	66

Índice de Tabelas

Tabela 3.1 - Protocolo de treino específico para cavalos de obstáculos com a inclusão da passadeira aquática por 10 semanas.	49
Tabela 4.1 - Características basais e de performance para seleção dos animais usados.	55
Tabela 4.2 - Parâmetros ecocardiográficos registados nos equinos de salto de obstáculos treinados na passadeira aquática.	56
Tabela 4.3 - Parâmetros fisiológicos e troponina cardíaca (médias $\pm$ desvios-padrão) dos equinos em testes de campo de salto de obstáculos, usados na avaliação de um treino físico de dez semanas usando a passadeira aquática.	57

Índice de Figuras

Figura 2.1 - A divisão energética entre as contribuições anaeróbias (rosa) e aeróbias (azul) para a produção de energia em cavalos durante eventos competitivos.....	24
Figura 2.2 - Mecanismos de cardíacos de adaptação aos exercícios.....	31
Figura 2.3 - Formulas de calculo da FEn% e da FEj%. – FS%- fração de encurtamento; EF%- fração de ejeção; LVIDd – DIVEd; LVIDs- DIVEs.....	40
Figura 2.4 – Ilustração dos diferentes componentes do complexo troponina cardíaca num coração humano.....	41
Figura 3.1 - Imagens dos equipamentos usados no projeto. (A) Ecógrafo modelo Vetus EQ, Mindray Animal Care; (B) Sonda de matriz faseada de 1,9-4 MHz, Mindray.....	51
Figura 3.2 - Imagem do exame ecocardiográfico e posicionamento da sonda no hemitórax direito.	51
Figura 3.3 - Imagem ecocardiográfica obtida de um dos equinos trabalhados. É possível visualizar o eixo curto do ventrículo esquerdo em Modo B na parte superior da imagem e em Modo M na parte inferior da imagem, com registo das mensurações à direita.....	52

Índice de Gráficos

Gráfico 1.1 - Representação da casuística observada na CVME.....	18
Gráfico 1.2 - Representação da casuística observada na CVME.....	19
Gráfico 1.3 - Representação da casuística observada na Tierklinik Lüsche GmbH.....	21
Gráfico 1.4 - Representação da casuística observada na Tierklinik Lüsche GmbH.....	21
Gráfico 2.1 - Relação entre a velocidade de corrida e a frequência cardíaca de 4 m/s até à velocidade máxima (12 m/s) num cavalo de corrida Puro-Sangue apto para competir....	34
Gráfico 2.2 - Relação entre % da frequência cardíaca máxima e %VO ₂ max em cavalos com diferentes níveis de aptidão física.	34

1 Casuística de Estágio

1.1 Introdução

No âmbito da conclusão do Mestrado Integrado em Medicina Veterinária, a autora realizou dois estágios curriculares com a duração de três meses cada, em duas instituições de referência na medicina equina: a Clínica Veterinária Militar de Equinos (CVME) e a Tierklinik Lüsche GmbH (Alemanha). Estes estágios permitiram o aprofundamento dos conhecimentos teórico-práticos adquiridos ao longo do seu percurso académico, proporcionando, simultaneamente, uma experiência prática essencial para o desenvolvimento de competências clínicas na área da medicina veterinária equina.

1.2 Clínica Veterinária Militar de Equinos

A CVME constitui a principal unidade de apoio ao tratamento do efetivo equino do Exército, estando localizada na Escola das Armas (EA), em Mafra, Portugal. Esta infraestrutura está dotada de instalações especializadas para a prestação de cuidados médicos e cirúrgicos, incluindo uma sala de tratamento equipada com um tronco de contenção, uma sala de radiografia, uma enfermaria com cinco boxes para internamento, um laboratório, uma farmácia, um bloco operatório com uma área adjacente de indução e recobro, bem como um anfiteatro para observação de intervenções cirúrgicas.

A Escola das Armas alberga um efetivo de 103 equinos distribuídos por 80 boxes e 13 *paddocks* em rotação. Para além das instalações destinadas ao alojamento, a EA conta com diversas infraestruturas de suporte, entre as quais uma oficina siderotécnica para ferração, dois picadeiros cobertos, uma guia mecânica, uma pista de galope, um campo de areia, um campo de relvado para saltos de obstáculos e uma área dedicada ao treino de *cross-country*.

No decorrer do estágio, ficou sob a responsabilidade da autora, a assistência aos equinos hospitalizados na enfermaria, garantindo a administração da medicação e dos tratamentos necessários para uma recuperação eficaz. No desempenho desta função, a autora teve a oportunidade de executar, de forma autónoma, uma variedade de procedimentos, incluindo a higienização e desinfeção de feridas, o cálculo de doses e a preparação de fármacos, assim como a sua administração por via oral e parenteral (intravenosa, intramuscular e subcutânea). Adicionalmente, pôde desempenhar tarefas como a realização de pensos, cateterização, intubação nasogástrica e palpação retal, para além de atos de medicina profilática, tais como,

vacinação e desparasitação. No âmbito da imagiologia, a autora, pôde ganhar experiência na realização e interpretação de exames radiográficos e ecográficos.

Adicionalmente, foi-lhe solicitado que realizasse a apresentação de artigos científicos da sua escolha, com o objetivo de fomentar o pensamento crítico e aprimorar as competências de comunicação e colaboração dentro da equipa.

Durante o período de estágio, acompanhou a equipa veterinária em consultas de caráter urgente e rotineiro. A casuística (Gráfico 1.1 e Gráfico 1.2) observada foi predominantemente ortopédica, contudo, também teve a oportunidade de assistir a casos de medicina interna, incluindo cólicas e doenças endócrinas, bem como intervenções cirúrgicas, tais como remoção de fragmentos articulares ("*chips*") e castrações. A autora pôde ainda acompanhar os médicos veterinários na implementação de planos de profilaxia, na realização de exames pré-compra e na elaboração de resenhas técnicas.

Concluindo, este estágio foi uma experiência fundamental para o aprimoramento da capacidade prática da autora, na medicina veterinária equina. Os desafios enfrentados contribuíram para a sua evolução técnica, aumentando a sua segurança na execução de procedimentos e na tomada de decisões.

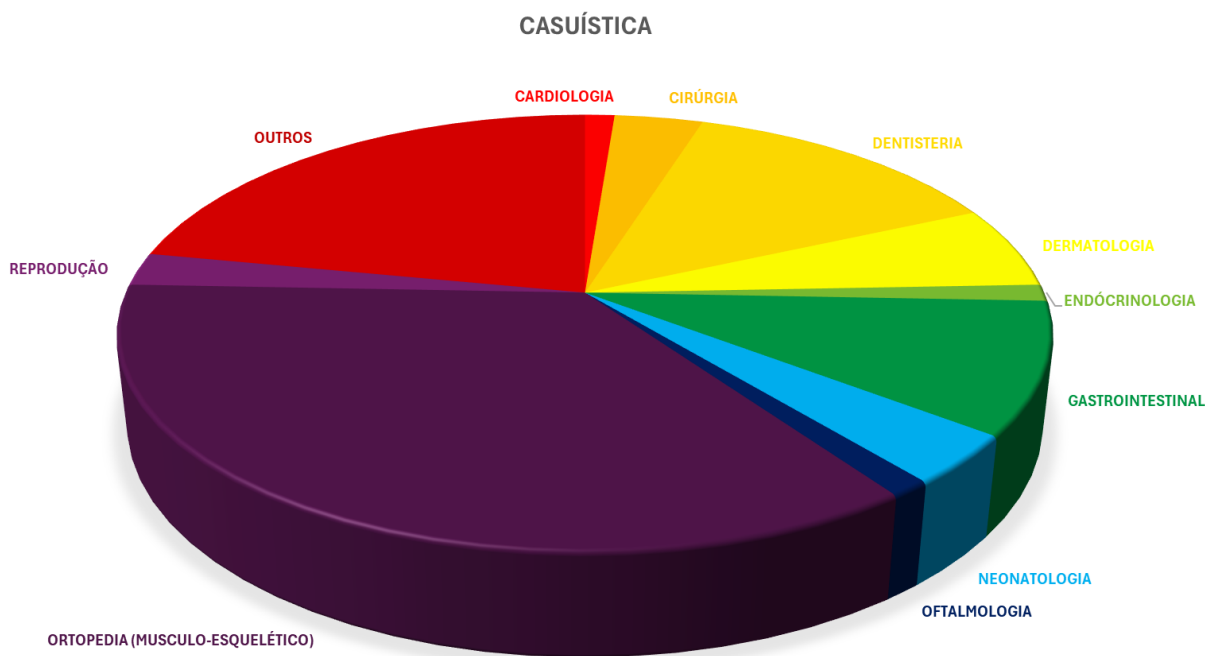


Gráfico 1.1- Representação da casuística observada na CVME

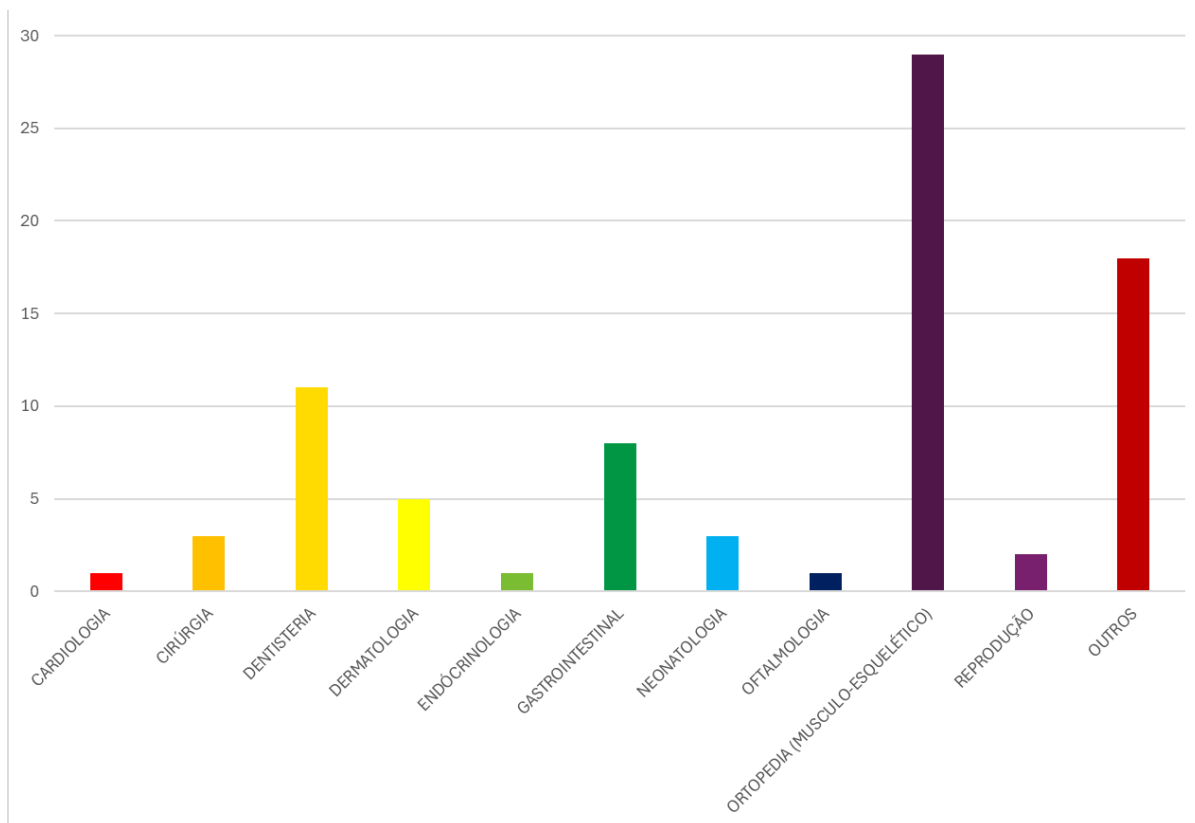


Gráfico 1.2 - Representação da casuística observada na CVME

1.3 Tierklinik Lüsche GmbH

A Tierklinik Lüsche GmbH é uma das clínicas de equinos de maior renome da Europa. Localizada em Bakum, na Baixa Saxónia, Alemanha, conta com uma equipa altamente qualificada de veterinários especializados em diversas áreas da medicina equina, oferecendo uma ampla gama de serviços, incluindo ortopedia, cirurgia, medicina interna, neonatologia, nutrição, oftalmologia, odontologia e reabilitação.

A clínica está equipada com instalações de ponta, como salas de cirurgia modernas, consultórios especializados (oftalmologia, dentisteria, imagiologia, incluindo radiologia e ecografia, entre outros), unidades de terapia intensiva, bem como unidades de isolamento, laboratório, farmácia e ferração internas. Estas infraestruturas garantem diagnósticos precisos e tratamentos eficazes para os pacientes equinos. Adicionalmente, a clínica possui quatro estábulos, incluindo um destinado ao isolamento de pacientes submetidos à cintigrafia, totalizando 81 boxes, um picadeiro interior equipado com o programa *Qualisys - QHorse*,

lameness analysis, 12 *paddock*s, sala de cintigrafia (com suporte de duas boxes), ressonância magnética e tomografia computadorizada.

A Tierklinik Lüsche investe continuamente em tecnologia avançada e na formação da sua equipa. Para tal, promove reuniões e *workshops* semanais, onde um médico veterinário apresenta um tema à sua escolha, permitindo a atualização constante dos profissionais com os mais recentes avanços científicos e técnicos na medicina veterinária.

Durante a estadia da autora na clínica, esta foi responsável pelos exames físicos e pela administração da medicação matinal dos pacientes internados. Posteriormente, prestava apoio a diferentes setores da clínica, realizando rotações semanais por quatro estações distintas, acompanhando o interno encarregado de cada área.

Nas semanas em que esteve em trabalho de estábulo, a autora auxiliou na clínica rotineira dos animais, colaborando na realização de pensos, na colocação e remoção de cateteres, na administração de fármacos e na reavaliação ortopédica. Durante o período em cirurgia, esta participou em exames pré e pós-operatórios, bem como na assistência a inúmeras intervenções cirúrgicas, incluindo castrações e artroscopias, dando ênfase à foraminectomia – técnica desenvolvida e aplicada nesta clínica.

Quando designada para os cuidados intensivos, participou ativamente nos procedimentos necessários para um tratamento eficaz dos pacientes, envolvendo-se em atividades como entubação nasogástrica, administração de fármacos, ecocardiografias e ecografias. Por fim, ao apoiar o consultório, a autora teve a oportunidade de acompanhar consultas em diversas áreas da medicina interna e ortopedia, auxiliando igualmente em exames imagiológicos.

Excecionalmente, a autora teve a oportunidade de acompanhar veterinários em regime ambulatorio, prestando cuidados médico-veterinários a equinos no norte da Alemanha.

No que toca à casuística (Gráfico 1.3 e Gráfico 1.4), esta foi maioritariamente de medicina interna, apesar de ter tido a oportunidade de participar em enumeras intervenções cirurgicas e casos ortopédicos.

Assim, este estágio representou uma oportunidade valiosa para aplicar na prática, os conhecimentos teóricos adquiridos ao longo dos cinco anos da formação académica da autora. Durante este período, a mesma pôde aprimorar as suas habilidades práticas e desenvolver um olhar mais crítico na abordagem clínica e terapêutica a equinos. Além disso, os desafios enfrentados contribuíram significativamente para o seu desenvolvimento, tanto profissional

quanto pessoal, fortalecendo a sua capacidade de tomada de decisão, resolução de problemas e trabalho em equipa.

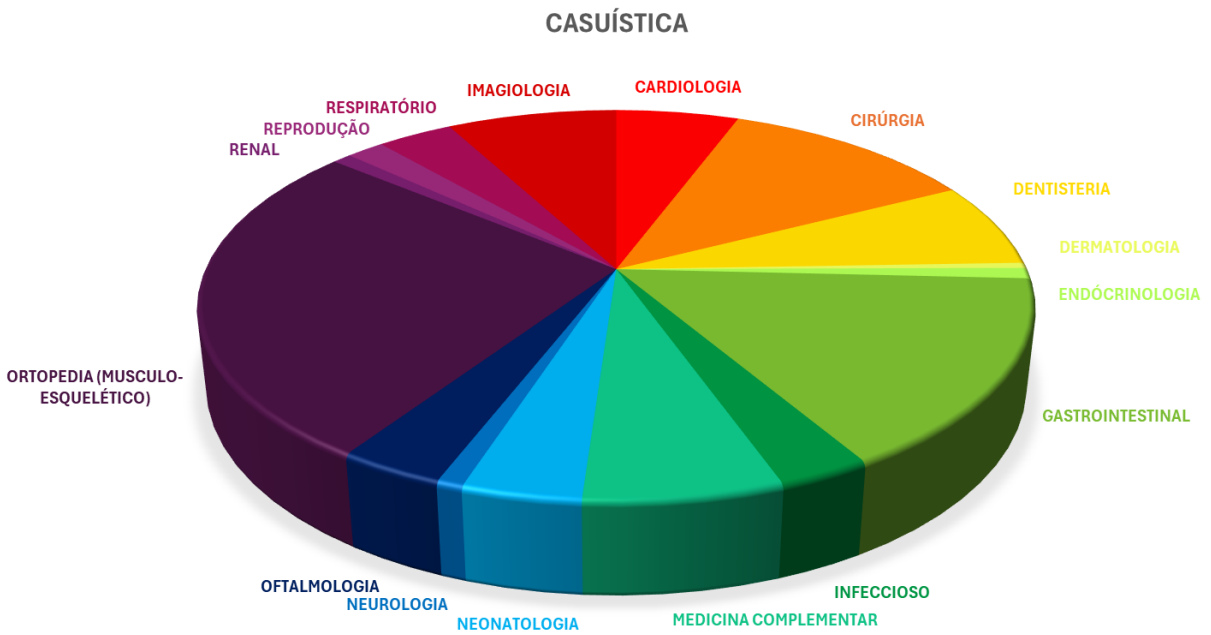


Gráfico 1.3 - Representação da casuística observada na Tierklinik Lüsche GmbH

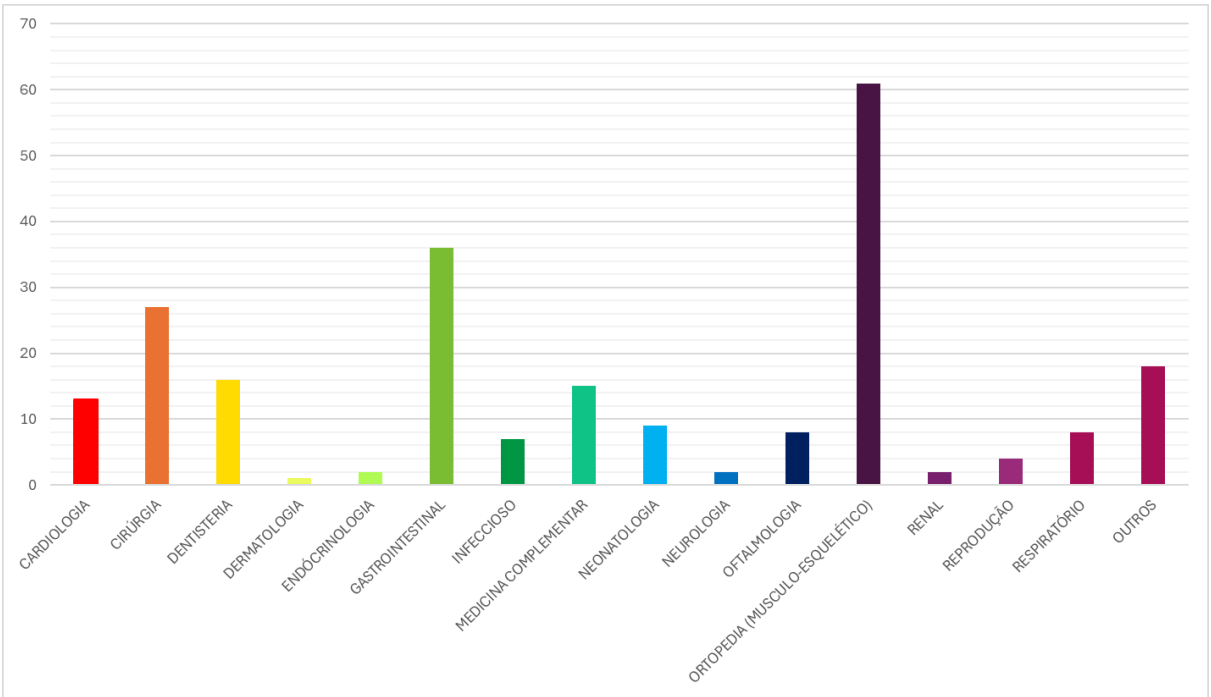


Gráfico 1.4 - Representação da casuística observada na Tierklinik Lüsche GmbH

2 Introdução

2.1 Salto de Obstáculos

O salto de obstáculos (SO) é um dos três desportos equestres olímpicos. Este exige uma sinergia entre velocidade, destreza e agilidade para transpor um conjunto de obstáculos (Fazio et al., 2014). Trata-se de uma disciplina complexa, que exige do cavalo não apenas capacidades técnicas e físicas específicas, mas também uma resposta fisiológica adaptada aos esforços intensos e intermitentes deste tipo de prova. Esta aptidão equestre resulta da integração de todas as características fisiológicas, biomecânicas e anatómicas do cavalo, sendo que algumas destas podem ser otimizadas através do treino (Evans, 2000).

Nesta modalidade, a exigência do exercício influencia as proporções relativas das fontes de energia aeróbia e anaeróbia (Kiely et al., 2020). Assim, a coexistência destas vias metabólicas constitui uma característica significativa para os animais que praticam SO, uma vez que os equídeos devem ser capazes de gerar a potência explosiva necessária para transpor obstáculos exigentes a uma velocidade relativamente baixa e num curto espaço de tempo (Kirsch et al., 2022).

A elevação da FC observada em vários estudos confirma que o SO é um desporto extenuante, apesar da sua velocidade média relativamente baixa, sendo o metabolismo anaeróbio o principal contribuinte para o fornecimento de energia, como demonstrado pela acumulação de lactato plasmático (LAC) (Art et al., 1990; Soares et al., 2016; Weeren, 2014). Esta situação é justificada pelo elevado consumo de energia necessário para superar a inércia corporal durante a fase inicial do salto e a subsequente aterragem (Weeren, 2014). Apesar da reconhecida importância do metabolismo anaeróbio nestas provas, a capacidade aeróbia desempenha um papel fundamental, sobretudo na diferenciação competitiva dos animais nesta modalidade desportiva, desempenhando igualmente um papel crucial no suporte e na sustentação da *performance* global (Soares et al., 2016).

Por conseguinte, equídeos com uma base aeróbia bem desenvolvida tendem a apresentar menor fadiga, maior tolerância ao treino e melhores respostas cardiovasculares, fatores que influenciam diretamente a sua capacidade de manter o rendimento ao longo da prova (Lekeux et al., 1991; Soares et al., 2016). Desta forma, o treino aeróbio, apesar de não constituir o objetivo primário desta disciplina, deve ser integrado como um componente fundamental de um programa de preparação equilibrado (Soares et al., 2016).

Assim, ao conceber um programa de treino para cavalos de SO, é aconselhado abordar três áreas: a aptidão cardiovascular, a força muscular e a flexibilidade. O condicionamento cardiovascular melhora a capacidade aeróbia, mantendo uma potência anaeróbia suficiente para os aspetos energéticos intensivos da competição, o treino de força aumenta a potência muscular nos grupos musculares apropriados e os exercícios de apoio melhoram o atletismo do cavalo e reduzem o risco de lesões. Esta abordagem permite preparar o equino de forma holística para os desafios físicos e energéticos desta exigente modalidade olímpica (Weeren, 2014).

2.2 Treino em Equídeos

O treino físico constitui um fator determinante na diminuição de riscos para a saúde e no desempenho atlético, tanto em humanos como em animais. Diversos estudos têm demonstrado que a prática regular de exercício físico promove adaptações fisiológicas significativas, melhorando a saúde e a capacidade funcional dos indivíduos (Arfuso et al., 2016; Bowman et al., 2021; Nightingale et al., 2018).

No âmbito da medicina veterinária desportiva, nomeadamente na preparação de equídeos atletas, a implementação sistemática de programas de treino desencadeia um conjunto coordenado de adaptações estruturais e funcionais no sistema cardiovascular e no aparelho muscular (Poole & Erickson, 2014), refletindo-se, por exemplo, no aumento do consumo máximo de oxigénio (VO_{2max}), que pode aumentar entre 10% e 25% em resposta ao treino (Holloszy & Coyle, 1984; Rowell, 1993; Saltin & Gollnick, 2011). Contudo, é importante salientar que estas adaptações variam em função da condição física inicial do animal. Indivíduos com maior aptidão apresentam uma menor margem de melhoria, o que ressalta a importância de um planeamento individualizado do treino (Poole & Erickson, 2014).

A determinação de um regime adequado é fundamental para preservar a integridade física e a capacidade atlética dos equinos, devendo considerar-se as exigências competitivas de diferentes desportos para a conceção de programas de treino adequados (Evans, 2000). Assim, pode-se garantir que os animais alcancem um nível suficiente de condicionamento, reduzindo o risco de esforço excessivo e lesão, conseguindo melhorar o desempenho em relação ao potencial genético individual (Bello, 2012).

O treino básico de cavalos em idade competitiva é, de um modo geral, estruturado em três fases progressivas: a fase de fundação (com foco em resistência contínua), a fase

cardiovascular ou aeróbia e, por fim, a fase de melhoramento do metabolismo anaeróbio. Cada uma destas etapas tem como objetivo o desenvolvimento de componentes específicos da aptidão física, respeitando os princípios da sobrecarga progressiva e da especificidade de cada modalidade (Gerard et al., 2014).

A aptidão física em equinos representa a aquisição de um estado metabólico adaptado, no qual o animal é capaz de sustentar exigências desportivas com eficiência e segurança (Szabó et al., 2021; Tyler et al., 1996). Contudo, a natureza da modalidade desportiva determina se a energia é produzida principalmente de uma forma ou de outra (Figura 2.1). Os cavalos de *endurance*, por exemplo, são treinados para desenvolver elevada capacidade aeróbia em intensidades submáximas, enquanto os cavalos de corrida são condicionados para esforços breves e intensos, que requerem uma capacidade anaeróbia mais significativa (Léguillette et al., 2019).

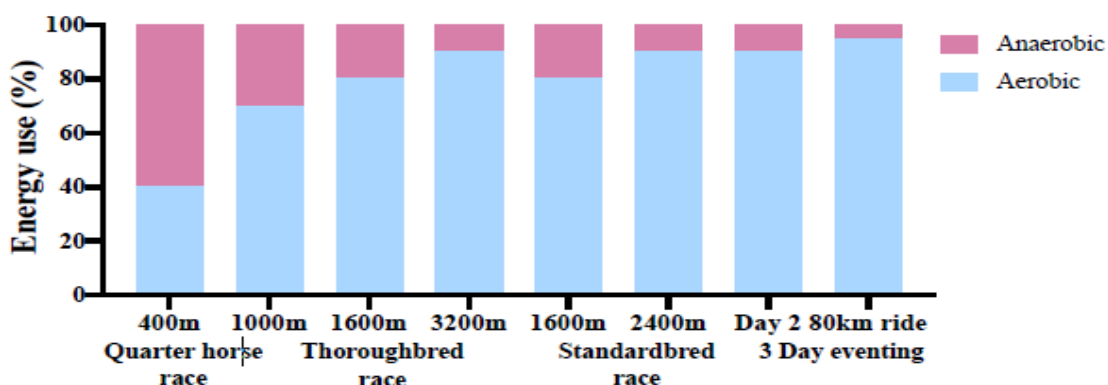


Figura 2.1 - A divisão energética entre as contribuições anaeróbias (rosa) e aeróbias (azul) para a produção de energia em cavalos durante eventos competitivos. (Eaton, 1994)

A relação entre a FC e a concentração de LAC é amplamente utilizada para avaliar a intensidade ótima do treino e a eficiência metabólica, permitindo ajustes individualizados no programa de condicionamento (Galloux et al., 1993). Estudos relatam que, após treinos de *endurance*, verifica-se uma redução da LAC para uma mesma intensidade de esforço, refletindo uma maior eficácia do metabolismo aeróbio e uma menor dependência do metabolismo anaeróbio (Agüera et al., 1995; Essén, 1977; Persson et al., 1983). Adicionalmente, de acordo com Marlin & Nankervis (2013), o condicionamento cardiovascular resulta num aumento da participação das vias aeróbias, conforme refletido pelas alterações nas fibras musculares. A análise histológica de biópsias musculares em equídeos treinados demonstrou uma predominância de fibras do tipo IIA, que apresentam uma capacidade oxidativa superior, e uma

diminuição na proporção de fibras do tipo IIB. Esta modificação apresenta-se como favorável para equídeos que se dediquem a atividades desportivas predominantemente de carácter aeróbio (McCrae, 2019). Porém, a relação entre ambas as vias, não depende apenas da capacidade metabólica, mas também pode ser afetada pelo estado de saúde e por parâmetros hereditários, como a raça e a conformação corporal (Marlin & Nankervis, 2013).

2.3 Passadeira Aquática

A finalidade principal da prática de treino em equídeos consiste em retardar a manifestação de sinais de fadiga durante o exercício, permitindo ao animal suportar esforços físicos intensos por períodos mais prolongados (Boffi, 2007). Para tal, os equinos são sujeitos a sessões de treino de alta intensidade, para melhorar a sua aptidão cardiorrespiratória (Firshman et al., 2015). No entanto, os programas tradicionais de condicionamento com exercícios extenuantes no solo podem causar tensões excessivas e sobrecarga nas estruturas de suporte esquelético, resultando em lesões nos membros (Thorpe et al., 2010). Métodos alternativos, como o treino em meio aquático, têm vindo a ganhar destaque pois a flutuabilidade da água diminui a pressão sobre as estruturas anatómicas dos membros, permitindo concomitantemente desenvolver a capacidade metabólica dos músculos (Vincze et al., 2013).

As PAs foram originalmente concebidas para a reabilitação de lesões músculo-esqueléticas, como uma componente de programas de reabilitação. Contudo, rapidamente o seu uso expandiu-se para o condicionamento de atletas (Tranquille et al., 2018; Voss et al., 2002), sendo progressivamente integrado na rotina de treinos e na recuperação após exercício extenuante ou, ainda, para prevenir ou tratar lesões, preservando simultaneamente o condicionamento aeróbio (Dowzer et al., 1999; Reilly et al., 2003; Schaal et al., 2012).

Ainda que se verifiquem lacunas no conhecimento sobre o treino aquático, vários autores (Greco-Otto et al., 2017; Scott et al., 2010; Voss et al., 2002) apontam para a sua classificação como um exercício de intensidade baixa a moderada, puramente aeróbio (McCrae, 2019; Muñoz et al., 2019; Tranquille et al., 2017; Vincze et al., 2013, 2017), sendo que uma maior carga de trabalho pode ser alcançada através do aumento da resistência colocada pela água (Sikorska et al., 2025). Esta circunstância confere-lhe uma adequação particular para a sua inclusão em programas de treino de animais jovens (McCrae, 2019).

Dentre os benefícios significativos já descritos para equídeos atletas, destacam-se o aumento da capacidade aeróbia (Greco-Otto et al., 2020), a melhoria da amplitude de movimento das articulações dos membros (McCrae et al., 2021; Mendez-Angulo et al., 2013) e da região dorsal (Mooij et al., 2013; Nankervis et al., 2016), bem como a otimização da função de membros artríticos (King et al., 2013). Paralelamente, o recurso à PA contribui para a redução das acelerações segmentares dos membros anteriores e para a diminuição do choque de impacto (Greco-Otto et al., 2019).

Num estudo realizado por Vincze et al. (2013), foi avaliado o efeito do exercício em PA a uma intensidade elevada em quatro cavalos de SO. O treino mostrou-se benéfico devido ao aumento da capacidade aeróbia. Esta observação foi corroborada no estudo de McCrae (2019), no qual os equídeos, ao final de um treino de 18 dias, apesar de não terem aumentado a velocidade máxima atingida na pista de corrida, demonstraram um aumento da sua resistência.

Estes efeitos sugerem que a PA pode constituir um complemento valioso a diferentes programas de treino e/ou reabilitação, desde que o protocolo adotado promova adaptações fisiológicas e de locomoção alinhadas com os objetivos definidos (Nankervis et al., 2021). Não obstante, não é aconselhável como modalidade exclusiva ou principal de exercício, exceto quando especificamente indicada para a reabilitação de lesões e, mesmo nessa situação, por períodos limitados (McCrae, 2019; Nankervis et al., 2021). De uma forma geral, a PA deve ser utilizada como complemento ao trabalho em terra, integrando-se num programa equilibrado que maximize os benefícios fisiológicos e biomecânicos, enquanto minimiza potenciais efeitos adversos (Schaal et al., 2012).

A utilização da PA requer atenção e compreensão das propriedades da água. As variáveis em consideração são: fluutuabilidade, densidade, viscosidade, atrito e tensão superficial.

A fluutuabilidade corresponde à força ascendente exercida sobre um objeto submerso na água. Conforme o princípio de *Arquimedes*, um objeto sofre um impulso para cima igual à massa total do fluido deslocado (Haralson, 1985). Esta propriedade da água diminui a carga estática nas articulações, mas permite que os músculos desenvolvam a capacidade anaeróbia (Lindner et al., 2010, 2012; Nankervis et al., 2008).

Por sua vez, a densidade determina a capacidade de um objeto de flutuar ou de se afundar num determinado líquido. Este fenómeno é influenciado por diversos fatores, nomeadamente a composição corporal do paciente (os animais magros ou musculados

afundam-se, enquanto os animais com mais gordura corporal flutuam), a temperatura da água e a presença ou ausência de substâncias dissolvidas na mesma (McGowan & Goff, 2016).

A viscosidade representa a medida da resistência de um fluido à deformação (Korson et al., 1969). Deste modo, a água apresenta uma viscosidade significativamente superior à do ar, resultando num aumento da resistência e do esforço necessário para o movimento (Prankel, 2008). Este constitui um mecanismo substancial de condicionamento da hidroterapia, uma vez que foi demonstrado que aumenta a força muscular e cardíaca no homem (Geigle et al., 1997).

De acordo com Evans et al. (1978), o atrito é determinado pela densidade do fluido, pela velocidade do objeto relativamente ao fluido, por um coeficiente de atrito e pela área frontal submersa na água. Adicionalmente, é importante notar que os equídeos possuem membros longos e estreitos, o que resulta num atrito muito menor ao experienciado pelos seres humanos. À medida que a profundidade da água aumenta, o atrito aumenta também, originando movimentos mais lentos dos cavalos na água em comparação com os movimentos efetuados em terra (Evans et al., 1978).

A tensão superficial da água é superior à tensão de vapor pressurizado, uma vez que as moléculas de água se unem mais firmemente à superfície. Esta situação, sugere que a ação de sair e voltar a entrar na água pode apresentar um grau de dificuldade superior ao de empurrar através da água. Por conseguinte, os animais mais fracos podem ser mais eficazes em águas mais profundas, das quais não conseguem sair (McGowan & Goff, 2016).

Consequentemente, a lógica subjacente à utilização das PAs para reabilitar e condicionar encontra-se fundamentada nas propriedades anteriormente mencionadas. A hipótese predominante é que a flutuabilidade reduz a pressão exercida sobre as articulações (McClintock et al., 1987; Vincze et al., 2013) e que a água cria um elevado grau de resistência, aumentando a carga de trabalho sem um aumento das forças de impacto (Marlin & Nankervis, 2013). Adicionalmente, foi demonstrado no ser humano que o condicionamento em PA pode alcançar as mesmas respostas fisiológicas e aptidão cardiorrespiratória que o condicionamento na passadeira seca (Brubaker et al., 2011; Greene et al., 2009; Silvers et al., 2007; Wyatt et al., 2001), porém sem impactos prejudiciais. Em contraste com a natação, o efeito deste treino baseia-se no movimento dos membros contra a resistência da água, sem que o corpo fique em flutuação (Voss et al., 2002).

Atualmente, os protocolos para a utilização de PA em equinos são extremamente limitados e não estão amplamente disponíveis. Embora alguns fabricantes forneçam protocolos

de reabilitação equina, não existem, à data de hoje, protocolos de condicionamento físico bem fundamentados disponíveis (McCrae, 2019). Importa salientar que é imperativo que os equídeos estejam adequadamente habituados ao processo de treino (Nankervis & Williams, 2006).

Ainda, vale ressaltar que apesar de o condicionamento em PA ser oferecido por muitas instalações, os efeitos deste exercício nos parâmetros fisiológicos ainda carecem de estudos adicionais devido à quantidade de variáveis envolvidas, tais como a altura da água, a velocidade, a duração e a frequência dos treinos. Esta observação foi registada em vários estudos que empregaram um protocolo de condicionamento de quatro a oito semanas, durante o qual não se verificaram alterações significativas nas propriedades cardiovasculares ou musculares (Borgia et al., 2010; Firshman et al., 2015; Tranquille et al., 2017). Adicionalmente, foram descritos riscos associados, incluindo a fadiga localizada e alterações no recrutamento muscular (Tokuriki et al., 1999), bem como possíveis problemas podais ou cutâneos (Nankervis et al., 2021; Thorpe et al., 2010; Tranquille et al., 2018).

2.4 Eficiência Cardíaca

A relevância do papel do coração na determinação do desempenho atlético tem sido objeto de especulações e investigações, tanto na medicina desportiva humana como na equina, com estudos a demonstrar uma associação positiva entre a morfologia e a função cardíaca com o rendimento desportivo em cavalos de corrida (Young, 2003; Young et al., 2005).

O coração dos equídeos apresenta uma dimensão superior em proporção ao peso vivo, quando comparado com outros grandes mamíferos, sendo o seu tamanho, um fator determinante no volume de ejeção (VEj), no DC e, por consequente na capacidade aeróbia e no desempenho físico (Li et al., 2018; Poole & Erickson, 2014). Por este motivo, o sistema cardiovascular do equino foi desenvolvido de forma a assegurar uma circulação sanguínea eficiente, com o objetivo de manter uma pressão arterial adequada e otimizar o fluxo de oxigénio a todos os tecidos (Evans & Hogson, 2014; Li et al., 2018).

O DC constitui o principal determinante do $VO_2\text{max}$, sendo, por sua vez, influenciado tanto pelo VEj como pela FC, a qual pode aumentar até cerca de 10 vezes durante o exercício extenuante (Poole, 2004; Poole & Erickson, 2014; Vincent et al., 2006). Esta é uma das várias características que permitem que o $VO_2\text{max}$ alcançado pelo equino, durante exercícios intensos, atinja valores superiores ao dobro da maioria dos atletas humanos de elite (Evans, 2007; Jones

& Lindstedt, 1993; Poole & Erickson, 2011). Consequentemente, o equino é considerado um atleta de excelência quando comparado com outros animais (Poole & Erickson, 2014).

2.5 Efeito do Treino no Coração de Equídeos

O termo "coração de atleta" tem sido empregue para descrever a remodelação cardíaca fisiológica, que ocorre no coração de atletas humanos e equídeos, que praticam exercício físico intenso e repetitivo (Maron & Pelliccia, 2006; Pluim et al., 2000). Para atender as exigências metabólicas e mecânicas acrescidas do treino, ocorrem adaptações bioquímicas, elétricas, morfológicas e mecânicas no músculo cardíaco que, em conjunto, melhoram a sua função (Blomqvist & Saltin, 1983). Em geral, o treino regular pode levar a um aumento do peso do coração, à melhoria da sua função como bomba e ao desenvolvimento capilar, aumentando o fornecimento de oxigénio ao miocárdio (Patteson, 1993; Pluim et al., 2000; Tyler et al., 1996). Estas alterações reduzem o esforço sobre as paredes ventriculares e, simultaneamente, satisfazem a necessidade de um maior fornecimento de sangue, permitindo ao atleta atingir o seu desempenho máximo (Grossman et al., 1975; Natali, 2004).

De acordo com as investigações efetuadas, o treino atlético em humanos provoca alterações substanciais nas dimensões cardíacas (Wilmore & Costill, 2022). Por sua vez, estas alterações também foram observadas em equídeos (Buhl et al., 2005). A massa cardíaca de equídeos da raça Puro-Sangue é, em média, de aproximadamente 4 a 5 quilogramas (Kg), ou seja, 1% do peso corporal. Adicionalmente, os equídeos sujeitos a treino apresentam uma massa cardíaca relativa ligeiramente mais elevada (1,1%) em comparação com os equídeos não sujeitos a treino (0,94%), o que parece sugerir que o exercício regular causa hipertrofia do músculo cardíaco (Evans, 2007; Kubo et al., 1974; Marr & Bowen, 2010).

Young (1999) realizou um programa de treino em cavalos de Puro-Sangue com dois anos de idade, tendo concluído que a hipertrofia cardíaca resultava de um aumento da espessura média da parede, de um aumento da massa muscular calculada do VE e de uma dilatação das câmaras cardíacas. Resultados semelhantes, incluindo aumentos significativos da DIVE durante a diástole (DIVED) e da massa ventricular esquerda, foram observados em *Standardbreds* jovens após 18 meses de treino (Buhl et al., 2005; Kriz & Rose, 1996; Marr et al., 1999; Rueca et al., 1999; Young, 1999).

Além disso, associações significativas entre o tamanho do ventrículo esquerdo, o VO_2max e o desempenho em provas de corrida foram evidenciadas (Buhl et al., 2005; Young et al., 2002, 2005), inclusive em cavalos Puro-Sangue (Buhl et al., 2005; Young et al., 2005). Tais adaptações induzidas pelo treino podem ser preservadas durante pelo menos 10 semanas, em cavalos jovens de raça Puro-Sangue, desde que lhes seja permitida atividade espontânea (pastagem) (Mukai et al., 2006).

A cinética do consumo de oxigênio (VO_2) representa a velocidade com que o VO_2 se adapta às exigências metabólicas impostas pelo início ou alteração da intensidade do exercício. Em equídeos atletas, esta variável assume particular importância, uma vez que um ajuste mais eficiente do VO_2 permite uma transição mais rápida para o metabolismo aeróbio, reduzindo a dependência de vias anaeróbias nos momentos iniciais do esforço (Poole, 1997; Poole & Erickson, 2011). Este processo implica um aumento progressivo do VO_2 , até se atingir um novo estado de equilíbrio adequado à intensidade da atividade (Hodgson & McGowan, 2014). Um VO_2 mais responsivo está associado a uma menor produção de LAC e a uma utilização mais económica dos substratos energéticos, resultando numa melhoria do desempenho e da resistência ao esforço (Art et al., 1990). O treino físico, em particular o de carácter aeróbio, promove adaptações que aceleram esta resposta, otimizando a capacidade funcional do sistema cardiorrespiratório equino (Almeida & Araújo, 2003; Blomqvist & Saltin, 1983; Hodgson & McGowan, 2014; McGuire et al., 2001; Poole & Erickson, 2011; Seals & Chase, 1989).

Em condições de exercício submáximo, o treino promove uma aceleração da cinética do VO_2 , contribuindo para um controlo metabólico mais eficiente, o qual se traduz no aumento do VEj e na consequente diminuição da FC (Holloszy & Coyle, 1984; Poole, 1997; Poole & Erickson, 2011; Poole & Mathieu-Costello, 1990; Saltin & Gollnick, 2011). A magnitude da resposta adaptativa ao treino pode ser influenciada por variáveis como a hipóxia, a intensidade, a frequência e a duração.

Adicionalmente, segundo a literatura, a morfologia e a função cardíacas são influenciadas pelo tipo de desporto praticado, bem como pela duração do treino. O exercício de alta intensidade e longa duração resulta numa adaptação que visa responder às exigências diastólicas, enquanto o desporto de alta potência e curta duração promove um aumento da espessura da parede em resposta à elevada exigência de pós-carga (Chanda & Petchdee, 2022).

Os mecanismos de hipertrofia do ventrículo esquerdo foram inicialmente descritos por Grossman et al. (1975), que identificaram dois padrões distintos de resposta adaptativa,

consoante a forma como são produzidas novas miofibrilas: em série, resultando no aumento do volume da câmara, ou em paralelo, conduzindo ao espessamento da parede ventricular. Estas adaptações ocorrem em resposta ao tipo de carga hemodinâmica imposta ao coração, sendo o aumento da pré-carga associado à adição de miofibrilas em série, enquanto o aumento da pós-carga estimula a hipertrofia paralela. Em ambas as situações, o objetivo fisiológico é a normalização da tensão da parede, conforme descrito pela lei de *La Place* (Colan, 1997).

Deste modo, treinos de resistência (*raides*) resultam numa adaptação que visa responder às exigências diastólicas, no chamado treino de sobrecarga volumétrica ou treino dinâmico, gerando uma hipertrofia cardíaca excêntrica. Já exercícios de alta potência e curta duração (corridas) promovem um aumento da espessura da parede em resposta à elevada exigência de pós-carga (sobrecarga sistólica), no chamado treino de sobrecarga pressórica ou treino estático, gerando uma hipertrofia cardíaca concêntrica (Figura 2.2) (Chanda & Petchdee, 2022; Gilbert et al., 1977; McKeever et al., 1987; Opie & Lopaschuk, 1998; Trachsel et al., 2016; Young, 1999).

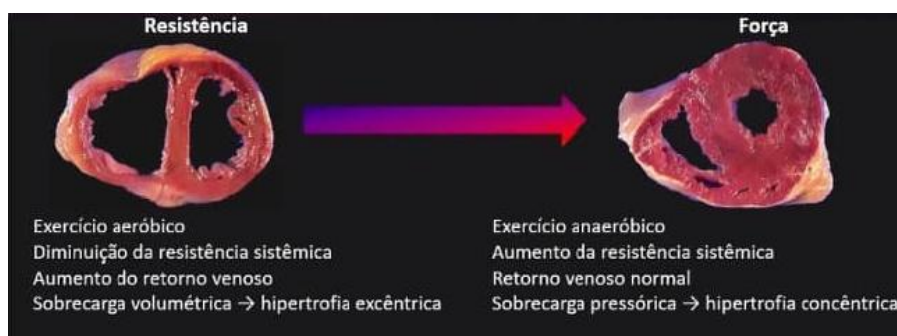


Figura 2.2 - Mecanismos de cardíacos de adaptação aos exercícios (Reproduzido de “Como funciona a Aplicação Prática do Strain no Diagnostico Diferencial das Hipertrofias Cardíacas”. Por Ana Cristina Novaes Primo. Retirado a 26 de agosto de 2020 de <https://blog.escolaecopeco.com.br/como-funciona-a-aplicacao-pratica-do-strain-no-diagnostico-diferencial-das-hipertrofias-cardiacas>)

Neste contexto, a literatura evidencia que modalidades como o SO, classificado como um desporto anaeróbio intermitente de alta intensidade de potência, resulta num aumento da espessura da parede cardíaca. Este fenómeno é semelhante ao observado previamente em atletas humanos, cujos estudos demonstraram que o aumento da espessura da parede do VE constitui uma adaptação cardíaca associada a atividades de "potência" (por exemplo, *sprinting* e levantamento de pesos), ou desportos em que a atividade ocorre em rajadas curtas, como o *squash* (Barbier et al., 2006; Chanda & Petchdee, 2022; Pluim et al., 2000; Wilmore & David Costill, 2022).

Por outro lado, existe uma forte correlação entre a morfologia cardíaca e as alterações funcionais induzidas por exercícios aeróbios de baixa a moderada intensidade, como o adestramento (*dressage*). Em particular, observou-se uma relação significativa entre o DIVE e a resposta da atividade elétrica cardíaca em cavalos submetidos a exercício de resistência, sugerindo uma adaptação estrutural específica a este tipo de exigência fisiológica. De forma consistente, observou-se um aumento das dimensões cardíacas em modalidades aeróbias de intensidade moderada, o que reforça a ideia de que estas adaptações morfológicas estão diretamente relacionadas com a natureza prolongada e sustentada da carga diastólica a que os equinos são submetidos. Os dados obtidos permitem concluir que a prática desportiva de caráter aeróbio promove o desenvolvimento de um perfil cardíaco adaptado à eficiência no transporte de oxigénio, aspeto crucial em provas de longa duração (Chanda & Petchdee, 2022). Resultados semelhantes foram descritos anteriormente em cavalos Puro-Sangue, nos quais se identificou uma associação entre o tamanho cardíaco e o desempenho atlético (Buhl et al., 2005; Young et al., 2005).

No entanto, apesar dos potenciais benefícios, é importante considerar que o treino intenso pode também conduzir a alterações cardíacas indesejáveis, justificando uma avaliação crítica das suas implicações (Aengevaeren et al., 2021a). Em publicações recentes (Aengevaeren et al., 2021a), os atletas envolvidos em atividades físicas de alta intensidade apresentam um risco acrescido de eventos cardiovasculares adversos. De forma semelhante, em equinos, o *stress* cardíaco induzido pelo exercício intenso pode afetar negativamente a função (Dávila-Román et al., 1997; Rifai et al., 1999). Conforme Michima (2007), o exercício prolongado, ao aumentar substancialmente a carga de trabalho cardíaco, pode causar um determinado grau de lesão miocárdica, especialmente quando associado a alterações metabólicas. Neste contexto, é imperativo distinguir entre alterações eletrocardiográficas e ecocardiográficas fisiológicas — resultantes do treino — e sinais indicativos de doença cardíaca estrutural. Esta diferenciação é fundamental para evitar que equídeos insuficientemente preparados sejam expostos a esforços extremos que possam resultar em desqualificações, lesões graves ou mesmo morte súbita (Bello, 2012).

2.6 Avaliação Cardiológica do Equino Atleta

A avaliação cardíaca é crucial para a monitorização da saúde e do desempenho de equídeos atletas, facultando uma compreensão aprofundada das adaptações fisiológicas ao exercício e a deteção precoce de possíveis disfunções (Hodgson & McGowan, 2014; Young,

2004). O sistema cardiovascular assume um papel crucial na capacidade de um equino suportar esforços físicos prolongados ou intensos, sendo o coração o principal responsável pela entrega adequada de oxigénio aos tecidos durante o exercício (Boffi, 2007). Assim, a monitorização da função cardíaca — por meio de exames como a ecocardiografia, o eletrocardiograma e a análise da troponina — fornece indicadores relevantes do estado de aptidão física e da resposta ao treino (Michima, 2007; Patteson, 1993; Sikorska et al., 2025; Weeren, 2014). Além disso, é fundamental para distinguir adaptações fisiológicas do denominado "coração de atleta" de alterações patológicas que possam pôr em risco a segurança do atleta durante a competição (Aengevaeren et al., 2021a). A aplicação sistemática de métodos de avaliação cardíaca contribui não apenas para otimizar os programas de treino, mas também para prevenir eventos adversos, promovendo o bem-estar e a longevidade dos cavalos de desporto (Bello, 2012).

2.6.1 Frequência Cardíaca

A FC é regulada sobretudo pela atividade direta do sistema nervoso autónomo (SNA). A sua redução é induzida pela ação do ramo parassimpático, também designado como vagal, enquanto o seu aumento é provocado pela ação simpática (Hainsworth, 1995; Kleiger et al., 1992). Em repouso, a regulação vagal predomina sendo que, o aumento da atividade física é frequentemente caracterizado pela diminuição das influências vagais e pelo aumento da atividade simpática (Hainsworth, 1995). Em circunstâncias específicas, esta condição pode igualmente emergir de uma redução na regulação vagal ou de modificações concomitantes em ambos os sistemas regulatórios (Araujo et al., 1992; Von Borell et al., 2007).

Inicialmente, em velocidades baixas de corrida, os batimentos cardíacos aumentam de forma acentuada, passando de aproximadamente 30 bpm em repouso para 110 bpm, por bloqueio da componente parassimpática do SNA (Nóbrega & Araújo, 1993). Conforme demonstrado por Nóbrega et al. (1994) e Nurhayati & Boutcher (1998), este fenómeno não só aumenta a contratilidade dos átrios, como também eleva a velocidade de condução da onda de despolarização dos ventrículos a partir do nóculo atrioventricular (Clausen, 1977). Esta elevação é observada independentemente do nível de intensidade do esforço (Araújo, 1985; Baum et al., 1992) e do nível de condicionamento aeróbio de indivíduos saudáveis (Araújo et al., 1989; Borst et al., 1982). Em velocidades mais elevadas, o aumento da FC é mais gradual e é regulado pelo sistema nervoso simpático, bem como pelas catecolaminas circulantes (Alonso et al., 1998; Geor & Kaneps, 2008; Hamlin et al., 1972; Poole & Erickson, 2014).

Adicionalmente, a FC no início do trote e no galope pode ser incerta, necessitando de quatro a cinco minutos para alcançar níveis estáveis. Esta ocorrência pode ser atribuída a uma resposta de excitação, ou alternativamente, a um fenómeno fisiológico observado em equídeos, no qual a FC aumenta de forma acentuada no início do exercício, declinando posteriormente durante um período de minutos. Além disso, alterações súbitas no volume sanguíneo podem contribuir para a instabilidade da FC durante a fase inicial do exercício físico (Evans, 2009).

A FC de todos os equídeos atinge um platô, isto é, um ponto em que não ocorre um aumento da mesma, independentemente da velocidade a que o animal é submetido. A esta FC denomina-se FC máxima (FCmax). A FCmax apresenta uma elevada repetibilidade em cavalos individuais, contudo, não constitui uma medida relevante de aptidão física, uma vez que não é afetada pelo treino, apesar dos aumentos no $VO_2\text{máx}$ (Evans, 2007; Evans & Rose, 1988; Geor & Kaneps, 2008; Seeherman & Morris, 1991). Não obstante, verifica-se uma relação linear entre a FC e a velocidade de corrida, bem como entre a percentagem de FCmax e a percentagem de $VO_2\text{máx}$ (Gráfico 2.1 e 2.3) (Evans, 2007; Evans & Hogson, 2014; Evans & Rose, 1987; Lindholm & Saltin, 1974; Thomas & Fregin, 1981; Vincent et al., 2006). Adicionalmente, há indícios de que, no que diz respeito a cavalos de corrida, os que atingem a FCmax em velocidades mais elevadas apresentam um desempenho atlético superior (Evans, 2009).

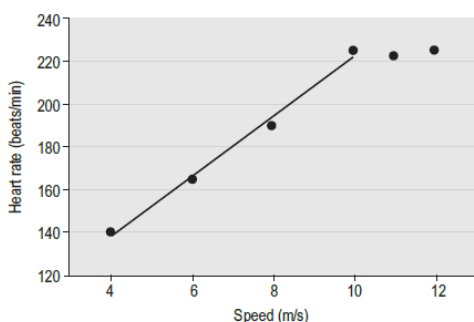


Gráfico 2.1 - Relação entre a velocidade de corrida e a frequência cardíaca de 4 m/s até à velocidade máxima (12 m/s) num cavalo de corrida Puro-Sangue apto para competir. (Hodgson, 2014)

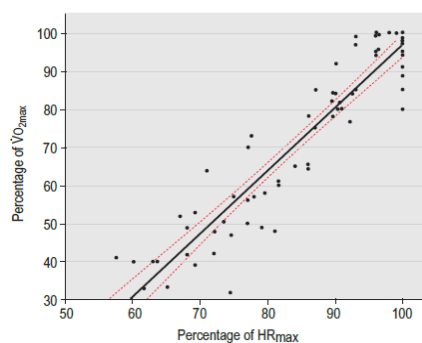


Gráfico 2.2 - Relação entre % da frequência cardíaca máxima e % $VO_2\text{máx}$ em cavalos com diferentes níveis de aptidão física. (Hodgson, 2014)

Segundo a literatura, em humanos, a FCmax diminui com o avanço da idade (Astrand, 1990). Em relação aos equídeos, alguns autores sustentam a tese de que este fenómeno também se verifica nesta espécie (Vincent et al., 2006). Todavia, outros autores contestam esta hipótese (Hodgson, 2014). Deste modo, a literatura não é conclusiva no que diz respeito à relação entre a FCmax e a idade dos cavalos.

A velocidade na qual um equino pode atingir ou manter uma FC submáxima de 140 ou 200 bpm (ou seja, V140 e V200) fornece informações sobre o VEj e a capacidade cardiovascular, estando diretamente relacionada com a aptidão física e o potencial de corrida (Courouc , 1999; Evans, 2007; Evans & Hogson, 2014; Evans & Rose, 1987, 1988a; Marr & Bowen, 2010; Poole & Erickson, 2014; Vincent et al., 2006). De acordo com Evans (2007), as medi  es em questão apresentam uma maior utilidade quando utilizadas para a compara  o de um indivíduo consigo mesmo ao longo do tempo.

A diminui  o dos índices anteriormente mencionados sugere que a FC se encontra anormalmente elevada durante a prática de exercícios de intensidade submáxima. Esta constata  o em equídeos durante o treino pode indicar a perda de aptidão cardiovascular, doenças cardíacas ou pulmonares, claudica  o ou um treino excessivo (Evans & Hogson, 2014; Vincent et al., 2006).

Após a prática de exercício físico, a FC deve regressar aos valores basais em duas fases: a primeira ocorre aproximadamente um minuto após o término da atividade física, com uma diminui  o acentuada dos batimentos cardíacos, regressando para cerca de 60 bpm (D. L. Evans, 2007; Hall et al., 1998; L. Young, 2004). Já na segunda fase, a FC atinge os valores de repouso, e o tempo para este retorno depende do condicionamento e do tipo de exercício (Abrantes, 2013; Clayton, 1991; Hodgson, 2014; Rugh et al., 1992). Esta observa  o corrobora a teoria de uma intera  o coordenada entre a reativa  o parassimpática e a supressão simpática durante a recupera  o do exercício (Rugh et al., 1992).

Em atletas humanos, a recupera  o da FC    monitorizada rotineiramente para avaliar a aptidão física, com taxas de recupera  o mais rápidas em indivíduos altamente treinados (Borresen & Lambert, 2007; Hagberg et al., 1980). Embora pareça intuitivo que o mesmo se aplique aos equídeos, as evidências são contraditórias. Seeherman & Morris (1991) não encontraram evidências de que a recupera  o da FC mude com o aumento da aptidão física, achados que se assemelham aos de McCrae (2019). Contudo, outros estudos em equídeos destinados    corrida demonstraram que a recupera  o da FC p  s-exercício    otimizada pelo treino (Cardinet 3rd et al., 1963; Foreman et al., 1990; Hada et al., 2006; Hodgson & McGowan, 2014). Apesar das contradições, as frequências cardíacas de recupera  o são usadas para avaliar a aptidão física de cavalos que competem em provas de resistência (Bitschnau et al., 2010; Hodgson, 2014).

Vale ressaltar que a diminuição da FC no final do exercício não substitui outras formas de medição da atividade autonômica cardíaca. Apesar disto, pode funcionar como um complemento notável na avaliação clínica e/ou física de um indivíduo (Shetler et al., 2001). Ainda, com o envelhecimento, o tempo de remoção da norepinefrina da circulação passa a ser mais lento, mantendo o ritmo cardíaco acelerado durante um período mais prolongado após o exercício (Perini et al., 1989).

Em relação aos efeitos crônicos da prática de atividade física (treino), vários estudos demonstraram que as FCs durante o exercício submáximo não apresentaram diferenças significativas em *Standardbreds* após o treino em pista de corrida (Milne et al., 1977), ou treino em passadeira (Rose et al., 1983; Vincze et al., 2017). Não obstante, há igualmente inúmeros estudos que demonstram valores de FCs inferiores após o treino em exercício submáximo (Hodgson, 2014; Marlin & Nankervis, 2013). Adicionalmente, a utilização da FC durante o exercício submáximo, para monitorizar o aumento da aptidão física, também pode ser complicada pelas FCs mais elevadas nos equídeos no início do treino, devido à aclimação inadequada aos procedimentos de teste (Thomas et al., 1983). Deste modo, a interpretação das variações da frequência cardíaca durante o exercício submáximo deve ser realizada com prudência, considerando não apenas os efeitos do treino, mas também fatores como a familiarização com os protocolos de teste e a variabilidade individual (McCrae, 2019).

De qualquer modo, é comumente aceite que um equídeo sob treino deve apresentar a capacidade de atingir uma velocidade específica, a uma FC inferior àquela que era alcançada antes do início do treino. A determinação do nível de treino com recurso apenas à FC apresenta algumas limitações. No entanto, quando associada a outros parâmetros, como a velocidade e a duração do exercício, esta prática torna-se muito mais útil (Boffi, 2007).

A FC em repouso, conforme indicado por Evans (2007) e Marr & Bowen (2010), é mais baixa em cavalos com boa condição física do que em cavalos com condição física deficiente. Quanto aos impactos do treino físico sobre a FC de repouso, os resultados são contraditórios. A maioria não indica quaisquer alterações, enquanto alguns revelam uma redução na FC em repouso (Boffi, 2007; Evans et al., 1993; Sexton et al., 1987). Por conseguinte, é amplamente aceite que a FC em repouso no cavalo geralmente não diminui após o treino, em contraste com os atletas humanos (Bayly et al., 1983; Marr & Bowen, 2010; Poole & Erickson, 2014; Thomas et al., 1983).

Assim, a monitorização da aptidão física através da medição da FC é restrita a períodos de exercício ou subsequentes ao mesmo (Poole & Erickson, 2014). A sua interpretação deve ser realizada com prudência, considerando a variabilidade individual e a adaptação ao exercício (McCrae, 2019; Thomas et al., 1983). Embora a FC apresente limitações quando considerada isoladamente, quando integrada com outras variáveis fisiológicas e de desempenho, revela-se uma ferramenta útil no acompanhamento do treino e na otimização do rendimento atlético dos equídeos (Bitschnau et al., 2010; Hodgson, 2014).

2.6.2 Ecocardiografia

A ecocardiografia é um exame de imagem que se caracteriza por ser seguro, simples e não invasivo, permitindo avaliar o tamanho, a morfologia e a função das estruturas cardíacas (Giannico et al., 2015; Kriz & Rose, 1996; Weyman, 1994). Entre as principais indicações encontram-se a suspeita de defeitos congénitos ou doenças do miocárdio, abafamento de sons cardíacos, sopro cardíaco e suspeita de endocardite (Reef, 1998). Adicionalmente, a ecocardiografia possibilita a avaliação das alterações induzidas pelo processo de remodelação adaptativa cardíaca em indivíduos submetidos a treino físico intenso, bem como as respostas agudas do miocárdio ao exercício (Negrão et al., 2019).

Os pontos de referência intracardíacos que permitem orientar a localização, a angulação e a rotação do transdutor de modo a obter planos de imagem padronizados foram descritos por Reef (1990) e Long et al. (1992), possibilitando a comparação direta entre profissionais diferentes (Zucca et al., 2008). A precisão e a repetibilidade das medições dependem da aplicação rigorosa das diretrizes de imagem (Buhl et al., 2004; Henry et al., 1980; Kriz & Rose, 1996; Long et al., 1992; Reef, 1990). Contudo, a conformação torácica individual pode requerer alguma flexibilidade na posição do plano do feixe (Negrão et al., 2019; Reef, 1990). Assim, a ecocardiografia constitui um instrumento valioso para a avaliação do potencial cardíaco individual (Lightowler et al., 2004).

Para a realização deste exame em equídeos, é necessário um equipamento com uma sonda setorial cuja frequência esteja compreendida entre 1,3-3,5 MHz e cuja profundidade de penetração oscile entre 25-30 cm. A avaliação qualitativa é realizada em tempo real, enquanto as medições podem ser efetuadas de forma off-line. Os métodos tradicionais de exame incluem o Modo-B (bidimensional) e o Modo-M (monodimensional), com ambos a serem utilizados para avaliar o tamanho das estruturas cardíacas e quantificar parâmetros funcionais, sempre pela janela paraesternal direita (Buhl et al., 2004; Long et al., 1992).

2.6.2.1 Medições das Câmaras e Paredes Cardíacas

Em Modo-M, cuja angulação é guiada pela imagem do Modo-B, são realizadas medições que incluem diâmetro interno dos ventrículos, espessura das paredes e do SIV, dentre outras. Conforme supracitado no tópico 2.5, a rotina de atividade física gera uma remodelação cardíaca, que inclui alterações da espessura das paredes cardíacas e/ou do diâmetro interno das câmaras cardíacas, para atender a maior demanda metabólica gerada pelo esforço físico. Tais alterações são sensíveis à FC, pré e pós-carga, bem como à contratilidade (Poole & Erickson, 2014).

2.6.2.2 Débito Cardíaco

O DC é definido como o volume de sangue ejetado dos ventrículos e é geralmente expresso em litros por minuto (L/min) ou mililitros por quilograma por minuto (mL/kg/min), sendo calculado como o produto da FC e do VEj (Boffi, 2007; Geor & Kaneps, 2008; Hodgson, 2014). O seu valor fisiológico é de aproximadamente 300L/min após o exercício. Adicionalmente, o DC é a variável mais relevante que aumenta a oferta de oxigênio para a musculatura durante o exercício e o fator determinante do VO_{2max} (Evans & Hogson, 2014; Hodgson, 2014; Poole & Erickson, 2014; Young et al., 2002).

Este parâmetro aumenta até dez vezes durante o exercício, uma vez que são aumentadas as duas variáveis da fórmula que o compõem, referidas anteriormente. Esta mudança tem como principal objetivo aumentar a oferta de oxigênio para os músculos e remover os produtos finais do seu metabolismo, tanto aeróbios como anaeróbios (Boffi, 2007).

O treino físico tende a promover uma maior eficiência e desenvolvimento da musculatura cardíaca, aumentando a força muscular do coração. Esta última, por sua vez, é um fator importante no aumento do DC (Young, 2005).

2.6.2.3 Volume de Ejeção

O VEj corresponde à quantidade de sangue ejetada de cada ventrículo durante a sístole (Hodgson, 2014), sendo medida a partir do programa de *Doppler* (Stadler et al., 1994). A referida variável depende de três componentes fundamentais: a pré-carga, que determina o comprimento da fibra muscular no início da contração; a contratilidade do miocárdio; e a pós-carga, definida como a resistência oferecida à ejeção ventricular (Aloan, 1996; Bayly et al., 1983; Evans & Hogson, 2014; Guyton & Hall, 2006; McDonough et al., 2002; Thomas et al., 1983; Thomas & Fregin, 1981).

Segundo a literatura, o VEj aumenta acentuadamente no início do exercício até atingir cerca de 40% do VO₂máx, em consequência do aumento do volume sanguíneo, do retorno venoso e das pressões de enchimento, não se alterando à medida que a intensidade do exercício aumenta de aproximadamente 40% a 100% (Evans & Rose, 1988a; Poole & Erickson, 2014; Stephenson, 2021). É igualmente relevante salientar que o enchimento ventricular (e, conseqüentemente, o VEj) não aparenta ser afetado durante o exercício máximo, apesar do tempo restrito disponível para o enchimento ventricular quando o equino apresenta FCs elevadas (Hodgson, 2014; Poole & Erickson, 2014).

O VEj em cavalos em repouso é de aproximadamente 800 a 900 mL, ou cerca de 2 a 2,5 mL/kg (Poole & Erickson, 2014). Todavia, foram observados VEj de $3,8 \pm 0,4$ mL/kg (aproximadamente 1700 mL) em cavalos de raça Puro-Sangue que apresentavam boa condição física e que executavam exercícios intensos (Bayly et al., 1983; Butler, 1991; Evans & Hogson, 2014; McDonough et al., 2002; Poole & Erickson, 2014; Thomas et al., 1983)

A adaptação cardíaca de maior relevância ao treino é o incremento do VEj. Segundo Boffi (2007), foi observado um aumento de 10%, neste parâmetro, após dez semanas de treino em passadeira, a uma velocidade de 12 km/h. Apesar da melhoria observada, os equídeos não apresentaram modificações no DC, indicando uma possível redução da FC em consequência do treino realizado. Adicionalmente, investigações demonstram que após um período de treino de resistência aeróbia, o volume diastólico (Vd) aumenta em repouso, sendo este fator determinante para o maior VEj em repouso nestes animais (Pereira, 2006). Deste modo, conclui-se que o coração dos indivíduos sujeitos a treino apresenta capacidade para receber um volume sanguíneo maior, o qual é posteriormente ejetado durante o exercício físico (Bello, 2012).

2.6.2.4 Fração de Ejeção e Fração de Encurtamento

A fração de ejeção (FEj%) é definida como a percentagem de volume ejetado no final da sístole em cada batimento cardíaco, sendo que o seu valor de referência é de aproximadamente 63 % em animais treinados (Sleeper et al., 2014). O seu cálculo pode ser efetuado após a determinação ecocardiográfica do volume ventricular esquerdo na diástole (Vd) e sístole (Vs) (Figura 2.3) (Reef, 1998).

Conforme demonstrado por Rueca et al. (1999), que analisaram o padrão ventricular de equinos com três anos de idade, treinados por 100 dias, através da ecocardiografia, foi possível estabelecer uma associação entre as medidas ventriculares e os animais mais velozes.

Deste modo, concluiu-se que estes possuíam maior adaptação ventricular e capacidade de ejeção, confirmando a importância da avaliação do índice anteriormente citado. Contudo, os resultados do estudo de Young (1999) demonstraram que a aplicação de um programa de treino de corrida não resultou num aumento, mas sim numa redução da fração de ejeção, contrariando as expectativas iniciais. A fração de ejeção é altamente dependente das condições de carga cardíaca, contratilidade e FC, sendo que uma destas condições poderá ter influenciado o estudo anteriormente referido (Vuille & Weyman, 1994).

A fração de encurtamento sistólico (FEn%) é o índice que representa a percentagem de encurtamento do DIVE durante a sístole (Cesar, 2007). O seu valor fisiológico em repouso situa-se entre os 32 e os 45%, e a sua fórmula encontra-se representada na Figura 2.3 (Marr & Bowen, 2010). Conforme referido por Marr et al. (1999), este é o índice cardíaco mais utilizado e fiável na avaliação da função ventricular em resposta ao exercício. De acordo com o exposto por Boon (1998), a pré-carga, a pós-carga e a contratilidade são fatores que, de forma isolada ou em conjunto, podem afetar a FEn%.

Conforme demonstrado por Buhl et al. (2004), a contratilidade ventricular esquerda em repouso, avaliada pela FEn%, diminuiu ao longo de seis meses de treino em cavalos jovens. Contudo, de acordo com Marr et al. (1999), a resposta miocárdica, avaliada por meio de exames ecocardiográficos em cavalos treinados, consistiu num aumento da espessura do SIV e da parede livre do VE, bem como num aumento da FEn%.

$$FS\% = \frac{(LVIDd - LVIDs) \times 100}{LVIDd}$$

$$EF\% = \frac{LVIDd^3 - LVIDs^3}{LVIDd^3}$$

Figura 2.3 - Formulas de calculo da FEn% (FS) e da FEj% (EF). (Marr & Bowen, 2010) – FS%- fração de encurtamento; EF%- fração de ejeção; LVIDd – DIVEd; LVIDs- DIVEs

Atualmente, existe um consenso generalizado sobre o facto de a maioria das formas de treino aumentar a FEj% e FEn% durante o exercício (Colan et al., 1987). Contudo, há relatos contraditórios sobre a influência do treino nestes índices em repouso (Colan et al., 1987; Matsuda et al., 1981).

Em última análise, tanto a FEj% como a FEn% constituem parâmetros amplamente utilizados para avaliar a função sistólica e a adaptação do coração ao exercício em equídeos atletas (Marr et al., 1999; Reef, 1998). Contudo, os resultados divergentes observados na literatura indicam que estes índices são altamente influenciáveis por fatores como a carga

cardíaca, a contratilidade e o estado de treino (Bertone et al., 1987; Boon, 1998; Vuille & Weyman, 1994). Deste modo, embora os aumentos na FEj% e na FEn% durante o exercício sejam habitualmente interpretados como sinais de adaptação favorável, a sua avaliação em repouso exige uma interpretação cautelosa e contextualizada. A interpretação dos parâmetros anteriormente mencionados com outros indicadores ecocardiográficos e clínicos é fundamental para uma compreensão holística da resposta cardíaca ao treino e para garantir uma avaliação segura da aptidão cardiovascular dos equinos atletas (Colan et al., 1987; Matsuda et al., 1981).

2.6.3 Troponina

As troponinas constituem componentes fundamentais do miócito, regulando a interação dependente de cálcio entre a actina e a miosina durante o processo de acoplamento excitação-contração. O complexo troponina é composto por três subunidades: a troponina C (TnC), que se liga ao cálcio, a troponina I (TnI), que tem uma função inibidora, e a troponina T (TnT), que liga o complexo troponina à tropomiosina (Figura 2.4) (Durando et al., 2006; Parmacek & Solaro, 2004). Adicionalmente, foram identificadas diferentes formas e fragmentos de troponina cardíaca (cTn) na circulação (Labugger et al., 2000), contudo, o seu processo de fragmentação não é totalmente compreendido (Aengevaeren et al., 2021b; Streng et al., 2017).

Tanto a TnI como a TnT manifestam-se em três formas isoenzimáticas, sendo a forma cardíaca correspondente à TnT (cTnT) e à TnI (cTnI) (Figura 2.4). Conforme exposto por Mair et al. (1996), as isoformas em questão não são detetáveis no tecido muscular liso e em concentrações substanciais no tecido muscular esquelético estriado.

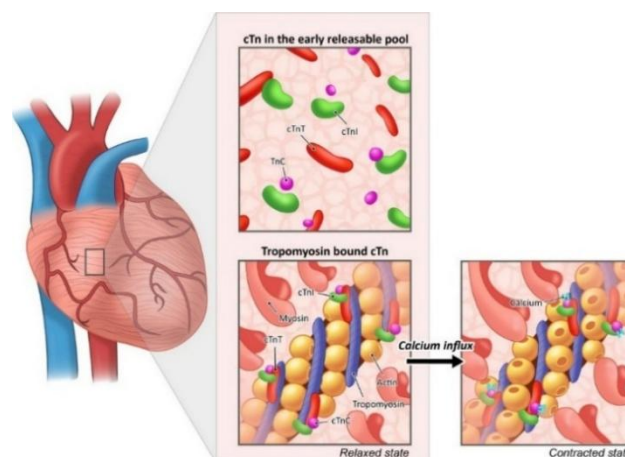


Figura 2.4 – Ilustração dos diferentes componentes do complexo troponina cardíaca num coração humano. (Aengevaeren et al., 2021a)

Foi relatado que cavalos clinicamente saudáveis apresentam um conteúdo de cTnI igual a 0,2 ng/mL (Pourmohammad et al., 2020) e um conteúdo de cTnT igual a 0,01 ng/mL (Van Der Vekens et al., 2013).

A avaliação de biomarcadores cardíacos enzimáticos em equídeos pode ser relevante para a estimativa do desempenho de equídeos atléticos (Fazio et al., 2023). O impacto do exercício de alta intensidade nas concentrações de cTnI em equinos e em humanos, continua a ser objeto de debate (Durando et al., 2006; Shave et al., 2010). Embora numerosos estudos tenham relatado a libertação de cTn após o exercício, não há consenso sobre a prevalência, os mecanismos e o manejo clínico da libertação deste biomarcador induzido pelo exercício (Shave et al., 2010).

Vários estudos demonstraram um aumento das concentrações de troponina em atletas humanos que competem em provas de resistência (Neumayr et al., 2005; Rifai et al., 1999; Whyte et al., 2000). Adicionalmente, Neumayr et al. (2001) observaram que os atletas com valores mais elevados de cTnI apresentavam um nível de treino mais forte. Porém, não é possível determinar se estes resultados indicam que os atletas com melhor capacidade de desempenho cardíaco apresentam um risco acrescido de lesões cardíacas de menor gravidade, uma vez que exercem mais pressão sobre o coração ao fazerem exercício mais intensamente (Neumayr et al., 2001). Ainda, estas descobertas são contraditórias com as conclusões alcançadas por Koller et al. (1999), que demonstraram que danos miocárdicos subclínicos transitórios ocorrem predominantemente em indivíduos que praticam atividade física de forma limitada.

De modo semelhante, em equídeos, foi observado um aumento substancial nas cTns, após a prática de exercício físico (Aagaard et al., 2014; Ayvazoğlu et al., 2023; Lippi & Sanchis-Gomar, 2020; Pourmohammad et al., 2020; Rossi et al., 2015). Todavia, em outros estudos, não foram observadas quaisquer alterações estatisticamente significativas nos níveis destes biomarcadores antes e imediatamente após a corrida (Flethøj et al., 2016; Holbrook et al., 2006; Shields et al., 2018; Trachsel et al., 2013). Esta constatação pode ser justificada pelo facto de a libertação de troponina parecer estar mais significativamente associada à intensidade do que à duração do exercício físico (Marshall et al., 2020; Shave et al., 2010).

Uma das hipóteses para a elevação de cTn após exercício é o aumento da permeabilidade da membrana dos cardiomiócitos (Aengevaeren et al., 2021a; Fazio et al., 2023). Esta modificação sarcolemática pode facilitar a libertação de troponina não ligada no

citossol (Marshall et al., 2020). O fenómeno em questão pode estar associado ao *stress* mecânico celular (Marshall et al., 2020; McNeil & Khakee, 1992; Mills et al., 2019), à produção acrescida de radicais oxidativos (Goette et al., 2009) ou a desequilíbrios ácido-base (Clarke et al., 1995). Estes mecanismos já foram descritos no músculo esquelético sujeito a exercício, onde desempenham um papel na hipertrofia adaptativa (Evans & Cannon, 1991; Fazio et al., 2023; McNeil & Khakee, 1992). Deste modo, também no miocárdio, tais estímulos podem causar perturbações transitórias da membrana plasmática, denominadas "feridas celulares" (Sahlin, 1980), tornando plausível que a libertação de cTn induzida pelo exercício reflita a ativação de cascatas celulares ligadas à hipertrofia cardíaca (Fazio et al., 2023; Scharhag et al., 2006).

Conforme demonstrado em estudos anteriores, é plausível que ocorra uma renovação contínua da cTn num coração saudável e que a atividade física, bem como o aumento da demanda miocárdica, constituam um estímulo para uma renovação acelerada (Aengevaeren et al., 2021a; Shave et al., 2010). Adicionalmente, as elevações de cTnI observadas após a atividade física tendem a ser relativamente diminutas quando comparadas com as verificadas em atletas com enfarte do miocárdio (Neumayr et al., 2001; Nostell & Häggström, 2008; Pourmohammad et al., 2020). Contudo, não é inteiramente exequível determinar com precisão se o aumento observado é causado por danos miocárdicos ou se é meramente uma resposta fisiológica ao exercício prolongado (Flethøj et al., 2016).

Em diversos estudos, os maratonistas mais experientes apresentaram uma menor probabilidade de elevações de cTn após os eventos do que os corredores menos experientes. Todavia, outros estudos não conseguiram confirmar esta relação (Eijssvogels et al., 2015; Serrano-Ostáriz et al., 2011).

Duas investigações recentes examinaram se o treino físico altera a libertação de cTn após o exercício em humanos. Legaz-Arrese et al. (2015) avaliaram as concentrações de cTnT em repouso e após uma corrida, antes e depois de um programa de treino de 14 semanas. Antes do treino, a corrida produziu uma resposta heterogénea de cTnT, com 71% dos indivíduos a excederem o limite de referência superior. Os níveis basais e pós-exercício, após o treino, de cTnT apresentaram valores superiores no grupo de intervenção em comparação com o grupo de controlo (Legaz-Arrese et al., 2015). Esta diferença pode ser atribuída a uma carga de trabalho mais exigente no grupo de intervenção durante a segunda corrida, por esta ter sido efetuada a uma velocidade mais elevada (Aengevaeren et al., 2021a).

Num outro estudo realizado, durante 12 semanas, os participantes foram aleatoriamente divididos e submetidos a treino intervalado de alta intensidade; treino contínuo de intensidade moderada; ou a ausência de treino. Após a aplicação do mesmo estímulo de exercício absoluto e relativo (60% do $\text{VO}_2\text{máx}$), procedeu-se à medição dos níveis de cTnT (Nie et al., 2019). Os resultados deste estudo sugerem que o treino físico reduz o aumento da cTn após o mesmo exercício de intensidade absoluta, mas não relativa. Estes estudos sugerem, de forma coletiva, que a magnitude da libertação de cTn após o exercício é afetada por uma combinação do estado de treino e da intensidade do exercício, uma vez que os indivíduos treinados requerem um estímulo de exercício absoluto maior para alcançar o mesmo estímulo relativo (Aengevaeren et al., 2021a).

Relativamente aos equinos, até ao momento, não foram encontrados estudos específicos que abordem diretamente o impacto do treino (efeito crónico) ou da adaptação ao exercício (efeito agudo) na libertação de troponina cardíaca. Não obstante, as investigações efetuadas evidenciaram que não se observam discrepâncias estatisticamente relevantes entre os níveis de troponina em repouso de equídeos em treino ativo e os níveis detetados em equídeos em pastoreio (Flethøj et al., 2016; Holbrook et al., 2006; Phillips et al., 2003).

Apesar da inconsistência na literatura, a monitorização da cTn no período pós-exercício emerge como uma ferramenta potencial para compreender a resposta cardíaca ao exercício (Pourmohammad et al., 2020). A análise do perfil de libertação da cTn, após diferentes intensidades e durações de esforço, pode fornecer informações sobre o grau de *stress* miocárdico induzido e sobre a capacidade de recuperação do animal (Fazio et al., 2023). Em cavalos bem treinados, é expectável que a elevação da cTn seja modesta e que os valores regressem rapidamente aos níveis basais, refletindo uma adaptação cardiovascular eficaz. Por outro lado, aumentos pronunciados e persistentes poderão indicar sobrecarga cardíaca, fadiga ou insuficiente adaptação ao treino, permitindo ao treinador ajustar a carga de trabalho para prevenir lesão miocárdica e otimizar o desempenho atlético de forma segura (Aengevaeren et al., 2019).

2.7 Objetivos do Estudo

Dada a escassez de informações na literatura sobre o tema, o presente projeto tem como objetivo estudar os índices funcionais ecocardiográficos de cavalos de salto de obstáculos após

10 semanas de treino na PA. A autora defende a hipótese de ocorrerão adaptações fisiológicas benignas na morfologia cardíaca para dar resposta à maior demanda metabólica, principalmente caracterizadas pelo aumento das câmaras cardíacas, aumento da espessura da parede do VE e, consequente, aumento da força de ejeção e do débito cardíaco, com redução concomitante da frequência cardíaca. Também se espera uma diminuição da libertação de troponina cardíaca, o que poderá indicar uma resposta adaptativa ao esforço imposto.

3 Material e Métodos

O presente projeto de pesquisa foi submetido a apreciação pelo CEBEA-FMV, Universidade Lusófona, Centro Universitário de Lisboa, sendo aprovado sob número 28/2023 e 17/2025. Todo o estudo foi feito no âmbito clínico de uma rotina de treinos preconizada e acompanhada por médicos veterinários.

3.1 Animais

Para este estudo, foram selecionados seis equinos, cinco machos e uma fêmea, de raças diversas (Anglo-Árabe, Sela Francesa, Puro Sangue Lusitano, BWP e 2 *Warmblood* Alemão), com uma idade média de $16,7 \pm 2,0$ anos e um peso médio de $578,3 \pm 17,1$ kg.

Os animais pertencem a um centro de treino localizado em Sintra, Portugal, onde são submetidos ao mesmo tipo de manejo alimentar e sanitário. Os mesmos são mantidos em boxes individuais, com dimensões de 3x3 m. A base da sua alimentação consistiu em luzerna e aveia, três vezes ao dia (às 8h, às 12h e às 18h), 30 minutos antes da administração do concentrado comercial (Easy Mix, Intacol, com 10,5% de proteína e 2750 kcal de energia digestível), na proporção de 0,5 kg/100 kg de peso vivo, durante todo o período de treino. O acesso à água era garantido por um bebedouro automático, assegurando a disponibilidade contínua de água potável.

A população escolhida para o estudo foi composta por uma amostra não aleatória, incluindo equinos com constituição corporal e condicionamento físico semelhantes, que saltavam obstáculos com uma altura mínima de um metro. Encontravam-se em plena atividade física, praticantes de saltos de obstáculos há vários anos, com rotina de atividade física constante.

Os equídeos foram sujeitos a exames clínicos prévios, incluindo exames de claudicação, tendo sido considerados clinicamente aptos para competir, sem quaisquer sinais de dor ou desconforto. No âmbito do processo de seleção, foram tidos em consideração o peso corporal e o estabelecimento da condição corporal por meio de métodos ultrassonográficos (Gentry et al, 2004).

3.2 Delineamento do Estudo

Cada equino foi acompanhado por um período de aproximadamente 23 semanas, tendo sido realizada uma avaliação para aferir a aptidão física, para inclusão no projeto, 10 semanas antes do treino (BASAL). Posteriormente, foi efetuada uma avaliação uma semana antes do início do protocolo (PRETR) e uma avaliação pós-treino (TR), realizada cinco dias após o último dia de trabalho na passadeira aquática. Em PRETR e TR, os animais foram sujeitos a uma avaliação ecocardiográfica em repouso e a testes de campo de salto de obstáculos (TSO), durante os quais foram realizadas avaliações clínicas seriadas.

Os animais serviram como o seu próprio grupo de controlo, uma vez que realizaram o programa de treino em questão, com a mesma regularidade e intensidade, há mais de um ano. Durante o decurso das dez semanas do projeto, a única modificação verificada foi a inclusão da passadeira aquática na rotina de treino.

3.3 Treino de 10 Semanas usando a Passadeira Aquática

Previamente ao programa de treino, os equídeos foram submetidos a um teste de esforço progressivo na PA para estabelecer a FC_{pico} de cada animal. A medição foi realizada através do sistema de monitorização cardíaca com o sensor Alogo Move Pro™ (Alogo Swiss Technology, Renens, Suíça), acoplado ao sensor H10 (Polar Electro, Lake Success, NY, EUA). Para tal, os animais iniciaram o exercício em passadeira, ainda seca, a uma velocidade de 4 km/h, para o aquecimento durante 5 minutos. Posteriormente, foi efetuado o enchimento da cuba com água durante um período de 3 a 4 minutos, até que uma altura de 40 cm fosse atingida (equivalente à altura da articulação carpo-metacarpiana), mantendo a velocidade constante. Subsequentemente, a velocidade foi progressivamente aumentada em intervalos de 1 km/h a cada 60 segundos até atingir os 7 km/h, sendo mantida nesse valor até o limite máximo de 15 minutos. A interrupção do teste ocorreu nas seguintes circunstâncias: (1) recuo do animal, mesmo com estímulos humanos; (2) aumentos súbitos FC e/ou da frequência respiratória (FR); (3) tropeções constantes/dificuldade em manter o ritmo. Em circunstâncias de interrupção ou no caso de o tempo máximo ter sido atingido, o animal manteve-se em atividade, apresentando uma velocidade aproximada de 4 km/h, enquanto ocorria o esvaziamento da cuba.

O valor calculado da FC_{max} no teste de esforço foi utilizado para o controlo da velocidade de trabalho durante o projeto.

No decurso das dez semanas do estudo, os equídeos foram sujeitos a um programa de treino seis dias por semana, com uma duração diária de 40 a 60 minutos. Durante este período, a intensidade imposta foi ajustada de acordo com as características de cada indivíduo, os quais executaram atividades preparatórias para provas equestres de SO (trabalho específico), com um grau de intensidade moderada (trabalho de resistência), alternadas com picos de maior exigência (trabalho de força), respeitando os limites físicos individuais.

Em conformidade com a metodologia estabelecida, no primeiro e no terceiro dia de cada semana (considerando a segunda-feira como dia de descanso e a terça-feira como primeiro dia da semana) foi realizado um treino de hidroterapia recorrendo à PA (Aquatraining, Activo-Med Aqualine, Polónia) (Tabela 3.1). É imperativo salientar que todos os equídeos foram submetidos a um processo de dessensibilização ao equipamento, com o intuito de evitar que o treino no aparelho representasse um fator de *stress* adicional.

Tabela 3.1 - Protocolo de treino específico para cavalos de obstáculos com a inclusão da passadeira aquática por 10 semanas.

Dias da semana	Andamento	Duração (min)	Obstáculos (número)	Altura obstáculos (cm)
1º, 3º e 5º dia	Passo	5		
	Trote	25		
	Galope	25		
	Passo	5		
1º e 3º dia	Treino de hidroterapia (Passo)	20		
2º e 4º dia	Passo	5		
	Trote	30		
	Galope	20		
	Passo	-	8 3x salto de aquecimento	90 50
	Passo	5		
6º dia (treinos de pista)	Passo	5		
	Trote	30		
	Galope	20		
	Passo	-	8 3x salto aquecimento	100 50
	Passo	5		

Durante o período inicial de cinco semanas de sessões de treino, os animais executaram cinco minutos de aquecimento na passadeira sem água a uma velocidade média de 4 km/h. Posteriormente, durante um período aproximado de 3 a 4 minutos, a cuba foi enchida com água até atingir uma altura de 35 a 40 cm, de modo a alcançar a articulação carpo-metacarpiana. Nesta fase, os animais executaram um trabalho por um período de 16 a 17 minutos, mantendo uma velocidade de trabalho equivalente a 60% da FCmax, determinada no teste de esforço previamente realizado. No término da sessão, a cuba foi esvaziada, com a velocidade média a retomar os 4 km/h, por um período de 3 a 4 minutos, momento em que o equipamento foi desligado. A atividade física ocorreu por um período médio total de 25 minutos. Nas cinco semanas subsequentes, o protocolo foi mantido, exceto no que diz respeito à velocidade, a qual foi aumentada para o equivalente a 80% da FCmax, que fez com que todos os animais trocassem na água.

Durante o período de 10 semanas, os animais utilizaram o sistema de monitorização Alogo Move ProTM, conforme descrito anteriormente. Adicionalmente, foram registados os valores de temperatura ambiente, humidade relativa do ar e temperatura da água da PA em todos os dias de atividade física.

3.4 Ecocardiografia

Conforme previamente mencionado, foram efetuadas duas ecocardiografias, sendo uma previamente ao programa de treino (PRETR) e outra ao término desse (TR). A metodologia foi adaptada a partir das descrições de Long *et al.* (1992), Reef (1998) e Michima *et al.* (2004). Durante os exames, os animais estavam em repouso, calmos e fisicamente contidos em tronco de contenção, numa sala de exames com iluminação reduzida. Não foi feita a tricotomia da região por se tratar de animais de alto valor desportivo destinados a competições equestres.

O exame ecocardiográfico foi realizado com o ecógrafo Mindray Animal Care, modelo Vetus EQ (Shenzhen Mindray Animal Medical Technology Co., China), usando uma sonda de matriz faseada de 1,9-4 MHz com máxima profundidade de 30 cm (Figura 3.1).

Foi iniciado em Modo B, no hemitórax direito (Figura 3.2), entre os 3º e 5º espaços intercostais, com a obtenção de imagens paraesternais direitas de eixo maior (longitudinal/sagital), avaliando-se a morfologia e movimentação e qualidade das estruturas cardíacas. Adicionalmente, foram observados os fluxos ventriculares, valvas atrioventriculares e ambos os átrios.

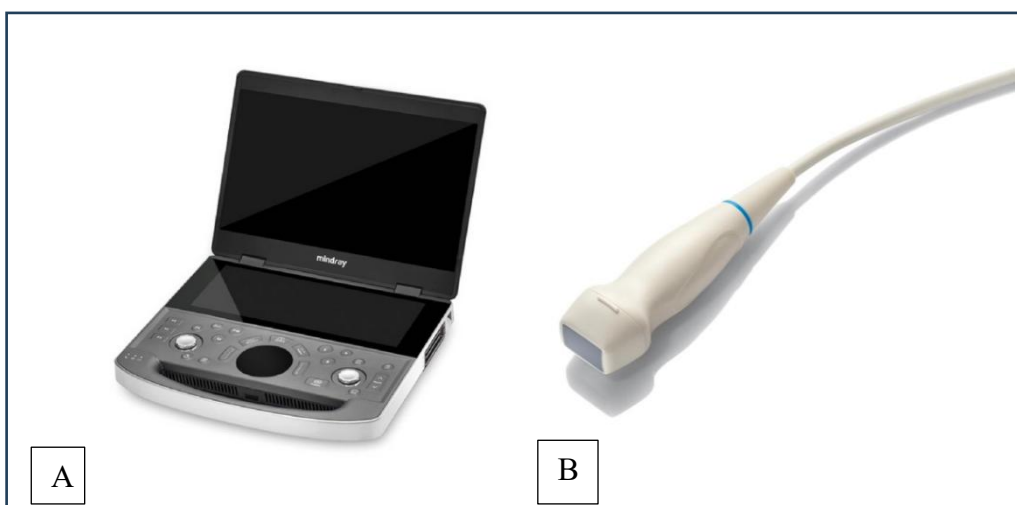


Figura 3.1 - Imagens dos equipamentos usados no projeto. (A) Ecógrafo modelo VetUS EQ, Mindray Animal Care; (B) Sonda de matriz faseada de 1,9-4 MHz, Mindray.



Figura 3.2 - Imagem do exame ecocardiográfico e posicionamento da sonda no hemitórax direito.

Em seguida, foram feitas imagens, ainda no Modo B, na janela paraesternal direita do eixo curto do ventrículo esquerdo ao nível cordal (corte transversal), observando-se a simetria dos músculos papilares e o formato do VE. De forma direta, em modo M, num feixe posicionado sobre uma linha que atravessava o VE, interceptando o SIV e a parede livre do VE num ângulo de 90° (Figura 3.3), foram medidos:

1. Espessura do septo interventricular (SIV), ao final da diástole (d) e na sístole (s);
2. Diâmetro interno do ventrículo esquerdo (DIVE), ao final da diástole (d) e na sístole (s);
3. Espessura da parede posterior ventricular esquerda (EPPVE), ao final da diástole (d) e na sístole (s);
4. Frequência cardíaca (FC).

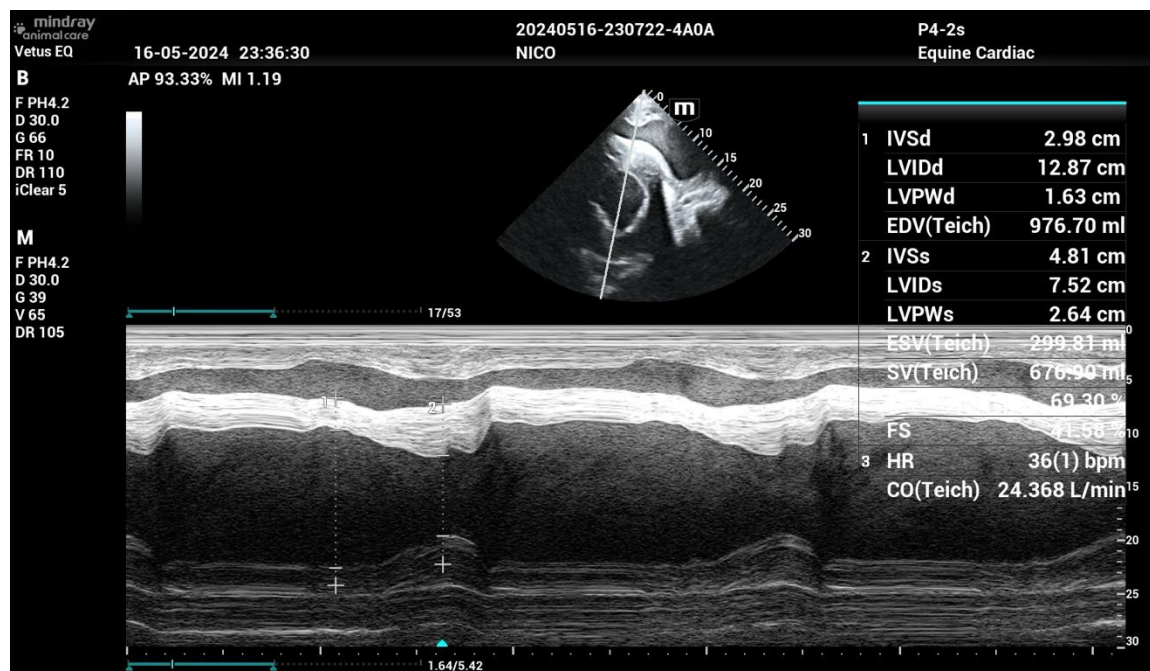


Figura 3.3 - Imagem ecocardiográfica obtida de um dos equinos trabalhados. É possível visualizar o eixo curto do ventrículo esquerdo em Modo B na parte superior da imagem e em Modo M na parte inferior da imagem, com registo das mensurações à direita.

O software do *scanner* procedeu o cálculo dos seguintes índices de função cardíaca:

- (1) Fração de encurtamento do VE (FEn%), através da fórmula $FEn\% = (DIVED - DIVES) / DIVED \times 100$;
- (2) Volume ao final da diástole do VE (Vd) e volume ao final da sístole do VE (Vs), em mL, através da fórmula de *Teicholz* $[V = (7 \times DIVE^3) / (2,4 + DIVE)]$;
- (3) Fração de ejeção do VE (FEj%), através da fórmula $FEj\% = (Vd - Vs) / Vd \times 100$;
- (4) Volume de ejeção (VEj), em mL, através da fórmula de *Teicholz* $VEj = Vd - Vs$;
- (5) Débito cardíaco (DC), em L/min, através da fórmula de *Teicholz* $DC = (VEj \times FC) / 1000$

3.5 Teste de Campo de Salto de Obstáculos

Foram realizados dois testes: um antes e outro após as dez semanas da inclusão da PA no programa de treino. Ambos os eventos ocorreram num picadeiro descoberto, com um piso de alto rendimento (areia de sílica), apresentando dimensões de 60x20m. Os animais foram montados sempre pelo mesmo cavaleiro, orientado para realizar a prova no menor tempo possível sem que obstáculos fossem derrubados.

Previamente à execução do teste, todos os animais foram submetidos a um período de aquecimento com trabalho a passo, com uma duração média de 10 minutos. Este foi sucedido por um período de 15 a 20 minutos de trote e galope montados, intercalados com períodos de descanso de dois minutos.

No TSO, tanto o cavalo como o cavaleiro executaram uma série de exercícios com os quais estão familiarizados, sendo estes característicos da modalidade desportiva de saltos de obstáculos. Procedeu-se ao registo de diversos parâmetros, designadamente a temperatura ambiente, a humidade do ar, o peso do cavaleiro e os equipamentos utilizados, bem como as condições da pista, com vista à interpretação dos dados. A série de exercícios encontra-se ilustrada na Figura 3.4, consistindo numa trajetória de 300 metros, com 10 saltos, incluindo 2 oxers e 8 verticais simples, com uma altura de 1 metro.

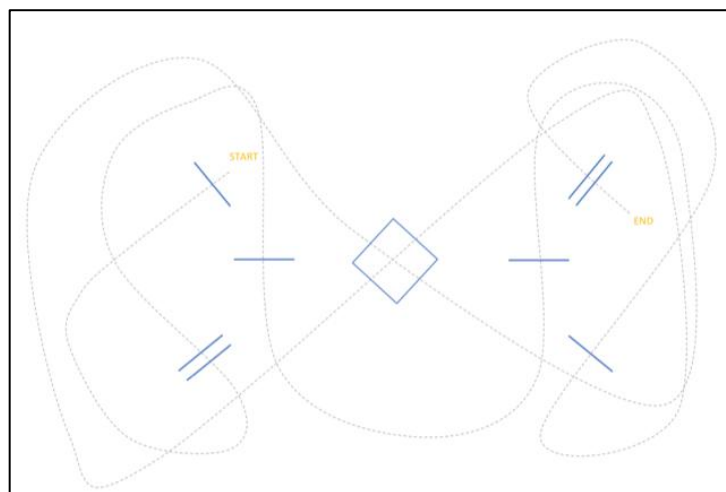


Figura 3.4- Representação da pista de obstáculos usada no teste de campo de saltos de obstáculos.

Nos ensaios clínicos, nomeadamente no PRETR e no TR, foram realizados exames físicos em quatro momentos distintos. A amostra T0 foi recolhida antes da prática de exercício físico, com o animal em repouso e ainda na box. A amostra T1, por sua vez, foi recolhida no período máximo de 1 minuto após a conclusão do exercício físico. Posteriormente, a amostra T2 foi recolhida 30 minutos após a conclusão da atividade física, enquanto a amostra T3 foi recolhida quatro horas após a conclusão da atividade física. Nos momentos supramencionados, foram registados os valores da FC, da FR e da temperatura corporal (TC). Nos tempos T0 e T3, foram coletadas amostras de sangue, após assepsia local com álcool a 70%, por meio de venopunção da jugular, em tubos siliconizados sem anticoagulante com capacidade de 9 ml, para determinação de troponina cardíaca (IMMULITE 2000 Immunoassay System, Siemens, com kit da mesma marca). As amostras foram submetidas a um processo de centrifugação

durante um período de 10 minutos, utilizando a Centrífuga Angular Analógica CNT800D da Quirumed, a uma velocidade de 3.000 rotações por minuto. O presente procedimento teve como objetivo a separação do soro e a subsequente congelação das amostras em *eppendorfs* a uma temperatura de -80 °C, utilizando o Freezer MDF-DU502VH da PHCbi. As amostras permaneceram congeladas até serem processadas para a realização das análises clínicas.

3.6 Análise estatística

A análise estatística foi realizada com recurso a um programa informático (GraphPad Prism, versão 10.3.0, GraphPad, Boston, EUA). As variáveis foram consideradas normais, com base no teste de *Kolmogorov-Smirnov* ($p > 0,05$). Com o propósito de avaliar a influência do exercício físico em PRETR e TR, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) para medidas repetidas, seguido de uma comparação entre médias (teste de *Tukey*). Para avaliar a influência do treino (PRETR vs. TR), recorreu-se à comparação dos dados através do Teste T de *Student* pareado. Os resultados foram expressos como médias com os respetivos desvios-padrão e a significância estabelecida em $p \leq 0,05$ em todos os casos.

4 Resultados

A seleção dos equídeos a serem utilizados no estudo foi efetuada dez semanas antes do início do protocolo de treino, o qual incluía a passadeira aquática. Os animais selecionados praticavam a modalidade de salto de obstáculos há mais de um ano, mantendo um ritmo constante de treino. Todos os atletas foram submetidos a um exame físico rigoroso, que confirmou a sua aptidão para a competição. Os dados estão apresentados na Tabela 4.1.

Em termos globais, a temperatura média ambiente foi de 13,2°C, com humidade relativa do ar de 74,9%, nos dias em que decorreram os testes de campo. Durante o período de treino, a temperatura média registada foi de 14,5°C, com humidade relativa do ar de 79,1%. Adicionalmente, a temperatura média da água da passadeira foi de 14,9 °C.

Tabela 4.1 - Características basais e de performance para seleção dos animais usados.

Variável	Cavalos (n=6)
Peso corporal (kg)	578,3 ± 17,16
Espessura de gordura da garupa (cm)	0,78 ± 0,42
Percentagem de gordura corporal (%)	12,3 ± 2,0
Massa magra (kg)	507,5 ± 18,0
Duração média do percurso (min)	2,19 ± 0,29
Distância total (m)	335,0 ± 33,9

Conforme demonstrado na Tabela 4.2, após um período de 10 semanas de treino, observou-se um aumento de forma significativa da espessura do SIV na diástole, da EPPVE na sístole, da fração de ejeção do VE, da fração de encurtamento do VE, da FC e do débito cardíaco. Paralelamente, foram registadas redução significativa para DIVE na sístole.

Tabela 4.2 - Parâmetros ecocardiográficos registrados nos equinos de salto de obstáculos treinados na passarela aquática.

	Sístole		Diástole	
	PRETR	TR	PRETR	TR
SIV (cm)	4,60 ± 0,26	4,71 ± 0,33	2,56 ± 0,15 ^b	2,79 ± 0,17 ^a
DIVE (cm)	5,99 ± 1,35 ^a	5,68 ± 0,99 ^b	11,16 ± 1,15	11,33 ± 0,93
EPPVE (cm)	4,21 ± 0,30 ^b	4,48 ± 0,46 ^a	2,60 ± 0,12	2,67 ± 0,27
V (mL)	189,9 ± 88,0	165,17 ± 64,92	725,1 ± 157,0	746,72 ± 133,51
		PRETR	TR	
FEj (%)		74,95 ± 7,64 ^b	78,56 ± 4,80 ^a	
FEn (%)		46,84 ± 7,64 ^b	50,16 ± 4,81 ^a	
VEj (mL)		535,1 ± 77,6	581,55 ± 70,35	
FC (bpm)		31,22 ± 4,13 ^a	36,33 ± 7,06 ^b	
DC (L/min)		16,70 ± 3,71 ^b	21,34 ± 6,13 ^a	

Nota: Letras diferentes na mesma linha sinalizam influência do treino pelo teste-t de Student pareado ($p \leq 0,05$). PRETR, antes do treino de 10 semanas; TR, após o treino de 10 semanas. SIV, espessura do septo interventricular; DIVE, diâmetro interno do ventrículo esquerdo; EPPVE, espessura da parede proximal do ventrículo esquerdo; V, volume do ventrículo esquerdo; FEj%, fração de ejeção do ventrículo esquerdo; FEn%, fração de encurtamento do ventrículo esquerdo; VEj, volume de ejeção; FC, frequência cardíaca; DC, débito cardíaco.

Os dados referentes aos parâmetros físicos e à troponina cardíaca encontram-se apresentados na Tabela 4.3. De modo geral, as variáveis analisadas (FC, FR; TC) foram significativamente influenciadas pela prática de atividade física (efeito do TSO), com um pico dos valores em T1 e uma regressão aos valores pré-esforço ainda em T2. A troponina, analisada em T0 e T3, mostrou um aumento significativo apenas no PRETR.

Relativamente aos efeitos do programa de treino (PRETR x TR), apenas a troponina cardíaca apresentou valores inferiores após o programa de treino na passarela aquática.

Tabela 4.3 - Parâmetros fisiológicos e troponina cardíaca (médias $\pm$ desvios-padrão) dos equinos em testes de campo de salto de obstáculos, usados na avaliação de um treino físico de dez semanas usando a passadeira aquática.

Parâmetros	Período do estudo					p
	T0	T1	T2	T3	SO	Treino
FC, bpm						
PRETR	30,0 ± 5,5 ^b	91,3 ± 27,5 ^a	34,7 ± 2,1 ^b	33,7 ± 4,8 ^b	0,0001	0,165
TR	32,8 ± 3,3 ^b	98,7 ± 16,1 ^a	40,7 ± 3,0 ^b	36,7 ± 3,0 ^b	0,0001	
FR, mrpm						
PRETR	13,3 ± 3,3 ^b	46,0 ± 17,3 ^a	17,3 ± 4,8 ^b	15,7 ± 6,3 ^b	0,0001	0,220
TR	12,8 ± 1,6 ^b	39,3 ± 11,2 ^a	20,7 ± 5,9 ^b	12,0 ± 0,0 ^b	0,0001	
TC, °C						
PRETR	37,1 ± 0,5 ^b	37,8 ± 0,3 ^a	37,7 ± 0,2 ^a	37,4 ± 0,4 ^a	0,012	0,223
TR	37,4 ± 0,2 ^a	37,6 ± 0,4 ^a	37,5 ± 0,3 ^a	37,2 ± 0,2 ^b	0,0001	
Troponina, ng/dL						
PRETR	0,009 ± 0,008 ^b			0,023 ± 0,008 ^a	0,001	0,017
TR	0,007 ± 0,007			0,007 ± 0,006	0,574	

Nota: Letras diferentes na mesma linha sinalizam influência da atividade física (TSO) pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$) para FC, FR, TC; e influência do treino pelo teste-t de Student pareado ($p \leq 0,05$). PRETR, antes do protocolo de treino; TR, após o protocolo de treino. T0: repouso; T1: imediatamente após o exercício; T2: com 30 minutos de recuperação; T3, com 240 minutos de recuperação. FC, frequência cardíaca; FR, frequência respiratória; TC, temperatura corporal.

Durante o protocolo do estudo, os animais demonstraram um desempenho satisfatório, sem sinais de desconforto ou complicações. A FCpico média registada no teste de esforço foi de $93,0 \pm 22,8$ bpm e, assim, o intervalo médio da FC de trabalho na passadeira aquática foi entre 55,8 e 74,4 bpm. Observou-se uma progressão, individual e em grupo, da velocidade de trabalho na água, começando com 8,3 km/h na semana 2, 7,9 km/h na semana 4, 11,0 km/h na semana 6 e 11,2 km/h na semana 8.

O teste a campo realizado em PRETR teve uma duração de $2,19 \pm 0,29$ minutos e uma distância total $335,0 \pm 33,9$ metros. Em TR, a duração foi de $2,02 \pm 0,12$ minutos e uma distância total $348,3 \pm 19,4$ metros.

5 Discussão

A hipótese formulada pela autora foi confirmada em parte, uma vez que se verificou um aumento da SIV em diástole, da EPPVE na sístole, da FEj%, da FEn% e do DC, bem como uma ausência de aumento da cTnI em TR. Estes achados estão em conformidade com a existência de uma remodelação cardiovascular. Contudo, observou-se um aumento da FC (registada na ecocardiografia) e uma diminuição do DIVEs.

A hipertrofia miocárdica resultante do treino já foi descrita em equídeos. Young (1999) realizou um programa de treino em cavalos de Puro-Sangue com dois anos de idade, tendo concluído que a hipertrofia cardíaca resultava de um aumento da espessura média da parede, de um aumento da massa muscular calculada do VE e de uma dilatação das câmaras cardíacas. Resultados similares foram descritos em *Standardbreds* jovens, após 18 meses de treino (Buhl et al., 2005). Adicionalmente, Ribeiro et al. (2023) evidenciaram um aumento da espessura miocárdica em cavalos da raça Criollo treinados, quando comparados com cavalos não treinados da mesma raça; Santos et al. (2023) e Ramos et al. (2024a) obtiveram resultados semelhantes em cavalos da raça Árabe, sujeitos a um período de treino de seis semanas em passadeira seca.

Deste modo, a hipertrofia cardíaca manifesta-se como um mecanismo de adaptação ao treino, tanto de força como de resistência, em resposta ao aumento das necessidades metabólicas. No entanto, o tipo de hipertrofia é distinto consoante o tipo de esforço aplicado ao coração (Chanda & Petchdee, 2022). A hipertrofia concêntrica cardíaca resulta de um aumento da EPPVE e, consequentemente, de uma redução do DIVE, em resultado de um aumento da resistência à ejeção (pós-carga), como resposta adaptativa a exercícios estáticos com contrações musculares sustentadas (Chanda & Petchdee, 2022). Em contrapartida, a resposta adaptativa de hipertrofia excêntrica, resulta num aumento de massa ventricular e da espessura de parede ventricular, em conjunto com o aumento dos diâmetros cavitários (Colan, 1997; Grossman et al., 1975; Mill & Vassallo, 2001; Opie & Lopaschuk, 1998). Esta, ocorre como consequência de uma sobrecarga volumétrica, com exercícios dinâmicos envolvendo a contração regular de grandes grupos musculares e o concomitante aumento da capacidade diastólica (Chanda & Petchdee, 2022).

O programa estabelecido na presente investigação abrange uma combinação de ambos os tipos de treino, tendo sido classificado como um treino de força, na medida em que apresenta alterações como a redução da DIVEs e o aumento da SIVd. Não obstante, não se pode descartar

alterações sugestivas de um treino aeróbio, como os aumentos, ainda que não estatisticamente significantes, da DIVED e EPPVED. Dado isto, concluiu-se que se tratava de um treino misto, com alterações provenientes de ambos os tipos de treino. São necessários estudos mais aprofundados para aferir que tipo remodelamento cardíaco é desencadeado por este protocolo em específico. Esta conclusão contrasta com a literatura reunida que classifica o treino em passadeira aquática como um treino maioritariamente aeróbio ou de resistência (Lindner et al., 2012; Muñoz et al., 2019; Scott et al., 2010; Tranquille et al., 2018; Vincze et al., 2013, 2017).

Neste caso particular, as variáveis que influenciam a carga de trabalho durante o treino (altura da água, velocidade, tempo) (Sikorska et al., 2025) foram selecionadas com base em uma série de estudos prévios, podendo resultar num treino que melhora predominantemente a capacidade anaeróbia do atleta. Ademais, o protocolo foi concebido tendo em consideração as exigências da modalidade desportiva de salto de obstáculos, na qual os animais devem apresentar força para executar os saltos e resistência cardiorrespiratória para completar o percurso (Kirsch et al., 2022). Tal modalidade é classificada como um desporto de intensidade anaeróbia intermitente (Soares et al., 2016; Weeren, 2014).

Em circunstâncias convencionais, como no exercício em pistas de corrida ou em passadeiras tradicionais, a intensidade da atividade é quase exclusivamente determinada pela velocidade de trabalho. No entanto, na passadeira aquática, a profundidade da água emerge como um fator distinto e relevante. A altura selecionada (35-40 cm) resultou num aumento do atrito (Prankel, 2008), exigindo uma maior ação muscular e capacidade de trabalho ventricular (Mill & Vassallo, 2001). Com base nos resultados obtidos, é possível afirmar que este protocolo de treino seria benéfico para equídeos que participam em competições de salto de obstáculos, uma vez que melhora a capacidade anaeróbia e a capacidade muscular e corporal de gerar força.

Assim, a hipertrofia miocárdica induzida por este treino na passadeira aquática constitui uma adaptação fisiológica desejável, na medida em que se verifica uma melhoria significativa da função sistólica. Por conseguinte, observou-se um aprimoramento substancial da contração ventricular em resposta a um aumento da demanda (Mill & Vassallo, 2001). A maior força contrátil do miocárdio levou ao aumento significativo da FEj% (percentual de sangue ejetado a cada sístole do VE) e, subsequentemente, ao aumento significativo do DC após as 10 semanas de treino. Estas alterações eram esperadas, segundo alguns estudos que evidenciaram uma resposta positiva destes dois parâmetros ao treino crónico (Colan, 1997; Colan et al., 1987; Young, 2005). Em oposição, outros estudos não reportam resultados

coincidentes, evidenciando, deste modo, um DC inalterado (Ramos et al., 2024a; Santos et al., 2023). Contudo, observa-se igualmente uma redução da FC, o que pode constituir a causa da estabilidade deste parâmetro (Shave et al., 2017).

Ainda na sístole, foi observada uma redução significativa do DIVE. A referida redução era esperada devido ao aumento concomitante da espessura da PPVE, uma vez que o aumento da espessura da parede ventricular resulta na redução do espaço interno cavitário (Chanda & Petchdee, 2022; Grossman et al., 1975). Dada a presente modificação, seria previsível um decréscimo do enchimento cardíaco e da FEn%. No entanto, observou-se um aumento da FEn%, ou seja, um maior percentual de variação do DIVE entre a diástole e a sístole que, por sua vez, leva ao aumento da força de contração, contribuindo para o aumento significativo do VEj e do DC. Estes resultados estão em consonância com estudos prévios, que evidenciaram igualmente um aumento da FEn% após um treino padronizado (Patteson, 1993) e em comparação entre animais treinados e não treinados (Gehlen et al., 2006; Gunther-Harrington et al., 2018), bem como em atletas humanos (Rowland et al., 2002). Deste modo, é plausível que tenha ocorrido uma ativação homogênea dos sarcômeros, resultando numa otimização da produção de força e do encurtamento dos miócitos (Balke & Shorofsky, 1998), demonstrando uma relação direta entre FEj% e FEn%.

Adicionalmente, a atividade na água promoveu a circulação de retorno, em virtude da propriedade associada à pressão hidrostática (Regnard et al., 2022; Torres-Ronda & Del Alcázar, 2014; Weenink & Wingelaar, 2021), além do movimento de caminhada/trote em si, reforçando um viés aeróbio do treino. O aumento do volume de retorno venoso (pré-carga) reflete-se no aumento da FEn%, contribuindo para a FEj%, uma vez que as fibras musculares do coração ficaram sujeitas a uma maior capacidade de distensão. Este mecanismo é designado por lei de Frank-Starling, e explica o aumento observado do DC (LaCombe et al., 2025).

O aumento significativo da SIV observado durante a diástole (fase de enchimento), quando avaliado de forma isolada, poderia indicar uma disfunção diastólica, uma vez que a hipertrofia miocárdica pode comprometer o enchimento cardíaco (Aengevaeren et al., 2021a). No entanto, esta hipertrofia foi acompanhada por um aumento da FEj%, visto o SIV ter papel fundamental na contração cardíaca, caracterizando uma resposta ao treino designada "coração atleta" (Maron & Pelliccia, 2006; Pluim et al., 2000). Adicionalmente, este aumento vem corroborar a conclusão de que ocorreu uma hipertrofia miocárdica generalizada do VE dos animais participantes neste estudo. De forma análoga, Toker (2024), Ramos et al. (2024b) e L.

E. Young (1999) demonstraram um aumento da SIV em cavalos de corrida, Árabes e Puro-Sangue Inglês, respetivamente, após um treino crónico.

Por fim, uma vez que se observou uma redução dos valores de cTnI no TR, concluiu-se que tais alterações não foram acompanhadas de fadiga, o que sugere um efeito benéfico adicional do treino proposto.

Em consequência de uma sessão de atividade física (efeito agudo), podem ser observados aumentos transitórios deste biomarcador, com a normalização dos valores basais no período de 12 a 24 horas (Donnellan & Phelan, 2018; Hellings et al., 2020; Rossi et al., 2015, 2018; Shields et al., 2018). Embora o mecanismo de libertação desta não seja totalmente compreendido, é amplamente aceite e estudado que há um aumento da mesma após um exercício extenuante (Shave et al., 2010), devido a possíveis alterações de permeabilidade do cardiomiócito (Aengevaeren et al., 2021a; Fazio et al., 2023). No presente estudo, foi observável um aumento da cTnI subsequente ao TSO na PRETR. Estes resultados estão em conformidade com a literatura, que indica que a modalidade de salto de obstáculos é considerada um exercício de alta intensidade, o que explica o aumento supramencionado (Soares et al., 2016). Esta observação é corroborada por vários estudos, tanto em equídeos como em seres humanos (Aengevaeren et al., 2019; Lippi & Sanchis-Gomar, 2020; Pourmohammad et al., 2020). Adicionalmente, há indícios que apontam para a hipótese de a libertação deste biomarcador estar mais fortemente associada à intensidade do trabalho imposto do que à sua duração (Marshall et al., 2020; Shave et al., 2010).

Contudo, este fenómeno não se verificou após o treino (TR), sendo que não ocorreram alterações da cTnI após o TSO, indicando uma melhoria na capacidade cardíaca do grupo estudado (Aengevaeren et al., 2021a; Legaz-Arrese et al., 2015).

Até à data, que a autora tenha conhecimento, não foi realizada uma análise exaustiva que comprove o impacto do treino crónico na libertação de troponina após o exercício em equídeos. Em contrapartida, na medicina desportiva humana, esta relação já é objeto de estudo, tendo-se concluído que a libertação de cTn após o exercício é afetada por uma combinação do estado de treino e da intensidade do exercício. De facto, os indivíduos treinados requerem um estímulo de exercício absoluto maior para alcançar o mesmo estímulo relativo. Em termos mais claros, para um sujeito específico, após o treino, é necessário realizar um exercício de maior intensidade para alcançar a mesma resposta de libertação de cTn obtida antes do treino. Diante o exposto, é possível concluir que a redução da libertação deste biomarcador após um

determinado treino indica uma melhoria na capacidade cardíaca do indivíduo (Aengevaeren et al., 2021a; Legaz-Arrese et al., 2015). No estudo em questão, apesar do aumento do estímulo absoluto, ocorreu uma diminuição dos valores de cTnI, reforçando a tese de que ocorreu uma melhoria da capacidade cardíaca individual dos cavalos expostos a este protocolo.

O aumento da FC durante o registo ecocardiográfico feito em TR não era esperado. Como exposto anteriormente, houve um aumento da força cardíaca. Isto por sua vez deveria ter diminuído a FC, pois o coração seria mais eficiente no bombeamento de sangue (Boffi, 2007). Em síntese, o coração teria capacidade para bombear uma quantidade superior de sangue de forma contínua, com um número mais reduzido de batimentos cardíacos para o mesmo estímulo absoluto. No âmbito do presente estudo, uma das teorias que pode ser invocada para justificar este aumento inesperado é a possibilidade de *stress* relacionado a realização do exame ecocardiográfico, com exposição a um elevado número de estímulos desconhecidos, tais como sala escura, bem como a manipulação excessiva ocorrida ao longo das 10 semanas do estudo (McCrae, 2019).

Ainda assim, dado este resultado, poder-se-ia então inferir que o aumento descrito do DC adviria deste aumento da FC, uma vez que o DC é o produto da FC e do VEj (Hodgson, 2014). Contudo, o aumento registado (de 30 bpm para 36 bpm) não apresenta relevância clínica, podendo ser ignorado. Deste modo, depreende-se que o aumento do DC resulta do aprimoramento de diversos índices observados com o treino proposto, tais como aumento da FEj%, da FEn% e do VEj (Hodgson, 2014).

O bom condicionamento físico dos equinos usados na presente pesquisa foi atestado através da análise dos parâmetros físicos nos testes de campo. Foram observados aumentos significativos de FC, FR e TC no T1, achados justificados pelo esforço físico, com retorno aos níveis basais no momento T2. Contudo, não se observaram melhorias nos parâmetros em questão após a implementação do protocolo de treino, o que não correspondeu às expectativas iniciais. Alguns estudos obtiveram resultados semelhantes, utilizando a passadeira aquática (Vincze et al., 2017) ou treino em passadeira convencional (Rose et al., 1983). Contudo, há igualmente estudos que sinalizaram uma redução dos valores de FCs após o treino submáximo (Hodgson, 2014; Marlin & Nankervis, 2013; Santos et al., 2023). Tal resultado pode ser justificado por diversos fatores, nomeadamente a existência de um período de treino insuficiente. Para responder a esta questão, seria necessário implementar um novo protocolo mais abrangente e, posteriormente, analisar os resultados obtidos.

Contudo, estes resultados não são desfavoráveis, uma vez que as variáveis permaneceram constantes, mesmo com incrementos na condição física e desportiva, conforme trabalhos com o mesmo grupo de animais. Em suma, o treino levou ao ganho de massa magra corporal (Peniche, 2025), ativação de músculos envolvidos na propulsão corporal (Santos, 2024), redução dos índices de gasto energético e custos de locomoção (Barbosa, 2025) e melhoria da biomecânica do salto (Walton, 2025).

Não obstante, é igualmente notável a ausência de registo de efeitos secundários do treino, como possíveis patologias podais, entre outros, bem como as diferentes metas de sucesso entre o estudo em apreço e o estudo com o qual este é comparado. Ademais, é imperativo considerar que as imagens ecocardiográficas foram obtidas sem a tricotomia da área em análise, uma vez que os animais participavam em competições e os seus proprietários se opuseram a esse procedimento. Esta circunstância pode inadvertidamente afetar algumas medições e parâmetros avaliados no presente estudo.

Relativamente ao estudo em si, este apresentou algumas limitações. Entre as limitações identificadas, destaca-se o tamanho reduzido da amostra, apesar da homogeneidade da mesma (animais em mesmo nível de condicionamento físico, criados e treinados no mesmo centro equestre e adaptados ao uso da passadeira aquática). São necessários estudos adicionais, com períodos mais prolongados e amostras mais heterogêneas incluindo animais praticantes de diferentes desportos ou de diferentes alturas de saltos de obstáculos, para aprofundar a compreensão do impacto desta prática no processo de remodelamento cardíaco em equídeos atletas.

6 Conclusão

Com base nos resultados desta investigação, foi possível concluir que o protocolo de treino implementado promoveu adaptações cardíacas compatíveis com a hipertrofia do ventrículo esquerdo. Estas alterações traduziram-se em melhorias significativas da função sistólica, expressas pelo aumento da EPPVE, da FEj%, da FEn% e do débito cardíaco. O remodelamento cardíaco ocorreu por uma ação mista, em consequência de uma componente aeróbia (resistência) e de uma componente anaeróbia (força) do programa de treino na água. Paralelamente, a ausência de uma alteração de cTnI após o treino sugere uma melhor capacidade de resposta cardíaca, sem indícios de fadiga ou sobrecarga, reforçando a adaptação fisiológica dos animais ao esforço.

Conclui-se que o treino em passadeira aquática, no contexto e condições experimentais neste estudo descritos, contribuiu para a melhoria da capacidade contrátil e da eficiência cardíaca de equinos de salto de obstáculos, configurando-se como uma estratégia benéfica de preparação desportiva.

7 Referências Bibliográficas

- Aagaard, P., Sahlén, A., Bergfeldt, L., & Braunschweig, F. (2014). Heart rate and its variability in response to running-associations with troponin. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 46(8), 1624–1630.
- Abrantes, R. G. P. (2013). Validação de um protocolo de treinamento para provas de marcha da Raça Mangalarga Marchador. *Bioscience Journal*, 31(6), 1787–1791.
- Aengevaeren, V. L., Baggish, A. L., Chung, E. H., George, K., Kleiven, Ø., Mingels, A. M. A., Ørn, S., Shave, R. E., Thompson, P. D., & Eijsvogels, T. M. H. (2021a). Exercise-Induced Cardiac Troponin Elevations: From Underlying Mechanisms to Clinical Relevance. *Circulation*, 144(24), 1955–1972. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.121.056208>
- Aengevaeren, V. L., Baggish, A. L., Chung, E. H., George, K., Kleiven, Ø., Mingels, A. M. A., Ørn, S., Shave, R. E., Thompson, P. D., & Eijsvogels, T. M. H. (2021b). Exercise-Induced Cardiac Troponin Elevations: From Underlying Mechanisms to Clinical Relevance. *Circulation*, 144(24), 1955–1972. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.121.056208>
- Aengevaeren, V. L., Hopman, M. T. E., Thompson, P. D., Bakker, E. A., George, K. P., Thijssen, D. H. J., & Eijsvogels, T. M. H. (2019). Exercise-induced cardiac troponin I increase and incident mortality and cardiovascular events. *Circulation*, 140(10), 804–814.
- Agüera, E. I., Rubio, D., Vivo, R., Santisteban, R., Agüera, S., Muñoz, A., & Castejón, F. M. (1995). Heart rate and plasma lactate responses to training in Andalusian horses. *Journal of Equine Veterinary Science*, 15(12), 532–536. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0737-0806\(07\)80423-0](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0737-0806(07)80423-0)
- Almeida, M. B., & Araújo, C. G. S. (2003). Efeitos do treinamento aeróbico sobre a frequência cardíaca. *Rev Bras Med Esporte*, 9(2), 104–112.
- Aloan, L. (1996). *Hemodinâmica e Angiocardiografia* (2nd ed.). Atheneu.
- Alonso, D. de O., Forjaz, C. L. de M., Rezende, L. O., Braga, A. M. F. W., Barretto, A. C. P., Negrão, C. E., & Rondon, M. U. P. B. (1998). Comportamento da frequência cardíaca e da sua variabilidade durante as diferentes fases do exercício físico progressivo máximo.

- Arquivos Brasileiros de Cardiologia*, 71(6). <https://doi.org/10.1590/S0066-782X1998001200008>
- Araújo, C. (1985). Fast “ON” and “OFF” Heart Rate Transients at Different Bicycle Exercise Levels. *International Journal of Sports Medicine*, 06(02), 68–73. <https://doi.org/10.1055/s-2008-1025815>
- Araújo, C. G., Nóbrega, A. C., & Castro, C. L. (1989). Vagal activity: effect of age, sex and physical activity pattern. *Braz J Med Biol Res*, 22(7), 909–911.
- Araujo, C. G. S., Nobrega, A. C. L., & Castro, C. L. B. (1992). Heart rate responses to deep breathing and 4-seconds of exercise before and after pharmacological blockade with atropine and propranolol. *Clinical Autonomic Research*, 2(1), 35–40. <https://doi.org/10.1007/BF01824209>
- Arfuso, F., Giannetto, C., Giudice, E., Fazio, F., & Piccione, G. (2016). Dynamic modulation of platelet aggregation, albumin and nonesterified fatty acids during physical exercise in Thoroughbred horses. *Research in Veterinary Science*, 104, 86–91.
- Art, T., Amory, H., Desmecht, D., & Lekeux, P. (1990). Effect of show jumping on heart rate, blood lactate and other plasma biochemical values. *Equine Veterinary Journal*, 22(S9), 78–82. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.1990.tb04740.x>
- Astrand, P.-O. (1990). *Textbook of work physiology* (4th ed.). Human Kinetics.
- Ayvazoglu, C., Kızıltpe, Ş., Yaşar, Ü., Yaşar, Z. G., Demir, P., & Tunc, A. C. (2023). Changes in cardiac troponin I (cTnI), T (cTnT), and some biochemical parameters in Arabian racehorses after training. *South African Journal of Animal Science*, 53(1), 1–6.
- Balke, C. W., & Shorofsky, S. R. (1998). Alterations in calcium handling in cardiac hypertrophy and heart failure. *Cardiovascular Research*, 37(2), 290–299.
- Barbier, J., Ville, N., Kervio, G., Walther, G., & Carré, F. (2006). Sports-Specific Features of Athlete’s Heart and their Relation to Echocardiographic Parameters. *Herz Kardiovaskuläre Erkrankungen*, 31(6), 531–543. <https://doi.org/10.1007/s00059-006-2862-2>
- Barbosa, I. A. T. de M. (2025). *Gasto energético de equinos treinados em passadeira aquática* [Dissertação]. Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias .

- Baum, K., Eßfeld, D., Leyk, D., & Stegemann, J. (1992). Blood pressure and heart rate during rest-exercise and exercise-rest transitions. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 64(2), 134–138. <https://doi.org/10.1007/BF00717950>
- Bayly, W. M., Gabel, A. A., & Barr, S. A. (1983). Cardiovascular effects of submaximal aerobic training on a treadmill in Standardbred horses, using a standardized exercise test. *American Journal of Veterinary Research*, 44(4), 544–553. <https://doi.org/10.2460/ajvr.1983.44.04.544>
- Bello, C. A. de O. (2012). *Avaliação da função cardíaca de equinos submetidos ao exercício de polo* [Master thesis]. Universidade de Brasília .
- Bertone, J. J., Paull, K. S., Wingfield, W. E., & Boon, J. A. (1987). M-mode echocardiographs of endurance horses in the recovery phase of long-distance competition. *American Journal of Veterinary Research*, 48(12), 1708–1712. <https://doi.org/10.2460/ajvr.1987.48.12.1708>
- Bitschnau, C., Wiestner, T., Trachsel, D. S., Auer, J. A., & Weishaupt, M. A. (2010). Performance parameters and post exercise heart rate recovery in Warmblood sports horses of different performance levels. *Equine Veterinary Journal*, 42, 17–22.
- Blomqvist, C. G., & Saltin, B. (1983). Cardiovascular adaptations to physical training. *Annual Review of Physiology*, 45(1), 169–189.
- Boffi, F. M. (2007). *Fisiología del ejercicio en equinos* (1st ed.). Buenos Aires: Inter-Médica,.
- Boon, J. A. (1998). Evaluation of size, function and hemodynamics. In *Manual of Veterinary Echocardiography* (pp. 151–260). Baltimore: Williams & Wilkins.
- Borgia, L. A., Valberg, S. J., & Essen-Gustavsson, B. (2010). Differences in the metabolic properties of gluteus medius and superficial digital flexor muscles and the effect of water treadmill training in the horse. *Equine Veterinary Journal*, 42(s38), 665–670. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2010.00229.x>
- Borresen, J., & Lambert, M. I. (2007). Changes in heart rate recovery in response to acute changes in training load. *European Journal of Applied Physiology*, 101, 503–511.
- Borst, C., Wieling, W., van Brederode, J. F., Hond, A., de Rijk, L. G., & Dunning, A. J. (1982). Mechanisms of initial heart rate response to postural change. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 243(5), H676–H681. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.1982.243.5.H676>

- Bowman, P. R. T., Smith, G. L., & Gould, G. W. (2021). Run for your life: can exercise be used to effectively target GLUT4 in diabetic cardiac disease? *PeerJ*, 9, e11485. <https://doi.org/10.7717/peerj.11485>
- Brubaker, P., Ozemek, C., Gonzalez, A., Wiley, S., & Collins, G. (2011). Cardiorespiratory responses during underwater and land treadmill exercise in college athletes. *Journal of Sport Rehabilitation*, 20(3), 345–354.
- Buhl, R., Ersbøll, A. K., Eriksen, L., & Koch, J. (2004). Sources And Magnitude Of Variation Of Echocardiographic Measurements In Normal Standardbred Horses. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 45(6), 505–512. <https://doi.org/10.1111/j.1740-8261.2004.04086.x>
- Buhl, R., Ersbøll, A. K., Eriksen, L., & Koch, J. (2005). Changes over time in echocardiographic measurements in young Standardbred racehorses undergoing training and racing and association with racing performance. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 226(11), 1881–1887. <https://doi.org/10.2460/javma.2005.226.1881>
- Butler, P. J. (1991). The effect of cessation of training on cardiorespiratory variables during exercise. *Equine Exercise Physiology* 3, 71–76.
- Cardinet 3rd, G. H., Fower, M., & Tylerr, W. (1963). Heart Rates And Respiratory Rates For Evaluating Performance In Horses During Endurance Trail Ride Competition. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 143, 1303–1309.
- Cesar, F. B. (2007). *Exame ecocardiográfico no equino em repouso*. Hospital Veterinário Jockey Club de São Paulo.
- Chanda, M., & Petchdee, S. (2022). Cardiac morphology changes in horses as a response to various types of sports. *Journal of Applied Animal Research*, 50(1), 453–459.
- Clarke, M. S. F., Caldwell, R. W., Chiao, H., Miyake, K., & McNeil, P. L. (1995). Contraction-induced cell wounding and release of fibroblast growth factor in heart. *Circulation Research*, 76(6), 927–934.
- Clausen, J. P. (1977). Effect of physical training on cardiovascular adjustments to exercise in man. *Physiological Reviews*, 57(4), 779–815. <https://doi.org/10.1152/physrev.1977.57.4.779>

- Clayton, H. M. (1991). Conditioning sport horses Sport Horse Publications. *Saskatoon, Saskatchewan, Canada*.
- Colan, S. D. (1997). Mechanics of left ventricular systolic and diastolic function in physiologic hypertrophy of the athlete's heart. *Cardiology Clinics*, 15(3), 355–372. [https://doi.org/10.1016/S0733-8651\(05\)70345-3](https://doi.org/10.1016/S0733-8651(05)70345-3)
- Colan, S. D., Sanders, S. P., & Borow, K. M. (1987). Physiologic hypertrophy: Effects on left ventricular systolic mechanics in athletes. *Journal of the American College of Cardiology*, 9(4), 776–783. [https://doi.org/10.1016/S0735-1097\(87\)80232-2](https://doi.org/10.1016/S0735-1097(87)80232-2)
- Couroucé, A. (1999). Field exercise testing for assessing fitness in French Standardbred trotters. *The Veterinary Journal*, 157(2), 112–122.
- Dávila-Román, V. G., Guest, T. M., Tuteur, P. G., Rowe, W. J., Ladenson, J. H., & Jaffe, A. S. (1997). Transient right but not left ventricular dysfunction after strenuous exercise at high altitude. *Journal of the American College of Cardiology*, 30(2), 468–473.
- Donnellan, E., & Phelan, D. (2018). Biomarkers of cardiac stress and injury in athletes: what do they mean? *Current Heart Failure Reports*, 15(2), 116–122.
- Dowzer, C. N., Reilly, T., Cable, N. T., & Neville, A. (1999). Maximal physiological responses to deep and shallow water running. *Ergonomics*, 42(2), 275–281. <https://doi.org/10.1080/001401399185649>
- Durando, M. M., Reef, V. B., Kline, K., & Birks, E. K. (2006). Acute effects of short duration, maximal exercise on cardiac troponin I in healthy horses. *Equine and Comparative Exercise Physiology*, 3(4), 217–223.
- Eaton, M. D. (1994). Energetics and Performance. In D. R. Hodgson & R. J. Rose (Eds.), *The Athletic Horse: principles and practice of equine sports medicine* (1st ed., pp. 49–61). Elsevier Health Sciences.
- Eijssvogels, T. M. H., Hoogerwerf, M. D., Maessen, M. F. H., Seeger, J. P. H., George, K. P., Hopman, M. T. E., & Thijssen, D. H. J. (2015). Predictors of cardiac troponin release after a marathon. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 18(1), 88–92. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2013.12.002>
- Essén, B. (1977). Intramuscular substrate utilization during prolonged exercise. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 301, 30–44.

- Evans, B. W., Cureton, K. J., & Purvis, J. W. (1978). Metabolic and circulatory responses to walking and jogging in water. *Research Quarterly. American Alliance for Health, Physical Education and Recreation*, 49(4), 442–449.
- Evans, D. L. (2000). Training and Fitness in Athletic Horses. *Rural Industries Research and Development Corporation*.
- Evans, D. L. (2007). Physiology of equine performance and associated tests of function. *Equine Veterinary Journal*, 39(4), 373–383. <https://doi.org/10.2746/042516407X206418>
- Evans, D. L. (2009). Cardiovascular physiology: Responses to exercise and training. *Anais I Simpósio de Fisiologia Do Exercício Em Equinos, São Paulo*, 4–6.
- Evans, D. L., Harris, R. C., & Snow, D. H. (1993). Correlation of racing performance with blood lactate and heart rate after exercise in Thoroughbred horses. *Equine Veterinary Journal*, 25(5), 441–445.
- Evans, D. L., & Hogson, D. R. (2014). The cardiovascular system: anatomy, physiology, and adaptations to exercise and training. In D. R. Hodgson, K. H. McKeever, & C. M. McGowan (Eds.), *The Athletic Horse: Principles and Practice of Equine Sports Medicine* (2nd ed., pp. 162–173).
- Evans, D. L., & Rose, R. J. (1987). Maximum oxygen uptake in racehorses: changes with training state and prediction from submaximal cardiorespiratory measurements. *Equine Exercise Physiology*, 52–67.
- Evans, D. L., & Rose, R. J. (1988). Cardiovascular and Respiratory Responses in Thoroughbred Horses During Treadmill Exercise. *Journal of Experimental Biology*, 134(1), 397–408. <https://doi.org/10.1242/jeb.134.1.397>
- Evans, W. J., & Cannon, J. G. (1991). The metabolic effects of exercise-induced muscle damage. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 19(1), 99–126.
- Fazio, F., Aragona, F., Piccione, G., Pino, C., & Giannetto, C. (2023). Cardiac biomarker responses to acute exercise in show jumping horses. *Journal of Equine Veterinary Science*, 128, 104882.
- Fazio, F., Casella, S., Assenza, A., Arfuso, F., Tosto, F., & Piccione, G. (2014). Blood biochemical changes in show jumpers during a simulated show jumping test. *Veterinarski Arhiv*, 84(2), 143–152.

- Firshman, A. M., Borgia, L. A., & Valberg, S. J. (2015). Effects of training at a walk on conventional and underwater treadmills on fiber properties and metabolic responses of superficial digital flexor and gluteal muscles to high-speed exercise in horses. *American Journal of Veterinary Research*, 76(12), 1058–1065. <https://doi.org/10.2460/ajvr.76.12.1058>
- Flethøj, M., Kanters, J. K., Haugaard, M. M., Pedersen, P. J., Carstensen, H., Balling, J. D., Olsen, L. H., & Buhl, R. (2016). Changes in heart rate, arrhythmia frequency, and cardiac biomarker values in horses during recovery after a long-distance endurance ride. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 248(9), 1034–1042. <https://doi.org/10.2460/javma.248.9.1034>
- Foreman, J. H., Bayly, W. M., Grant, B. D., & Gollnick, P. D. (1990). Standardized exercise test and daily heart rate responses of thoroughbreds undergoing conventional race training and detraining. *American Journal of Veterinary Research*, 51(6), 914–920.
- Galloux, P., Valette, J. P., Barrey, E., Auvinet, B., & Wolter, R. (1993). Exercise tests in saddle horses. 1: Comparison of step tests on a track and an inclined treadmill. *Journal of Equine Veterinary Science*, 13(7), 417–421.
- Gehlen, H., Marnette, S., Rohn, K., Ellendorff, F., & Stadler, P. (2006). Echocardiographic comparison of left ventricular dimensions and function after standardized treadmill exercise in trained and untrained healthy warmblood horses. *Equine and Comparative Exercise Physiology*, 3(1), 3–11.
- Geigle, P. R., Cheek Jr, W. L., Gould, M. L., Hunt III, C. H., & Shafiq, B. (1997). Aquatic physical therapy for balance: the interaction of somatosensory and hydrodynamic principles. *The Journal of Aquatic Physical Therapy*, 5(1), 4–10.
- Geor, R. J., & Kaneps, A. J. (2008). *Equine exercise physiology: The science of exercise in the athletic horse*. Saunders Elsevier.
- Gerard, M. P., De Graaf-Roelfsema, E., Hodgson, D. R., & Van Der Kolk, J. H. (2014). Energetic considerations of exercise. In *The athletic horse* (pp. 19–33). Elsevier.
- Goette, A., Bukowska, A., Dobrev, D., Pfeiffenberger, J., Morawietz, H., Strugala, D., Wiswedel, I., Röhl, F.-W., Wolke, C., & Bergmann, S. (2009). Acute atrial tachyarrhythmia induces angiotensin II type 1 receptor-mediated oxidative stress and

- microvascular flow abnormalities in the ventricles. *European Heart Journal*, 30(11), 1411–1420.
- Greco-Otto, P., Baggaley, M., Edwards, W. B., & Léguillette, R. (2019). Water treadmill exercise reduces equine limb segmental accelerations and increases shock attenuation. *BMC Veterinary Research*, 15(1), 329. <https://doi.org/10.1186/s12917-019-2075-6>
- Greco-Otto, P., Bond, S., Sides, R., Bayly, W., & Leguillette, R. (2020). Conditioning equine athletes on water treadmills significantly improves peak oxygen consumption. *Veterinary Record*, 186(8), 250–250. <https://doi.org/10.1136/vr.104684>
- Greco-Otto, P., Bond, S., Sides, R., Kwong, G. P. S., Bayly, W., & Léguillette, R. (2017). Workload of horses on a water treadmill: effect of speed and water height on oxygen consumption and cardiorespiratory parameters. *BMC Veterinary Research*, 13(1), 360. <https://doi.org/10.1186/s12917-017-1290-2>
- Greene, N. P., Lambert, B. S., Greene, E. S., Carbuhn, A. F., Green, J. S., & Crouse, S. F. (2009). Comparative efficacy of water and land treadmill training for overweight or obese adults. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 41(9), 1808–1815.
- Grossman, W., Jones, D., & McLaurin, L. P. (1975). Wall stress and patterns of hypertrophy in the human left ventricle. *Journal of Clinical Investigation*, 56(1), 56–64. <https://doi.org/10.1172/JCI108079>
- Gunther-Harrington, C. T., Arthur, R., Estell, K., Martinez Lopez, B., Sinnott, A., Ontiveros, E., Varga, A., & Stern, J. A. (2018). Prospective pre- and post-race evaluation of biochemical, electrophysiologic, and echocardiographic indices in 30 racing thoroughbred horses that received furosemide. *BMC Veterinary Research*, 14(1), 18. <https://doi.org/10.1186/s12917-018-1336-0>
- Guyton, A. C., & Hall, J. E. (2006). *Tratado de Fisiologia Médica* (11st ed.). Elsevier.
- Hada, T., Mukai, H. O. K., Eto, D., Takahashi, T., & Hiraga, A. (2006). Utilisation of the time constant calculated from heart rate recovery after exercise for evaluation of autonomic activity in horses. *Equine Veterinary Journal*, 38(S36), 141–145.
- Hagberg, J. M., Hickson, R. C., Ehsani, A. A., & Holloszy, J. O. (1980). Faster adjustment to and recovery from submaximal exercise in the trained state. *Journal of Applied Physiology*, 48(2), 218–224.

- Hainsworth, R. (1995). The control and physiological importance of heart rate. *Heart Rate Variability*, 3–19.
- Hall, J., Macdonald, I. A., Maddison, P. J., & O'Hare, J. P. (1998). Cardiorespiratory responses to underwater treadmill walking in healthy females. *European Journal of Applied Physiology*, 77(3), 278–284. <https://doi.org/10.1007/s004210050333>
- Hamlin, R. L., Klepinger, W. L., Gilpin, K. W., & Smith, C. R. (1972). Autonomic control of heart rate in the horse. *American Journal of Physiology-Legacy Content*, 222(4), 976–978.
- Haralson, K. M. (1985). Therapeutic pool programs. *Clinical Management*, 5(2), 10–13.
- Hellings, I. R., Krontveit, R., Øverlie, M., Kallmyr, A., Holm, T., & Fintl, C. (2020). Pre-and post-race serum cardiac troponin T concentrations in Standardbred racehorses. *The Veterinary Journal*, 256, 105433.
- Henry, W. L., DeMaria, A., Gramiak, R., King, D. L., Kisslo, J. A., Popp, R. L., Sahn, D. J., Schiller, N. B., Tajik, A., Teichholz, L. E., & Weyman, A. E. (1980). Report of the American Society of Echocardiography Committee on Nomenclature and Standards in Two-dimensional Echocardiography. *Circulation*, 62(2), 212–217. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.62.2.212>
- Hodgson, D. R. (2014). The Cardiovascular system: anatomy, physiology, and adaptations to exercise and training. In *The Athletic Horse: principles and practice of equine sports medicine* (pp. 162–~173). WB Saunders, Philadelphia.
- Hodgson, D. R., & McGowan, C. (2014). An overview of performance and sports medicine. *The Athletic Horse, Principles and Practice of Equine Sports Medicine*, 2, 1–8.
- Holbrook, T. C., Birks, E. K., Sleeper, M. M., & Durando, M. (2006). Endurance exercise is associated with increased plasma cardiac troponin I in horses. *Equine Veterinary Journal*, 38(S36), 27–31. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2006.tb05508.x>
- Holloszy, J. O., & Coyle, E. F. (1984). Adaptations of skeletal muscle to endurance exercise and their metabolic consequences. *Journal of Applied Physiology*, 56(4), 831–838. <https://doi.org/10.1152/jappl.1984.56.4.831>
- Jones, J. H., & Lindstedt, S. L. (1993). Limits to maximal performance. *Annual Review of Physiology*, 55, 547–569.

- Kiely, M., Warrington, G. D., McGoldrick, A., Pugh, J., & Cullen, S. (2020). Physiological Demands of Professional Flat and Jump Horse Racing. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 34(8), 2173–2177. <https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000003677>
- King, M. R., Haussler, K. K., Kawcak, C. E., McIlwraith, C. W., & Reiser II, R. F. (2013). Effect of underwater treadmill exercise on postural sway in horses with experimentally induced carpal joint osteoarthritis. *American Journal of Veterinary Research*, 74(7), 971–982. <https://doi.org/10.2460/ajvr.74.7.971>
- King, M. R., Haussler, K. K., Kawcak, C. E., McIlwraith, C. W., Reiser, R. F., Frisbie, D. D., & Werpy, N. M. (2017). Biomechanical and histologic evaluation of the effects of underwater treadmill exercise on horses with experimentally induced osteoarthritis of the middle carpal joint. *American Journal of Veterinary Research*, 78(5), 558–569. <https://doi.org/10.2460/ajvr.78.5.558>
- Kirsch, K., Fercher, C., Horstmann, S., von Reitzenstein, C., Augustin, J., & Lagershausen, H. (2022). Monitoring Performance in Show Jumping Horses: Validity of Non-specific and Discipline-specific Field Exercise Tests for a Practicable Assessment of Aerobic Performance. *Frontiers in Physiology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.818381>
- Kleiger, R. E., Stein, P. K., Bosner, M. S., & Rottman, J. N. (1992). Time domain measurements of heart rate variability. *Cardiology Clinics*, 10(3), 487–498.
- Koller, A., Summer, P., & Moser, H. (1999). Regular exercise and subclinical myocardial injury during prolonged aerobic exercise. *JAMA*, 282(19), 1816.
- Korson, L., Drost-Hansen, W., & Millero, F. J. (1969). Viscosity of water at various temperatures. *The Journal of Physical Chemistry*, 73(1), 34–39.
- Kriz, N. G., & Rose, R. J. (1996). Effect of detraining on cardiac dimensions and indices of cardiac function in horses. *Proc. Annual Conv. Am. Assoc. Equine Pract*, 42, 96.
- Kubo, K., Senta, T., & Sgimoto, O. (1974). Relationship between training and heart in the Thoroughbred racehorse. *Experimental Reports of Equine Health Laboratory*, 1974(11), 87–93.
- Labugger, R., Organ, L., Collier, C., Atar, D., & Van Eyk, J. E. (2000). Extensive Troponin I and T Modification Detected in Serum From Patients With Acute Myocardial Infarction. *Circulation*, 102(11), 1221–1226. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.102.11.1221>

- LaCombe, P., Jose, A., Basit, H., & Lappin, S. L. (2025). *Physiology, Starling Relationships*.
- Legaz-Arrese, A., López-Laval, I., George, K., Puente-Lanzarote, J. J., Mayolas-Pi, C., Serrano-Ostáriz, E., Revilla-Martí, P., Moliner-Urdiales, D., & Reverter-Masià, J. (2015). Impact of an endurance training program on exercise-induced cardiac biomarker release. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 308(8), H913–H920. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.00914.2014>
- Léguillette, R., Greco-Otto, P., Sides, R., Bond, S. L., El Alami, S., & Bayly, W. (2019). Relative aerobic and anaerobic energy contribution in race fit endurance and Thoroughbred racehorses during strenuous exercise. *Comparative Exercise Physiology*, 15(5), 299–306.
- Lekeux, P., Art, T., Linden, A., Desmecht, D., & Amory, H. . (1991). Heart rate, hematological and serum biochemical responses to show jumping. *Equine Exercise Physiology*, 385–390.
- Li, M., Chadda, K. R., Matthews, G. D. K., Marr, C. M., Huang, C. L.-H., & Jeevaratnam, K. (2018). Cardiac electrophysiological adaptations in the equine athlete—Restitution analysis of electrocardiographic features. *PLOS ONE*, 13(3), e0194008. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194008>
- Lightowler, C., Piccione, G., Giudice, E., del Olmo, G. R., & Cattaneo, M. L. (2004). Echocardiography and electrocardiography as means to evaluate potential performance in horses. *Journal of Veterinary Science*, 5(3), 259. <https://doi.org/10.4142/jvs.2004.5.3.259>
- Lindholm, A., & Saltin, B. (1974). The physiological and biochemical response of Standardbred horses to exercise of varying speed and duration. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 15, 310–324.
- Lindner, A., Wäschle, S., & Sasse, H. H. L. (2010). Effekt der Beanspruchung auf dem Laufband im Wasser auf biochemische und physiologische Variablen von Pferden. *Pferdeheilkunde*, 26(6), 781–788.
- Lindner, A., Wäschle, S., & Sasse, H. H. L. (2012). Physiological and blood biochemical variables in horses exercising on a treadmill submerged in water. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 96(4), 563–569. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2011.01179.x>

- Lippi, G., & Sanchis-Gomar, F. (2020). Cardiac troponins in diagnostics of equine myocardial injury. *Journal of Laboratory and Precision Medicine*, 5, 31–31. <https://doi.org/10.21037/jlpm-20-85>
- Long, K. J., Bonagura, J. D., & Darke, P. G. G. (1992). Standardised imaging technique for guided M-mode and Doppler echocardiography in the horse. *Equine Veterinary Journal*, 24(3), 226–235. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.1992.tb02820.x>
- Mair, J., Genser, N., Morandell, D., Maier, J., Mair, P., Lechleitner, P., Calzolari, C., Larue, C., Ambach, E., Dienstl, F., Pau, B., & Puschendorf, B. (1996). Cardiac troponin I in the diagnosis of myocardial injury and infarction. *Clinica Chimica Acta*, 245(1), 19–38. [https://doi.org/10.1016/0009-8981\(95\)06168-1](https://doi.org/10.1016/0009-8981(95)06168-1)
- Marlin, D., & Nankervis, K. J. (2013). *Equine exercise physiology*. John Wiley & Sons.
- Maron, B. J., & Pelliccia, A. (2006). The heart of trained athletes: cardiac remodeling and the risks of sports, including sudden death. *Circulation*, 114(15), 1633–1644.
- Marr, C. M., & Bowen, M. (2010). *Cardiology of the Horse* (2nd ed.). Saunders.
- Marr, C. M., Bright, J. M., Marlin, D. J., Harris, P. A., & Roberts, C. A. (1999). Pre- and post exercise echocardiography in horses performing treadmill exercise in cool and hot/humid conditions. *Equine Veterinary Journal*, 31(S30), 131–136. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.1999.tb05203.x>
- Marshall, L., Lee, K. K., Stewart, S. D., Wild, A., Fujisawa, T., Ferry, A. V., Stables, C. L., Lithgow, H., Chapman, A. R., Anand, A., Shah, A. S. V., Dhaun, N., Strachan, F. E., Mills, N. L., & Ross, M. D. (2020). Effect of Exercise Intensity and Duration on Cardiac Troponin Release. *Circulation*, 141(1), 83–85. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.119.041874>
- Matsuda, M., Sugishita, Y., Yamaguchi, T., Tamura, T., & Ito, I. (1981). Pulmonary flow velocity patterns in patients with pulmonary hypertension: a study using pulsed Doppler echocardiography combined with two-dimensional echocardiography (author's transl). *Journal of Cardiology*, 11(2), 603–614.
- McClintock, S. A., Hutchins, D. R., & Brownlow, M. A. (1987). Determination of weight reduction in horses in flotation tanks. *Equine Vet Journal*, 19(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.1987.tb02586.x>

- McCrae, P. (2019). *Exercising horses on water treadmills: Understanding the workload, mechanics, and conditioning effects of water treadmill exercise*. [Doctoral thesis, University of Calgary]. <http://hdl.handle.net/1880/111161>
- McCrae, P., Bradley, M., Rolian, C., & Léguillette, R. (2021). Water height modifies forelimb kinematics of horses during water treadmill exercise. *Comparative Exercise Physiology*, 17(1), 91–98. <https://doi.org/10.3920/CEP200013>
- McDonough, P., Kindig, C. A., Hildreth, T. S., Behnke, B. J., Erickson, H. H., & Poole, D. C. (2002). Effect of body incline on cardiac performance. *Equine Veterinary Journal*, 34(S34), 506–509. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2002.tb05474.x>
- McGowan, C., & Goff, L. (2016). *Animal physiotherapy: assessment, treatment and rehabilitation of animals*. John Wiley & Sons.
- McGuire, D. K., Levine, B. D., Williamson, J. W., Snell, P. G., Blomqvist, C. G., Saltin, B., & Mitchell, J. H. (2001). A 30-Year Follow-Up of the Dallas Bed Rest and Training Study. *Circulation*, 104(12), 1358–1366. <https://doi.org/10.1161/hc3701.096099>
- McNeil, P. L., & Khakee, R. (1992). Disruptions of muscle fiber plasma membranes. Role in exercise-induced damage. *The American Journal of Pathology*, 140(5), 1097.
- Mendez-Angulo, J. L., Firshman, A. M., Groschen, D. M., Kieffer, P. J., & Trumble, T. N. (2013). Effect of water depth on amount of flexion and extension of joints of the distal aspects of the limbs in healthy horses walking on an underwater treadmill. *American Journal of Veterinary Research*, 74(4), 557–566. <https://doi.org/10.2460/ajvr.74.4.557>
- Michima, L. E. dos S. (2007). *Influência do exercício físico prolongado sobre a concentração sérica de troponina I cardíaca e sobre a função cardíaca em cavalos de enduro*.
- Mill, J. G., & Vassallo, D. V. (2001). Hipertrofia cardíaca. *Rev Bras Hipertens*, 8(1), 63–75.
- Mills, N., Marshall, L., Lee, K. K., Stewart, S., Wild, A., Fujisawa, T., Lithgow, H., Ferry, A., Stables, C., & Chapman, A. (2019). The effect of exercise intensity and duration on cardiac troponin release. *Circulation*, 141(1).
- Milne, D. W., Gabel, A. A., Muir, W. W., & Skarda, R. T. (1977). Effects of training on heart rate, cardiac output, and lactic acid in Standardbred horses, using a standardized exercise test. *Am J Vet*, 37(12).

- Mooij, M. J. W., Jans, W., den Heijer, G. J. L., de Pater, M., & Back, W. (2013). Biomechanical responses of the back of riding horses to water treadmill exercise. *The Veterinary Journal*, 198, e120–e123. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2013.09.045>
- Mukai, K., Ohmura, H., Hiraga, A., Eto, D., Takahashy, T., Asai, Y., & Jones, J. H. (2006). Effect of detraining on cardiorespiratory variables in young Thoroughbred horses. *Equine Veterinary Journal*, 38(S36), 210–213. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2006.tb05541.x>
- Muñoz, A., Becero, M., Saitua, A., Argüelles, D., de Medina, A. S., & Castejón-Riber, C. (2019). Exercise in the water: should we incorporate it into training and rehabilitation programs for the sport horse? *Atti Della Accademia Peloritana Dei Pericolanti-Classe Di Scienze Medico-Biologiche*, 107(2), 1–11.
- Nankervis, K. J., Finney, P., & Launder, L. (2016). Water depth modifies back kinematics of horses during water treadmill exercise. *Equine Veterinary Journal*, 48(6), 732–736. <https://doi.org/10.1111/evj.12519>
- Nankervis, K. J., Thomas, S., & Marlin, D. J. (2008). Effect of water temperature on heart rate of horses during water treadmill exercise. *Comparative Exercise Physiology*, 5(3–4), 127. <https://doi.org/10.1017/S1478061509342358>
- Nankervis, K. J., & Williams, R. J. (2006). Heart rate responses during acclimation of horses to water treadmill exercise. *Equine Veterinary Journal*, 38(S36), 110–112. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2006.tb05524.x>
- Nankervis, K., Tranquille, C., McCrae, P., York, J., Lashley, M., Baumann, M., King, M., Sykes, E., Lambourn, J., Miskimmin, K.-A., Allen, D., van Mol, E., Brooks, S., Willingham, T., Lacey, S., Hardy, V., Ellis, J., & Murray, R. (2021). Consensus for the General Use of Equine Water Treadmills for Healthy Horses. In *Equine Training and Rehabilitation* (Vol. 11, Issue 2, p. 305). <https://doi.org/10.3390/ani11020305>
- Natali, A. J. (2004). Efeitos do exercício crônico sobre os miócitos cardíacos: uma revisão das adaptações mecânicas. *Revista Brasileira de Ciência e Movimento*, 12(1), 91–96.
- Negrão, C. E., Pereira-Barretto, A. C., & Rondon, M. U. P. B. (2019). Cardiologia do exercício: do atleta ao cardiopata. In *Cardiologia do exercício: do atleta ao cardiopata* (p. 836).
- Neumayr, G., Gaenzer, H., Pfister, R., Sturm, W., Schwarzacher, S. P., Eibl, G., Mitterbauer, G., & Hoertnagl, H. (2001). Plasma levels of cardiac troponin I after prolonged strenuous

- endurance exercise. *The American Journal of Cardiology*, 87(3), 369–371. [https://doi.org/10.1016/S0002-9149\(00\)01382-5](https://doi.org/10.1016/S0002-9149(00)01382-5)
- Neumayr, G., Pfister, R., Mitterbauer, G., Eibl, G., & Hoertnagl, H. (2005). Effect of Competitive Marathon Cycling on Plasma N-Terminal Pro-Brain Natriuretic Peptide and Cardiac Troponin T in Healthy Recreational Cyclists. *The American Journal of Cardiology*, 96(5), 732–735. <https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2005.04.054>
- Nie, J., Zhang, H., He, Y., Cao, W., Liu, Y., Kong, Z., & George, K. (2019). The impact of high-intensity interval training on the cTnT response to acute exercise in sedentary obese young women. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 29(2), 160–170. <https://doi.org/10.1111/sms.13344>
- Nightingale, T. E., Rouse, P. C., Walhin, J.-P., Thompson, D., & Bilzon, J. L. J. (2018). Home-Based Exercise Enhances Health-Related Quality of Life in Persons With Spinal Cord Injury: A Randomized Controlled Trial. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 99(10), 1998–2006.e1. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2018.05.008>
- Nóbrega, A. C., & Araújo, C. G. (1993). Heart rate transient at the onset of active and passive dynamic exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 25(1), 37–41.
- Nóbrega, A. C. L., Williamson, J. W., Friedman, D. B., Araújo, C. G. S., & Mitchell, J. H. (1994). Cardiovascular responses to active and passive cycling movements. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 26(6), 709–714. <https://doi.org/10.1249/00005768-199406000-00009>
- Nostell, K., & Häggström, J. (2008). Resting concentrations of cardiac troponin I in fit horses and effect of racing. *Journal of Veterinary Cardiology*, 10(2), 105–109. <https://doi.org/10.1016/j.jvc.2008.10.001>
- Nurhayati, Y., & Boutcher, S. H. (1998). Cardiovascular response to passive cycle exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 30(2), 234–238. <https://doi.org/10.1097/00005768-199802000-00010>
- Opie, L. H., & Lopaschuk, G. D. (1998). Overload hypertrophy and its molecular biology. *The Heart Physiology, from Cell to Circulation*. Philadelphia-New York, Lippincott-Raven, 391–418.

- Parmacek, M. S., & Solaro, R. J. (2004). Biology of the troponin complex in cardiac myocytes. *Progress in Cardiovascular Diseases*, 47(3), 159–176. <https://doi.org/10.1016/j.pcad.2004.07.003>
- Patteson, M. W. (1993). *Echocardiographic studies in the horse* [PhD]. University of Bristol.
- Pereira, D. M. (2006). *Efeito da creatina sobre as mensurações ecocardiográficas de eqüinos treinados em esteira rolante*. <http://hdl.handle.net/11449/101163>
- Perini, R., Orizio, C., Comandè, A., Castellano, M., Beschi, M., & Veicsteinas, A. (1989). Plasma norepinephrine and heart rate dynamics during recovery from submaximal exercise in man. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 58(8), 879–883.
- Persson, S. G. B., Essen-Gustavsson, B., Lindholm, A., McMiken, D., & Thornton, J. R. (1983). *Cardiorespiratory and metabolic effects of training of Standardbred yearlings*.
- Phillips, W., Giguere, S., Franklin, R. P., Hernandez, J., Adin, D., & Peloso, J. G. (2003). Cardiac Troponin I in Pastured and Race-Training Thoroughbred Horses. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 17(4), 597–599. <https://doi.org/10.1111/j.1939-1676.2003.tb02486.x>
- Pluim, B. M., Zwinderman, A. H., van der Laarse, A., & van der Wall, E. E. (2000). The Athlete's Heart: A meta-analysis of cardiac structure and function. *Circulation*, 101(3), 336–344. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.101.3.336>
- Poole, D. C. (1997). Influence of exercise training on skeletal muscle oxygen delivery and utilization. *The Lung: Scientific Foundations*, 1957–1967.
- Poole, D. C. (2004). Current concepts of oxygen transport during exercise. *Equine and Comparative Exercise Physiology*, 1(1), 5–22.
- Poole, D. C., & Erickson, H. H. (2011). Highly athletic terrestrial mammals: horses and dogs. *Compr Physiol*, 1(1), 1–37.
- Poole, D. C., & Erickson, H. H. (2014). Heart and Vessels: Function during Exercise and Training Adaptations. In K. W. Hinchcliff, A. J. Kaneps, & R. J. Geor (Eds.), *Equine Sports Medicine and Surgery* (2nd ed., pp. 667–694). Saunders Ltd.
- Poole, D. C., & Mathieu-Costello, O. (1990). Analysis of capillary geometry in rat subepicardium and subendocardium. *American Journal of Physiology-Heart and*

- Pourmohammad, R., Mohri, M., Seifi, H. A., & Sardari, K. (2020). Evaluation of cardiac troponin I, atrial natriuretic peptide and some oxidative/antioxidative biomarkers in the serum and hemolysate of trained Arabian horses after exercise. *Iranian Journal of Veterinary Research*, 21(3), 211–215. <https://doi.org/10.22099/IJVR.2020.36797.5370>
- Prankel, S. (2008). Hydrotherapy in practice. *In Practice*, 30(5), 272–277.
- Ramos, G. V., Santos, M. M., Gava, F. N., & de Lacerda-Neto, J. C. (2024a). Effects of conditioning on the left ventricular function of young purebred Arabian horses. *Plos One*, 19(6), e0304724.
- Ramos, G. V., Santos, M. M., Gava, F. N., & de Lacerda-Neto, J. C. (2024b). Effects of conditioning on the left ventricular function of young purebred Arabian horses. *PloS One*, 19(6), e0304724. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0304724>
- Reef, V. B. (1990). Echocardiographic examination in the horse: the basics. *Compendium on Continuing Education for the Practicing Veterinarian*, 12(09), 1312–13196.
- Reef, V. B. (1998). *Equine Diagnostic Ultrasound* (1st ed.). W. B. Saunders Company.
- Regnard, J., Bouhaddi, M., Castagna, O., & Mourot, L. (2022). Commentary: The Circulatory Effects of Increased Hydrostatic Pressure Due to Immersion and Submersion. *Frontiers in Physiology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.830759>
- Reilly, T., Dowzer, C. N., & Cable, N. T. (2003). The physiology of deep-water running. *Journal of Sports Science*, 21(12), 959–972.
- Ribeiro, P. F., Pizzi, G., Silva, P. M., Cavalcanti, G. A. de O., Bruhn, F. R. P., Costa, P. P. C., França, R. T., Holz, K., de Godoy, R. F., & Martins, C. F. (2023). Cardiovascular training adaptations in Criollo breed horses: biochemical markers and morphofunctional parameters. *Comparative Exercise Physiology*, 20(1), 23–34.
- Rifai, N., Douglas, P. S., O'Toole, M., Rimm, E., & Ginsburg, G. S. (1999). Cardiac troponin T and I, electrocardiographic wall motion analyses, and ejection fractions in athletes participating in the Hawaii Ironman Triathlon. *The American Journal of Cardiology*, 83(7), 1085–1089. [https://doi.org/10.1016/S0002-9149\(99\)00020-X](https://doi.org/10.1016/S0002-9149(99)00020-X)

- Rose, R. J., Allen, J. R., Hodgson, D. R., Stewart, J. H., & Chan, W. (1983). Responses to submaximal treadmill exercise and training in the horse: changes in haematology, arterial blood gas and acid base measurements, plasma biochemical values and heart rate. *The Veterinary Record*, 113(26–27), 612–618.
- Rossi, T. M., Kavsak, P. A., Maxie, M. G., Pearl, D. L., Pyle, W. G., & Physick-Sheard, P. W. (2018). Analytical validation of cardiac troponin I assays in horses. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*, 30(2), 226–232. <https://doi.org/10.1177/1040638717747070>
- Rossi, T. M., Pearl, D. L., Pyle, W. G., Maxie, M. G., Kavsak, P. A., & Physick-Sheard, P. W. (2015). Post Exercise Cardiac Troponin I Release and Clearance in Normal Standardbred Racehorses. *Equine Veterinary Journal*, 47, 27–28.
- Rowell, L. B. (1993). *Human cardiovascular control*. Oxford University Press.
- Rueca, F., Conti, M. B., Porciello, F., Spaterna, A., Antognoni, M. T., Mangili, V., FRuganti, G., & Avellini, G. (1999). Relationship between running speed, isoenzymes of serum creatine kinase and lactate dehydrogenase and left ventricular function in stallions. *Equine Veterinary Journal*, 31(S30), 163–165. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.1999.tb05209.x>
- Rugh, K. S., Jiang, B., Hatfield, D. G., Garner, H. E., & Hahn, A. W. (1992). Mathematical modelling of post-exercise heart rate recovery in ponies. *Biomedical Sciences Instrumentation*, 28, 151–156.
- Sahlin, E. H. K. (1980). Acid-base balance during exercise. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 8(1), 41–128.
- Saltin, B., & Gollnick, P. D. (2011). Skeletal Muscle Adaptability: Significance for Metabolism and Performance. In *Comprehensive Physiology* (pp. 555–631). <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/cphy.cp100119>
- Santos, C. T. dos. (2024). *Recrutamento muscular em equinos de saltos de obstáculos treinados por 10 semanas na passadeira aquática* [Dissertação]. Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias .
- Santos, M. M., Ramos, G. V., de Figueiredo, I. M., Silva, T. C. B. V., & Lacerda-Neto, J. C. (2023). Cardiac Changes after Lactate-Guided Conditioning in Young Purebred Arabian Horses. *Animals*, 13(11), 1800. <https://doi.org/10.3390/ani13111800>

- Schaal, C. M., Collins, L., & Ashley, C. (2012). Cardiorespiratory Responses to Underwater Treadmill Running Versus Land-Based Treadmill Running. *International Journal of Aquatic Research and Education*, 6(1). <https://doi.org/10.25035/ijare.06.01.06>
- Scharhag, J., Urhausen, A., Schneider, G., Herrmann, M., Schumacher, K., Haschke, M., Krieg, A., Meyer, T., Herrmann, W., & Kindermann, W. (2006). Reproducibility and clinical significance of exercise-induced increases in cardiac troponins and N-terminal pro brain natriuretic peptide in endurance athletes. *European Journal of Preventive Cardiology*, 13(3), 388–397.
- Scott, R., Nankervis, K., Stringer, C., Westcott, K., & Marlin, D. (2010). The effect of water height on stride frequency, stride length and heart rate during water treadmill exercise. *Equine Veterinary Journal*, 42(s38), 662–664. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2010.00194.x>
- Seals, D. R., & Chase, P. B. (1989). Influence of physical training on heart rate variability and baroreflex circulatory control. *Journal of Applied Physiology*, 66(4), 1886–1895. <https://doi.org/10.1152/jappl.1989.66.4.1886>
- Seeherman, H. J., & Morris, E. A. (1991). Comparison of yearling, two-year-old and adult Thoroughbreds using a standardised exercise test. *Equine Veterinary Journal*, 23(3), 175–184.
- Serrano-Ostáriz, E., Terreros-Blanco, J. L., Legaz-Arrese, A., George, K., Shave, R., Bocos-Terraz, P., Izquierdo-Álvarez, S., Bancalero, J. L., Echavarri, J. M., Quilez, J., Aragonés, M. T., & Carranza-García, L. E. (2011). The impact of exercise duration and intensity on the release of cardiac biomarkers. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 21(2), 244–249. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2009.01042.x>
- Sexton, W. L., Erickson, H. H., & Coffman, J. R. (1987). Cardiopulmonary and metabolic responses to exercise in the Quarter horse: effects of training. *Equine Exercise Physiology*, 77–91.
- Shave, R., Baggish, A., George, K., Wood, M., Scharhag, J., Whyte, G., Gaze, D., & Thompson, P. D. (2010). Exercise-induced cardiac troponin elevation: evidence, mechanisms, and implications. *Journal of the American College of Cardiology*, 56(3), 169–176.

- Shave, R., Howatson, G., Dickson, D., & Young, L. (2017). Exercise-Induced Cardiac Remodeling: Lessons from Humans, Horses, and Dogs. *Veterinary Sciences*, 4(1), 9. <https://doi.org/10.3390/vetsci4010009>
- Shetler, K., Marcus, R., Froelicher, V. F., Vora, S., Kalisetti, D., Prakash, M., Do, D., & Myers, J. (2001). Heart rate recovery: validation and methodologic issues. *Journal of the American College of Cardiology*, 38(7), 1980–1987. [https://doi.org/10.1016/S0735-1097\(01\)01652-7](https://doi.org/10.1016/S0735-1097(01)01652-7)
- Shields, E., Seiden-Long, I., Massie, S., & Leguillette, R. (2018). 24-Hour Kinetics of Cardiac Troponin-T Using a “High-Sensitivity” Assay in Thoroughbred Chuckwagon Racing Geldings after Race and Associated Clinical Sampling Guidelines. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 32(1), 433–440. <https://doi.org/10.1111/jvim.14870>
- Sikorska, U., Maško, M., Rey, B., & Domino, M. (2025). Heart Rate, Hematological, and Biochemical Responses to Exercise on Water Treadmill with Artificial River in School Horses. *Applied Sciences*, 15(4), 1772.
- Silvers, W. M., Rutledge, E. R., & Dolny, D. G. (2007). Peak cardiorespiratory responses during aquatic and land treadmill exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 39(6), 969–975.
- Sleeper, M. M., Durando, M. M., Holbrook, T. C., Payton, M. E., & Birks, E. K. (2014). Comparison of echocardiographic measurements in elite and nonelite Arabian endurance horses. *American Journal of Veterinary Research*, 75(10), 893–898. <https://doi.org/10.2460/ajvr.75.10.893>
- Soares, O. A. B., Ferraz, G. C., Trigo, P., D’Angelis, F. H. F., Feringer Júnior, W. H., Nardi, K. B., Almeida, F. Q., & Queiroz Neto, A. (2016). Comparison between specific and nonspecific tests for evaluating the physical fitness of show jumping horses. *Comparative Exercise Physiology*, 12(3), 131–140. <https://doi.org/10.3920/CEP160018>
- Stadler, P., Kinkel, N., & Deegen, E. (1994). A comparison of cardiac stroke volume determination using the thermodilution method and PW-Doppler echocardiography for the evaluation of systolic heart function in the horse. *DTW. Deutsche Tierärztliche Wochenschrift*, 101(8), 312–315.

- Stephenson, R. B. (2021). Cardiovascular Physiology. In B. G. Klein (Ed.), *Textbook of Veterinary Physiology* (6th ed., pp. 173–283). Saunders.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/C2015-0-06149-4>
- Streng, A. S., de Boer, D., van Doorn, W. P. T. M., Bouwman, F. G., Mariman, E. C. M., Bekers, O., van Dieijen-Visser, M. P., & Wodzig, W. K. W. H. (2017). Identification and Characterization of Cardiac Troponin T Fragments in Serum of Patients Suffering from Acute Myocardial Infarction. *Clinical Chemistry*, 63(2), 563–572.
<https://doi.org/10.1373/clinchem.2016.261511>
- Szabó, C., Vizesi, Z., & Vincze, A. (2021). Heart Rate and Heart Rate Variability of Amateur Show Jumping Horses Competing on Different Levels. *Animals*, 11(3), 693.
<https://doi.org/10.3390/ani11030693>
- Thomas, D. P., & Fregin, G. F. (1981). Cardiorespiratory and metabolic responses to treadmill exercise in the horse. *Journal of Applied Physiology*, 50(4), 864–868.
- Thomas, D. P., Fregin, G. F., Gerber, N. H., & Ailes, N. B. (1983). Effects of training on cardiorespiratory function in the horse. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 245(2), R160–R165.
- Thorpe, C. T., Clegg, P. D., & Birch, H. L. (2010). A review of tendon injury: why is the equine superficial digital flexor tendon most at risk? *Equine Veterinary Journal*, 42(2), 174–180.
- Toker, M. (2024). Assessment of Cardiac Hypertrophy in National Race Horses by Ecocardiography. *MAS Journal of Applied Sciences*, 9(4).
- Tokuriki, M., Ohtsuki, R., KAl, M., Hiraga, A., Oki, H., Miyahara, Y., & Aoki, O. (1999). EMG activity of the muscles of the neck and forelimbs during different forms of locomotion. *Equine Veterinary Journal*, 31(S30), 231–234.
- Torres-Ronda, L., & Del Alcázar, X. S. I. (2014). The Properties of Water and their Applications for Training. *Journal of Human Kinetics*, 44, 237–248.
<https://doi.org/10.2478/hukin-2014-0129>
- Trachsel, D. S., Schwarzwald, C. C., Bitschnau, C., Grenacher, B., & Weishaupt, M. A. (2013). Atrial natriuretic peptide and cardiac troponin I concentrations in healthy Warmblood horses and in Warmblood horses with mitral regurgitation at rest and after exercise. *Journal of Veterinary Cardiology*, 15(2), 105–121.
<https://doi.org/10.1016/j.jvc.2012.12.003>

- Tranquille, C. A., Nankervis, K. J., Walker, V. A., Tacey, J. B., & Murray, R. C. (2017). Current Knowledge of Equine Water Treadmill Exercise: What Can We Learn From Human and Canine Studies? *Journal of Equine Veterinary Science*, 50, 76–83. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2016.10.011>
- Tranquille, C. A., Tacey, J. B., Walker, V. A., Nankervis, K. J., & Murray, R. C. (2018). International Survey of Equine Water Treadmills—Why, When, and How? *Journal of Equine Veterinary Science*, 69, 34–42. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2018.05.220>
- Tyler, C. M., Golland, L. C., Evans, D. L., Hodgson, D. R., & Rose, R. J. (1996). Changes in maximum oxygen uptake during prolonged training, overtraining, and detraining in horses. *Journal of Applied Physiology*, 81(5), 2244–2249. <https://doi.org/10.1152/jappl.1996.81.5.2244>
- Van Der Vekens, N., Decloedt, A., De Clercq, D., & van Loon, G. (2013). Use of cardiac troponin I and T for detection of cardiac chamber dilatation in horses. *2013 European Veterinary Conference: Voorjaarsdagen*, 257.
- Vincent, T. L., Newton, J. R., Deaton, C. M., Franklin, S. H., Biddick, T., McKeever, K. H., McDonough, P., Young, L. E., Hodgson, D. R., & Marlin, D. J. (2006). Retrospective study of predictive variables for maximal heart rate (HRmax) in horses undergoing strenuous treadmill exercise. *Equine Veterinary Journal*, 38(S36), 146–152.
- Vincze, A., Szabó, C., Szabó, V., Veres, S., Üto, D., & Hevesi, Á. (2013). The effect of deep water aqua treadmill training on the plasma biochemical parameters of show jumpers. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 78(3), 289–293. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84883495969&partnerID=40&md5=54c15c38cc4db10241069ff6cd46a978>
- Vincze, A., Szabó, C., Veres, S., Uto, D., & Hevesi, A. T. (2017). Fitness improvement of show jumping horses with deep water treadmill training. *Veterinarni Medicina*, 62(04), 192–199.
- Von Borell, E., Langbein, J., Després, G., Hansen, S., Leterrier, C., Marchant, J., Marchant-Forde, R., Minero, M., Mohr, E., & Prunier, A. (2007). Heart rate variability as a measure of autonomic regulation of cardiac activity for assessing stress and welfare in farm animals—A review. *Physiology & Behavior*, 92(3), 293–316.

- Voss, B., Mohr, E., & Krzywanek, H. (2002). Effects of aqua-treadmill exercise on selected blood parameters and on heart-rate variability of horses. *Journal of Veterinary Medicine Series A*, 49(3), 137–143.
- Vuille, C., & Weyman, A. E. (1994). Left ventricle 1: General considerations, assessment of chamber size and function. In A. E. Weyman (Ed.), *Principles and practice of echocardiography*. (2nd ed.). Lea & Febinger.
- Walton, M. S. (2025). *Análise biomecânica do andamento com o sistema alogo move protm de cavalos de salto de obstáculos após o treino utilizando a passadeira aquática* [Dissertação]. Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias .
- Weenink, R. P., & Wingelaar, T. T. (2021). The Circulatory Effects of Increased Hydrostatic Pressure Due to Immersion and Submersion. *Frontiers in Physiology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.699493>
- Weeren, R. Van. (2014). Training show jumpers. In D. R. Hodgson, K. H. McKeever, & C. M. McGowan (Eds.), *The Athletic Horse* (2nd ed., pp. 337–346). Saunders.
- Weyman, A. E. (1994). Cross-sectional scanning: technical principles and instrumentation. *Principles and Practice of Echocardiography*, 29–56.
- Whyte, G. P., George, K., Sharma, S., Lumley, S., Gates, P., Prasad, K., & McKENNA, W. J. (2000). Cardiac fatigue following prolonged endurance exercise of differing distances. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(6), 1067–1072.
- Wilmore, J. H., & David L. Costill. (2022). Adaptions to Resistance Training. In *Physiology of Sport and Exercise* (8th ed., pp. 262–281). Human Kinetics.
- Wyatt, F. B., Milam, S., Manske, R. C., & Deere, R. (2001). The effects of aquatic and traditional exercise programs on persons with knee osteoarthritis. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 15(3), 337–340.
- Young, L. (2004). Diseases of the heart and vessels. In *Equine Sports Medicine and Surgery* (pp. 728–767).
- Young, L. E. (1999). Cardiac responses to training in 2-year-old Thoroughbreds: an echocardiographic study. *Equine Veterinary Journal*, 31(S30), 195–198. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.1999.tb05217.x>

- Young, L. E. (2003). Physiological Society Symposium – the Athlete’s Heart. *Experimental Physiology*, 88(5), 659–663. <https://doi.org/10.1113/eph8802615>
- Young, L. E. (2005). The effect of athletic training on the equine heart. *9th Congress on Equine Medicine and Surgery, Geneva. In: Chuit P. & Montavon S.(Eds), Intern. Vet. Inf. Serv.(Www. Ivis. Org), Ithaca, New York.*
- Young, L. E., Marlin, D. J., Deaton, C., Brown-Feltenr, H., Robert, C. A., & Wood, J. L. N. (2002). Heart size estimated by echocardiography correlates with maximal oxygen uptake. *Equine Veterinary Journal*, 34(S34), 467–471. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2002.tb05467.x>
- Young, L. E., Rogers, K., & Wood, J. L. N. (2005). Left ventricular size and systolic function in Thoroughbred racehorses and their relationships to race performance. *Journal of Applied Physiology*, 99(4), 1278–1285. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.01319.2004>
- Zucca, E., Ferrucci, F., Croci, C., Di Fabio, V., Zaninelli, M., & Ferro, E. (2008). Echocardiographic measurements of cardiac dimensions in normal Standardbred racehorses. *Journal of Veterinary Cardiology*, 10(1), 45–51. <https://doi.org/10.1016/j.jvc.2008.04.002>