UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

USO DA PLATAFORMA VIBRATÓRIA PARA EQUINOS SUBMETIDOS AO EXERCÍCIO

Júlia Ribeiro Garcia de Carvalho

Médica Veterinária

2024

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

USO DA PLATAFORMA VIBRATÓRIA PARA EQUINOS SUBMETIDOS AO EXERCÍCIO

Júlia Ribeiro Garcia de Carvalho

Orientador: Prof. Dr. Guilherme de Camargo Ferraz

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Medicina Veterinária, área de Clínica Médica Veterinária

2024

C331u

Carvalho, Júlia Ribeiro Garcia de
Uso da plataforma vibratória para equinos submetidos ao exercício / Júlia Ribeiro Garcia de Carvalho. -- Jaboticabal, 2024
113 p. : tabs., fotos

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal
Orientador: Guilherme de Camargo Ferraz

1. Medicina Veterinária. 2. Equino. 3. Exercício físico. 4. Fisioterapia. 5. Vibração (terapêutica). I. Título.

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

Essa ficha não pode ser modificada.

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

A vibração de corpo inteiro (VCI), técnica não invasiva e não farmacológica que utiliza plataformas vibratórias para expor o corpo todo do indivíduo à vibração, vem sendo estudada em outras espécies como dispositivo de treinamento. Entretanto, os estudos na espécie equina são muito escassos. Atualmente, muitos proprietários, treinadores e veterinários fisioterapeutas equinos supõem que a VCI melhora o desempenho. Porém, a utilização equivocada dessa terapia pode provocar efeitos adversos. O presente estudo demonstra inovação para a saúde animal ao avaliar os efeitos de um protocolo de VCI como método de desaquecimento após exercício em cavalos.

POTENCIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

Whole-body vibration (WBV), a non-invasive and non-pharmacological technique that uses vibrating platforms to expose the individual's entire body to vibration, has been studied in other species as a training device. However, studies on the equine species are very scarce. Currently, many owners, trainers, and equine physiotherapists assume that WBV improves performance. However, incorrect use of this therapy can cause adverse effects. The present study demonstrates innovation for animal health by evaluating the effects of a WBV protocol as a method of cool-down after exercise in horses.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: USO DA PLATAFORMA VIBRATÓRIA PARA EQUINOS SUBMETIDOS AO EXERCÍCIO

AUTORA: JÚLIA RIBEIRO GARCIA DE CARVALHO
ORIENTADOR: GUILHERME DE CAMARGO FERRAZ

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em Medicina Veterinária, área: Clínica Médica Veterinária pela Comissão Examinadora:

Documento assinado digitalmente
GUILHERME DE CAMARGO FERRAZ
Data: 22/02/2024 13:45:31-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. GUILHERME DE CAMARGO FERRAZ (Participaçao Virtual)
Departamento de Morfologia e Fisiologia Animal / FCAV UNESP Jaboticabal

Prof. Dr. MARCOS JUN WATANABE (Participaçao Virtual)
Departamento de Cirurgia Veterinária e Reprodução Animal / FMVZ UNESP Bo

Documento assinado digitalmente
MARCOS JUN WATANABE
Data: 16/02/2024 07:46:49-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. PABLO IGNACIO TRIGO (Participaçao Virtual)
Instituto de Genética Veterinária / Universidad Nacional de La Plata - Buenos Aires/AR

Documento assinado digitalmente
PAULO ALESCIO CANOLA
Data: 22/02/2024 13:33:14-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. PAULO ALÉSCIO CANOLA (Participaçao Virtual)
Departamento de Clinica e Cirurgia Veterinaria / FCAV UNESP Jal

Documento assinado digitalmente
PAOLA CASTRO MORAES
Data: 15/02/2024 12:29:18-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Profa. Dra. PAOLA CASTRO MORAES (Participaçao Virtual)
Departamento de Clinica e Cirurgia Veterinaria / FCAV UNESP Jabo

Jaboticabal, 09 de fevereiro de 2024

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Júlia Ribeiro Garcia de Carvalho, nascida em 23 de abril de 1990, em Olímpia, São Paulo, filha de Marília de Camargo Ribeiro Carvalho e Fernando José Garcia de Carvalho. Graduou-se em Medicina Veterinária pela Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", FCAV/UNESP, Câmpus de Jaboticabal, em 2014. Durante a graduação foi bolsista da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP durante dois anos, desenvolvendo projetos na área de Fisiologia do Exercício em Equinos, sob orientação do Prof. Dr. Guilherme de Camargo Ferraz. De agosto de 2012 a fevereiro de 2013 realizou Graduação Sanduíche pelo "Programa de Intercâmbio Acadêmico entre o Brasil e a França nos domínios da Medicina Veterinária, Nutrição e Produção Animal", BRAFAGRI, na Instituição VetAgro Sup, Campus Veterinário de Lyon, Marcy L'Étoile, França, sendo bolsista da Capes durante todo o período. Em março de 2015 ingressou no Programa de Residência em Área Profissional da Saúde – Medicina Veterinária e Saúde, na área de Clínica Médica de Grandes Animais, junto ao Hospital Veterinário "Governador Laudo Natel" da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", FCAV/UNESP, Câmpus de Jaboticabal, sob orientação do Prof. Dr. José Corrêa de Lacerda Neto. Em 2019 obteve o título de mestre em Medicina Veterinária, área de Clínica Médica de Grandes Animais, pela Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", FCAV/UNESP, Câmpus de Jaboticabal, sob orientação do Prof. Dr. Guilherme de Camargo Ferraz, com bolsa da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP. Atualmente é Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Medicina Veterinária, área de Clínica Médica de Grandes Animais, junto à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", FCAV/UNESP, Câmpus de Jaboticabal, sob orientação do Prof. Dr. Guilherme de Camargo Ferraz. Durante o período de doutorado foi bolsista CAPES por 14 meses e, posteriormente, bolsista da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP (Processo nº 2019/16779-3).

“A ostra, para fazer uma pérola, precisa ter dentro de si um grão de areia que a faça sofrer. Sofrendo, a ostra diz para si mesma: 'Preciso envolver essa areia pontuda que me machuca com uma esfera lisa que lhe tire as pontas…' Ostras felizes não fazem pérolas... Pessoas felizes não sentem a necessidade de criar. O ato criador, seja na ciência ou na arte, surge sempre de uma dor. Não é preciso que seja uma dor doída... Por vezes a dor aparece como aquela coceira que tem o nome de curiosidade.”

Rubem Alves

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a meus pais. À minha mãe, Marília, por ser minha maior apoiadora. Ao meu pai, Fernando, por todo suporte, e como sempre digo, a quem devo o dom da profissão.

À minha avó, Maria Guiomar, que sempre foi minha maior fonte de incentivo.

Ao meu irmão, Conrado, pelo companheirismo e por sempre cuidar de mim.

A meus avós (in memorian), Luiz Napoleão, Maria Josefina e Procópio, que sempre me protegeram lá do céu.

A meus familiares por todo carinho e torcida.

Ao meu companheiro, Ricardo, pelo apoio, suporte e amor dispensados durante toda minha pós-graduação. Por me incentivar em todos os momentos e me mostrar a parte boa da vida, sempre. Você foi parte essencial dessa conquista.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Guilherme de Camargo Ferraz, que além de professor e orientador, ainda foi pai, por me guiar nos meus passos, pelos conselhos e principalmente, por confiar em mim e no meu trabalho. Agradeço por topar o desafio de desenvolver esse projeto e pelo incansável incentivo, pelas críticas construtivas e pelos ensinamentos profissionais. Agradeço, principalmente, por ter paciência nos momentos mais conturbados e por me mostrar novas visões da pesquisa e da docência. Sua orientação durante esses 13 anos me proporcionou um crescimento imensurável. É uma honra ser sua orientada.

À banca examinadora da qualificação, Profa. Dr. Ivan Felismino Charas dos Santos e Prof. Dr. Paulo Aléscio Canola, pelo auxílio na concretização desse trabalho.

À banca examinadora da defesa, Prof. Dr. Pablo Ignacio Trigo, Prof. Dr. Paulo Aléscio Canola, Profa. Dra. Paola Castro Moraes e Prof. Dr. Marcos Jun Watanabe pelo aceite do convite para acrescentar ainda mais a esse trabalho.

A Profa. Dra. Fúlvia de Barros Manchado Gobatto e ao Prof. Dr. Claudio Alexandre Gobatto, por serem sempre tão solícitos e pelos conselhos oferecidos durante o tempo em que trabalhamos juntos. Obrigada por abrirem as portas do laboratório e colaborarem de forma ativa no desenvolvimento desse trabalho. Agradeço também à toda a equipe do Laboratório de Fisiologia Aplicada ao Esporte –

LAFAE/UNICAMP, especialmente ao doutorando Emanuel Elias Camolese Polisel, pela colaboração e disponibilidade. Foi muito gratificante trabalhar com vocês.

Ao Prof. Dr. Carlos Augusto Araújo Valadão e ao Prof. Dr. José Corrêa de Lacerda Neto, por fornecerem os animais para que o estudo pudesse ser realizado.

Ao Deco, por tratar tão bem de nossos animais e por estar sempre disposto a me ajudar.

Aos colegas do LAFEQ, Thaís, Thayssa, Nathali, Ana Carolina, Guilherme, Ivan, Júlia, Catarina, Larissa e Carol. Cada um participou de forma importante no desenvolvimento desse trabalho. Agradeço toda a amizade, esforço e ensinamento que cada um me ofereceu.

À amiga Clarissa Santana, que além de amiga confidente das dificuldades da pós-graduação, ainda realizou as análises histopatológicas desse projeto.

Ao colega Gabriel Ramos, por se dispor a ajudar, mesmo que de última hora, sendo parte essencial no desenvolvimento de parte do projeto.

Aos funcionários do Departamento de Morfologia e Fisiologia Animal, sempre dispostos a ajudar.

Aos amigos Marina Lansarini e Caio Bustamante, pelo apoio e suporte nessa caminhada que fizemos juntos.

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho e a todos os professores e funcionários, pelo acolhimento nos últimos 15 anos. Sempre terei orgulho desse lugar.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, pela concessão da bolsa para a realização e viabilização desse projeto (Processo FAPESP 2019/16779-3).

À todas as pessoas que participaram de alguma forma, apoiaram e torceram pela realização desse projeto.

E, por último, mas não menos importante, aos queridos cavalos Pérsico, Loira, David, Alegria, Mara, Baia, Antíope, Atossa, Leviana e Jaú. Sem vocês, nada disso seria possível. Foram mestres e me possibilitaram aprender ainda mais com vocês. Agradecimentos nunca serão suficientes.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Muito obrigada!

SUMÁRIO

CERTIFICADO DA COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS iv
RESUMO v
ABSTRACT vii
LISTA DE TABELAS ..... Erro! Indicador não definido.
LISTA DE FIGURAS xi
CAPÍTULO 1 - Considerações gerais 1
1. INTRODUÇÃO 1
2. REVISÃO DE LITERATURA 4
2.1 Vibração de corpo inteiro 4
2.2 Frequência cardíaca 8
2.3 Lactato 8
2.4 Glicose 9
2.5 Creatina quinase (CK) 10
2.6 Temperatura corporal 10
2.7 Gases e eletrólitos sanguíneos 11
2.8 Termografia infravermelha 11
2.9 Histopatologia muscular 13
2.10 Transportadores de monocarboxilatos (MCT) 13
3. CONSIDERAÇÕES FINAIS 15
4. REFERÊNCIAS 15
CAPÍTULO 2 - Efeito da vibração de corpo inteiro na recuperação da hiperlactatemia e acidose induzidas pelo exercício intenso em cavalos[1] 28
1. INTRODUÇÃO 29
2. MATERIAL E MÉTODOS 32
2.1 Animais 32
2.2 Determinação da velocidade correspondente ao limiar de lactato (VLL) utilizando teste de esforço incremental (TEI) 33
2.3 Sessão de exercício intenso 35
2.4 Grupos experimentais 35
2.5 Sessão de vibração de corpo inteiro (VCI) 35
2.6 Métodos de avaliação 36
2.6.1 Frequência cardíaca (FC) 36
2.6.2 Temperatura retal (T_R) 36

2.6.3 Lactatemia e glicemia 37
2.6.4 Gases e eletrólitos sanguíneos 37
2.6.5 Análises biomoleculares do transportador monocarboxilato 4 37
2.7 Delineamento e análise estatística 40
3. RESULTADOS 40
3.1 Condicionamento aeróbio entre os blocos experimentais 40
3.2 Frequência cardíaca 41
3.3 Temperatura retal 43
3.4 Lactatemia e glicemia 44
3.5 Gases e eletrólitos sanguíneos 45
3.6 Análises biomoleculares de transportador monocarboxilato 4 (MCT4) 47
4. DISCUSSÃO 48
5. CONCLUSÕES 53
CAPÍTULO 3 - Termografia infravermelha e resposta inflamatória muscular de cavalos submetidos a exercício intenso seguida de Recuperação com vibração de corpo inteiro[1] 60
1. INTRODUÇÃO 61
2. MATERIAL E MÉTODOS 63
2.1 Animais 63
2.2 Determinação da velocidade correspondente ao limiar de lactato (VLL) utilizando teste de esforço incremental (TEI) 64
2.3 Sessão de exerccício intenso (SEI) 64
2.4 Grupos experimentais 64
2.5 Sessão de vibração de corpo inteiro (VCI) 64
2.6 Frequência cardíaca e lactato 67
2.7 Temperatura termográfica 68
2.8 Atividade sérica da enzima creatina quinase 68
2.9 Análise histopatológica 70
2.9.1 Degeneração e necrose muscular 71
2.9.2 Infiltrado inflamatório 72
2.9.3 Regeneração muscular 74
2.10 Delineamento e análise estatística 74
3. RESULTADOS 75
3.1 Condicionamento aeróbio entre os blocos experimentais 75
3.2 Termografia infravermelha 75
3.3 Atividade sérica da enzima creatina quinase 75

3.4 Análise histopatológica.....80
4. DISCUSSÃO 82
5. CONCLUSÕES 85
APÊNDICE A. PERFIL HEMATOLÓGICO DOS ANIMAIS.....91

CERTIFICADO DA COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS

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

CEUA – COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS

C E R T I F I C A D O

Certificamos que o projeto de pesquisa intitulado **"Uso da plataforma vibratória para equinos submetidos ao exercício"**, protocolo nº 08373/19, sob a responsabilidade do Prof. Dr. Guilherme de Camargo Ferraz, que envolve a produção, manutenção e/ou utilização de animais pertencentes ao Filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto o homem), para fins de pesquisa científica (ou ensino) - encontra-se de acordo com os preceitos da lei nº 11.794, de 08 de outubro de 2008, no decreto 6.899, de 15 de julho de 2009, e com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CONCEA), e foi aprovado pela COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS (CEUA), da FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS, UNESP - CÂMPUS DE JABOTICABAL-SP, em reunião ordinária de 04 de julho de 2019.

Vigência do Projeto	10/09/2019 a 01/12/2022
Espécie / Linhagem	*Equus ferus caballus*
Nº de animais	09 animais
Peso / Idade	± 450 kg / ± 12 anos
Sexo	Machos e fêmeas
Origem	FCAV Unesp Jaboticabal

Jaboticabal, 04 de julho de 2019.

Prof.ª Dr.ª Fabiana Pilarski
Coordenadora – CEUA

Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias
Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n CEP 14884-900 - Jaboticabal/ SP - Brasil
tel 16 3209 7100 www.fcav.unesp.br

USO DA PLATAFORMA VIBRATÓRIA PARA EQUINOS SUBMETIDOS AO EXERCÍCIO

RESUMO - As plataformas vibratórias (PV) são dispositivos capazes de gerar oscilações mecânica que se distribuem pelo organismo, sendo consideradas uma forma de exercício passivo. Este tipo de exercício é classicamente conhecido como vibração de corpo inteiro (VCI). Diversos benefícios do uso da VCI têm sido descritos, como ativação neuromuscular, melhora do desempenho físico e desenvolvimento do equilíbrio e da mobilidade funcional. A VCI tem sido estudada e usada em muitas aplicações em seres humanos, tanto como parte de protocolo fisioterapêutico e não farmacológico, ou como método alternativo ou suplementar ao exercício. Entretanto, as informações sobre VCI são relativamente limitadas na espécie equina. O presente estudo objetivou investigar os efeitos do uso da VCI como método de recuperação após exercício intenso em cavalos. Para tal, foram utilizados oito cavalos, sem raça definida, sendo um macho castrado e sete fêmeas, com idade entre sete e 19 anos e massa corpórea média de 406 ± 33 kg. Inicialmente, os animais foram submetidos a teste de esforço incremental para determinação da velocidade correspondente ao limiar de lactato (VLL) e, consequentemente, da carga externa da sessão de exercício intenso (SEI). Os animais foram distribuídos em três grupos experimentais, em delineamento *cross-over*, sendo que todos os grupos realizaram uma SEI (5 min de aquecimento, 2 min a 110% da VLL e 3 min a 130% da VLL). O grupo controle (GC) realizou recuperação ativa, ao passo, na esteira. O grupo negativo (GN) foi utilizado como controle negativo, sendo colocado sob a PV desligada. O grupo vibração de corpo inteiro (VCI) realizou o período de recuperação na PV, num protocolo que consistiu em cinco etapas de 2 min, com frequências decrescentes de 76, 66, 55, 46 e 32 Hz. O período de recuperação durou 10 minutos para todos os grupos. Foram feitas biópsias do músculo glúteo médio antes (0), imediatamente após (DT), 3 e 6h após o tratamento, para avaliação histopatológica muscular por meio da coloração hematoxilina-eosina (HE) e do conteúdo de transportadores monocarboxilatos 4 (MCT4). A frequência cardíaca (FC) foi monitorada durante toda a SEI e o período de recuperação. Foram feitas coletas sanguíneas para determinação de lactato e glicose plasmáticos nos momentos 0, imediatamente depois da SEI (DS), antes do tratamento (AT), DT, 10 min (10min) e 1h após o fim do tratamento. Também foram feitas coletas sanguíneas para determinação da atividade sérica da enzima creatina quinase (CK) antes, 1, 3, 6, 12 e 24 h após o tratamento. As coletas de sangue também foram realizadas para realização de análises de gases e eletrólitos sanguíneos, nos momentos 0, DS e DT. Nos mesmos momentos foi feita a aferição da temperatura retal (T_R). Também foram realizadas análises de termografia infravermelha (TIV) da face lateral do pescoço na região pré-escapular esquerda, da região do quadríceps femoral do membro pélvico esquerdo, da região cárpica de ambos os membros torácicos (MT) e da visão lateral dos tendões flexores do MT esquerdo e direito, nos momentos 0 e DT. Aplicou-se análise de variância para medidas repetidas no tempo seguido pelo teste T pareado, com correção de Bonferroni. Para as análises de HE foi realizada análise de variância de uma via para dados não paramétricos por meio do teste de Kruskal-Wallis, seguido pelo teste de Dunnett ($P<0,05$). A SEI induziu hiperlactatemia e acidose metabólica moderada em todos os grupos experimentais. A FC aumentou em todos os grupos após a SEI, entretanto foi maior no GC em relação

aos grupos VCI e GN no momento DT. Entre os grupos, não houve alteração da T_R, lactatemia, glicemia e conteúdo proteico de MCT4. A T_R, lactatemia, glicemia, gases e eletrólitos sanguíneos aumentaram após a SEI para todos os grupos. O conteúdo proteico de MCT4 diminui 3 e 6h após o tratamento em todos os grupos. Na TIV foi possível observar aumento de temperatura imediatamente depois do tratamento em todas as áreas avaliadas, para todos os grupos experimentais, sem diferença entre os grupos. A CK apresentou elevação em todos os grupos, 6, 12 e 24h após as intervenções. Na HE observou-se aumento da degeneração e necrose muscular 3 e 6h após as intervenções para todos os grupos, e aumento do infiltrado inflamatório 3h após para o grupo VCI. Concluiu-se que o protocolo de VCI utilizado neste estudo não foi capaz de acelerar a recuperação da lactatemia e do equilíbrio ácido-base de cavalos submetidos ao exercício intenso em esteira, nem promoveu alterações na temperatura da superfície cutânea ou na resposta inflamatória muscular causada pelo exercício intenso.

Palavras-chave: desaquecimento, equilíbrio ácido-base, frequência cardíaca, resposta inflamatória muscular, termografia infravermelha, vibração de corpo inteiro

USE OF THE VIBRATORY PLATFORM FOR HORSES SUBMITTED TO EXERCISE

ABSTRACT - Vibrating platforms (VP) are devices capable of generating mechanical oscillations that are distributed throughout the body, being considered a form of passive exercise. This type of exercise is classically known as whole-body vibration (WBV). Several benefits of using WBV have been described, such as neuromuscular activation, improved physical performance and development of balance and functional mobility. WBV has been studied and used in many applications in humans, as part of a physiotherapeutic and non-pharmacological protocol, and as an alternative or supplementary method to exercise. However, information on WBV is relatively limited in the equine species. The present study aimed to investigate the effects of WBV as a recovery method after intense exercise in horses. Eight crossbreed horses were used, one castrated male and seven females, aged between seven and 19 years old and with an average body mass of 406 ± 33 kg. Initially, the animals were subjected to an incremental effort test to determine the speed corresponding to the lactate threshold (SLT), and, consequently, the external load of the intense exercise session (IES). The animals were distributed into three experimental groups, in a cross-over design, with all groups undergoing an IES (5 min warm-up, 2 min at 110% SLT and 3 min at 130% SLT). The control group (CG) performed active recovery, while walking on the treadmill. The negative group (NG) was used as a negative control, being placed on the VP turned off. The whole-body vibration (WBV) group performed the recovery period in VP, in a protocol that consisted of five 2-min steps, with decreasing frequencies of 76, 66, 55, 46 and 32 Hz. The recovery period lasted 10 min for all groups. Biopsies of the gluteus medius muscle were taken before (0), immediately after (AT), 3 and 6h after treatment, for muscle histopathological evaluation using hematoxylin-eosin (HE) staining and monocarboxylate transporter 4 (MCT4) content. Heart rate (HR) was monitored throughout the IES and recovery period. Blood samples were collected to determine plasma lactate and glucose at moments 0, immediately after IES (AS), before treatment (BT), AT, 10 min (10min) and 1h after the end of treatment. Blood samples were also taken to determine the serum activity of the enzyme creatine kinase (CK) before, 1, 3, 6, 12 and 24h after treatment. Blood collections were also carried out to perform blood gas and electrolyte analyzes at moments 0, AS and AT. At the same time, rectal temperature (RT) was measured. Infrared thermography (IRT) analyzes were also performed on the lateral aspect of the neck in the left prescapular region, the quadriceps femoris region of the left pelvic limb, the carpal region of both thoracic limbs (TL) and the lateral view of the flexor tendons. of the left and right TL, at moments 0 and AT. ANOVA for repeated measures was applied followed by the paired T test with Bonferroni correction. For HE analyses, one-way ANOVA was performed for non-parametric data using the Kruskal-Wallis test, followed by the Dunnett test ($P<0.05$). IES induced hyperlactatemia and moderate metabolic acidosis in all experimental groups. HR increased in all groups after IES, however, it was higher in the CG compared to the WBV and NG groups at AT. Between groups, there was no change in RT, lactatemia, glycemia and MCT4 protein content. RT, lactatemia, blood glucose, blood gases and electrolytes increased after IES for all groups. The protein content of MCT4 decreased 3 and 6h after treatment in all groups. In IRT it was possible to observe an increase in temperature immediately after

treatment in all areas evaluated, for all experimental groups, with no difference between groups. CK showed an increase in all groups, 6, 12 and 24 h after the interventions. In HE, an increase in muscle degeneration and necrosis was observed 3 and 6 h after the interventions for all groups, and an increase in inflammatory infiltrate 3 h after for the WBV group. It was concluded that the WBV protocol used here was not able to accelerate the recovery of lactatemia and acid-base balance in horses subjected to intense treadmill exercise, nor did it promote changes in skin surface temperature or in the muscular inflammatory response caused by intense exercise.

Keywords: acid-base balance, cool-down, heart rate, infrared thermography, muscle inflammatory response, whole body vibration

LISTA DE TABELAS

Capítulo 1

Quadro 1. Protocolos de treinamento com vibração de corpo inteiro já estudados em cavalos.....7

Capítulo 2

Tabela 1. Protocolo do teste de esforço incremental (TEI) para determinação da velocidade correspondente ao limiar de lactato (VLL) em cavalos.....34

Tabela 2. Velocidades correspondentes ao limiar de lactato determinadas pelo método visual (VLL_V) e pelo método bi-segmentado (VLL_{BI}) de cada cavalo (n=8) submetido ao TEI.....34

Tabela Suplementar 1. Médias ± desvio padrão da frequência cardíaca (FC) e lactato de cavalos submetidos a sessão de exercício intenso em cada bloco experimental...41

Tabela Suplementar 2. Médias ± desvio padrão da frequência cardíaca (bpm) de cavalos submetidos a sessão de exercício intenso e sessão de desaquecimento em esteira (GC), plataforma vibratória desligada (GN), ou plataforma vibratória (VCI).....42

Tabela Suplementar 3. Médias ± desvio padrão da temperatura retal (ºC) de cavalos submetidos a sessão de exercício intenso e sessão de desaquecimento em esteira (GC), plataforma vibratória desligada (GN), ou plataforma vibratória (VCI).....43

Tabela Suplementar 4. Médias ± desvio padrão do lactato e glicose plasmáticos de cavalos submetidos a sessão de exercício intenso e sessão de desaquecimento em esteira (GC), plataforma vibratória desligada (GN), ou plataforma vibratória (VCI).....45

Tabela 3. Médias ± desvio padrão dos gases e eletrólitos sanguíneos de cavalos submetidos a sessão de exercício intenso e sessão de desaquecimento em esteira (GC), plataforma vibratória desligada (GN), ou plataforma vibratória (VCI).....46

Tabela Suplementar 5. Médias ± desvio padrão do conteúdo de proteína MCT4 no músculo glúteo médio de cavalos submetidos a sessão de exercício intenso e sessão de desaquecimento em esteira (GC), plataforma vibratória desligada (GN), ou plataforma vibratória (VCI).....47

Capítulo 3

Tabela 1. Protocolo do teste de esforço incremental (TEI) para determinação da velocidade correspondente ao limiar de lactato (VLL) em cavalos.....65

Tabela 2. Velocidades correspondentes ao limiar de lactato determinadas pelo método visual (VLL_V) e pelo método bi-segmentado (VLL_{BI}) de cada cavalo submetido ao TEI.....66

Tabela Suplementar 1. Médias ± desvio padrão da frequência cardíaca (FC) e lactato de cavalos submetidos a sessão de exercício intenso em cada bloco experimental...76

Tabela Suplementar 2. Médias ± desvio padrão das temperaturas termográficas (ºC) da face lateral do pescoço na região pré-escapular esquerda, da região do quadríceps femoral do membro pélvico esquerdo, das regiões cárpicas direita e esquerda e da visão lateral dos tendões flexores do membro torácico esquerdo e direito de cavalos submetidos a sessão de exercício intenso e sessão de desaquecimento em plataforma vibratória (VCI), esteira (GC), ou plataforma vibratória desligada (GN).....78

Tabela Suplementar 3. Médias ± desvio padrão da atividade sérica da enzima creatina quinase (U/L) de cavalos submetidos a sessão de exercício intenso e sessão de desaquecimento em plataforma vibratória (VCI), esteira (GC), ou plataforma vibratória desligada (GN).....79

Tabela 3. Mediana e amplitude (mínimo – máximo) das variáveis histopatológicas, de cavalos submetidos a sessão de exercício intenso que realizaram a sessão de desaquecimento em plataforma vibratória (VCI), esteira (GC), ou plataforma vibratória desligada (GN), antes, imediatamente após (DT), 3 e 6 h após o período de recuperação.....81

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 2

Figura 1. Representação gráfica das médias ± desvio padrão de (**A**) frequência cardíaca e (**B**) lactato plasmático de cavalos (n=8) após uma sessão de exercício intenso em cada bloco experimental com objetivo de verificar possível incremento de aptidão aeróbia ao longo do experimento. Os resultados demonstram que não houve aumento da capacidade aeróbia entre os blocos experimentais.....41

Figura 2. Representação gráfica das médias ± desvio padrão de frequência cardíaca de cavalos (n=8) submetidos a sessão de exercício intenso e sessão de desaquecimento em esteira (GC), plataforma vibratória desligada (GN), ou plataforma vibratória (VCI). #Indica diferença entre o GC e o grupos GN e VCI. DS=depois da sessão de exercício intenso; AT=antes do tratamento; DT=depois do tratamento; 10min=10 min após o fim do tratamento.....42

Figura 3. Representação gráfica das médias ± desvio padrão da temperatura retal de cavalos (n=8) submetidos a sessão de exercício intenso e sessão de desaquecimento em esteira (GC), plataforma vibratória desligada (GN), ou plataforma vibratória (VCI). DS=depois da sessão de exercício intenso; DT=depois do tratamento.....43

Figura 4. Representação gráfica das médias ± desvio padrão de **(A)** lactato plasmático e **(B)** glicose plasmática de cavalos (n=8) submetidos a sessão de exercício intenso e sessão de desaquecimento em esteira (GC), plataforma vibratória desligada (GN), ou plataforma vibratória (VCI). DS=depois da sessão de exercício intenso; AT=antes do tratamento; DT=depois do tratamento; 10min=10 min após o fim do tratamento; 1H=1 hora após o fim do tratamento.....44

Figura 5. Representação gráfica das médias ± desvio padrão do conteúdo de proteína MCT4 no músculo glúteo de cavalos (n=8) submetidos a sessão de exercício intenso e sessão de desaquecimento em esteira (GC), plataforma vibratória desligada (GN), ou plataforma vibratória (VCI). Uma imagem representativa da membrana com bandas de proteínas está apresentada. Todas as membranas foram coradas para proteína total para normalização das diferenças entre bandas de marcação proteica. *Indica diferença entre os momentos ($p<0,05$). **Indica diferença entre os momentos ($p<0,01$). DT=depois do tratamento; 3H=três horas após o fim do tratamento; 6H=seis horas após o fim do tratamento.....47

Capítulo 3

Figura 1. Termograma infravermelho **(A)** da face lateral do pescoço na região pré-escapular esquerda; **(B)** da região do quadríceps femoral do membro pélvico esquerdo; **(C)** da região cárpica de ambos os membros torácicos (MTs); **(D)** da visão lateral dos tendões flexores do MT esquerdo e **(E)** da visão lateral dos tendões flexores do MT direito de cavalos (n=8) submetidos a sessão de exercício intenso e sessão de

desaquecimento em plataforma vibratória (VCI), esteira (GC), ou plataforma vibratória desligada (GN). Observar escala de temperatura à direita.....69

Figura 2. Imagens representativas das lesões de degeneração e necrose muscular. (**A**) Degeneração discreta (1) com alguns miócitos com perda da estriação e início de fragmentação do sarcolema. (**B**) Degeneração moderada (2) com miócitos com perda da estriação e alguns miócitos com perda da estrutura, bordos irregulares, caracterizando necrose. (**C**) Degeneração acentuada (3) com extensas áreas de degeneração e necrose de miócitos, com perda de alguns miócitos. (**D**) Degeneração severa (4) com extensas áreas de perda de miócitos. Hematoxilina e eosina, barras de escala = 100 µm e 50 µm (insets).....72

Figura 3. Imagens representativas das lesões de inflamação no tecido muscular. (**A**) Inflamação mínima (1) com alguns macrófagos perivasculares e ausência de fagocitose. (**B**) Inflamação discreta (2) com alguns neutrófilos associados a um miócito em degeneração. (**C**) Inflamação moderada (3) com neutrófilos e histiócitos dentro de um miócito degenerado, com lise e fagocitose do sarcolema. (**D**) Inflamação acentuada (4) com extensa área com macrófagos e neutrófilos associados a miócitos em degeneração, com lise e fagocitose do sarcolema. Hematoxilina e eosina, barras de escala = 50µm.....73

Figura 4. Imagens representativas de regeneração do tecido muscular. (**A**) Um único miócito multinucleado, caracterizando um processo de regeneração com deslocamento de células satélites hipertrofiadas ao centro do miócito lesionado. (**B**) Intensa hiperplasia e hipertrofia de células satélites associadas a fibroplasia caracterizando tentativa de regeneração e perda do tecido muscular. (**C**) Alguns miócitos binucleados e multinucleados em meio a uma área de hiperplasia e hipertrofia de células satélites.....74

Figura 5. Representação gráfica das médias ± desvio padrão de (**A**) frequência cardíaca e (**B**) lactato plasmático de cavalos (n=8) após uma sessão de exercício intenso em cada bloco experimental com objetivo de verifical possível incremento de aptidão aeróbia ao longo do experimento. Os resultados demonstram que não houve aumento da capacidade aeróbia entre os blocos experimentais.....76

Figura 6. Representação gráfica das médias ± desvio padrão das temperaturas termográficas da (**A**) face lateral do pescoço na região pré-escapular esquerda, (**B**) região do quadríceps femoral do membro pélvico esquerdo, (**C**) região cárpica direita, (**D**) região cárpica esquerda, (**E**) visão lateral dos tendões flexores do membro torácico esquerdo e (**F**) visão lateral dos tendões flexores do membro torácico direito de cavalos (n=8) submetidos a sessão de exercício intenso e sessão de desaquecimento em plataforma vibratória (VCI), esteira (GC), ou plataforma vibratória desligada (GN). **** Indica diferença entre os momentos (p<0,0001).....77

Figura 7. Representação gráfica das médias ± desvio padrão da atividade sérica da enzima creatina quinase de cavalos (n=8) submetidos a sessão de exercício intenso e sessão de desaquecimento em plataforma vibratória (VCI), esteira (GC), ou plataforma vibratória desligada (GN). *Indica diferença entre os momentos (p<0,05).

Indica diferença entre os momentos (p<0,01). * Indica diferença entre os momentos (p<0,001).....79

CAPÍTULO 1 - Considerações gerais

1. INTRODUÇÃO

Os cavalos ocupam posição de destaque tanto nos países desenvolvidos como naqueles em desenvolvimento. Segundo estatísticas da FAO (2019), o rebanho mundial de equinos é de, aproximadamente, 61 milhões de cabeças. Entre eles, os cavalos atletas possuem grande importância na indústria equestre, perfazendo um total de 16 milhões de indivíduos, que movimentam quantidade significativa de recursos financeiros (Hodgso; McGowan, 2014). No Brasil, estima-se que o efetivo de equinos seja de 5 milhões de animais, sendo que animais utilizados para atividades de esporte e lazer totalizam 1.100.000 cabeças. Em 2015, a renda gerada pelo Complexo do Agronegócio do Cavalo foi de R$ 16,15 bilhões, empregando, direta ou indiretamente, aproximadamente 3 milhões de pessoas. Ademais, os esportes equestres vêm se expandindo em nosso meio, pleiteando assim, maiores aportes de investimentos financeiros dos fomentadores de pesquisa e esforços para elevar o bem-estar dos equinos que participam dos diversos segmentos do Complexo do Agronegócio do Cavalo. Este fato pode gerar novos produtos e serviços, tornando mote para pesquisas científicas (Lima; Cintra, 2016; Forbes, 2018; Buss; Trindade, 2019).

A fisiologia do exercício da espécie equina tem sido abordada cientificamente mais do que em qualquer outra espécie de animal domesticado (Marlin, 2015). Grande parte do conhecimento desta área foi estabelecido nos últimos 40 anos, devido ao aumento da demanda das diversas modalidades esportivas equestres. Neste contexto histórico, houve nítido avanço tecnológico nesta área do conhecimento, representado pela disponibilidade de novos equipamentos, como, por exemplo, esteiras rolantes de alto desempenho, frequencímetros acoplados à GPS, lactímetros, eletrocardiógrafos, dispositivos vestíveis para monitoramento biométrico, entre outros (Allen et al., 2016; Woort et al., 2021; Kee et al., 2023).

Neste cenário, a vibração de corpo inteiro (VCI), técnica não invasiva e não farmacológica que utiliza plataformas vibratórias (PV) para expor o corpo todo do indivíduo à vibração, vem sendo estudada em humanos (Ritzmann et al., 2014; Kang

et al., 2017; Chang et al., 2018; Oh et al., 2018; Campos et al., 2021; Lai et al., 2021; Tseng et al., 2023; Colson et al., 2023) e roedores (Huang et al., 2014; Lin et al., 2015; McGee-Lawrence et al., 2017; Chen et al., 2018) como dispositivo de treinamento, com intuito de melhorar a biomecânica, fisiologia, desempenho neuromuscular e outros parâmetros de capacidade atlética (Musumeci, 2017; Bonanni et al., 2022).

Estudo sobre obesidade em ratos relatou diminuição das concentrações sanguíneas de lactato, amônia e da atividade sérica de CK, bem como elevação da glicemia em animais submetidos a natação e treinamento com VCI, quando comparados a animais sem treinamento prévio com VCI. Sendo assim, a VCI foi classificada pelos autores como possível exercício com efeito anti-fadiga (Huang et al., 2014). Além disso, estudo avaliando a suplementação com dehidroepiandrosterona associada a utilização da VCI na capacidade atlética de ratos observou aumento do desempenho físico, nas concentrações de testosterona e glicose, bem como no glicogênio hepático e muscular. Ademais, observou-se diminuição da lactatemia e amônia (Chen et al., 2018).

Após exercício de caminhada em esteira, os níveis de lactato foram menores e a recuperação da frequência cardíaca (FC) foi maior nos indivíduos que realizaram desaquecimento na cadeira vibratória, indicando que a VCI pode ser utilizada como exercício de desaquecimento (Kang et al., 2017). Ademais, em pessoas submetidas a esforço máximo na esteira houve redução mais acentuada da FC, pressão arterial e lactatemia naqueles indivíduos que foram desaquecidos em protocolo que associou a prática de exercício leve com a VCI (Oh et al., 2018). Já os sujeitos que efetuaram 4 tiros de 100 m e depois foram submetidos a exercício de agachamento em plataforma vibratória ligada ou desligada ou ao repouso (controle), as concentrações de lactato plasmático não apresentaram diferença entre os grupos tratados. Todavia, a frequência cardíaca foi menor no grupo que realizou agachamento na plataforma vibratória ligada, sugerindo que a VCI provoca menos estresse cardiovascular durante a recuperação (Campos et al., 2021). Entretanto, embora tenham sido reportados efeitos positivos na flexibilidade, aquecimento, redução da dor e melhora da amplitude do movimento com o uso de VCI, os resultados sobre capacidade atlética são controversos (Cochrane, 2013; Bonanni et al., 2022).

Atualmente, muitos proprietários, treinadores e veterinários fisioterapeutas equinos supõem que a PV melhora o desempenho. Entretanto, este é campo de pesquisa é relativamente novo, principalmente em cavalos. Portanto, trata-se de área que requer estudos que possam contribuir na validação desta metodologia. Importante enfatizar que a utilização equivocada de intensidade de vibração, tempo de exposição, amplitude e aceleração provocou efeitos adversos nas pessoas, tais como eritema cutâneo, edema, dor (Pollock et al., 2010) e hematúria (Franchignoni et al., 2013). Ademais, estudo recente encontrou que a VCI induziu degeneração progressiva dos discos intervertebrais em camundongos (McCann et al., 2017). Em cavalos com claudicação crônica submetidos a sessões prolongadas de PV foi detectado agravamento significativo da claudicação de membros torácicos, sendo que os autores afirmaram que a PV pode ter impacto negativo em determinadas injúrias musculoesqueléticas (Halsberghe, 2017).

Além disso, o tipo de tratamento de vibração (amplitude, frequência e magnitude das oscilações) deve ser personalizado, pois o efeito do estímulo vibratório é muito subjetivo. Devido às inúmeras possibilidades terapêuticas da vibração de corpo inteiro, também é importante estudar os efeitos, em longo prazo, em diferentes parâmetros fisiológicos e patológicos e definir protocolos de exercícios seguros com base nas respostas individuais (Musumeci, 2017).

Isto posto, fica evidente a importância e necessidade de realização de pesquisas relacionando o uso da VCI e a capacidade atlética dos cavalos, visando melhorar o entendimento das respostas fisiológicas envolvidas durante e após o uso da plataforma. É importante ressaltar que o número de estudos com fisiologia do exercício em cavalos é relativamente escasso nessa área, especialmente àqueles relacionando exercício e VCI.

Dentro desse contexto, objetivou-se:

a) Estudar as alterações fisiológicas de cavalos submetidos a vibração de corpo inteiro após exercício intenso.
b) Avaliar as alterações na temperatura cutânea superficial de cavalos submetidos a vibração de corpo inteiro após exercício intenso.
c) Avaliar as alterações histopatológicas musculares de cavalos submetidos a vibração de corpo inteiro após exercício intenso.

d) Quantificar a proteína MCT4 no músculo de cavalos submetidos a vibração de corpo inteiro após exercício intenso.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Vibração de corpo inteiro

A vibração de corpo inteiro (VCI) foi inicialmente utilizada por cientistas russos, há cerca de 40 anos, para amenizar os efeitos da falta de gravidade em astronautas, com o intuito de estimular o aumento da densidade mineral óssea e do tônus muscular (Vasile et al., 2013). Esses cientistas descobriram a possibilidade de utilização da vibração em ambiente atlético, desenvolvendo dispositivos específicos para transmitir ondas vibratórias para grupos musculares, principalmente durante a execução de exercícios isométricos, que foram eficazes para aumentar a força dos atletas (Nazarov; Spivak, 1985).

Desde então, muito estudos foram conduzidos com o objetivo de entender as respostas agudas e crônicas relacionadas ao uso da VCI em diversas aplicações (Cochrane et al., 2013; Gomes et al., 2018; Musumeci, 2017; Bonanni et al., 2022). Embora a VCI represente um estímulo expressivo para o organismo, os mecanismos biológicos associados a ela ainda não foram totalmente elucidados. Isso ocorre, em parte, devido à grande variabilidade de seus efeitos, que são intimamente dependentes dos parâmetros que caracterizam a vibração mecânica, como a frequência e amplitude de vibração, além do tempo de exposição à vibração (Bonanni et al., 2022).

Esta é classificada por alguns autores como exercício resistido, submetendo o organismo a oscilações sinusoidais mecânicas de maneira controlada, que podem promover ajustes benéficos ao corpo (Huang et al., 2014; Halsberghe et al., 2017). A vibração consiste em três componentes: frequência, amplitude e aceleração, os quais podem ser modificados separadamente. Os estímulos mecânicos gerados pela vibração são transmitidos ao corpo, onde estimulam, por sua vez, receptores sensoriais, provocando ativação de neurônios motores alfa (α) e início das contrações musculares (Delecluse et al., 2003).

O uso da VCI como adjuvante ao treino pode contribuir com a elevação do desempenho em atletas, sendo observado interesse crescente sobre este tema na comunidade científica. Os efeitos da VCI na musculatura, variáveis fisiológicas e ossos têm sido amplamente estudados nos últimos anos, notadamente no homem (Elmantaser et al., 2012; Ritzmann et al., 2014; Kang et al., 2017; Chang et al., 2018; Oh et al., 2018; Campos et al., 2021; Lai et al., 2021; Tseng et al., 2023; Colson et al., 2023), mas também em cavalos (Carstanjen et al., 2013; Hulak et al., 2015; Buchner et al., 2017; Halsberghe et al., 2017; Nowlin et al., 2018; Maher et al., 2020). O principal atrativo dessa técnica consiste na sua capacidade de gerar estímulos com baixo impacto, o que é de cunho crítico para indivíduos com lesões no sistema locomotor (Prisby et al., 2008). Ainda assim, a capacidade da VCI como método para elevar o desempenho é contestada, pois, embora estudos tenham relatado efeitos positivos sobre a flexibilidade, redução da dor e melhora da amplitude do movimento, os resultados sobre capacidade atlética são controversos (Cochrane, 2013).

No homem, estudos mostraram que a VCI pode contribuir com a redução do risco de osteoporose, melhorando a densidade mineral óssea (Xiang-Yan et al., 2008; Von Stengel et al., 2011; Luo et al., 2016; Benedetti et al., 2018; Beck et al., 2022). Além disso, a PV pode aumentar o metabolismo em pacientes sob cuidados intensivos (Wollersheim et al., 2017), auxiliar no tratamento de pacientes com fibromialgia (Santos et al., 2019; Mingorance et al., 2021) e reduzir a dor muscular após treinamento (Aminian-Far et al., 2011). Do mesmo modo, pode ser ferramenta para protocolos de aquecimento, que pode também melhorar a flexibilidade e a amplitude de movimento, sem induzir efeito negativo sobre a força muscular (Cochrane, 2013).

A estimulação vibratória também tem sido sugerida como uma ferramenta eficaz na reabilitação de atletas com osteoartrite de joelho (Lai et al., 2021; Zhang et al., 2021; Wang et al., 2022), instabilidade crônica de tornozelo (Sierra-Guzmán et al., 2018; Feland et al., 2020; Sofla et al., 2021), lesões de ligamento cruzado anterior (Constantino et al., 2018; Pamukoff et al., 2018; Blackburn et al., 2020) e dor fêmoropatelar (Yañez-Álvarez et al., 2020; Rasti et al., 2020).

Resultados positivos têm sido observados também no tratamento da depressão e ansiedade (Wunram et al., 2018; Peng et al., 2021; Oroszi et al., 2022; Oroszi et al., 2022b), e na prevenção e/ou controle da diminuição cognitiva relacionado à idade,

além de melhorar qualidade de vida em pessoas idosas (Chang et al., 2018; Odano et al., 2022; Faes et al., 2023).

Em cavalos, as informações na literatura são relativamente limitadas. Não obstante, a VCI já foi estudada e relacionada com efeitos positivos como o aceleramento no crescimento do casco (Halsberghe, 2018), aumento da força e do tamanho dos músculos (Halsberghe et al., 2017; Greene, 2020), bem como manutenção do teor mineral ósseo em cavalos estabulados (Hulak et al., 2015; Greene, 2020). Outros estudos relataram redução das concentrações de cortisol (Carstanjen et al., 2013; Sugg, 2018), da frequência cardíaca (FC) (Sugg, 2018; Maher et al., 2020), e da atividade sérica da creatina quinase (CK) (Carstanjen et al., 2013) imediatamente após o uso da PV.

Cabe ressaltar que, recentemente, pesquisas científicas verificaram a segurança da VCI em cavalos hígidos, sendo que não observaram influência da VCI em biomarcadores musculares, aspartato aminotransferase e lactato (Hyatt, 2017), no conteúdo mineral ósseo (Berger, 2018; Maher et al., 2020), no comprimento da passada (Sugg, 2018; Nowlin et al., 2018; Maher et al., 2020), no andamento (Nowlin et al., 2018), e na FC (Nowlin et al., 2018). Estudo demonstrou que o uso da VCI como forma de aquecimento não foi efetivo para a ativação muscular (Buchner et al., 2017). Também, estudos mostraram aumento da atividade sérica da CK (Hyatt, 2017) e agravamento significativo da claudicação de membros torácicos em cavalos com claudicação crônica submetidos a VCI (Halsberghe, 2017).

Pode-se notar que o uso da VCI tem crescido na indústria equestre, com intuito de melhorar o desempenho e a saúde do cavalo atleta. Mesmo assim, poucas pesquisas foram publicadas até o momento para apoiar tal uso e não está claro o nível de magnitude da vibração necessária para que alterações sejam observadas. As razões para resultados bastante diversos sobre os efeitos da VCI baseiam-se em diferenças nos protocolos e desenhos de estudo, bem como na falta de padronização dos aspectos físicos do dispositivo de vibração (Buchner et al., 2017; Gomes et al., 2018). O **Quadro 1** sumariza os protocolos de VCI já estudados em cavalos.

Quadro 1. Protocolos de treinamento com vibração de corpo inteiro já estudados em cavalos.

Estudo	Protocolo de treinamento				
	Tempo (dias)	**Frequência**	**Duração (min)**	**Intensidade (Hz)**	**Direção/tipo de vibração**
Carstanjen et al., 2013	Sessão única	Sessão única	10	15 – 21	Horizontal e vertical
Hulak et al., 2015	28	5 dias/semana	45	50	Vertical
Lowe et al., 2017	84	5 dias/semana	Estudo 1 – 15 Estudo 2 – 20	50 – 55	-
Hyatt, 2017	120	5 dias/semana	30	50	Vertical
Buchner et al., 2017	Sessão única	Sessão única	10	3 min a 15, 4 min a 22 e 3 min a 25	Horizontal e vertical
Halsberghe, 2017	60	2x/dia 5 dias/semana	30	40	Vertical
Halsberghe et al., 2017	60	2x/dia 5 dias/semana	30	40	Vertical
Halsberghe, 2018	60	2x/dia 5 dias/semana	30	40	Vertical
Sugg, 2018	28	5 dias/semana	45	50	Vertical
Berger, 2018	28	5 dias/semana	45	50	Vertical
Nowlin et al., 2018	21	5 dias/semana	30	50	Vertical
Huseman, 2018	120	5 dias/semana	30	50	Vertical
Maher et al., 2020	28	5 dias/semana	45	50	Vertical
Greene, 2020	56	2x/dia 5 dias/semana	15	50%*	Ondas de vórtice

*Theraplate®, para esse modelo a carga externa corresponde a % da capacidade máxima do motor.

2.2 Frequência cardíaca

Nos estudos que abordaram protocolos de treinamento no homem, frequentemente os autores utilizaram o conceito de carga externa ou interna para prescrição de sessão aguda de treino. O conceito de carga considera a relação direta entre volume e intensidade. Carga externa é representada pela duração, distância percorrida, velocidade média e máxima e inclinação da esteira, que são variáveis que induzem respostas fisiológicas internas. Carga interna indica resposta fisiológica efetiva que o atleta promove para se ajustar aos estímulos induzidos pela carga externa. Tanto a frequência cardíaca como a concentração plasmática de lactato podem ser utilizados como indicadores para medir a carga interna durante o exercício de corrida (Impellizzeri et al., 2019; Restan et al., 2022).

O exercício físico promove incremento da frequência cardíaca (FC) e da força de contração do miocárdio, o que induz aumento do débito cardíaco. Tais alterações ocorrem pois, frente a um fator estressante, o organismo é submetido à ação primárias das catecolaminas, as quais são liberadas no início da atividade física e promovem alterações no sistema cardiovascular (McKeever, 2011). A mensuração da FC é facilmente realizada, sendo método não invasivo que pode ser utilizado em cavalos atletas para fornecer informações sobre o desempenho e a intensidade do exercício teste (Allen et al., 2015).

2.3 Lactato

A realização de exercícios depende do funcionamento de inúmeros músculos. A energia necessária para contração muscular é obtida da hidrólise da ATP, com consequente liberação de fosfato inorgânico. O metabolismo anaeróbico de glicose, apesar de muito menos eficaz que o aeróbio, onde a produção de ATP é muito mais eficiente, representa importante e rápida ferramenta de geração de energia. Quando a utilização de energia pela musculatura esquelética excede a capacidade de produção de ATP, a glicólise anaeróbia é estimulada, aumentado a produção de piruvato e lactato (Gollnik et al., 1986). Dessa forma, durante o exercício intenso, a necessidade de oxigênio para a produção de energia supera a capacidade de sua

utilização pelas mitocôndrias. Juntamente com a ativação de fibras musculares majoritariamente dependentes do metabolismo glicolítico, a concentração de lactato aumenta de maneira exponencial (Ferraz et al., 2008; Campbell, 2011).

Isso acontece pois o glicogênio muscular é decomposto em ácido láctico, o qual dissocia-se em íons de lactato e íons de hidrogênio (H^+). Os íons de lactato formam um sal com os íons sódio (Na^+) ou potássio (K^+), e, portanto, não representam ameaça às células musculares (Dermitaş et al., 2015). Além disso, o lactato é uma excelente fonte de energia, sendo que parte do lactato produzido é utilizado como substrato energético pelo sistema aeróbico (Piccione et al., 2010). A concentração de lactato sanguíneo tem sido amplamente utilizada como indicador de intensidade e desempenho do treinamento, sendo necessária para avaliar o início do acúmulo de lactato, como indicador da capacidade aeróbica em atletas (Piccione et al., 2010).

2.4 Glicose

A glicose é a principal fonte energética do organismo, sendo substrato essencial para as células cerebrais e para os eritrócitos. Sua concentração sanguínea representa um equilíbrio entre a ingestão dietética, interações hormonais e via bioquímicas. Os principais locais de armazenamento de glicose no corpo são os músculos esqueléticos e o fígado, na forma de glicogênio (Stämpfli; Oliver-Spinosa, 2015).

A glicose, glicogênio muscular e hepático e os lipídeos são os principais substratos para a produção de energia pela via aeróbia ou oxidativa. Em exercícios prolongados, como o enduro em cavalos, essa é a principal via para produção de energia (Bergero et al., 2005). Além disso, a glicose plasmática e o glicogênio também são os principais substratos energéticos utilizados pela fibra muscular esquelética no metabolismo anaeróbio, ou glicolítico (Rivero; Piercy, 2008).

Durante o exercício físico, o organismo é submetido à estímulos estressantes que alteram sua homeostasia. Quando o limiar de esforço físico é ultrapassado, há estimulação de vários sistemas, o que culmina na liberação de hormônios, como as catecolaminas e o glucagon. Esses são responsáveis por várias funções metabólicas, entre elas o metabolismo energético por meio da glicogenólise e neogliconeogênese

hepática, aumentando a glicemia, sendo que este é importante mecanismo para a manutenção da glicemia durante o exercício (Ferraz et al., 2010).

2.5 Creatina quinase (CK)

Nos cavalos, a CK é encontrada principalmente na musculatura esquelética, no miocárdio e no cérebro, podendo estar presente também em tecido gastrointestinal, útero, vesícula urinária, rins e na glândula tireoide (Macleay, 2004; Stucchi et al., 2019). Esta enzima é responsável pela quebra do fosfato de creatina em creatina e fosfato, permitindo que haja a fosforilação do ADP, liberando, desta forma, energia para a contração muscular (Barclay, 2017).

Evidências científicas revelam que, dependendo da carga, o exercício causa microlesões fisiológicas por meio de ruptura miofibrilar ultraestrutural, associada a efluxo sistêmico de enzimas musculares tal como a mioglobina, lactato desidrogenase (LDH), aspartato aminotransferase (AST) e CK para a corrente sanguínea, sendo que a análise da atividade dessas enzimas é extremamente útil para o diagnóstico de possíveis lesões do músculo esquelético (Silva; Macedo, 2011; Lucas et al., 2015). Esta resposta é primordial para adaptação do organismo ao esforço físico (Behringer et al., 2014; Chen et al., 2019). Em cavalos saudáveis, as alterações na concentração sérica de CK devido ao exercício dependem da intensidade e duração do exercício, condicionamento físico e ambiente (Overgaard et al., 2004), sendo que nos animais bem condicionados pode ocorrer pequeno aumento na concentração de CK após esforço físico devido a alterações no volume plasmático, mas com recuperação dos valores pré-teste em poucas horas (Silva et al., 2023).

2.6 Temperatura corporal

Cavalos adultos saudáveis controlam o acúmulo e a dissipação do calor corporal para manter a temperatura corporal por meio de mecanismos de termorregulação (Kang et al., 2023). Entretanto, a temperatura corporal pode ser afetada por inúmeros fatores, incluindo estresse, distúrbios endócrinos, ritmo circadiano, entre outros (Hall et al., 2019).

Durante o exercício físico, ocorre aumento de temperatura corporal devido ao calor proveniente do exercício de grupos musculares, sendo que a produção metabólica de calor é suficiente para elevar a temperatura corporal em 3-5ºC (Hinchcliff; Geor, 2008; Verdegaal et al., 2024), sendo que apenas 20 a 25% da energia utilizada pelos músculos é convertida em energia mecânica. Os três quartos restantes são dissipados como calor (Hyyppa; Poso, 2004). Em algumas circunstâncias, como após exercícios extenuantes sob condições quentes ou quentes e úmidas, o acúmulo de calor corporal excede a dissipação e os cavalos podem sofrer estresse térmico (Kang et al., 2023). Estudos mostram que o aumento na temperatura corporal após o exercício está significativamente correlacionado com o exercício (Aragona et al., 2022; Janczarek et al., 2022).

2.7 Gases e eletrólitos sanguíneos

A avaliação de gases e eletrólitos sanguíneos é considerada o método mais adequado e confiável para detectar alterações no equilíbrio ácido-base dos fluidos corporais (Miranda et al., 2016). Os exercícios de alta intensidade resultam em alterações significativas no equilíbrio ácido-base, com aumento acentuados nos níveis de H^+ após o exercício, diminuição do pH, e reduções na HCO_3^- e tCO_2 (Aguilera-Tejero et al., 2000; Vengust et al., 2010). Entretanto, as concentrações de H^+ e HCO_3^- são variáveis dependentes do equilíbrio ácido-base, ou seja, não são fatores causais. Em vez disso, o equilíbrio ácido-base é determinado pelos efeitos independentes da pressão parcial do dióxido de carbono (pCO_2), pela concentração de tampões ácidos fracos, principalmente de proteínas plasmáticas, e pela diferença de íons fortes (DIF) (Pratt; Cornely, 2006). Estas alterações são causadas pela liberação de energia muscular principalmente pelo metabolismo anaeróbico e podem resultar em acidose metabólica (Aguilera-Tejero et al., 2000).

2.8 Termografia infravermelha

A termografia infravermelha (TIV) é ferramenta não invasiva de detecção de alterações na transferência de calor e do fluxo sanguíneo por meio da detecção de

mudanças na temperatura corporal (TC) superficial, sendo traço indicador para estimar com precisão o estado fisiológico. As alterações na temperatura superficial são causadas por mudanças na perfusão local, sendo que a vascularização e o suprimento sanguíneo dos tecidos são as bases da representação termográfica (Redaelli et al., 2014; McManus et al., 2016).

A TIV é amplamente utilizada na medicina esportiva equina, pois permite avaliar indiretamente lesões musculoesqueléticas associadas a rotina intensa de exercícios em cavalos de alto desempenho. Esta técnica monitora efeitos da prática esportiva na produção de calor corporal, auxiliando também na avaliação da eficácia de um regime de treino, com informações úteis para competições (Soroko et al., 2016; Redaelli et al., 2019; Silva et al., 2022).

Durante o exercício, ocorre aumento de temperatura corporal devido ao calor proveniente do exercício de grupos musculares, sendo que esse é dissipado para o ambiente circundante através de diferentes tecidos e por meio de transporte pela corrente sanguínea em direção à superfície da pele, para que haja troca de calor com o ambiente. Os animais utilizam a vasodilatação periférica para manter a homeotermia, causando aumento da temperatura superficial (Verdegaal et al., 2024). Esta resposta fisiológica pode ser avaliada pela termografia infravermelha.

Alguns estudos já foram realizados utilizando a termografia para avaliar a resposta ao exercício. Em cavalos, estudo mostrou que a termografia pode ser utilizada para avaliar mudanças no fluxo sanguíneo pela avaliação da região do músculo semitendíneo após exercício agudo em esteira aquática (Yarnell et al., 2014). Ademais, em cavalos de corrida, foram identificadas 14 regiões de interesse para monitorar o efeito do treinamento pela utilização de imagens termográficas, sendo elas nas partes distais dos membros e nas costas (Soroko et al., 2014).

No homem, a VCI induz aumento da atividade simpática, por meio da vasodilatação muscular, com consequente aumento do fluxo sanguíneo e da temperatura da pele (Herrero et al., 2011; Ritzmann et al., 2014), o que poderia ser detectado pela utilização da termografia infravermelha. Entretanto, em único estudo que utilizou a termografia infravermelha para avaliação da VCI em cavalos, não foi observado nenhum aumento na temperatura superficial cutânea nos membros torácicos, pélvicos e dorso após sessão aguda (Buchner et al., 2017). Da mesma

forma, estudos em cães não observaram alterações significativas na temperatura termográfica da região dos músculos bíceps femoral e vasto lateral (Santos et al., 2019) e das regiões do músculo glúteo superficial e do músculo bíceps femoral de ambos os membros posteriores (Agostinho et al., 2023) associadas ao uso da VCI.

2.9 Histopatologia muscular

A avaliação da inflamação induzida pelo exercício, por meio de técnicas clássica de histologia, tal como a hematoxilina e eosina (HE) pode ser utilizada em cavalos. O processo inflamatório que segue a realização de um exercício físico é imprescindível para a reparação e regeneração funcional completa do músculo esquelético, sendo um processo que, eventualmente, leva à remodelação adaptativa, como, por exemplo, à hipertrofia muscular esquelética (Chazaud, 2016; Cheng et al., 2020). Esse processo abrange várias fases sequenciais.

Primeiramente, no início do processo inflamatório, as células residentes nos músculos e o endotélio vascular liberam mediadores inflamatórios que geram sinais quimiotáticos, que estimulam o fluxo de leucócitos para o tecido muscular. A presença destas células está associada à perda transitória da arquitetura muscular após o exercício (Deyhle et al., 2016; Barcellos et al., 2021). Depois, ocorre a resolução da inflamação, caracterizada pela mudança de um ambiente pró-inflamatório para o estabelecimento da fase anti-inflamatória. Por último, ocorre a reparação/regeneração tecidual, que inclui angiogênese, remodelação da matriz e retorno à homeostase (Chazaud, 2016).

Os macrófagos são os leucócitos predominantes observados em cada momento da regeneração do músculo esquelético após uma lesão e exercem efeitos específicos e diretos sobre os precursores miogênicos que regeneram as miofibras danificadas (Chazaud, 2016). Entretanto, os neutrófilos têm papel importante na regeneração muscular, que envolve a remoção de material necrótico. Assim, apesar de os macrófagos invasores terem papel proeminente na fagocitose de células necróticas, os neutrófilos parecem ser necessários para realizar completamente a remoção do tecido necrótico (Teixeira et al., 2003; Cheng et al., 2020).

2.10 Transportadores de monocarboxilatos (MCT)

O lactato e os íons H+ produzidos durante o exercício são formas dissociadas do ácido lático, que, em pH fisiológico, está quase que totalmente dissociado nos fluidos corporais. Estas substâncias dissociadas precisam ser retiradas do músculo para os espaços extracelulares, processo que é realizado por um grupo de proteínas denominadas de transportadores de monocarboxilatos (MCT), os quais são estimulados pela redução no pH (Pösö, 2002; Kitaoka et al., 2012).

A família dos MCTs é um dos meios mais importantes de transporte transmembranar, pois facilitam o transporte de lactato através do sarcolema. Esse tipo de transporte não requer gasto de energia, sendo feito apenas pela troca de cargas entre metabólitos e íons a serem transportados com resíduo de aminoácidos presentes nas hélices transmembranares dos MCTs (Halestrap, 2013).

Até o presente momento já foram identificadas 14 isoformas de MCT, sendo que as isoformas MCT1 e MCT4 são a chave para o transporte no músculo esquelético. Estas duas isoformas são encontradas em humanos e cavalos, nas fibras oxidativas tipo I, ou glicolíticas tipo II, respectivamente (Kitaoka et al., 2011). Estudo em cavalos da raça Puro Sangue Inglês avaliou o treinamento de cavalos de corrida por 18 semanas, evidenciando aumento da densidade muscular das isoformas 1 e 4 nas fibras musculares desses animais (Kitaoka et al, 2011).

Os MCTs também são encontrados nas membranas das hemácias, sendo que, na corrente sanguínea, o complexo transportador CD147-MCT1 é mais abundante, e é responsável pelo influxo de lactato (Regatieri et al., 2016; Feringer Júnior et al., 2019). Em cães, o complexo CD147-MCT1 é responsável por pelo menos 50% do transporte hemático de lactato, sendo que outra isoforma, MCT7, também foi encontrada (Koho et al., 2008). Ademais, em cães Pit Bull Terrier foi detectada alta expressão do complexo CD147-MCT1, indicando que esta raça possui hemácias com capacidade de transporte de lactato (Feringer Júnior, 2017).

Apesar das atividades contráteis musculares poderem estimular a expressão gênica e proteica dos MCTs em cavalos (Kitaoka et al., 2011), existem poucos estudos sobre os efeitos de um esforço aeróbio/anaeróbico único nos MCTs (Kitaoka et al., 2013). Como tradicionalmente encontrado, o MCT4 aumenta após o exercício intenso.

Este achado já foi descrito em cavalos (Kitaoka et al., 2013), roedores (Coles et al., 2004; Araújo et al., 2015) e no homem (Green et al., 2002). Controversamente, estudo relatou que o exercício de alta intensidade diminuiu agudamente a quantidade de proteína MCT1 e MCT4 na membrana plasmática dos indivíduos avaliados (Bishop et al., 2007). Esses resultados contraditórios podem ser devidos a diferenças na intensidade do exercício, duração, testabilidade ou métodos de preparação de amostras (Seyedi et al., 2023).

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a busca atual por alternativas para melhorar a capacidade atlética na indústria de cavalos utilizados no esporte, frequentemente os participantes são adeptos aos possíveis “efeitos milagrosos” de determinadas condutas e/ou protocolos de terapias disponíveis no mercado. As empresas que produzem placas de estimulação vibratória afirmam resultados como aumento/manutenção da massa muscular, redução de lesões, cicatrização mais rápida, melhora do equilíbrio, aumento da circulação, dentre outros benefícios. No entanto, faltam pesquisas para investigar estes efeitos, além de validação mínima nos estudos já realizados que examinaram os impactos da estimulação vibratória no cavalo. Neste trabalho avaliou-se os efeitos da VCI na recuperação do exercício intenso, realizado na esteira, em cavalos.

Para avaliação dos efeitos de um protocolo de VCI como método de recuperação do exercício intenso foram utilizadas técnicas utilizadas para avaliação do exercício, como frequência cardíaca, temperatura retal, lactato plasmático, glicose plasmática, gases e eletrólitos sanguíneos, atividade sérica da enzima creatina quinase, termografia infravermelha, análise histopatológica muscular e conteúdo proteico do transportador monocarboxilato 4. Os principais achados são descritos no próximo capítulo desta tese.

4. REFERÊNCIAS

Agostinho M, Rahal S, Bonatelli S, Rosa G, Tsunemi M, Zadra V, Mamprim M, Takahira R, Souza P, Santos I (2023) Evaluation of infrared thermography, arterial doppler ultrasound, and doppler echocardiography in healthy adult dogs exposed to a

single session of whole-body vibration at different frequencies. **Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi** 1-7.

Aguilera-Tejero E, Estepa JC, López I, Bas S, Mayer-Valor R, Rodríguez M (2000) Quantitative analysis of acid–base balance in show jumpers before and after exercise. **Research in Veterinary Science** 68:103-108.

Allen KJ, Young LE, Franklin SH (2015) Evaluation of heart rate and rhythm during exercise. **Equine Veterinary Education** 28(2):99-112.

Allen KJ, Van Erck-Westergren E, Franklin SH (2016) Exercise testing in the equine athlete. **Equine Veterinary Education** 28(2):89-98.

Aminian-Far A, Hadian MR, Olyaei G, Talebian S, Bakhtiary AH (2011) Whole-body vibration and the prevention and treatment of delayed-onset muscle soreness. **Journal of Athletic Training** 46(1):43-49.

Araújo GG, Gobatto CA, Manchado-Gobatto FB, Teixeira LFM, Reis IGM, Caperuto LC, Papoti M, Bordin S, Cavaglieri CR, Verlengia R (2015) MCT1 and MCT4 kinetic of mrna expression in different tissues after aerobic exercise at maximal lactate steady state workload. **Physiological Research** 64:513-522.

Barcellos LAM, Gonçalves WA, Oliveira MPE, Guimarães JB, Queiroz-Junior CM, Resende CB, Russo RC, Coimbra CC, Silva AN, Teixeira MM, Rezende BM, Pinho V (2021) Effect of physical training on exercise-induced inflammation and performance in mice. **Frontiers in Cell and Development Biology** 9:625680.

Barclay CJ (2017) Energy demand and supply in human skeletal muscle. **Journal of Muscle Research and Cell Motility** 38:143-155.

Beck B, Rubin C, Harding A, Paul S, Forwood M (2022) The effect of low-intensity whole-body vibration with or without high-intensity resistance and impact training on risk factors for proximal femur fragility fracture in postmenopausal women with low bone mass: study protocol for the VIBMOR randomized controlled trial. **Trials** 23(1):15.

Behringer M, Montag J, Franz A, McCourt ML, Mester J, Nosaka KK (2014) Exhaustive exercise – A near death experience for skeletal muscle cells? **Medical Hypotheses** 83:758-765.

Benedetti MG, Furlini G, Zati A, Mauro GL (2018) The effectiveness of physical exercise on bone density in osteoporotic patients. **BioMed Research International** 2018:4840531.

Berger A (2018) **The influence of whole body vibration on bone mineral content and bone metabolism in the stalled horse**. 49 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Equina) – Middle Tennessee State University, Murfreesboro.

Bergero D, Assenza A, Caola G (2005) Contribution to our knowledge of the physiology and metabolism of endurance horses. **Livestock Production Science** 92(2):167-176.

Bishop D, Edge J, Thomas C, Mercler J (2007) High-intensity exercise acutely decreases the membrane content of MCT1 and MCT4 and buffer capacity in human skeletal muscle. **Journal of Applied Physiology** 102:616-621.

Blackburn T, Padua DA, Pietrosimone B, Schwartz TA, Spang JT, Goodwin JS, Dewig DR, Johnston CD (2020) Vibration improves gait biomechanics linked to posttraumatic knee osteoarthritis following anterior cruciate ligament injury. **Journal of Orthopaedic Research** 39:1113-1122.

Bonanni R, Cariati I, Romagnoli C, D'Arcangelo G, Annino G, Tancredi V (2022) Whole body vibration: a valid alternative strategy to exercise? **Journal of Functional Morphology and Kinesiology** 7(4):99.

Buchner HHF, Zimmer L, Haase L, Perrier J, Peham C (2017) Effects of whole body vibration on the horse: actual vibration, muscle activity, and warm-up effect. **Journal of Equine Veterinary Science** 51:54-60.

Buss LP, Trindade PHE (2019) Desafios e conquistas na promoção do bem-estar de equinos no Brasil. **O bem-estar animal no Brasil e na Alemanha - Responsabilidade e Sensibilidade** 92-99.

Campbell EH (2011) Lactate-driven equine conditioning programmes. **The Veterinary Journal** 190(2):199-207.

Campos DG, Arancibia JO, Urra PS, Cadenas ES, Lozano AS, Rodríguez FR, Montero CC (2021) Effect of high-intensity whole body vibration on blood lactate removal and heart rate after and all-out test in active young men. **Retos** 39:471-476.

Carstanjen B, Balali M, Gajewski Z, Furmanczky K, Bondzio A, Remy B, Hartmann H (2013) Short-term whole body vibration exercise in adult health horses. **Polish Journal of Veterinary Sciences** 16(2):403-405.

Chang SF, Lin PC, Yang RS, Yang RJ (2018) The preliminary effect of whole-body vibration intervention on improving the skeletal muscle mass index, physical fitness, and quality of life among older people with sarcopenia. **BMC Geriatrics** 18(1):1-10.

Chazaud B (2016) Inflammation during skeletal muscle regeneration and tissue remodeling: application to exercise-induced muscle damage management. **Immunology and Cell Biology** 94(2):140-145.

Chen YM, Lee HC, Chen MT, Huang CC, Chen WC (2018) Dehydropiandrosterone supplementation combined with weight-loading whole-body vibration training (WWBV) affects exercise performance and muscle glycogen storage in middle-aged C57BL/6 mice. **International Journal of Medical** Sciences 15(6):564-573.

Chen TC, Yang TJ, Huang MJ, Wang HS, Tseng KW, Chen HL, Nosaka K (2019) Damage and the repeated bout effect of arm, leg, and trunk muscles induced by eccentric resistance exercises. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports** 29:725-735.

Cheng AJ, Jude B, Lanner JT (2020) Intramuscular mechanisms of overtraining. **Redox Biology** 35(2020):101480.

Cochrane D (2013) The sports performance application of vibration exercise for warm-up, flexibility and sprint speed. **European Journal of Sport Science** 13(3):256-271.

Coles L, Litt J, Hatta H, Bonen A (2004) Exercise rapidly increases expression of the monocarboxylate transporters MCT1 and MCT4 in rat muscle. **The Journal of Physiology** 561(1):253-261.

Colson SS, Gioda J, Silva F (2023) Whole body vibration training improves maximal strength of the knee extensors, time-to-exhaustion and attenuates neuromuscular fatigue. **Sports** 11(5):94.

Constantino C, Bertuletti S, Romiti D (2018) Efficacy of whole-body vibration board training on strength in athletes after anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized controlled study. **Clinical Journal of Sport Medicine** 28(4):339-349.

Delecluse C, Roelants M, Verschueren S (2003) Strength increase after whole-body vibration compared with resistance training. **Medicine & Science in Sports & Exercise** 6:1033-1041.

Dermitaş B, Parkan Yaramiş Ç, Atmaca M (2016) Exercise-induced physiological fatigue in horses: review. **Turkiye Klinikleri Journal of Veterinary Sciences** 6:60-66.

Deyhle MR, Gier AM, Evans KC, Eggett DL, Nelson WB, Parcell AC, Hyldahl RD (2016) Skeletal muscle inflammation following repeated bouts of lengthening contractions in humans. **Frontiers in Physiology** 6:424.

Elmantaser M, McMillan M, Khanna S, Chantler D, Panarelli M, Ahmed SF (2012) A comparison of the effect of two types of vibration exercise on the endocrine and musculoskeletal system. **Journal of Musculoskeletal and Neuronal Interactions** 12(3):144-154.

Faes Y, Salathé CR, Herlig ML, Elfering A (2023) Beyond physiology: Acute effects of side-alternating whole-body vibration on well-being, flexibility, balance, and cognition using a light and portable platform: A randomized controlled trial. **Frontiers in Sports and Active Living** 5:1090119.

FAO (2019). **Food and Agriculture Organization**, United Nations, Rome. Disponível em <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL > Acesso em 23 de agosto de 2021.

Feland JB, Thalman L, Hunter I, Cochrane DJ, Hopkins JT (2020) Whole-body vibration and stretching enhances dorsiflexion range of motion in individuals with chronic ankle instability. **Physical Therapy in Sport** 44(2020):1-7.

Feringer Júnior WH (2017) **Expressão dos transportadores de monocarboxilatos de equinos e cães**. 85 f. Tese (Doutorado em Medicina Veterinária) - Unesp, Jaboticabal.

Feringer Júnior,WH, Carvalho JRG, Almeida MLM, Lemos EGM, Soares OAB, Ribeiro G, Queiroz-Neto A, Ferraz GC (2019) Differential expression of monocarboxylate transporter 1 and ancillary protein CD147 in red blood cells of show jumping horses. **Journal of Equine Veterinary Science** 50:139–144.

Ferraz GC, D'Angelis FHF, Teixeira-Neto AR, Freitas EVV, Lacerda-Neto JC, Queiroz-Neto A (2008) Blood lactate threshold glucose responses in horses submitted to incremental exercise test. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia** 60(1):256-259.

Ferraz GC, Teixeira-Neto AR, Pereira MC, Linardi RL, Lacerda-Neto JC, Queiroz-Neto A (2010) Influência do treinamento aeróbio sobre o cortisol e glicose plasmáticos em equinos. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia** 62(1):23-29.

Franchignoni F, Vercelli S, Özçakar L (2013) Hematuria in a runner after treatment with whole body vibration: a case report. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports** 23(3):383-385.

Forbes G (2018) Welfare in equine sport: social license to operate. In: 10TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON EQUINE EXERCISE PHYSIOLOGY. **Proceedings**… Lorne: Wageningen Academic Publishers, p. 52-53.

Gollnick PD, Bayly WM, Hodgson DR (1986) Exercise intensity, training, diet and lactate concentration in muscle and blood. **Medicine and Science in Sports and Exercise** 18(3):334-340.

Gomes MVF, Santos IFC, Rahal SC, Silva BM (2018) Applicability of whole-body vibration exercises as a new tool in veterinary medicine. **Revista Hospital Universitário Pedro Ernesto (HUPE)** 17(1):30-34.

Green H, Halestrap A, Mockett C, Otoole S, Grant S, Ouyang J (2002) Increases in muscle MCT are associated with reductions in muscle lactate after a single exercise session in humans. **American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism** 282:154-160.

Greene AL (2020) **Effect of vibration stimulation on muscle and bone parameters in mature stock-type horses on stall rest**. 58 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura) – Faculty of Mississippi State University, Mississippi.

Halestrap AP (2013) Monocarboxylic acid transport. **Comprehensive Physiology** 3:1611-1643.

Hall EJ, Carter AJ, Stevenson AG, Hall C (2019) Establishing a yard-specific normal rectal temperature reference range for horses. **Journal of Equine Veterinary Science** 74(2019):51-55.

Halsberghe BT (2017) Long-term and immediate effects on whole body vibration on chronic lameness in the horse: a pilot study. **Journal of Equine Veterinary Science** 48:121-128.

Halsberghe BT (2018) Effect of two months whole body vibration on hoof growth rate in the horse: a pilot study. **Research in Veterinary Science** 119:37-42.

Halsberghe BT, Gordon-Ross P, Peterson R (2017) Whole body vibration affects the cross-sectional area and symmetry of the m. multifidus of the thoracolumbar spine in the horse. **Equine Veterinary Education** 29(9):493-499.

Herrero AJ, Menéndez H, Gil l, Martín J, Martín T, García-López D, Gil-Agudo A, Marín PJ (2011) Effects of whole body vibration on blood flow and neuromuscular activity in spinal cord injury. **Spinal Cord** 49:554–559.

Hinchcliff KW & Geor RJ. The horse as an athlete: a physiological overview. In: **Equine Exercise Physiology**. Philadelphia: Saunders, p. 2-11

Hodgson DR, McGowan C (2014) **An overview of performance and sports medicine**. In: Hodgson DR, McKeever K, McGowan C (Eds.) The athletic horse: Principles and practice of equine sports medicine. Riverport Lane: Saunders, p. 1-8.

Huang CC, Tseng TL, Huang WC, Chung YH, Chuang HL, Wu JH (2014) Whole-body vibration training effect on physical performance and obesity in mice. **International Journal of Medical Sciences** 11(12):1218-1227.

Hulak ES, Spooner HS, Haffner JC (2015) Influence of whole-body vibration on bone density in the stalled horse. In: **EQUINE SCIENCE SOCIETY SYMPOSIUM**. Proceedings… St. Pete Beach: University of Florida, p. 393.

Huseman CJ (2018) **Skeletal adaptation to whole body vibration in growing pigs and yearling horses.** 125 f. Tese (Doutorado em Filosofia) - Texas A&M University.

Hyatt CS (2017) **Effects of vertical whole-body vibration on select biochemical markers of muscle turnover in yearling horses**. 49 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) – Texas A&M University, College Station.

Hyyppa S, Poso A. Metabolic diseases of athletic horses. In: Hinchcliff K, Kaneps A, Geor RJ, eds. **Equine Sports Medicine and Surgery**. London: WB Saunders Co, 2004;836–850.

Impellizzeri FM, Marcora SM, Coutts AJ (2019) Internal and external training load: 15 years on. **International Journal of Sports Physiology and Performance** 14(2):270-273.

Kang H, Zsoldos RR, Sole-Guitart A, Narayan E, Cawdell-Smith AJ, Gaughan JB (2023) Heat stress in horses: a literature review. **International Journal of Biometeorology** 67:957-973.

Kang SR, Min JY, Yu C, Kwon TK (2017) Effect of whole body vibration on lactate level recovery and heart rate recovery in rest after intense exercise. **Technology and Health Care** 25(S1):115-123.

Kee P, Anderson N, Gargiulo GD, Velie BD (2023) A synopsis of wearable commercially available biometric-monitoring devices and their potential applications during gallop racing. **Equine Veterinary Education** 35(10):551-560.

Kitaoka Y, Endo Y, Mukai K, Aida H, Hiraga A, Takemasa T, Hatta H (2013) Effect of acute exercise on monocarboxylate transporters 1 and 4 in untrained and trained Thoroughbreds. **American Journal of Veterinary Research** 74(4):642-647.

Kitaoka Y, Hoshino D, Hatta Hideo (2012) Monocarboxylate transporter and lactate metabolism. **The Journal of Physical Fitness and Sports Medicine** 1(2):247-252.

Kitaoka Y, Masuda H, Mukai K, Hiraga A, Takemasa T, Hatta H (2011) Effect of training and detraining on monocarboxylate transporter MCT 1 and MCT4 in Thoroughbred horses. **Experimental Physiology** 96:348–355.

Koho NM, Raekallio M, Kuusela E, Vuolle J, Pösö AR (2008) Lactate transport in canine red blood cells. **American Journal Veterinary Research** 69(8):1091-1096.

Lai Z, Lee S, Chen Y, Wang L (2021) Comparison of whole-body vibration training and quadriceps strength training on physical function and neuromuscular function of individuals with knee osteoarthritis: a randomised clinical trial. **Journal of Exercise Science & Fitness** 19(3):150-157.

Lima RAS, Cintra AG (2016) **Revisão do Estudo do Complexo do Agronegócio do Cavalo**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília: Assessoria de Comunicação e Eventos, v. 56.

Lin CI, Huang WC, Chen WC, Kan NW, Wei L, Chiu YS, Huang CC (2015) Effect of whole-body vibration training on body composition, exercise performance and biochemical responses in middle-aged mice. **Metabolism** 64(9):1146-1156.

Lindinger MI, Waller AP (2022) Physicochemical analysis of mixed venous and arterial blood acid-base state in horses at core temperature during and after moderate-intensity exercise. **Animals** 12(15):1875.

Lowe SJ, Burk SV, Birmingham SSW (2017) The effect of whole-body vibration on equine hoof growth. **Journal of Equine Veterinary Science** 52(2017):41-48

Lucas V, Barrera R, Duque FJ, Ruiz P, Zaragoza C (2015) Effect of exercise on serum markers of muscle inflammation in Spanish Greyhounds. **American Journal of Veterinary Research** 76(7):637-643.

Luo X, Zhang J, Zhang C, He C, Wang P (2016) The effect of whole-body vibration therapy on bone metabolism, motor function, and anthropometric parameters in women with postmenopausal osteoporosis. **Disability and Rehabilitation** 39(22):2315-2323.

Macleay MJ (2004) Disorders of the musculoskeletal system. In: Reed SM, Bayly WM, Sellon DC (Eds.) **Equine Internal Medicine.** Philadelphia: W. B. Saunders Company. p.667-720.

Maher K, Spooner H, Hoffman R, Haffner J (2020) The influence of whole-body vibration on heart rate, stride length, and bone mineral content in the mature exercising horse. **Comparative Exercise Physiology** 16(5):403-408.

Marlin D (2015) Has the golden age of equine exercise physiology passed and if so, have we answered all the big questions? **Journal of Equine Veterinary Science** 35 (5):354-360.

McCann, M.R.; Veras, M.A.; Yeung, C.; Lalli, G.; Patel, P.; Leitch, K.M.; Séguin, C.A. (2017) Whole-body vibration of mice induces progressive degeneration of intervertebral discs associated with increased expression of Il-1β and multiple matrix degrading enzymes. **Osteoarthritis and Cartilage** 25(5):779-789.

McGee-Lawrence ME, Wenger KH, Misra S, Davis CL, Pollock NK, Elsalanty M, Ding K, Isales CM, Hamrick MW, Wosiski-Kuhn M, Arounleut P, Mattson MP, Cutler RG, Yu JC, Stranahan AM (2017) Whole-body vibration mimics the metabolic effects of exercise in male leptin receptor-deficient mice. **Endocrinology** 158(5):1160-1171.

McManus C, Tanure CB, Peripolli V, Seixas L, Fischer V, Gabbi AM, Menegassi SRO, Stumpf MT, Kolling GJ, Dias E, Costa Jr. JBG (2016) Infrared thermography in animal production: an overview. **Computers and Electronics in Agriculture** 123:10–16.

McKeever KH (2011) Endocrine alterations in the equine athlete: an update. **Veterinary Clinics of North America: Equine Practice** 27(1):197-218.

Mingorance JA, Montoya P, Miranda JGV, Riquelme I (2021) A comparison of the effect of two types of whole body vibration platforms on fibromyalgia. A randomized controlled trial. **International Journal of Environmental Research and Public Health** 18:3007.

Miranda ACT, Padilha FGF, Ramos MT, Dimache LAG, Godoi FN, Galina-Filho A, Almeida FQ (2016) Hemogasometry of eventing horses before and after intense exercise on a high speed treadmill. **Livestock Science** 186:85-87.

Musumeci G (2017) The use of vibration as physical exercise and therapy. **Journal of Functional Morphology and Kinesiology** 2(2):17.

Nazarov V, Spivak G (1985) Development of athlete's strength abilities by means of biomechanical stimulation method. **Theory and Practice of Physical Culture** 12:445-450.

Nowlin C, Nielsen B, Mills J, Robison C, Schott H, Peters D (2018) Acute and prolonged effects of vibrating plataforma treatment on horses: a pilot study. **Journal of Equine Veterinary Science** 62:116-122.

Odano I, Maeyatsu F, Asari M, Yamaguchi S, Miura T, Taki Y (2022) Whole-body vibration exercise and training increase regional CBF in mild cognitive impairment with enhanced cognitive function. **Annals of Nuclear Medicine** 36:82-94.

Oh JH, Kwon TK, Hong CU, Lee YC (2018) Effect of short-term sling exercise with whole body vibration recovery method on heart rate, blood pressure and lactic acid level variability. **Journal of Mechanics in Medicine and Biology** 18(7):1840016.1-11.

Oroszi T, Boer SF, Nyakas C, Schoemaker RG, van der Zee EA (2022) Chronic whole body vibration ameliorates hippocampal neuroinflammation, anxiety-like behavior, memory functions and motor performance in aged male rats dose dependently. **Scientific Reports** 12:9020.

Oroszi T, Geerts E, Boer SF, Schoemaker RG, van der Zee EA, Nyakas C (2022b) Whole body vibration improves spatial memory, anxiety-like behavior, and motor performance in aged male and female rats. **Frontiers in Aging Neuroscience** 13:801828.

Overgaard K, Fredsted A, Hyldal A, Ingemann-Hansen T, Gissel H, Clausem T (2004) Effects of running distance and training on Ca2+ content and damage in human muscle. **Medicine e Science in Sports e Exercise** 36:821-829.

Pamukoff DN, Montgomery MM, Choe KH, Moffit TJ, Vakula MN (2018) Effect of whole-body vibration on sagital plane running mechanics in individuals with anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized crossover trial. **Archives of Physical Medicine and Rehabilitation** 99(5):973-980.

Peng G, Yang L, Wu CY, Zhang LL, Wu CY, Li F, Shi HW, Hou J, Zhang LM, Ma X, Xiong J, Pan H, Zhang GQ (2021) Whole body vibration training improves depression-like behaviors in a rat chronic restraint stress model. **Neurochemistry International** 142(2021):104926.

Piccione G, Messina V, Casella S, Giannetto C, Caola G (2010) Blood lactate levels during exercise in athletic horses. **Comparative Clinical Pathology** 19:535-539.

Pratt CW, Cornely K (2006) **Bioquímica Essencial**. 1a ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 716 p.

Pollock RD, Woledge RC, Mills KR, Martin FC, Newham DJ (2010) Muscle activity and acceleration during whole body vibration: effect of frequency and amplitude. **Clinical Biomechanics** 25(8):840-846.

Pösö AR (2002) Monocarboxylate transporters and lactate metabolism in equine athletes: a review. **Acta Veterinary Scandinavica** 43:63-74.

Prisby RD, Lafage-Proust MH, Malaval L, Belli A, Vico L (2008) Effects of whole body vibration on the skeleton and other organ systems in man and animals models: what we know and what we need to know. **Ageing Research Reviews** 7:319-329.

Rasti E, Rojhani-Shirazi Z, Ebrahimi N, Sobhan MR (2020) Effects of whole body vibration with exercise therapy versus exercise therapy alone on flexibility, vertical jump height, agility and pain in athletes with patellofemoral pain: a randomized clinical trial. **BMC Musculoskeletal Disorders** 21:705.

Redaelli V, Bergero D, Zucca E, Ferrucci F, Costa LN, Crosta L, Luzi F (2014) Use of thermography techniques in equines: principles and applications. **Journal of Equine Veterinary Science** 34:345-350.

Redaelli V, Luzi F, Mazzola S, Bariffi GD, Zappaterra M, Costa LN, Padalino B (2019) The use of infrared thermography (IRT) as stress indicator in horses trained for endurance: a pilot study. **Animals** 9:84.

Regatieri IC, Almeida MLM, Teixeira Neto AR, Curi RA, Ferraz GC, Queiroz-Neto A (2016) Quantification of MCT1 and CD147 in Red Blood Cells of Arabian and Quarter Horses. **Journal of Equine Veterinary Science** 43(8):66–71.

Restan AZ, Camacho AA, Zacché E, Canola RAM, Silva ABG, Braz JB, Silva-Filho JC, Cerqueira JÁ, Loureiro BA, Funnicelli MIG, Pinheiro DG, Ferraz GC (2022) Conditioning program prescribed from the external training load corresponding to the lactate threshold improved cardiac function in healthy dogs. **Animals** 12:73.

Ritzmann R, Kramer A, Bernhardt S, Gollhofer A (2014) Whole body vibration training - improving balance control and muscle endurance. **Plos One** 9(2):324–331.

Rivero JL, Piercy RJ (2008) Muscle physiology: responses to exercise and training. In: Hinchcliff KW, Geor RJ, Kanepes AJ (Eds.) **Equine exercise physiology - The science of exercise in the athletic horse**. London: Saunders, p.30-80.

Ritzmann R, Kramer A, Bernhardt S, Gollhofer A (2014) Whole body vibration training - improving balance control and muscle endurance. **PLoS One** 9(2):e89905.

Santos I, Rahal S, Santos A, Inamassu L, Rodrigues M, Tsunemi M, Mamprim M, Rodrigues C, Teixeira C, Sato T (2019) Whole-body vibration on leg muscles thermograhy and femoral resistive index of in adult healthy dogs. **Research in Veterinary Science** 122:118-123.

Santos JM, Mendonça VA, Ribeiro VGC, Tossige-Gomes R, Fonseca SF, Prates ACN, Flor J, Oliveira ACC, Martins JB, Garcia BCC, Leite HR, Figueiredo PHS, Bernardo-Filho M, Lacerda ACR (2019) Does whole body vibration exercise improve oxidative stress markers in women with fibromyalgia? **Brazilian Journal of Medical and Biological Research** 52(8):e8688

Seyedi R, Tayebi SM, Zhang D, Yiming Q (2023) The role of monocarboxylate transporter-1 and -4 in exercise and training: a mini-review article. **Science & Sports**.

Sierra-Guzmán R, Jiménez-Dias F, Ramírez C, Esteban P, Abián-Vicén J (2018) Whole-body-vibration training and balance in recreational athletes with chronic ankle instability. **Journal of Athletic Training** 53(4):355-363.

Silva CJFL, Trindade KLG, Cruz RKS, Vilela CF, Coelho CS, Ribeiro-Filho JD, Manso HECCC, Manso-Filho HC (2023) Association between infrared thermography, blood count and creatine kinase in the evaluation of the welfare of Vaquejada horses. **Open Journal of Veterinary Medicine** 13:53-67.

Silva FOC, Macedo DV (2011) Physical exercise, inflammatory process and adaptive condition: an overview. **Revista Brasileira de Cineantropometria & Desempenho Humano** 13(4):320-328.

Silva TCS, Mariz TMA, Escodro PB (2022) Use of thermography in clinical and sports evaluations of equine animals: a review. **Research, Society and Development** 11(8): e13911530532.

Sofla FS, Hadadi M, Rezai I, Azhdari N, Sobhani S (2021) The effect of the combinantion of whole body vibration and shoe with an unstable surface in chronic ankle instability treatment: a randomized clinical trial. **BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation** 13:28.

Soroko M, Howell K, Zielińska P (2016) Application of thermography in racehorse performance. In: **13th Quantitative Infrared Thermography Conference** (pp. 765-769).

Soroko M, Dudek K, Howell K, Jodkowska E, Henklewski R (2014) Thermographic evaluation of racehorse performance. **Journal of Equine Veterinary Science** 34:1076-1083.

Stämpfli H, Oliver-Espinosa O (2015) Clinical Chemistry Tests. In: Smith BP (Ed.) **Large Animal Internal Medicine**. Riverport Lane:Mosby, p.350-373.

Stucchi L, Valli C, Stancari G, Zucca E, Ferrucci F (2019) Creatine-kinase reference intervals at rest and after maximal exercise in Standardbred racehorses. **Comparative Exercise Physiology** 15(5):319-325.

Sugg SJ (2018) **Effects of whole body vibration on lameness, stride length, cortisol, and other parameters in healthy horses**. 36 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Equina) – Middle Tennessee State University, Murfreesboro.

Teixeira CFP, Zamunér SR, Zuliani JP, Fernandes CM, Cruz-Hofling MA, Fernandes I, Chaves F, Gutiérrez JM (2003) Neutrophils do not contribute to local tissue damage, but play a key role in skeletal muscle regeneration, in mice injected with *Bothrops asper* snake venom. **Muscle & Nerve** 28(4):449-459.

Tseng SY, Lai CL, Ko CP, Chang YK, Fan HC, Wang CH (2023) The effectiveness of whole-body vibration and heat therapy on the muscle strength, flexibility, and balance abilities of elderly groups. **International Journal of Environmental Research and Public Health** 20(2):1650.

Vasile A, Trifan EL, Bucsan C, Micu CA (2013) Electro-magnetic actuated vibrating platform. In: 19th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging. **Proceedings...** Galati: Scimago Journal & Country Rank, p. 241-244.

Vengust M, Stämpfli H, Moraes AN, Texeiro-Neto F, Viel L, Heigenhauser G (2010) Effects of chronic acetazolamide administration on gas exchange and acid-base control in pulmonary circulation in exercising horses. **Equine Veterinary Journal** 2010 (Suppl. 38):40-50.

Verdegaal ELJMM, Howarth GS, McWhorter TJ, Delesalle CJG (2024) Thermoregulation during field exercise in horses using skin temperature monitoring. **Animals** 14:136.

Von Stengel S, Kemmler W, Bebenek M, Engelke K, Kalender WA (2011) Effects of whole-body vibration training on different devices on bone mineral density. **Medicine & Science in Sports & Exercise** 43(6):1071–1079.

Wang Z, Zhang X, Sun M (2022) The applications of whole-body vibration training in knee osteoarthritis. **Joint Bone Spine** 89(2022):105276.

Wollersheim T, Haas K, Wolg S, Mai K, Spies C, Steinhagen-Thiessen E, Wernecke KD, Spranger J, Weber-Carstens W (2017) Whole-body vibration to prevent intensive care unit-acquired weakness: safety, feasibility, and metabolic response. **Critical Care** 21(9):1-10.

Woort F, Dubois G, Didier M, Van Erck-Westergren E (2021) Validation of an equine fitness tracker: heart rate and heart rate variability. **Comparative Exercise Physiology** 17(2):189-198.

Wunram HL, Hamacher S, Hellmich M, Volk M, Jänicke F, Reinhard F, Bloch W, Zimmer P, Graf C, Schönau E, Lehmkuhl G, Bender S, Fricke O (2018) Whole body vibration added to treatment as usual is effective in adolescents with depression: a partly randomized, three-armed clinical trial in inpatients. **European Child & Adolescent Psychiatry** 27:645-662.

Xiang-Yan R, Feng-Yu J, Yu-Lan L, Zhou-Li P, Yun-Gao S (2008) Effects of vibration therapy on bone mineral density in postmenopausal women with osteoporosis. **Chinese Medical Journal** 121:1155-1158.

Yañez-Álvarez A, Bermúdez-Pulgarín B, Hernandéz-Sánchez S, Albornoz-Cabello M (2020) Effects of exercise combined with whole body vibration in patients with patellofemoral pain syndrome: a randomised-controlled clinical trial. **BMC Musculoskeletal Disorders** 21:582.

Yarnell K, Fleming J, Stratton TD, Brassington R (2014) Monitoring changes in skin temperature associated with exercise in horses on a water treadmill by use of infrared thermography. **Journal of Thermal Biology** 45:110-116.

Zhang J, Wang R, Zheng Y, Xu J, Wu Y, Wang X (2021) Effect of whole-body vibration training on muscle activation for individuals with knee osteoarthritis. **BioMed Research International** 2021:6671390.

CAPÍTULO 2 - Efeito da vibração de corpo inteiro na recuperação da hiperlactatemia e acidose induzidas pelo exercício intenso em cavalos[1]

Júlia Ribeiro Garcia de Carvalho[1], Nathali Adrielli Agassi de Sales[1], Thayssa de Oliveira Littiere[1], Guilherme Barbosa da Costa[1], Ana Carolina Yamamoto Silva[1], Ivan Dario Martinez Rodriguez[1], Catarina Mariano de Castro[1], Larissa Santos dos Anjos[1], Emanuel Elias Camolese Polisel[2], Gabriel Vieira Ramos[3], Claudio Alexandre Gobatto[2], Fúlvia de Barros Manchado-Gobatto[2], Guilherme de Camargo Ferraz[1]*

[1]Laboratório de Farmacologia e Fisiologia do Exercício Equino, Departamento de Morfologia e Fisiologia Animal, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", FCAV/UNESP, Jaboticabal, São Paulo, Brasil

[2]Laboratório de Fisiologia Aplicada do Esporte, Faculdade de Ciências Aplicadas, Universidade Estadual de Campinas, FCA/UNICAMP, Limeira, São Paulo, Brasil

[3]Laboratório de Medicina Esportiva Equina, Departamento de Clínica e Cirurgia Veterinária, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", FCAV/UNESP, Jaboticabal, São Paulo, Brasil

*E-mail: guilherme.c.ferraz@unesp.br

RESUMO – As plataformas vibratórias (PVs) são dispositivos que promovem estímulo de exercício passivo por meio de oscilações mecânicas que se distribuem pelo organismo. Este tipo de exercício é classicamente conhecido como vibração de corpo inteiro (VCI). A VCI pode ser empregada na recuperação esportiva. Objetivou-se investigar a dinâmica da lactatemia e do equilíbrio ácido-base em relação à VCI após exercício intenso na esteira. Oito cavalos, sem raça definida, foram submetidos ao teste de esforço incremental na esteira para determinação da velocidade relacionada ao limiar de lactato. Esta velocidade foi utilizada para prescrição da carga externa da sessão de exercício intenso (SEI). Os animais foram distribuídos em três grupos experimentais, em delineamento *cross-over*. O grupo controle (GC) realizou recuperação ativa, ao passo, na esteira. O grupo negativo (GN) foi utilizado como controle negativo, com a PV desligada. O grupo vibração de corpo inteiro (VCI) realizou o período de recuperação na PV, num protocolo que consistiu em cinco etapas de 2 min, com frequências decrescentes de 76, 66, 55, 46 e 32 Hz. O período de recuperação durou 10 minutos para todos os grupos. Quantificaram-se frequência cardíaca (FC), temperatura retal (T_R), lactatemia e glicemia, gases e eletrólitos sanguíneos, e transportadores musculares de monocarboxilato 4 (MCT4). Aplicou-se análise de variância para medidas repetidas no tempo seguido pelo teste T pareado com correção de Bonferroni (P<0,05). A SEI induziu hiperlactatemia e acidose metabólica moderada em todos os grupos experimentais. A FC aumentou em todos os grupos após a SEI, entretanto foi maior no GC em relação aos grupos VCI e GN imediatamente depois do tratamento (DT). Entre os grupos, não houve alteração da

[1]Este capítulo corresponde a artigo científico escrito nas normas do periódico *Frontiers in Veterinary Science*.

T_R, lactatemia, glicemia e conteúdo proteico de MCT4. A T_R, lactatemia, glicemia, gases e eletrólitos sanguíneos aumentaram após a SEI para todos os grupos. O conteúdo proteico de MCT4 diminui 3 e 6 horas após o tratamento em todos os grupos. Concluiu-se que a VCI não foi capaz de acelerar a recuperação da lactatemia e do equilíbrio ácido-base de cavalos submetidos ao exercício intenso em esteira.

Palavras-chave: desaquecimento, equilíbrio ácido-base, frequência cardíaca, lactato, vibração de corpo inteiro, transportadores de monocarboxilato

1. INTRODUÇÃO

Melhorar a qualidade e segurança do desempenho atlético é tema científico relevante, tanto no homem, quanto em outras espécies animais. Associações equestres, proprietários, treinadores e veterinários buscam maximizar a capacidade atlética e o bem-estar do cavalo atleta. Numa recente revisão da literatura pode ser encontrada afirmação que diversos estudos pesquisaram alternativas para aprimorar o desempenho, a saúde e a segurança do cavalo atleta (Ferraz, 2023). Avanços tecnológicos foram identificados nesta área de conhecimento, representado pela disponibilidade de novos equipamentos, como, por exemplo, esteiras rolantes, frequencímetros acoplados à GPS, lactímetros, eletrocardiógrafos, dispositivos vestíveis para monitoramento biométrico, entre outros (Allen et al., 2016; Woort et al., 2021; Kee et al., 2023). Existem várias áreas possíveis de pesquisa, como, por exemplo, a vibração de corpo inteiro (VCI), dentro deste domínio.

A VCI é considerada técnica de reabilitação não invasiva e não farmacológica, que utiliza plataformas vibratórias que mimetizam vibrações mecânicas, expondo o organismo à um processo de mecanotransdução, sendo estudada no homem (Ritzmann et al., 2014; Kang et al., 2017; Chang et al., 2018; Oh et al., 2018; Campos et al., 2021; Lai et al., 2021; Tseng et al., 2023; Colson et al., 2023) e em roedores (Huang et al., 2014; Lin et al., 2015; McGee-Lawrence et al., 2017; Chen et al., 2018) como dispositivo de treinamento, com intuito de melhorar a biomecânica, fisiologia, ativação neuromuscular e variáveis fisiológicas relacionadas ao desempenho (Musumeci, 2017; Bonanni et al., 2022).

Importante ressaltar que a utilização equivocada da intensidade de vibração, tempo de exposição, amplitude e aceleração pode induzir efeitos adversos, tais como eritema cutâneo, edema, dor (Pollock et al., 2010), hematúria (Franchignoni et al.,

2013), dor nos joelhos (Liao et al., 2016; Lam et al., 2017) e fadiga (Liao et al., 2016). Ademais, um estudo em camundongos identificou degeneração progressiva dos discos intervertebrais em animais submetidos à VCI (McCann et al., 2017). Em cavalos com claudicação crônica, submetidos a sessões prolongadas de plataforma vibratória (PV), foi identificado agravamento importante da claudicação de membros torácicos, sendo que o autor concluiu que a PV pode ter impacto negativo em determinadas injúrias musculoesqueléticas (Halsberghe, 2017).

As características de vibração (amplitude, frequência e magnitude das oscilações) devem ser personalizadas, pois o efeito do estímulo vibratório é muito subjetivo. Devido às inúmeras possibilidades dos tratamentos com exercícios de vibração, é importante pesquisar os efeitos dos exercícios a curto e longo prazo em diferentes parâmetros fisiológicos e patológicos, com intuito de definir protocolos de exercícios seguros com base nas respostas individuais (Musumeci, 2017).

Estudo relacionando a VCI e obesidade em ratos relatou diminuição da lactatemia, amônia e atividade sérica de creatina quinase, bem como elevação da glicemia nos animais submetidos a natação e treinamento em PV. A VCI foi classificada pelos autores como possível exercício para mitigação da fadiga (Huang et al., 2014). Outro estudo, que investigou os efeitos do treinamento com VCI na composição corporal, desempenho no exercício e respostas bioquímicas e relacionadas à fadiga física em camundongos de meia-idade, observou que a VCI poderia melhorar a aptidão aeróbia e aliviar a fadiga (Lin et al., 2015). Já estudo avaliando a suplementação com dehidroepiandrosterona, associada a utilização da VCI, no desempenho físico de ratos, constatou aumento da capacidade atlética, bem como aumento dos níveis séricos de testosterona e glicose e glicogênio hepático e muscular, e diminuição da lactatemia e amônia (Chen et al., 2018).

No homem, treinos de agachamento isométrico na plataforma vibratória foram eficazes em aumentar o tempo até a exaustão e atenuar a fadiga neuromuscular do músculo extensor do joelho (Colson et al., 2023). Além disso, estudos associando exercício físico e a VCI demonstraram redução da lactatemia, frequência cardíaca (FC) e pressão arterial, sugerindo que a VCI pode ser utilizada para acelerar o restabelecimento da homeostase (Kang et al., 2017; Oh et al., 2018; Campos et al., 2021).

Em cavalos, os efeitos do aquecimento com VCI nos parâmetros clínicos e temperatura da superfície corporal foram comparados com exercícios de aquecimento padrão. O protocolo de VCI consistiu em 3 min a 15 Hz, 4 min a 22 Hz e 3 min a 25 Hz numa plataforma que emite movimentos verticais e horizontais, sendo que não foram observados resultados significativos. Os autores consideraram o protocolo da VCI um exercício de aquecimento inadequado (Buchner et al., 2017).

Métodos para potencializar o restabelecimento da homeostase, após o exercício agudo, em particular aqueles destinados à recuperação da temperatura corpórea e da hiperlactatemia e acidose metabólica, fisiológicas e transitórias, induzidas pelo exercício intenso, são relativamente estudados em cavalos (Farinelli et al., 2021; Janczarek et al., 2022). Dentre as técnicas, podem ser mencionadas o desaquecimento por meio de banho com água (Marlin et al., 1998; Takahashi et al., 2020; Janczarek et al.,2022, Kang et al., 2022; Lisboa et al., 2023), o uso de ventiladores (Takahashi et al., 2020) e recuperação ativa ao passo e trote (Kang et al., 2012; Farinelli et al., 2021). Existe, no mercado da equinocultura, proposta, com relativo grau de subjetividade, de técnica para acelerar a recuperação por meio da utilização da VCI após o exercício, sendo isto proposto pelo fabricante do equipamento (TheraPlate, 2024) e utilizado, sem checagem científica, em alguns centros de treinamento equestre[1]. Entretanto, este campo de pesquisa ainda é novo quando se trata da espécie equina.

Isto posto, fica evidente a importância e necessidade de realização de pesquisas relacionando o uso da VCI e o restabelecimento da homeostase em cavalos, visando melhorar o entendimento das respostas fisiológicas envolvidas durante o período de recuperação. É importante ressaltar que o número de estudos com fisiologia do exercício em cavalos é relativamente escasso nessa área, especialmente àqueles relacionando métodos de recuperação e VCI. Desta maneira, objetivou-se investigar os efeitos da VCI na recuperação do exercício intenso, realizado na esteira, em cavalos. Nossa hipótese é que a VCI acelera a recuperação da lactatemia e reestabelece o equilíbrio ácido-base de cavalos submetidos ao exercício intenso.

[1] Comunicação pessoal

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais, da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias UNESP- Câmpus de Jaboticabal (protocolo nº 08373/19) e foi realizado durante os meses de outubro e novembro, nas coordenadas GPS -21.245408 latitude e -48.299415 longitude. O projeto

2.1 Animais

Utilizaram-se oito cavalos, sem raça definida, sendo um macho submetido à contracepção cirúrgica e sete fêmeas, com massa corpórea média de 406 kg ± 33 e idade entre sete e 19 anos, provenientes do rebanho didático do Laboratório de Farmacologia e Fisiologia do Exercício Equino (LAFEQ), do Departamento de Morfologia e Fisiologia Animal, da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV/Unesp) – Câmpus de Jaboticabal.

Os animais foram incluídos no estudo após período prévio de, aproximadamente, dois meses de adaptação às condições experimentais, como manejo e alimentação, bem como à esteira de alto desempenho (Galloper G 5500, Sahinco, Palmital, SP) e à plataforma vibratória (TheraPlate®, Weatherford, TX, USA).

Os animais foram mantidos em piquete e alimentados com feno de Tifton 85, além de 0,2% da massa corpórea em ração comercial, uma vez ao dia. Sal mineralizado e água foram fornecidos à vontade. Além disso, foram casqueados regularmente, e, durante o período experimental, não fizeram uso de ferraduras. Antes do início das etapas experimentais, os cavalos foram submetidos a exames clínico e hematológico para determinação da higidez (**APÊNDICE A**). Ainda, os cavalos foram previamente vacinados contra raiva, toxoide tetânico, encefalomielite equina leste e oeste e influenza equina tipos A1 e A2. O controle de parasitas com o uso de anti-helmínticos é realizado a cada quatro meses no rebanho, com desverminação prévia ao estudo realizada 15 dias antes do início da etapa experimental.

2.2 Determinação da velocidade correspondente ao limiar de lactato (VLL) utilizando teste de esforço incremental (TEI)

O teste de esforço incremental (TEI) foi aplicado a todos os cavalos para determinação individualizada da velocidade relacionada ao limiar de lactato (VLL) e prescrição da carga externa de sessão de exercício intenso (SEI). Este foi concluído 15 dias antes da realização da SEI. O protocolo do TEI foi adaptado de Lamprecht e Williams (2012) e realizado em esteira rolante de alto desempenho (Galloper® 5500, Sahinco, Palmital - Brasil). Empregou-se exercício de aquecimento, que consistiu em 3 minutos (min) à velocidade de 1,5 m/s e 0% de inclinação, seguidos por 2 min à velocidade de 2,5 m/s e inclinação de 5%. Posterior ao processo de aquecimento, foram iniciadas as etapas incrementais, que tiveram duração de 2 min com velocidades de 4, 5, 6, 7, 8 e 9 m/s. Cada etapa incremental foi intercalada por um período de recuperação ativa com duração de 2 min a 1,5 m/s. Em toda a fase incremental foi mantida a inclinação de 5%. Objetivando a segurança dos cavalos, o TEI foi finalizado quando os animais atingiram frequência cardíaca de 200 bpm, ou ao final da etapa de velocidade 9 m/s. Ao final do TEI, os cavalos realizaram desaquecimento ao passo, em velocidade confortável para cada indivíduo, com inclinação a 0% (**Tabela 1**).

Para determinação das velocidades correspondentes ao limiar de lactato foram utilizados dois métodos complementares, visual (VLL_V) e bi-segmentado (VLL_{BI}). A partir das lactatemias quantificadas durante o TEI, obteve-se o ponto de inflexão da curva lactato-velocidade, definido como a ocorrência de elevação não linear da lactatemia de cada animal (Ferraz et al., 2022). Quatro analisadores estudiosos em fisiologia do exercício determinaram esse ponto.

Tabela 1. Protocolo do teste de esforço incremental (TEI) para determinação da velocidade correspondente ao limiar de lactato (VLL) em cavalos (n=8).

Etapas	Tempo (min)	Velocidade (m/s)	Inclinação (%)
Aquecimento 1	3	1,5	0
Aquecimento 2	2	2,5	5
Etapa 1	2	4	5
Recuperação 1	2	1,5	5
Etapa 2	2	5	5
Recuperação 2	2	1,5	5
Etapa 3	2	6	5
Recuperação 3	2	1,5	5
Etapa 4	2	7	5
Recuperação 4	2	1,5	5
Etapa 5	2	8	5
Recuperação 5	2	1,5	5
Etapa 6	2	9	5
Desaquecimento	5	Individual*	0

*Velocidade variou de 1,2 a 1,6 m/s.

Ato contínuo, eles o relacionaram com a velocidade correspondente (eixo x), estabelecendo assim a velocidade correspondente ao limiar visual de lactato (VLL_V). Este método foi ajustado pela aplicação de regressão linear bissegmentada (VLL_{BI}). Duas linhas de ajuste obtidas da regressão de produtos mínimos foram aplicadas, considerando a VLL_V estabelecida anteriormente. Em seguida, igualaram-se os valores das duas equações relacionadas aos valores de y para obter a velocidade (x) (Ferraz et al., 2022). Para garantir que a carga externa da SEI provocaria acidose metabólica, utilizou-se a maior velocidade obtida entre VLL_V e VLL_{BI} para cada indivíduo, sendo que os valores de estão apresentados na **Tabela 2**.

Tabela 2. Velocidades correspondentes ao limiar de lactato determinadas pelo método visual (VLL_V) e pelo método bi-segmentado (VLL_{BI}) de cada cavalo (n=8) submetido ao TEI.

Animal	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
VLL_V (m/s)	4,9	**6,8**	**5,2**	7,0	**5,4**	7,0	6,8	**5,9**
VLL_{BI} (m/s)	**5,0**	6,6	4,8	**7,1**	4,8	**7,1**	**7,0**	5,1

2.3 Sessão de exercício intenso (SEI)

Todos os animais realizaram SEI com carga externa acima da VLL. Inicialmente, os animais foram submetidos a um período de aquecimento de 1 min à velocidade de 1,5 m/s e 0% de inclinação, seguidos por 2 min à velocidade 3,5 m/s e inclinação de 5%, e 2 min na VLL e inclinação de 5%. Para intensificação da carga externa, objetivando a indução de hiperlactatemia e acidose metabólica, a SEI foi finalizada, no galope, com 2 min a 110% do VLL e uma etapa de 3min a 130% do VLL, ambas com inclinação de 5%. Finalizado a SEI iniciou-se a etapa de recuperação para estudo das intervenções propostas.

2.4 Grupos experimentais

Os cavalos foram distribuídos em três grupos experimentais, conforme o tipo de recuperação após a SEI, sendo que todas as intervenções tiveram duração de 10 min. O grupo controle (GC) realizou o período de recuperação ativa na esteira, ao passo, em velocidade confortável para cada animal (entre 1,2 e 1,6 m/s). Os animais que formaram o grupo negativo (GN) permaneceram em cima da PV desligada. O grupo vibração de corpo inteiro (VCI) realizou uma sessão de VCI durante o período de recuperação. Os animais pertencentes aos grupos GN e VCI foram submetidos ao processo de recuperação cerca de 5 min após o final da SEI, devido ao tempo necessário para movimentação do animal da esteira à PV. Para o grupo GC, os animais esperaram 5 min sob a esteira, até iniciar o período de recuperação ativa.

2.5 Sessão de vibração de corpo inteiro (VCI)

O grupo VCI foi submetido a sessão de VCI após a SEI, utilizando a PV *Theraplate*® (Original Equine Unit Model K21, Theraplate, Weatherford, TX, USA), com unidade móvel de duas peças e quatro zonas de tratamento independentes (uma para cada membro). Essa PV usa “tecnologia proprietária” conhecida como estimulação por ondas de vórtice, que preconiza utilizar força centrífuga e movimento

interno oscilante para fornecer terapia de impacto zero, podendo atingir frequências de até 76 Hz.

Os cavalos foram mantidos em posição quadrupedal sobre a PV. O protocolo de recuperação na PV, por meio da aplicação de cargas externas decrescentes, foi estabelecido de acordo com o fabricante (TheraPlate, TPR, LLC) para "desaquecimento" de cavalos ("*post-performance/race/show - warm down*"), sendo também empregado, de maneira subjetiva, por alguns treinadores, proprietários e médicos veterinários. O protocolo teve duração de 10 min, sendo 2 min em cada carga correspondente a 100, 80, 60, 40 e 20% da capacidade máxima do motor do equipamento, que representam 76, 66, 55, 46 e 32 Hz.

2.6 Métodos de avaliação

2.6.1 Frequência cardíaca (FC)

A FC foi obtida por meio da utilização de frequencímetro *Polar Equine Heart Rate Monitor for Trotters* (Receptor Polar M430, Polar Electro, Kempele, Finlândia) acoplado com transmissor e cinta específica para cavalos (Polar H-10 - *Equine Belt for Troters*, Polar Electro, Kempele, Finlândia). A FC pico de cada etapa foi extraída do aplicativo Polar Flow® (https://flow.polar.com/). Os dados foram obtidos antes (0) e depois da SEI (DS), antes (AT) e depois do tratamento (DT), e 10 min ao final do período de recuperação (10min).

2.6.2 Temperatura retal (T_R)

Para aferição da T_R utilizou-se termômetro preditivo digital (Clean View RM-TD0403A, Relaxmedic, Vargem Grande Paulista, Brasil), que foi inserido até o nível da janela de exibição do termômetro, aproximadamente 5 cm no canal do reto, mantido contra a mucosa retal e removido após o alarme sonoro indicativo que um pico estável de temperatura foi medido. As temperaturas foram obtidas nos momentos: 0, DS e DT.

2.6.3 Lactatemia e glicemia

Para determinação da concentração plasmática de lactato e glicose foram realizadas coletas sanguíneas por meio de cateterização da veia jugular em tubos contendo fluoreto de sódio. As amostras foram centrifugadas, e o plasma separado e imediatamente analisado. As análises foram feitas por meio do método eletroenzimático com bioanalisador automático (YSI 2300 Stat Plus®, Ohio - USA). As amostras foram obtidas nos seguintes momentos: 0, DS, AT, DT, 10min e 1 h (1H) ao final do período de recuperação.

2.6.4 Gases e eletrólitos sanguíneos

Para realização das análises de gases e eletrólitos sanguíneos coletou-se sangue, por meio de cateterização da veia jugular, evitando o contato com o oxigênio e dióxido de carbono ambientais, em seringas de gasometria de 3,0 ml. As amostras foram coletadas nos momentos: 0, DS e DT. As análises foram realizadas imediatamente após a obtenção das amostras, em analisador portátil (i-STAT Analyzer, Abbott Laboratories, Libertyville Township, IL, USA). As variáveis obtidas foram pH, pressão parcial venosa de dióxido de carbono (P_VCO_2), dióxido de carbono total (tCO_2), excesso/déficit de base (BEecf), ânion gap (AnGap), bicarbonato (HCO_3^-), íon sódio (Na^+), íon potássio (K^+), íon cloreto (Cl^-), hemoglobina total (Hb), hematócrito (Hct) e ureia (Ure). Os valores de pH e P_VCO_2 foram ajustados para temperatura retal (Taylor et al., 1998; Lindinger; Waller, 2022). A diferença de íons fortes foi calculada (DIF), segundo a fórmula:

$$DIF = ([Na^+] + [K^+]) - ([Cl^-] + [Lac^-])$$

2.6.5 Análises biomoleculares do transportador de monocarboxilato 4 (MCT4)

Os animais foram submetidos à biópsia muscular nos momentos: antes (em torno de 18 h antes da SEI), DT, 3 e 6 horas após o tratamento (Kitaoka et al., 2013).

Os animais foram contidos em posição quadrupedal em tronco específico. O ponto de inserção da agulha foi determinado por meio de uma linha imaginária entre a tuberosidade coxal e a inserção da cauda. Realizou-se tricotomia da área de aproximadamente 64 cm^2, na região externa do músculo glúteo médio. Foi realizada antissepsia do local, utilizando-se gaze estéril embebida em solução degermante de gliconato de clorexidina e álcool 70%. Em seguida, aplicou-se bloqueio anestésico local com infiltração subcutânea de 3 ml de cloridrato de lidocaína a 2% sem vasoconstritor. Após 5 min foi realizada incisão da pele, tecido subcutâneo e fáscia glútea no local de inserção da agulha, utilizando-se lâmina de bisturi estéril descartável nº24. Ato contínuo, a agulha estéril de *Bergström* foi introduzida na incisão previamente realizada até a profundidade de 60 mm em ângulo de 90º para obtenção dos fragmentos musculares. Os fragmentos foram imediatamente congelados em nitrogênio líquido e posteriormente armazenados em freezer a -80ºC.

2.6.5.1 Extração e quantificação de proteínas totais

As amostras (25 mg) foram homogeneizadas, por meio de maceração, em 300 µl de tampão de RIPA com os seguintes componentes: Tris HCl 1% (50mM), NaCl (150mM), EDTA (1mM), IGEPAL® CA-630 (1%), Desoxicolato (0,5%), SDS (0,1%), 1% de inibidor de protease (Coquetel Inibidor de Protease e Fosfatase, cat# P8340, Sigma Aldrich®) e 1% de inibidor de fosfatase (Conjunto de Coquetel Inibidor de Fosfatase II, cat# US1524625-1SET, Calbiochem®, San Diego, CA, EUA). Em seguida, as amostras foram colocadas em sonicador (Q55 Sonicator, Qsonica®, Newtown, CT, EUA) duas vezes por 5 segundos (60%). Posteriormente, os lisados foram centrifugados a 12.000 rpm, por 10 min à 4ºC (Centrífuga 5424 R, Eppendorf AG, Hamburgo, Alemanha). Logo após, o sobrenadante foi separado (extrato total de proteínas) e o pellet descartado. Para quantificação de proteínas totais foi utilizado o método colorimétrico de *Bradford*. Fez-se a leitura da absorbância no comprimento de onda de 595 nm em espectrofotômetro.

2.6.5.2 Eletroforose

As amostras (40 µg de proteína total) foram misturadas com tampão LDS (dodecilsulfato de lítio e Mercaptoetanol 1%) e levadas ao banho seco a 94ºC por 10 min. Em seguida, as amostras foram colocadas no gelo por 5 min. Ato contínuo, pipetou-se 9 µl de cada amostra nos poços do gel (Mini Protean TGX Precast Protein Gels, 10% 15-well, Bio-Rad®) e, em seguida, pipetou-se 7,5 µl de marcador de peso molecular no primeiro poço do gel. A eletroforese foi realizada utilizando equipamento específico (PowerPac 300 Electroforese Power Supply – Bio Rad, São Paulo, SP, Brasil), à 130 V constantes por, aproximadamente, 60 min. Um dispositivo de transferência à seco de gel iBlot™ 2 (20 V por 7 min cat# IB21001, Waltham, MA, EUA) foi usado para transferir proteínas (PVDF) para a membrana (Invitrogen™, iBlot™ 2 Transfer Stacks cat# IB# IB24002, Waltham, MA, EUA).

2.6.5.3 *Western Blotting* das proteínas MCT4

As membranas foram submetidas à coloração de fluorescência (coloração de proteína total RevertTM, cat # 926-11010) e escaneadas usando o canal de 700 nm do sistema de imagem Li-COR Odyssey Fc. Após, o bloqueio foi realizado em leite a 1% (leite em pó desnatado, cat# 9999, Cell Signaling Technology®, Danvers, MA, EUA) em PBS (10 mL de PBS, 0,1 g de leite NFDM) por uma hora em agitador orbital. Em seguida, as membranas foram imediatamente incubadas com 5% de leite em PBS-Tween por uma hora em temperatura ambiente (para anticorpo MCT4, cat #BS-2698R, Bioss, Woburn, MA, EUA). A ligação do anticorpo foi detectada por IgG H&L de cabra anti-coelho pré-absorvida (cat. #ab216773) (IRDye 800CW) a uma diluição de 1:20.000 durante uma hora em temperatura ambiente no escuro. A fluorescência foi detectada a 800 nm utilizando o mesmo sistema de imagem (Odyssey Fc, LI COR Biosciences, Lincoln, NE, EUA). A expressão proteica foi normalizada dividindo o sinal do anticorpo pelo fator de normalização da banda.

2.7 Delineamento e análise estatística

O experimento seguiu o delineamento fatorial 3 x 4 (3 tratamentos e 4 momentos de avaliação), com três repetições pareadas, num esquema de parcelas subdivididas, em que cada parcela foi um tratamento (três tratamentos: GC, GN e VCI) e cada subparcela foi um momento de avaliação (0, DT, e 3 e 6 horas após). No bloco subsequente do experimento aplicou-se delineamento *cross-over*, ou seja, os cavalos receberam mais de um tratamento, com período de *wash-out* de sete dias entre cada bloco. Este modelo supramencionado foi proposto considerando as avaliações de biopsia muscular.

A análise estatística foi realizada por meio do software RStudio para Windows (versão 2023.06.0+421 "Mountain Hydrangea"). Inicialmente, todos os dados foram avaliados quanto à normalidade dos resíduos por meio do teste de Shapiro-Wilk, associado à avaliação visual de gráficos QQ. A homoscedasticidade das variâncias foi avaliada pelo teste de Levene. Dados considerados heterocedásticos foram transformados por classificação. Para análise estatística foi utilizada análise de variância (ANOVA) de duas vias para medidas repetidas, com avaliação *post hoc* pelo teste T pareado com correção de Bonferroni. Para verificação de um possível condicionamento aeróbio entre os blocos, checou-se as variáveis frequência cardíaca e lactato plasmático em cada bloco, aplicando-se análise de variância de uma via, seguida pelo teste T pareado com correção de Bonferroni. Para todas as análises empregadas, o nível de significância estabelecido foi de 5%.

3. RESULTADOS

3.1 Condicionamento aeróbio entre os blocos experimentais

Objetivando verificar um possível incremento de aptidão aeróbia ao longo do experimento, checou-se as variáveis frequência cardíaca e lactato plasmático, logo após o fim da SEI, sendo que não houve diferença entre os blocos, indicando que não houve ganho de condicionamento físico ao longo do período experimental (**Figura 1 e Tabela Suplementar 1**). Cabe ressaltar que todos os animais utilizados no presente

estudo já estavam previamente condicionados. Ademais, nenhum animal teve que interromper o teste por indicação de fadiga, sendo que essa seria evidenciada pela incapacidade de acompanhar a velocidade da esteira ou por incoordenação motora.

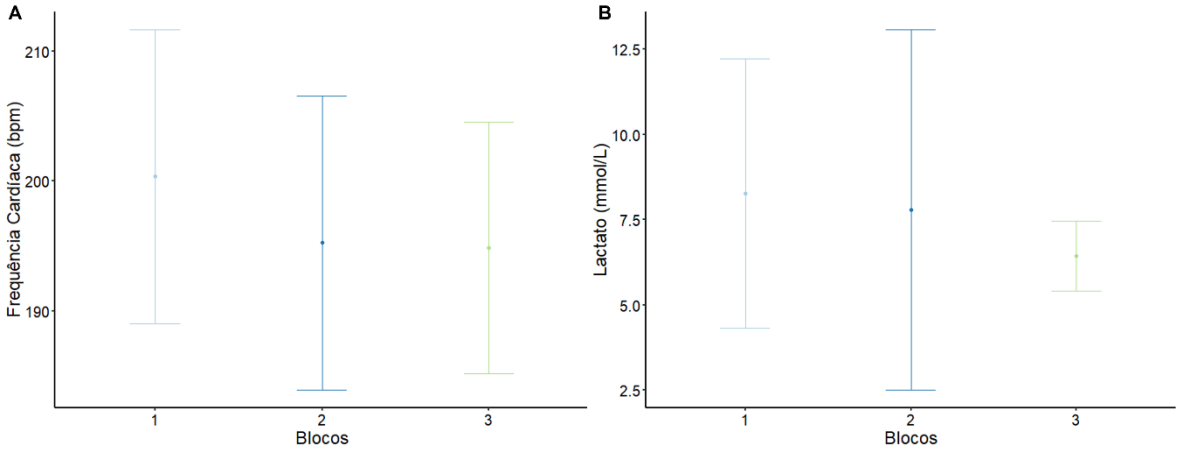

Figura 1. Representação gráfica das médias ± desvio padrão de (**A**) frequência cardíaca e (**B**) lactato plasmático de cavalos (n=8) após uma sessão de exercício intenso em cada bloco experimental com objetivo de verificar possível incremento de aptidão aeróbia ao longo do experimento. Os resultados demonstram que não houve aumento da capacidade aeróbia entre os blocos experimentais.

Tabela Suplementar 1. Médias ± desvio padrão da frequência cardíaca (FC) e lactato de cavalos submetidos a sessão de exercício intenso em cada bloco experimental.

Variáveis	**Blocos**		
	1	2	3
FC (bpm)	200±11,3	195±11,3	195±9,69
Lactato (mmol/L)	8,27±3,95	7,79±5,29	6,43±1,03

3.2 Frequência cardíaca

Conforme esperado, a SEI induziu cronotropismo positivo nos animais em todos os grupos experimentais. A FC demonstrou-se maior no GC em relação aos demais grupos no momento DT (**Figura 2 e Tabela Suplementar 2**).

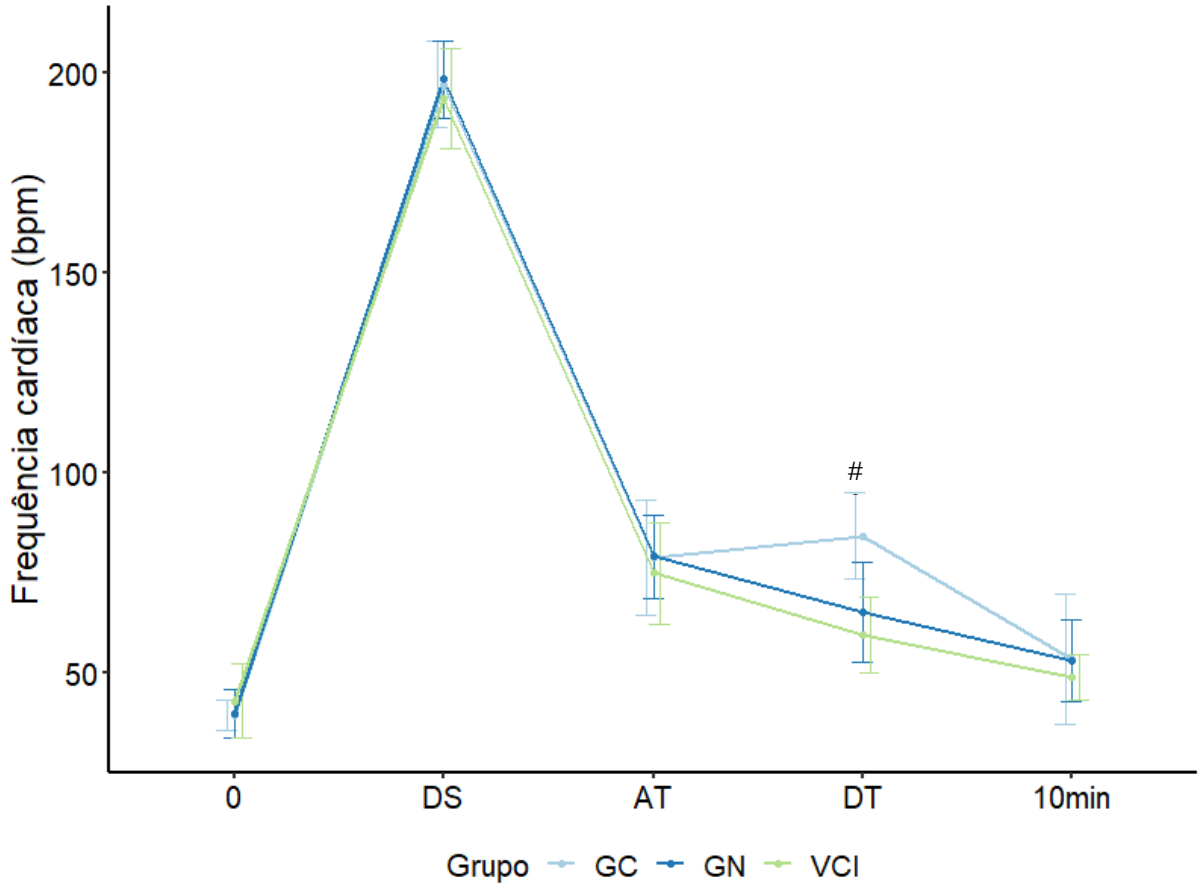

Figura 2. Representação gráfica das médias ± desvio padrão de frequência cardíaca de cavalos (n=8) submetidos a sessão de exercício intenso e sessão de desaquecimento em esteira (GC), plataforma vibratória desligada (GN), ou plataforma vibratória (VCI). #Indica diferença entre o GC e o grupos GN e VCI. DS=depois da sessão de exercício intenso; AT=antes do tratamento; DT=depois do tratamento; 10min=10 min após o fim do tratamento.

Tabela Suplementar 2. Médias ± desvio padrão da frequência cardíaca (bpm) de cavalos submetidos a sessão de exercício intenso e sessão de desaquecimento em esteira (GC), plataforma vibratória desligada (GN), ou plataforma vibratória (VCI).

Grupos	Momentos				
	0	DS	AT	DT	10min
GC	39,5±3,9^{a}	197±10,7^{b}	78,9±14,3^{c}	84,1±10,8^{Ac}	53,4±16,4^{a}
GN	39,8±6,0^{a}	198±9,7^{b}	79,0±10,5^{c}	65,1±12,5^{Bd}	53,0±10,1^{ad}
VCI	42,9±9,3^{a}	194±12,5^{b}	74,9±12,6^{c}	59,5±9,5^{Ba}	48,9±5,6^{a}

Letras minúsculas diferentes indicam diferença entre os tempos para um determinado grupo. Letras maiúsculas diferentes indicam diferença entre os grupos para um determinado tempo.
DS=depois da sessão de exercício intenso; AT=antes do tratamento; DT=depois do tratamento; 10min=10 min após o fim do tratamento.

3.3 Temperatura retal

A T_R dos animais de todos os grupos experimentais aumentou após a SEI (**Tabela Suplementar 3**). Não houve diferença entre os grupos em nenhum momento avaliado (**Figura 3 e Tabela Suplementar 3**).

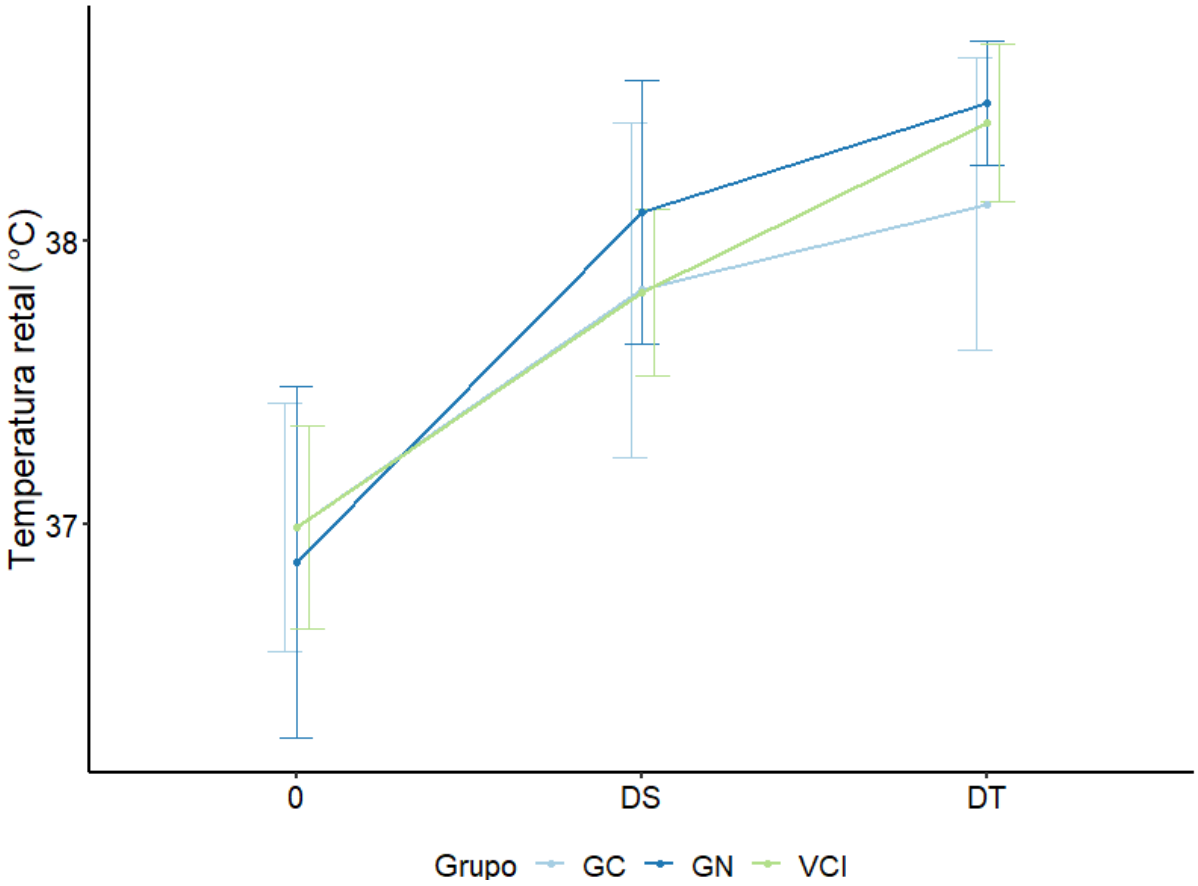

Figura 3. Representação gráfica das médias ± desvio padrão da temperatura retal de cavalos (n=8) submetidos a sessão de exercício intenso e sessão de desaquecimento em esteira (GC), plataforma vibratória desligada (GN), ou plataforma vibratória (VCI). DS=depois da sessão de exercício intenso; DT=depois do tratamento.

Tabela Suplementar 3. Médias ± desvio padrão da temperatura retal (ºC) de cavalos submetidos a sessão de exercício intenso e sessão de desaquecimento em esteira (GC), plataforma vibratória desligada (GN), ou plataforma vibratória (VCI).

Grupos	Momentos		
	0	DS	DT
GC	37,0±0,44^{a}	37,8±0,59^{b}	38,1±0,52^{b}
GN	36,9±0,62^{a}	38,1±0,47^{b}	38,5±0,22^{b}
VCI	37,0±0,36^{a}	37,8±0,29^{b}	38,4±0,28^{c}

Letras minúsculas diferentes indicam diferença estatística entre os tempos para um determinado grupo.
DS=depois da sessão de exercício intenso; DT=depois do tratamento.

3.4 Lactatemia e glicemia

Embora tenha ocorrido tendência de aumento da lactatemia (*P*=0,08) para GN, claramente houve hiperlactatemia, em todos os animais, imediatamente após a SEI, e essa foi diminuindo ao longo do tempo, independente do tratamento (**Figura 4A e Tabela Suplementar 4**). Não houve diferença entre os grupos, em nenhum momento, tanto para a glicemia quanto para a lactatemia (**Figura 4 e Tabela Suplementar 4**). A glicose plasmática apresentou pico cinco (AT) a 15 minutos (DT) depois da SEI, voltando aos valores basais uma hora (1H) após o tratamento (**Figura 4B e Tabela Suplementar 4)**.

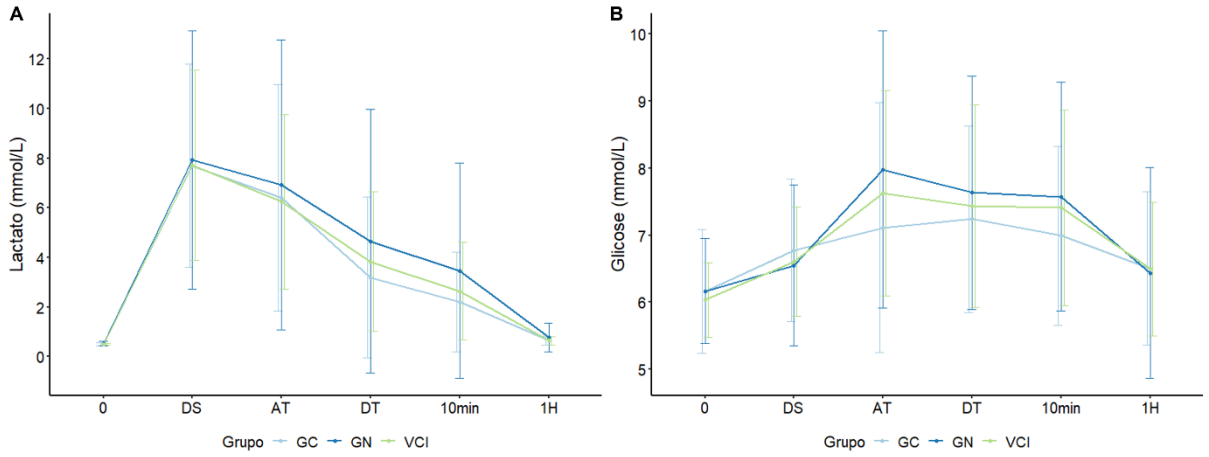

Figura 4. Representação gráfica das médias ± desvio padrão de **(A)** lactato plasmático e **(B)** glicose plasmática de cavalos (n=8) submetidos a sessão de exercício intenso e sessão de desaquecimento em esteira (GC), plataforma vibratória desligada (GN), ou plataforma vibratória (VCI). DS=depois da sessão de exercício intenso; AT=antes do tratamento; DT=depois do tratamento; 10min=10 min após o fim do tratamento; 1H=1 hora após o fim do tratamento.

Tabela Suplementar 4. Médias ± desvio padrão do lactato e glicose plasmáticos de cavalos submetidos a sessão de exercício intenso e sessão de desaquecimento em esteira (GC), plataforma vibratória desligada (GN), ou plataforma vibratória (VCI).

Variável	Grupos	Momentos					
		0	DS	AT	DT	10min	1H
Lactato (mmol/L)	GC	0,49±0,05^{ac}	7,70±4,11^{b}	6,41±4,58^{a}	3,18±3,24^{c}	2,20±2,00^{c}	0,65±0,18^{ac}
	GN	0,52±0,09^{ab}	7,92±5,22^{a}	6,92±5,85^{a}	4,65±5,31^{b}	3,46±4,35^{b}	0,77±0,58^{ab}
	VCI	0,49±0,03^{a}	7,71±3,83^{b}	6,24±3,51^{c}	3,82±2,82^{a}	2,64±1,97^{a}	0,64±0,17^{abc}
Glicose (mmol/L)	GC	6,16±0,92^{ab}	6,78±1,06^{ab}	7,11±1,86^{ab}	7,24±1,39^{a}	6,99±1,33^{ab}	6,50±1,15^{b}
	GN	6,17±0,78^{ab}	6,55±1,20^{ab}	7,98±2,07^{a}	7,63±1,74^{a}	7,57±1,71^{a}	6,44±1,57^{b}
	VCI	6,03±0,56^{ab}	6,61±0,81^{ab}	7,62±1,53^{a}	7,43±1,51^{a}	7,41±1,46^{a}	6,50±1,00^{b}

Letras minúsculas diferentes indicam diferença estatística entre os tempos para um determinado grupo.
DS=depois da sessão de exercício intenso; AT=antes do tratamento; DT=depois do tratamento; 10min=10 min após o fim do tratamento; 1H=1 hora após o fim do tratamento.

3.5 Gases e eletrólitos sanguíneos

Com exceção da $PvCO_2$ e da BUN, todas as variáveis hemogasométricas apresentaram alteração significativa após a SEI para todos os grupos experimentais, indicando acidose metabólica (**Tabela 3**). Na avaliação entre os grupos foi possível identificar maior BUN no grupo VCI, em relação ao GC, no momento 0.

Tabela 3. Médias ± desvio padrão dos gases e eletrólitos sanguíneos de cavalos submetidos a sessão de exercício intenso e sessão de desaquecimento em esteira (GC), plataforma vibratória desligada (GN), ou plataforma vibratória (VCI).

Variáveis	VCI			GC			GN		
	0	DS	DT	0	DS	DT	0	DS	DT
pH	7,42±0,018^{a}	7,33±0,068^{b}	7,38±0,036^{c}	7,43±0,019^{a}	7,33±0,061^{b}	7,41±0,038^{c}	7,42±0,022^{a}	7,32±0,077^{b}	7,36±0,075^{c}
$PvCO_2$	44,8±2,75	44,2±4,79	42,8±4,06	43,1±2,49	45,5±4,39	39,1±3,93	42,4±3,79	43,7±3,91	42,8±5,74
tCO_2	30,6±1,92^{a}	24,0±3,07^{b}	26,2±3,54^{b}	29,6±2,07^{a}	25,0±2,39^{b}	25,2±4,53^{b}	29,0±3,02^{a}	23,8±4,20^{b}	25,4±5,45^{b}
BEecf	5,12±1,88^{a}	-2,62±3,66^{b}	0,63±3,78^{c}	3,88±2,03^{a}	-1,88±3,27^{b}	-0,38±5,15^{c}	3,25±2,82^{a}	-3,00±5,18^{b}	-1,12±6,49^{c}
AnGap	11,4±1,19^{a}	17,9±3,56^{b}	14,5±2,78^{c}	12,1±1,46^{a}	17,1±2,59^{b}	16,0±3,25^{c}	11,3±1,86^{a}	16,5±2,33^{b}	15,6±4,50^{c}
HCO_3^-	29,4±1,80^{a}	22,9±2,95^{b}	25,2±3,30^{c}	28,4±1,88^{a}	23,8±2,46^{b}	24,2±4,61^{c}	27,8±2,75^{a}	22,6±4,14^{b}	24,1±5,32^{c}
Na^+	138±1,13^{a}	140±2,00^{b}	137±1,06^{a}	139±1,39^{a}	141±1,67^{b}	139±3,29^{a}	138±1,07^{a}	140±1,85^{b}	138±1,31^{a}
K^+	3,58±0,21^{a}	5,05±0,48^{b}	3,69±0,17^{c}	3,59±0,23^{a}	4,90±0,67^{b}	3,80±0,43^{c}	3,62±0,14^{a}	5,09±0,32^{b}	3,76±0,18^{c}
Cl^-	101±2,10^{a}	105±2,03^{b}	101±1,60^{a}	102±1,31^{a}	105±1,77^{b}	103±4,29^{a}	102±1,63^{a}	106±2,77^{b}	102±2,25^{a}
Hb	11,6±0,60^{a}	17,1±1,74^{b}	12,9±1,28^{c}	11,60±0,76^{a}	16,9±1,45^{b}	12,6±1,28^{c}	11,5±0,86^{a}	17,4±1,29^{b}	13,2±1,30^{c}
Hct	34,2±1,75^{a}	50,2±5,15^{b}	38,0±3,78^{c}	34,1±2,23^{a}	49,6±4,24^{b}	37,1±3,76^{c}	34,1±2,48^{a}	51,2±3,84^{b}	39,0±3,85^{c}
BUN	19,6±1,68^{B}	19,9±2,70	19,1±2,59	17,6±2,56^{Aa}	18,5±2,67^{b}	17,2±2,71^{ab}	17,8±2,64^{AB}	18,8±2,32	18,1±2,36
DIF	40,3±1,69^{a}	32,8±3,53^{b}	35,9±3,46^{c}	40,3±1,82^{a}	33,3±4,25^{b}	37,1±4,50^{c}	39,2±1,24^{a}	31,9±5,11^{b}	34,9±6,00^{c}

Letras minúsculas diferentes indicam diferença estatística entre os tempos para um determinado grupo. Letras maiúsculas diferentes indicam diferença estatística entre os grupos para um determinado tempo.

$PvCO_2$ = pressão venosa de dióxido de carbono, em mmHg; TCO_2 = dióxido de carbono total, em mmol/L; BEecf = excesso/déficit de base, em mmol/L; AnGap = ânion gap, em mmol/L; HCO_3^- = bicarbonato, em mmol/L; Na^+ = íon sódio, em mEq/L; K^+ = íon potássio, em mEq/L; Cl^- = íon cloreto, em mmol/L; Hb = hemoglobina total, em g/dL; Hct = hematócrito, em % PCV, BUN = ureia, em mg/dL e DIF = diferença de íons fortes (mmol/L).

0 = antes; DS = depois da sessão de exercício intenso; DT = depois do tratamento

3.6 Análises biomoleculares de transportador monocarboxilato 4 (MCT4)

Não houve diferença entre os grupos em nenhum momento. Houve diminuição do conteúdo de proteína 3 e 6 horas após o tratamento para todos os grupos experimentais (**Figura 5 e Tabela Suplementar 5**).

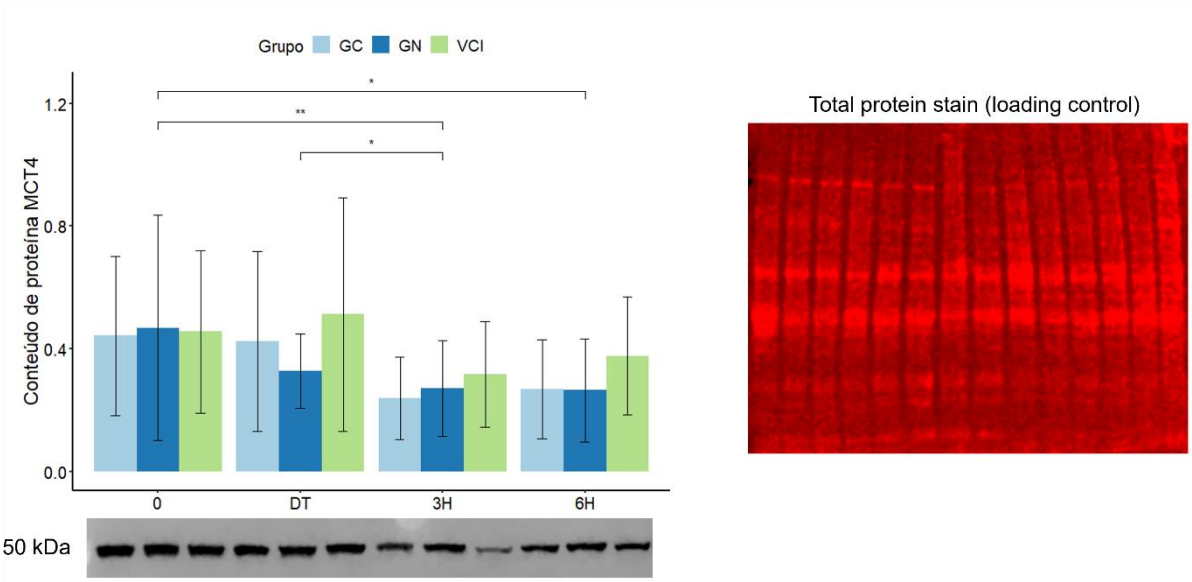

Figura 5. Representação gráfica das médias ± desvio padrão do conteúdo de proteína MCT4 no músculo glúteo de cavalos (n=8) submetidos a sessão de exercício intenso e sessão de desaquecimento em esteira (GC), plataforma vibratória desligada (GN), ou plataforma vibratória (VCI). Uma imagem representativa da membrana com bandas de proteínas está apresentada. Todas as membranas foram coradas para proteína total para normalização das diferenças entre bandas de marcação proteica. *Indica diferença entre os momentos (p<0,05). **Indica diferença entre os momentos (p<0,01). DT=depois do tratamento; 3H=três horas após o fim do tratamento; 6H=seis horas após o fim do tratamento.

Tabela Suplementar 5. Médias ± desvio padrão do conteúdo de proteína MCT4 no músculo glúteo médio de cavalos submetidos a sessão de exercício intenso e sessão de desaquecimento em esteira (GC), plataforma vibratória desligada (GN), ou plataforma vibratória (VCI).

Grupos	Momentos			
	0	DT	3H	6H
GC	0,443±0,259^{a}	0,424±0,294^{ab}	0,239±0,136^{c}	0,267±0,162^{bc}
GN	0,468±0,368^{a}	0,328±0,121^{ab}	0,271±0,156^{c}	0,264±0,168^{bc}
VCI	0,456±0,265^{a}	0,512±0,381^{ab}	0,317±0,173^{c}	0,376±0,193^{bc}

Letras minúsculas diferentes indicam diferença estatística entre os tempos para um determinado grupo.
DT=depois do tratamento; 3H=3 horas após o tratamento; 6H=6 horas após o tratamento

4. DISCUSSÃO

Os poucos estudos anteriores sobre VCI em cavalos focaram principalmente nos efeitos da VCI em parâmetros clínicos e sanguíneos após uma única sessão (Carstanjen et al., 2013; Nowlin et al., 2018; Maher et al., 2020), na ativação muscular (Buchner et al., 2017), como exercício de aquecimento (Buchner et al., 2017), na claudicação (Halsberghe, 2017; Nowlin et al., 2018), na simetria e área muscular (Halsberghe et al., 2017), no crescimento do casco (Halsberghe, 2018), no comprimento de passada (Nowlin et al., 2018; Maher et al., 2020), e no conteúdo mineral ósseo (Maher et al., 2020). No entanto, nenhum estudo investigou os efeitos da VCI como método para estimular a recuperação de cavalos submetidos ao exercício intenso. Nesta pesquisa, comparamos variáveis fisiológicas obtidas após diferentes métodos de recuperação em seguida ao exercício realizado acima do limiar de lactato, fornecendo dados relevantes sobre métodos de recuperação com VCI. Contrariando nossa hipótese, os resultados obtidos com relação à recuperação da acidose induzida pelo exercício com o uso da VCI não foram diferentes daqueles do grupo que realizou desaquecimento ao passo. Também não houve diferença em relação ao grupo que foi colocado sobre a PV desligada.

O uso da VCI tem crescido na indústria equestre com intuito de melhorar o desempenho e a saúde do cavalo atleta. Entretanto, poucas pesquisas foram publicadas até o momento para apoiar tal uso e não está claro qual seria o nível de magnitude da vibração necessária para que alterações sejam observadas. As razões para resultados bastante diversos sobre os efeitos da VCI baseiam-se em diferenças nos protocolos e desenhos de estudo, bem como na falta de padronização dos aspectos físicos do dispositivo de vibração (Buchner et al., 2017; Gomes et al., 2018). Na grande maioria dos estudos realizados em cavalos, muitos aspectos da intervenção vibratória não são fornecidos, como tipo e direção, frequência real e extensão da vibração (deslocamento), o que dificulta a comparação dos dados. No entanto, tais parâmetros são cruciais para a avaliação da intervenção vibratória (Rauch et al., 2010).

Embora não fosse o foco desta pesquisa e não tenham sido realizadas medições quantitativas, foram feitas notas qualitativas sobre o comportamento dos

animais na plataforma vibratória. De forma geral, todos os cavalos aceitaram os procedimentos durante o estudo, sem maiores intercorrências. Subir e descer da plataforma vibratória foi fácil, e os cavalos permaneceram dentro do tronco calmamente. Alguns animais apresentaram incômodo no início do tratamento de VCI, entretanto, se acalmaram ao longo da sessão. Os sinais indicativos de incômodo foram movimentação dos membros e da cabeça e troca de apoio frequentes. Cabe ressaltar que nenhuma das alterações descritas impediram que os animais ficassem na PV durante o período estipulado. Importante também destacar que a aplicação da VCI foi considerada segura e nenhum efeito adverso foi observado ao longo do presente estudo.

Nossos achados mostraram que a SEI promoveu alteração transitória da homeostasia na maioria das variáveis fisiológicas, como cronotropismo cardíaco positivo em todos os grupos experimentais. Depois das intervenções experimentais, os grupos VCI e GN apresentaram menor FC em relação ao GC, o que pode ser explicado pelo fato de a VCI ser considerada uma forma de recuperação passiva. Entretanto, não houve diferença entre os grupos VCI e GN, indicando que a PV desligada apresentou o mesmo efeito do equipamento ligado. Em indivíduos submetidos a esforço máximo na esteira foi observada redução mais acentuada da FC quando recuperados com protocolo que associou a prática de exercício leve com a VCI, em comparação ao exercício leve de forma isolada (Oh et al., 2018). Da mesma forma, homens jovens quando submetidos a sessões de *sprint* e, posteriormente, a recuperação com agachamento na PV ligada, apresentaram FC menor quando comparados à indivíduos que ficaram em repouso passivo ou fizeram somente agachamento. Estes achados sugeriram que a VCI parece provocar menos estresse cardiovascular durante a recuperação (Campos et al., 2021), efeito não observado com o protocolo utilizado na presente pesquisa.

No presente estudo foi possível observar aumento da temperatura retal após a SEI. Esta variável se elevou ainda mais após todas as intervenções, cerca de 15 min após o fim da SEI, em todos os grupos, sendo que o aumento na temperatura retal após o exercício está significativamente correlacionado com o exercício (Lindinger; Waller, 2022). Corroborando esses resultados, estudo que avaliou diferentes tipos de resfriamento com água após exercício de média intensidade observou aumento da

temperatura retal, que se manteve elevada até 30 min após o exercício, sendo que uso de resfriamento com água como forma de recuperação não influenciou na diminuição da temperatura retal pós-exercício (Janczarek et al., 2022). Portanto, a VCI não acelerou o desaquecimento deste grupo de cavalos.

Embora estudos em humanos tenham apresentado menor concentração de lactato plasmático em indivíduos que realizaram desaquecimento com VCI (Kang et al., 2017; Oh et al., 2018; Campos et al., 2021), no presente estudo não foi possível observar redução da lactatemia entre os grupos. Isso sugere que o protocolo aqui utilizado não foi eficiente para acelerar a remoção do lactato muscular. Estudo em humanos indicou que a VCI pode levar à recuperação mais eficiente do exercício, devido ao estímulo contínuo dos vasos sanguíneos no músculo. Este estímulo poderia aumentar o uso do lactato como energia para o músculo cardíaco e os músculos esqueléticos ativados e causar uma distribuição mais rápida do lactato no fígado (Kang et al., 2017).

Reforçando os resultados da lactatemia observados aqui, a VCI também não modificou o conteúdo de MCT4, sendo que esses são expressos, principalmente, nas fibras glicolíticas, auxiliando a remoção do lactato para os espaços extracelulares (Kitaoka et al., 2012). Apesar das atividades contráteis musculares poderem estimular a expressão gênica e proteica dos MCTs em cavalos (Kitaoka et al., 2011), existem poucos estudos sobre os efeitos de um esforço aeróbio/anaeróbico único nos MCTs (Kitaoka et al., 2013). Como tradicionalmente encontrado, o MCT4 aumenta após uma única sessão de exercício intenso. Este achado já foi descrito em cavalos (Kitaoka et al., 2013), roedores (Coles et al., 2004; Araújo et al., 2015) e no homem (Green et al., 2002). Como não houve diferença entre os grupos, a vibração não alterou o transporte de lactato e, inesperadamente, houve diminuição da quantidade de proteína após a SEI em todos os grupos experimentais. Da mesma forma, estudo em humanos relatou que o exercício de alta intensidade diminuiu agudamente a quantidade de proteína MCT1 e MCT4 na membrana plasmática (Bishop et al., 2007). Esses resultados contraditórios podem ser devidos a diferenças na intensidade do exercício, duração, testabilidade ou métodos de preparação de amostras (Seyedi et al., 2023).

Alguns estudos indicaram que a PV pode ser utilizada para controle da glicemia, tanto no homem (Pessoa et al., 2018; Kim et al., 2023), quanto em roedores

(Huang et al., 2014; An et al., 2022), sendo que, no presente estudo, não houve indício que a VCI pode favorecer tal efeito. Somente a SEI influenciou a glicemia, sendo que o pico ocorreu, em todos os grupos, 5 a 15 minutos após o exercício. Classicamente, este achado pode ser explicado pelo aumento da atividade de hormônios que regulam o metabolismo energético, como as catecolaminas e o glucagon. Estes, ao serem liberados, promovem a glicogenólise e a neoglicogênese hepáticas, aumentando a glicemia. Mecanismo este importante para a manutenção da glicemia durante o exercício (Ferraz et al., 2010).

Os resultados obtidos mostraram interferência do exercício nos gases e eletrólitos sanguíneos, sendo que o protocolo da SEI foi de alta intensidade, caracterizado pela mobilização da via glicolítica com desenvolvimento de hiperlactatemia e acidose metabólica, tendo em vista os achados de lactato plasmático, pH, BEecf e DIF. Os exercícios de alta intensidade levam a aumentos acentuados na $[H^+]$, o que leva a diminuição do pH, e reduções na HCO_3^- e tCO_2 (Vengust et al., 2010). Cavalos de corrida que foram submetidos a dois minutos de trote de alta intensidade apresentaram diminuição da DIF, também em sangue venoso jugular, sendo que essa foi a principal responsável pela acidose plasmática observada. A redução da DIF foi resultado de um aumento do lactato, Na^+ e K^+ (Waller; Lindinger, 2005). A diminuição da DIF observada no presente estudo foi induzida, principalmente, pelo aumento da produção de lactato em decorrência do esforço intenso. Esta elevação da lactatemia foi seguida por aumento das concentrações plasmáticas dos íons Na^+, K^+ e Cl^-.

No presente estudo não foram observadas alterações na $PvCO_2$, sendo que em estudo onde esse também não se alterou após exercício intenso em esteira foi sugerido uma hiperventilação compensatória (Miranda et al., 2016). Neste estudo, os valores de HCO_3^- após o exercício foram inferiores aos valores basais, semelhante ao observado por Miranda et al. (2016). Já o aumento do Hct e Hb após a SEI se deve à liberação da reserva esplênica de hemácias, mediada pela ação das catecolaminas em resposta ao exercício intenso (Ferraz et al., 2010). Apesar das alterações constatadas após o exercício, não foi possível observar diferença entre o grupo VCI e os outros grupos para os gases e eletrólitos sanguíneos, sugerindo que os tipos de

recuperação aqui utilizados não influenciaram na resposta compensatória da acidose metabólica moderada induzida pelo exercício.

A utilização da vibração mecânica como alternativa ao exercício ativo é de interesse crescente. O efeito da VCI nos parâmetros vitais, músculos e ossos são investigados e amplamente sugerido que a VCI pode ser uma alternativa ao treinamento resistido para estimulação do sistema musculoesquelético (Carstajen et al., 2013). A eficácia da VCI como método de treinamento, entretanto, é bastante controversa, sendo que os resultados apresentados aqui não indicaram qualquer efeito sobre as variáveis fisiológicas analisadas. Em estudo que investigou os efeitos do aquecimento com VCI em cavalos os resultados mostraram que a VCI pode ser vista como um movimento passivo dos membros e do tronco, como uma espécie de relaxamento do aparelho locomotor, sem qualquer envolvimento ativo (Buchner et al., 2017).

Entretanto, mais estudos são necessários em cavalos, principalmente ao que se refere aos diferentes padrões de vibração, pois a transmissão da vibração através do corpo equino é pouco compreendida e é uma consideração fundamental na interpretação dos efeitos da VCI. Uma redução na amplitude observada na região dorsal às extremidades do corpo de cavalos denota que a transmissão de vibração é bastante amenizada e pode não ser eficaz em provocar uma resposta fisiológica na parte superior do corpo (Read et al., 2023).

Até hoje, o uso da VCI em cavalos baseia-se principalmente nos resultados relatados na literatura humana ou de roedores, entretanto, os cavalos são os maiores animais em que a VCI foi testada, e essa diferença de tamanho pode ter impacto na transmissão das vibrações. Além disso, uma diferença possivelmente significante entre a VCI nos homens e no cavalo é a postura corporal durante o treinamento vibratório (Buchner et al., 2017; Halsberghe, 2017). Ademais, a maioria dos estudos com VCI em humanos envolve a realização de outros exercícios sobre a PV (Oh et al., 2018; Campos et al., 2021; Colson et al., 2023), o que, até o momento, não é possível de ser realizado na espécie equina.

Entre as limitações do estudo, podemos citar o pequeno número de animais, embora esse tenha sido suficiente para realização da análise estatística. Ademais, o protocolo utilizado, que consistiu em uma única sessão de VCI, pode não ter sido

suficiente para induzir alterações significativas. Períodos de treinamento usando a VCI poderiam levar a obtenção de resultados diferentes. Dessa forma, diferentes protocolos, envolvendo treinamento dos animais, precisam ser estudados, para melhor avaliar os efeitos da vibração de corpo inteiro como método de recuperação após exercício. Além disso, a utilização da eletromiografia seria importante, para observar com precisão como ocorre a ativação muscular com a utilização da VCI.

5. CONCLUSÕES

Com a busca atual por alternativas para melhorar a capacidade atlética na indústria de cavalos utilizados no esporte, não é incomum que os participantes fiquem hipnotizados pelos efeitos milagrosos das terapias disponíveis no mercado. As empresas que produzem placas de estimulação vibratória afirmam resultados como aumento/manutenção da massa muscular, redução de lesões, cicatrização mais rápida, melhora do equilíbrio, aumento da circulação, dentre outros. No entanto, faltam pesquisas para investigar essas alegações, além de validação mínima nos estudos já realizados que examinaram os efeitos da estimulação vibratória no cavalo.

Os achados desta pesquisa mostraram que a VCI não promoveu efeito na recuperação da hiperlactatemia e acidose metabólica em cavalos submetidos a exercício intenso. Entretanto, novos protocolos devem ser testados, com o intuito de utilizar a terapia como método de recuperação e desaquecimento.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP (processo nº 2019/16779-3 e nº 2020/01172-3) pelo apoio financeiro.

Referências

Allen KJ, Van Erck-Westergren E, Franklin SH (2016) Exercise testing in the equine athlete. **Equine Veterinary Education** 28(2):89-98.

An S, Wang D, Ma X, Liu C (2022) Whole body vibration remodels skeletal muscle via autophagy and energy metabolismo in diabetic mice. **Molecular Medicine Reports** 25:182

Araújo GG, Gobatto CA, Manchado-Gobatto FB, Teixeira LFM, Reis IGM, Caperuto LC, Papoti M, Bordin S, Cavaglieri CR, Verlengia R (2015) MCT1 and MCT4 kinetic of mrna expression in different tissues after aerobic exercise at maximal lactate steady state workload. **Physiological Research** 64:513-522.

Bishop D, Edge J, Thomas C, Mercler J (2007) High-intensity exercise acutely decreases the membrane content of MCT1 and MCT4 and buffer capacity in human skeletal muscle. **Journal of Applied Physiology** 102:616-621.

Bonanni R, Cariati I, Romagnoli C, D'Arcangelo G, Annino G, Tancredi V (2022) Whole body vibration: a valid alternative strategy to exercise? **Journal of Functional Morphology and Kinesiology** 7(4):99.

Buchner HHF, Zimmer L, Haase L, Perrier J, Peham C (2017) Effects of whole body vibration on the horse: actual vibration, muscle activity, and warm-up effect. **Journal of Equine Veterinary Science** 51:54-60.

Campos DG, Arancibia JO, Urra PS, Cadenas ES, Lozano AS, Rodríguez FR, Montero CC (2021) Effect of high-intensity whole body vibration on blood lactate removal and heart rate after and all-out test in active young men. **Retos** 39:471-476.

Carstanjen B, Balali M, Gajewski Z, Furmanczky K, Bondzio A, Remy B, Hartmann H (2013) Short-term whole body vibration exercise in adult health horses. **Polish Journal of Veterinary Sciences** 16(2):403-405.

Chang SF, Lin PC, Yang RS, Yang RJ (2018) The preliminary effect of whole-body vibration intervention on improving the skeletal muscle mass index, physical fitness, and quality of life among older people with sarcopenia. **BMC Geriatrics** 18(1):17.

Chen YM, Lee HC, Chen MT, Huang CC, Chen WC (2018) Dehydropiandrosterone supplementation combined with weight-loading whole-body vibration training (WWBV) affects exercise performance and muscle glycogen storage in middle-aged C57BL/6 mice. **International Journal of Medical** Sciences 15(6):564-573.

Coles L, Litt J, Hatta H, Bonen A (2004) Exercise rapidly increases expression of the monocarboxylate transporters MCT1 and MCT4 in rat muscle. **The Journal of Physiology** 561(1):253-261.

Colson SS, Gioda J, Silva F (2023) Whole body vibration training improves maximal strength of the knee extensors, time-to-exhaustion and attenuates neuromuscular fatigue. **Sports** 11(5):94.

Farinelli F, Rezende ASC, Fonseca MG, Lana AMQ, Leme FOP, Klein BON, Silva RHP, Abreu AP, Damazio MJ, Melo MM (2021) Influence of stretching exercises, warm-up, or cool-down on the physical performance of Mangalarga Marchador horses. **Journal of Equine Veterinary Science** 106:103714.

Ferraz GC (2023) The next decade for sport horses will be the time of wearable technology. **International Journal of Equine Science** 2(2):1-2.

Ferraz GC, Sgarbiero T, Carvalho JRG, Almeida MLM, Pereira GT, Funnicelli MIG, Pinheiro DG, Restan AZ (2022) Predicting maximal lactate steady state from lactate thresholds determined using methods based on an incremental exercise test in beagle dogs: A study using univariate and multivariate approaches. **Research in Veterinary Science** 152:289-299.

Ferraz GC, Soares OAB, Foz NSB, Pereira MC, Queiroz-Neto A (2010) The workload and plasma ion concentration in a training match session of high-goal (elite) polo ponies. **Equine Veterinary Journal** 42(Suppl. 38):191-195.

Franchignoni F, Vercelli S, Özçakar L (2013) Hematuria in a runner after treatment with whole body vibration: a case report. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports** 23(3):383-385.

Gomes MVF, Santos IFC, Rahal SC, Silva BM (2018) Applicability of whole-body vibration exercises as a new tool in veterinary medicine. **Revista Hospital Universitário Pedro Ernesto (HUPE)** 17(1):30-34.

Green H, Halestrap A, Mockett C, Otoole S, Grant S, Ouyang J (2002) Increases in muscle MCT are associated with reductions in muscle lactate after a single exercise session in humans. **American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism** 282:154-160.

Halsberghe BT (2017) Long-term and immediate effects on whole body vibration on chronic lameness in the horse: a pilot study. **Journal of Equine Veterinary Science** 48:121-128.

Halsberghe BT (2018) Effect of two months whole body vibration on hoof growth rate in the horse: a pilot study. **Research in Veterinary Science** 119:37-42.

Halsberghe BT, Gordon-Ross P, Peterson R (2017) Whole body vibration affects the cross-sectional area and symmetry of the m. multifidus of the thoracolumbar spine in the horse. **Equine Veterinary Education** 29(9):493-499.

Huang CC, Tseng TL, Huang WC, Chung YH, Chuang HL, Wu JH (2014) Whole-body vibration training effect on physical performance and obesity in mice. **International Journal of Medical Sciences** 11(12):1218-1227.

Janczarek I, Wiśniewska A, Tkaczyk E, Wnuk-Pawlak E, Kaczmarek B, Liss-Szczepanek M, Kędzierski W (2022) Effect of different water-cooling treatments on changes in rectal and surface body temperature in leisure horses after medium-intensity effort. **Animals** 12(4):525.

Kang SR, Min JY, Yu C, Kwon TK (2017) Effect of whole-body vibration on lactate level recovery and heart rate recovery in rest after intense exercise. **Technology and Health Care** 25(S1):115-123.

Kang OD, Ryu YC, Yun YM, Kang MS (2012) Effects of cooldown methods and durations on equine physiological traits following high-intensity exercise. **Livestock Science** 143:70-76.

Kang H, Zsoldos RR, Skinner JE, Gaughan JB, Mellor VA, Sole-Guitart A (2022) The use of percutaneous termal sensing microchips to measure body temperature in horses during and after exercise using three diferente cool-down methods. **Animals** 12(10):1267.

Kee P, Anderson N, Gargiulo GD, Velie BD (2023) A synopsis of wearable commercially available biometric-monitoring devices and their potential applications during gallop racing. **Equine Veterinary Education** 35(10):551-560.

Kim M, Zhang H, Kim T, Mori Y, Okura T, Tanaka K, Isobe T, Sakae T, Oh S (2023) Novel approach for glycemic management incorporating vibration stimulation of skeletal muscle in obesity. **International Journal of Environmental Research and Public Health** 20:4708.

Kitaoka Y, Endo Y, Mukai K, Aida H, Hiraga A, Takemasa T, Hatta H (2013) Effect of acute exercise on monocarboxylate transporters 1 and 4 in untrained and trained Thoroughbreds. **American Journal of Veterinary Research** 74(4):642-647.

Kitaoka Y, Hoshino D, Hatta Hideo (2012) Monocarboxylate transporter and lactate metabolism. **The Journal of Physical Fitness and Sports Medicine** 1(2):247-252.

Kitaoka Y, Masuda H, Mukai K, Hiraga A, Takemasa T, Hatta H (2011) Effect of training and detraining on monocarboxylate transporter (MCT) 1 and MCT4 in Thoroughbred horses. **Experimental Physiology** 96(3):348-355.

Lai Z, Lee S, Chen Y, Wang L (2021) Comparison of whole-body vibration training and quadriceps strength training on physical function and neuromuscular function of individuals with knee osteoarthritis: a randomised clinical trial. **Journal of Exercise Science & Fitness** 19(3):150-157.

Lam FMH, Liao LR, Kwok TCY, Pang MYC (2017) Effects of adding whole-body vibration to routine day activity program on physical funcitioning in elderly with mild or moderate dementia: a randomized controlled trial. **International Journal of Geriatric Psychiatry** 33(1):21-30.

Lamprecht ED, Williams CA (2012) Biomarkers of antioxidant status, inflammation, and cartilage metabolism are affected by acute intense exercise but not superoxide dismutase supplementation in horses. **Oxidative Medicine and Cellular Longevity** 2012:920932.

Liao LR, Ng GYF, Jones AYM, Huang MZ, Pang MYC (2016) Whole-body vibration intensities in chronic stroke: a randomized controlled trial. **Medicine & Science in Sports & Exercise** 48(7):1227-1238.

Lin CI, Huang WC, Chen WC, Kan NW, Wei L, Chiu YS, Huang CC (2015) Effect of whole-body vibration training on body composition, exercise performance and biochemical responses in middle-aged mice. **Metabolism** 64(9):1146-1156.

Lindinger MI, Waller AP (2022) Physicochemical analysis of mixed venous and arterial blood acid-base state in horses at core temperature during and after moderate-intensity exercise. **Animals** 12(15):1875.

Lisboa BRF, Silva JAR, Silva WC, Barbosa AVC, Silva LKX, Lourenço-Júnior JB (2023) Evaluation of thermoregulation of horses (*Equus caballus*) submitted to two methods of post-exercise cooling, in hot and humid climate conditions, in the Eastern Amazon. **Frontiers in Veterinary Science** 10:1150763.

Maher K, Spooner H, Hoffman R, Haffner J (2020) The influence of whole-body vibration on heart rate, stride length, and bone mineral content in the mature exercising horse. **Comparative Exercise Physiology** 16(5):403-408.

Marlin DJ, Scott CM, Roberts CA, Casas I, Holah G, Schroter RC (1998) Post exercise changes in compartmental body temperature accompanying intermittent cold water cooling in the hyperthermic horse. **Equine Veterinary Journal** 30(1):28-34.

McCann, M.R.; Veras, M.A.; Yeung, C.; Lalli, G.; Patel, P.; Leitch, K.M.; Séguin, C.A. (2017) Whole-body vibration of mice induces progressive degeneration of intervertebral discs associated with increased expression of Il-1β and multiple matrix degrading enzymes. **Osteoarthritis and Cartilage** 25(5):779-789.

McGee-Lawrence ME, Wenger KH, Misra S, Davis CL, Pollock NK, Elsalanty M, Ding K, Isales CM, Hamrick MW, Wosiski-Kuhn M, Arounleut P, Mattson MP, Cutler RG, Yu JC, Stranahan AM (2017) Whole-body vibration mimics the metabolic effects of exercise in male leptin receptor-deficient mice. **Endocrinology** 158(5):1160-1171.

Miranda ACT, Padilha FGF, Ramos MT, Dimache LAG, Godoi FN, Galina-Filho A, Almeida FQ (2016) Hemogasometry of eventing horses before and after intense exercise on a high speed treadmill. **Livestock Science** 186:85-87.

Musumeci G (2017) The use of vibration as physical exercise and therapy. **Journal of Functional Morphology and Kinesiology** 2(2):17.

Nowlin C, Nielsen B, Mills J, Robison C, Schott H, Peters D (2018) Acute and prolonged effects of vibrating plataform treatment on horses: a pilot study. **Journal of Equine Veterinary Science** 62:116-122.

Oh JH, Kwon TK, Hong CU, Lee YC (2018) Effect of short-term sling exercise with whole body vibration recovery method on heart rate, blood pressure and lactic acid level variability. **Journal of Mechanics in Medicine and Biology** 18(7):1840016.

Pessoa MF, Souza HCM, Silva APV, Clemente RS, Brandão DC, Andrade AD (2018) Acute whole body vibration decreases the glucose levels in elderly diabetic women. **Rehabilitation Research and** Practice 2018: 3820615.

Pollock RD, Woledge RC, Mills KR, Martin FC, Newham DJ (2010) Muscle activity and acceleration during whole body vibration: effect of frequency and amplitude. **Clinical Biomechanics** 25(8):840-846.

Rauch F, Sievanen H, Boonen S, Cardinale M, Degens H, Felsenberg D, Roth J, Schoenau E, Verschueren S, Rittweger J (2010) Reporting whole-body vibration intervention studies: recommendations of the International Society of Musculoskeletal and Neuronal Interactions. **Journal of Musculoskeletal and Neuronal Interactions** 10(3):193-198.

Read E, Huseman CJ, Tarazaga PA, Soroor AO, Zoller J (2023) Quantification of frequency, amplitude, and transmission from equine whole body vibration platform. **Journal of Equine Veterinary Science** 124:127.

Ritzmann R, Kramer A, Bernhardt S, Gollhofer A (2014) Whole body vibration training - improving balance control and muscle endurance. **Plos One** 9(2):e89905.

Seyedi R, Tayebi SM, Zhang D, Yiming Q (2023) The role of monocarboxylate transporter-1 and -4 in exercise and training: a mini-review article. **Science & Sports**.

Takahashi Y, Ohmura H, Mukai K, Shiose T, Takahashi T (2020) A comparison of five cooling methods in hot and humid environments in Thoroughbred horses. **Journal of Equine Veterinary Science** 91:103130.

Taylor LE, Kronfeld DS, Ferrante PL, Wilson JA, Tiegs W (1998) Blood-gas measurements adjusted for temperature at three sites during incremental exercise in the horse. **Journal of Applied Physiology** 85(3):1030-1036.

Theraplate (2024). **https://theraplate.com/** [Acessed January 22, 2024].

Tseng SY, Lai CL, Ko CP, Chang YK, Fan HC, Wang CH (2023) The effectiveness of whole-body vibration and heat therapy on the muscle strength, flexibility, and balance abilities of elderly groups. **International Journal of Environmental Research and Public Health** 20(2):1650.

Vengust M, Stämpfli H, Moraes AN, Texeiro-Neto F, Viel L, Heigenhauser G (2010) Effects of chronic acetazolamide administration on gas exchange and acid-base control in pulmonary circulation in exercising horses. **Equine Veterinary Journal** 2010 (Suppl. 38):40-50.

Waller A, Lindinger MI (2005) Physicochemical analysis of acid-base status during recovery from high-intensity exercise in Standardbred racehorses. **Equine and Comparative Exercise Physiology** 2(2):119-127.

Woort F, Dubois G, Didier M, Van Erck-Westergren E (2021) Validation of an equine fitness tracker: heart rate and heart rate variability. **Comparative Exercise Physiology** 17(2):189-198.

CAPÍTULO 3 - Termografia infravermelha e resposta inflamatória muscular de cavalos submetidos a exercício intenso seguida de Recuperação com vibração de corpo inteiro[1]

Júlia Ribeiro Garcia de Carvalho[1], Nathali Adrielli Agassi de Sales[1], Thayssa de Oliveira Littiere[1], Guilherme Barbosa da Costa[1], Ana Carolina Yamamoto Silva[1], Ivan Dario Martinez Rodriguez[1], Catarina Mariano de Castro[1], Larissa Santos dos Anjos[1], Clarissa Helena Santana[2], Gabriel Vieira Ramos[3], Guilherme de Camargo Ferraz[1]*

[1]Laboratório de Farmacologia e Fisiologia do Exercício Equino, Departamento de Morfologia e Fisiologia Animal, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", FCAV/UNESP, Jaboticabal, São Paulo, Brasil

[2]Setor de Patologia Veterinária, Departamento de Clínica e Cirurgia Veterinária, Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil

[3]Laboratório de Medicina Esportiva Equina, Departamento de Clínica e Cirurgia Veterinária, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", FCAV/UNESP, Jaboticabal, São Paulo, Brasil

*E-mail: guilherme.c.ferraz@unesp.br

RESUMO - As plataformas vibratórias (PV) são dispositivos capazes de gerar oscilações, sendo consideradas estímulo de exercício passivo, chamado de vibração de corpo inteiro (VCI). Diversos benefícios da VCI são descritos, como ativação neuromuscular, desenvolvimento do equilíbrio e da mobilidade funcional, assim como melhora do desempenho físico, entretanto, as informações sobre VCI são relativamente limitadas na espécie equina. Objetivou-se descrever os efeitos do exercício intenso, seguido pela recuperação com VCI, sobre a temperatura da superfície cutânea e a resposta inflamatória muscular de cavalos. Oito cavalos, sem raça definida, foram submetidos a teste de esforço incremental para determinação da velocidade relacionada ao limiar de lactato, que foi utilizada para prescrição da carga externa da sessão de exercício intenso (SEI). Os animais foram distribuídos em três grupos experimentais, em delineamento cross-over, sendo que todos os grupos realizaram a SEI (5 minutos (min) de aquecimento, 2 min a 110% VLL e 3 min a 130% VLL). O grupo controle (GC) realizou recuperação ativa, ao passo, na esteira. O grupo negativo (GN) foi utilizado como controle negativo, com a PV desligada. O grupo vibração de corpo inteiro (VCI) realizou o período de recuperação na PV, num protocolo que consistiu em cinco etapas de 2 min, com frequências decrescentes de 76, 66, 55, 46 e 32 Hz. O período de recuperação durou 10 minutos para todos os grupos. Foram feitas análises de termografia infravermelha (TIV), atividade sérica da enzima creatina quinase (CK) e análise histopatológica muscular por meio da coloração hematoxilina-eosina (HE). Aplicou-se análise de variância múltipla de

[1]Este capítulo corresponde a artigo científico escrito nas normas do periódico *Research in Veterinary Science*

efeitos mistos para medidas repetidas no tempo seguido pelo teste T pareado com correção de Bonferroni (*P*<0,05). Para as análises de HE foi realizada análise de variância de uma via para dados não paramétricos por meio do teste de Kruskal-Wallis, seguido pelo teste de Dunnett. Na TIV foi possível observar aumento de temperatura imediatamente depois do tratamento em todas as áreas avaliadas, para todos os grupos experimentais, sem diferença entre os grupos. A CK apresentou elevação em todos os grupos, 6, 12 e 24h após as intervenções. Na HE observou-se aumento da degeneração e necrose muscular 3 e 6h após as intervenções para todos os grupos, e aumento do infiltrado inflamatório 3h após para o grupo VCI. Conclui-se que o protocolo de VCI utilizado aqui não promoveu alterações na temperatura da superfície cutânea ou na resposta inflamatória muscular causada pelo exercício intenso.

Palavras-chave: desaquecimento, histologia muscular, resposta inflamatória muscular, termografia infravermelha, vibração de corpo inteiro

1. INTRODUÇÃO

A vibração de corpo inteiro (VCI) foi inicialmente desenvolvida pelo cientista russo Vladimir Nazarov, para amenizar os efeitos da falta de gravidade em astronautas, objetivando estimular aumento da densidade mineral óssea (Vasile et al., 2013). É classificada, por alguns autores, como exercício resistido, com carga externa leve, pois submete o organismo às oscilações sinusoidais mecânicas. Este tipo de exercício tem potencial para promover ajustes fisiológicos benéficos ao corpo (Huang et al., 2014; Halsberghe et al., 2017).

Na literatura relacionada a equídeos, as informações sobre VCI são relativamente limitadas, sendo uma área com achados científicos incipientes. Não obstante, plataformas vibratórias já foram estudadas e relacionadas com efeitos positivos como o aceleramento no crescimento do casco (Halsberghe, 2018), aumento da força e do tamanho dos músculos (Halsberghe et al., 2017; Greene, 2020), bem como manutenção do teor mineral ósseo em cavalos estabulados (Hulak et al., 2015; Greene, 2020). Outros estudos relataram redução das concentrações de cortisol (Carstanjen et al., 2013; Sugg, 2018), da frequência cardíaca (FC) (Sugg, 2018; Maher et al., 2020), e da atividade sérica da creatina quinase (CK) (Carstanjen et al., 2013) imediatamente após o uso da PV.

Também, pesquisas científicas não observaram influência da VCI em biomarcadores musculares, tais como aspartato aminotransferase (AST) e lactato (Hyatt, 2017), no conteúdo mineral ósseo (Berger, 2018; Maher et al., 2020), no comprimento da passada (Sugg, 2018; Nowlin et al., 2018; Maher et al., 2020), no andamento (Nowlin et al., 2018), e na FC (Nowlin et al., 2018). Estudo demonstrou que o uso da VCI como forma de aquecimento não foi efetivo para a ativação muscular (Buchner et al., 2017). Também, estudos mostraram aumento da atividade sérica da CK (Hyatt, 2017) e agravamento significativo da claudicação de membros torácicos em cavalos com claudicação crônica submetidos a VCI (Halsberghe, 2017).

Num único estudo que utilizou a termografia infravermelha para avaliação da VCI em cavalos, não foi observado nenhum aumento na temperatura superficial cutânea nos membros torácicos, pélvicos e dorso após sessão aguda (Buchner et al., 2017). A termografia é amplamente utilizada na medicina esportiva equina, pois permite avaliar indiretamente lesões musculoesqueléticas associadas a rotina intensa de exercícios em cavalos de alto desempenho. Esta técnica monitora efeitos da prática esportiva na produção de calor corporal, auxiliando também na avaliação da eficácia de um regime de treino, com informações úteis para competições (Soroko et al., 2016; Redaelli et al., 2019; Silva et al., 2022).

Durante o exercício, ocorre aumento de temperatura corporal devido ao calor proveniente do exercício de grupos musculares, sendo que esse é dissipado para o ambiente circundante através de diferentes tecidos e por meio de transporte pela corrente sanguínea em direção à superfície da pele, para que haja troca de calor com o ambiente. Os animais utilizam a vasodilatação periférica para manter a homeotermia, causando aumento da temperatura superficial (Verdegaal et al., 2024). Esta resposta fisiológica pode ser avaliada por meio da utilização da termografia infravermelha.

Outra forma de avaliação da resposta ao exercício é o uso de biomarcadores musculares (Stucchi et al., 2019). Evidências científicas revelam que, dependendo da carga, o exercício causa microlesões por meio de ruptura miofibrilar ultra estrutural, associada a efluxo sistêmico de enzimas musculares tal como a CK. Esta resposta é primordial para adaptação do organismo ao esforço físico (Behringer et al., 2014; Chen et al., 2019). Estas microlesões musculares produzem resposta inflamatória

clássica (Chazaud, 2016; Cheng et al., 2020), que ocorre também nos cavalos (Liburt et al., 2010; Lee et al., 2019).

A avaliação da inflamação induzida pelo exercício, por meio de técnicas clássica de histologia, tal como a hematoxilina e eosina (HE) pode ser utilizada em cavalos. A inflamação induzida pelo exercício é essencial na restauração da homeostase e na melhora a capacidade física. Durante o exercício, as células residentes nos músculos e o endotélio vascular liberam mediadores inflamatórios que geram sinais quimiotáticos, que estimulam o fluxo de leucócitos para o tecido muscular. A presença destas células está associada à perda transitória da arquitetura muscular após o exercício (Deyhle et al., 2016; Barcellos et al., 2021). Estudo em homens que realizaram seis semanas de treinamento de VCI de alta frequência numa plataforma vibratória relatou que a histologia de rotina, com técnica de HE, revelou resultados de biópsia muscular completamente normais em todas as amostras analisadas (Schoser, 2015).

Isto posto, fica evidente a importância e necessidade de realização de pesquisas com o uso da VCI em cavalos, visando melhorar o entendimento das respostas fisiológicas ou clínicas envolvidas durante e após o uso da VCI. Dessa forma, objetivou-se descrever os efeitos do exercício intenso, seguido pela recuperação com VCI, sobre a temperatura da superfície cutânea e a resposta inflamatória muscular de cavalos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado durante os meses de outubro e novembro, nas coordenadas GPS -21.245408 latitude e -48.299415 longitude. O projeto foi aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais, da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias UNESP- Câmpus de Jaboticabal (protocolo nº 08373/19).

2.1 Animais

Utilizaram-se oito cavalos adultos, sem raça definida, um macho submetido à contracepção cirúrgica e sete fêmeas, com massa corpórea médio de 406 kg ± 33 e

idade entre 7 e 19 anos, provenientes do rebanho didático do Laboratório de Farmacologia e Fisiologia do Exercício Equino (LAFEQ), do Departamento de Morfologia e Fisiologia Animal, da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV/Unesp) – Câmpus de Jaboticabal.

Os animais foram incluídos no estudo após período prévio de, aproximadamente, dois meses de adaptação às condições experimentais, como manejo e alimentação, bem como à esteira de alto desempenho (Galloper G 5500, Sahinco, Palmital, SP) e à plataforma vibratória (PV) (TheraPlate®, Weatherford, TX, USA).

Os animais foram mantidos em piquete e alimentados com feno de Tifton 85, além de 0,2% da massa corpórea em ração comercial, uma vez ao dia. Sal mineralizado e água foram fornecidos à vontade. Além disso, foram casqueados regularmente, e, durante o período experimental, não fizeram uso de ferraduras. Antes do início das etapas experimentais, os cavalos foram submetidos a exames clínico e hematológico para determinação da higidez (**APÊNDICE A**). Além disso, os cavalos foram previamente vacinados contra raiva, toxoide tetânico, encefalomielite equina leste e oeste e influenza equina tipos A1 e A2. O controle de parasitas com o uso de anti-helmínticos é realizado a cada quatro meses no rebanho, sendo que uma desverminação foi realizada 15 dias antes do início da etapa experimental.

2.2 Determinação da velocidade correspondente ao limiar de lactato (VLL) utilizando teste de esforço incremental (TEI)

O TEI foi aplicado a todos os cavalos para determinação individualizada da velocidade relacionada ao limiar de lactato (VLL) e prescrição da carga externa de sessão de exercício intenso (SEI). O protocolo do TEI foi adaptado de Lamprecht e Williams (2012) e realizado em esteira rolante de alto desempenho (Galloper® 5500, Sahinco, Palmital - Brasil). Empregou-se exercício de aquecimento, que consistiu em 3 minutos (min) à velocidade de 1,5 m/s e 0% de inclinação, seguidos por 2 min à velocidade de 2,5 m/s e inclinação de 0%. Posterior ao processo de aquecimento, foram iniciadas as etapas incrementais, que tiveram duração de 2 min com velocidades de 4, 5, 6, 7, 8 e 9 m/s. Cada etapa incremental foi intercalada por um

período de recuperação ativa com duração de 2 min a 1,5 m/s. Em toda a fase incremental foi mantida a inclinação de 5%. Objetivando a segurança dos cavalos, o TEI foi finalizado quando os animais atingiram frequência cardíaca de 200 bpm, ou ao final da etapa de velocidade 9 m/s. Ao final do TEI, os cavalos realizaram desaquecimento ao passo, em velocidade confortável para cada indivíduo, com inclinação a 0% (**Tabela 1**).

Tabela 1. Protocolo do teste de esforço incremental (TEI) para determinação da velocidade correspondente ao limiar de lactato (VLL) em cavalos.

Etapas	Tempo (min)	Velocidade (m/s)	Inclinação (%)
Aquecimento 1	3	1,5	0
Aquecimento 2	2	2,5	5
Etapa 1	2	4	5
Recuperação 1	2	1,5	5
Etapa 2	2	5	5
Recuperação 2	2	1,5	5
Etapa 3	2	6	5
Recuperação 3	2	1,5	5
Etapa 4	2	7	5
Recuperação 4	2	1,5	5
Etapa 5	2	8	5
Recuperação 5	2	1,5	5
Etapa 6	2	9	5
Desaquecimento	5	Individual*	0

*Velocidade variou de 1,2 a 1,6 m/s.

Para determinação das velocidades correspondentes ao limiar de lactato foram utilizados dois métodos complementares, visual (VLL_V) e bi-segmentado (VLL_{BI}). A partir das lactatemias quantificadas durante o TEI, obteve-se o ponto de inflexão da curva lactato-velocidade, definido como a ocorrência de elevação não linear da lactatemia de cada cavalo (Ferraz et al., 2022). Quatro analisadores estudiosos em fisiologia do exercício determinaram esse ponto. Ato contínuo, eles o relacionaram com a velocidade correspondente (eixo x), estabelecendo assim a velocidade correspondente ao limiar visual de lactato (VLL_V). Este método foi ajustado pela aplicação de regressão linear bissegmentada (VLL_{BI}). Duas linhas de ajuste obtidas da regressão de produtos mínimos foram aplicadas, considerando a VLL_V estabelecida anteriormente. Em seguida, igualaram-se os valores das duas equações

relacionadas aos valores de y para obter a velocidade (x) (Ferraz et al., 2022). Para garantir que a carga externa da SEI provocaria acidose metabólica, utilizou-se a maior velocidade obtida entre VLL_V e VLL_{BI} para cada indivíduo, sendo que os valores de VLL_V e VLL_{BI} para cada animal estão apresentados na **Tabela 2**.

Tabela 2. Velocidades correspondentes ao limiar de lactato determinadas pelo método visual (VLL_V) e pelo método bi-segmentado (VLL_{BI}) de cada cavalo submetido ao TEI.

Animal	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
VLL_V (m/s)	4,9	**6,8**	**5,2**	7,0	**5,4**	7,0	6,8	**5,9**
VLL_{BI} (m/s)	**5,0**	6,6	4,8	**7,1**	4,8	**7,1**	**7,0**	5,1

2.3 Sessão de exercício intenso (SEI)

Todos os animais realizaram SEI com carga externa acima da VLL. Inicialmente, os animais foram submetidos a um período de aquecimento de 1 min à velocidade de 1,5 m/s e 0% de inclinação, seguidos por 2 min à velocidade 3,5 m/s e inclinação de 5%, e 2 min na VLL e inclinação de 5%. A SEI foi finalizada, no galope, com 2 min a 110% do VLL e uma etapa de 3min a 130% do VLL, ambas com inclinação de 5%. Finalizado a SEI iniciou-se a etapa de recuperação para estudo das intervenções propostas.

2.4 Grupos experimentais

Os cavalos foram distribuídos em três grupos experimentais, conforme o tipo de recuperação após a SEI, sendo que todas as intervenções tiveram duração de 10 min. O grupo controle (GC) realizou o período de recuperação ativa na esteira, ao passo, em velocidade confortável para cada animal (entre 1,2 e 1,6 m/s). Os animais que formaram o grupo negativo (GN) permaneceram em cima da PV desligada. O grupo vibração de corpo inteiro (VCI) realizou uma sessão de VCI durante o período de recuperação. Os animais pertencentes aos grupos GN e VCI foram submetidos ao processo de recuperação cerca de 5 min após o final da SEI, devido ao tempo necessário para movimentação do animal da esteira à PV. Para o grupo GC, os animais esperaram 5 min sob a esteira, até iniciar o período de recuperação ativa.

2.5 Sessão de vibração de corpo inteiro (VCI)

O grupo VCI foi submetido a sessão de VCI após a SEI, utilizando a PV *Theraplate*® (Original Equine Unit Model K21, Theraplate, Weatherford, TX, USA), com unidade móvel de duas peças e quatro zonas de tratamento independentes (uma para cada membro). Essa PV usa “tecnologia proprietária” conhecida como estimulação por ondas de vórtice, que preconiza utilizar força centrífuga e movimento interno oscilante para fornecer terapia de impacto zero, podendo atingir frequências de até 76 Hz.

Os cavalos foram mantidos em posição quadrupedal sobre a PV. O protocolo de recuperação na PV, por meio da aplicação de cargas externas decrescentes, foi estabelecido de acordo com o fabricante (TheraPlate, TPR, LLC) para “desaquecimento” de cavalos (“*post-performance/race/show - warm down*”), sendo também empregado, de maneira subjetiva, por alguns treinadores, proprietários e médicos veterinários. O protocolo teve duração de 10 min, sendo 2 min em cada carga correspondente a 100, 80, 60, 40 e 20% da capacidade máxima do motor do equipamento, que representam 76, 66, 55, 46 e 32 Hz.

2.6 Frequência cardíaca e lactato

Objetivando verificar um possível incremento de aptidão aeróbia ao longo do experimento, checou-se as variáveis frequência cardíaca e lactato plasmático, logo após o fim da SEI (DS).

A FC foi obtida por meio da utilização de frequencímetro Polar Equine Heart Rate Monitor for Trotters (Receptor Polar M430, Polar Electro, Kempele, Finlândia) acoplado com transmissor e cinta específica para espécie equina (Polar H-10 - Equine Belt for Troter, Polar Electro, Kempele, Finlândia).

Para determinação da concentração plasmática de lactato foram realizadas coletas sanguíneas por meio de cateterização da veia jugular em tubos contendo fluoreto de sódio. As amostras foram centrifugadas, e o plasma separado e imediatamente analisado. As análises foram feitas por meio do método eletroenzimático com bioanalisador automático (YSI 2300 Stat Plus®, Ohio - USA).

2.7 Temperatura termográfica

Foram feitas imagens do corpo dos animais por meio de câmera termográfica infravermelha (SC660; FLIR, Wilsonville, OR, USA) ajustado para leituras numa faixa de -20ºC a 120ºC, emissividade de 0.98, faixa de leitura de 10ºC, precisão de 0.1ºC, e resolução de 640 x 480 pixels, posicionada perpendicularmente ao local de avaliação. Os animais foram conduzidos para ambiente fechado, arejado, livre de correntes de ar e de exposição direta ao sol. O local de avaliação foi limpo com gaze seca, 30 min antes da realização das imagens, sendo que a área não foi tocada após a limpeza e os animais foram mantidos à temperatura entre 19 e 23°C. Tais procedimentos foram realizados para permitir a aclimatação do animal a temperatura do ambiente. A temperatura e umidade do local foram controladas para padronização das medições térmicas. Os animais não foram sedados durante a realização das avaliações. Importante ressaltar que a área cutânea de avaliação foi submetida a tricotomia, pelo menos, 24 h antes da realização dos exames. As análises termográficas foram realizadas nos momentos: 0 e ao final do tratamento (DT). Foram feitas imagens da face lateral do pescoço na região pré-escapular esquerda (**Figura 1A**), da região do quadríceps femoral do membro pélvico esquerdo (**Figura 1B**), da região cárpica de ambos os membros torácicos (MTs) (**Figura 1C**), e da visão lateral dos tendões flexores do MT esquerdo (**Figura 1D**) e MT direito (**Figura 1E**). Todas as imagens foram realizadas pelo mesmo avaliador. O software FLIR Tools (FLIR Systems Inc, Wilsonville, OR, EUA) foi utilizado para análise das imagens. A TT máxima da área delimitada foi calculada pelo software.

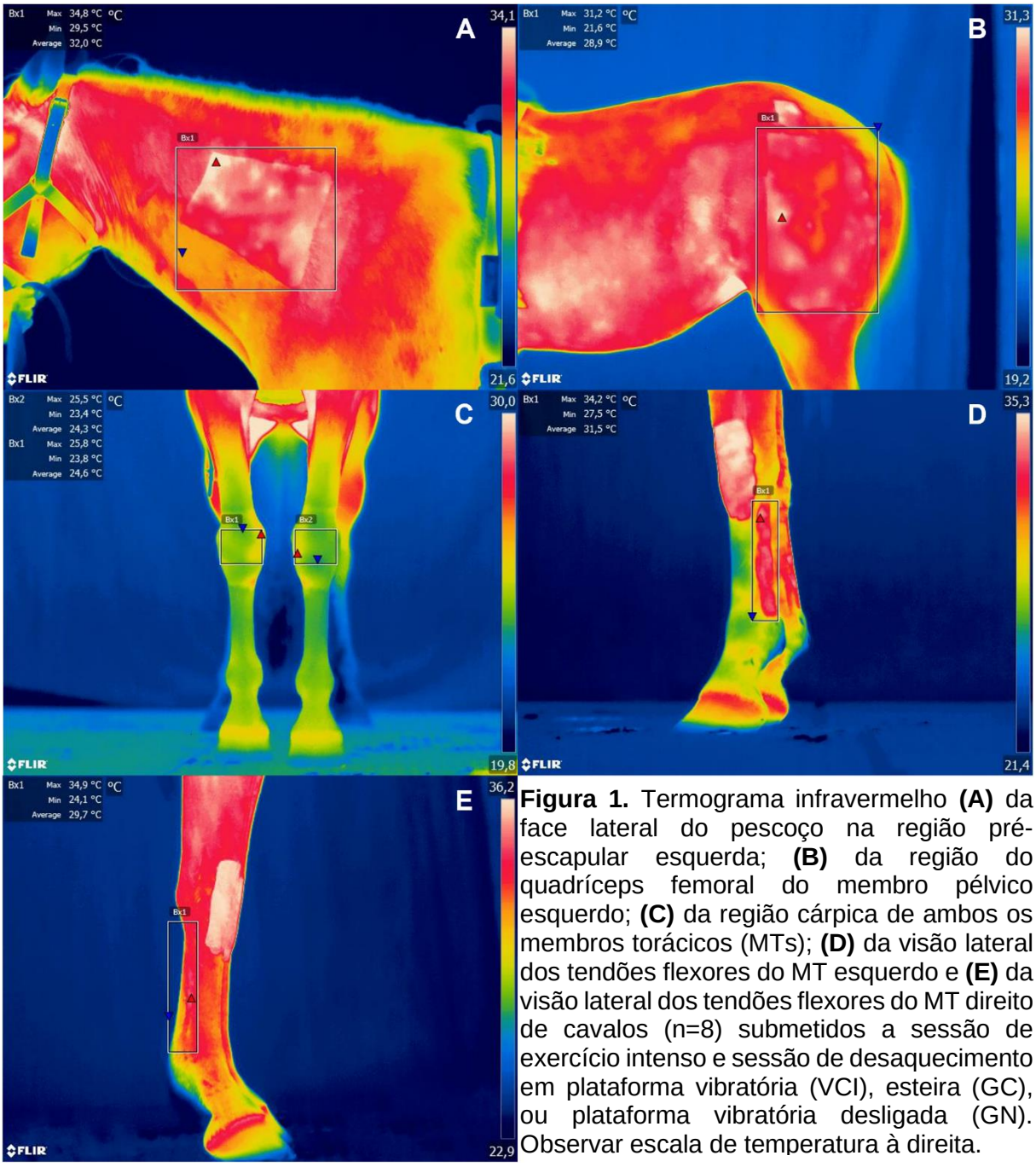

Figura 1. Termograma infravermelho **(A)** da face lateral do pescoço na região pré-escapular esquerda; **(B)** da região do quadríceps femoral do membro pélvico esquerdo; **(C)** da região cárpica de ambos os membros torácicos (MTs); **(D)** da visão lateral dos tendões flexores do MT esquerdo e **(E)** da visão lateral dos tendões flexores do MT direito de cavalos (n=8) submetidos a sessão de exercício intenso e sessão de desaquecimento em plataforma vibratória (VCI), esteira (GC), ou plataforma vibratória desligada (GN). Observar escala de temperatura à direita.

2.8 Atividade sérica da enzima creatina quinase

Para determinação da atividade sérica da enzima creatina quinase (CK) foram realizadas coletas sanguíneas, por meio de cateterização da veia jugular nos seguintes momentos: 0, 1, 3, 6, 12 e 24 horas após o final do período de recuperação. As amostras foram coletadas em tubos para coleta de sangue à vácuo, com ativador

de coágulo. As amostras foram centrifugadas, e o soro separado e congelado a -80ºC até o momento da análise. As análises foram realizadas por meio de processo cinético em analisador semi-automático, utilizando-se kits comerciais (CK-NAC Liquiform – Labtest).

2.9 Análise histopatológica

Os animais foram submetidos à biópsia muscular nos momentos: antes (em torno de 18 h antes da SEI), DT, 3 e 6 horas após o tratamento. Os animais foram contidos em posição quadrupedal em tronco específico. O ponto de inserção da agulha foi determinado por meio de uma linha imaginária entre a tuberosidade coxal e a inserção da cauda. Foi realizada tricotomia da área de aproximadamente 64 cm^2, na região externa do músculo glúteo médio. Realizou-se antissepsia do local, utilizando-se gaze estéril embebida em solução degermante de gliconato de clorexidina e álcool 70%. Em seguida foi realizado bloqueio anestésico local com infiltração subcutânea de 3 ml de cloridrato de lidocaína a 2% sem vasoconstritor. Após 5 min foi realizada incisão da pele, tecido subcutâneo e fáscia glútea no local de inserção da agulha, utilizando-se lâmina de bisturi estéril descartável nº24. Ato contínuo, a agulha estéril de *Bergström* foi introduzida na incisão previamente realizada até a profundidade de 60 mm em ângulo de 90º para obtenção dos fragmentos musculares. O fragmento foi colocado em papel alumínio por 2 min antes de ser colocado em formalina 10% tamponada.

O tecido muscular coletado foi fixado imerso em formalina 10% tamponada por 24 h. Para preparação das lâminas o tecido foi desidratado em série crescente de etanol, purificado em xilol e embebido em parafina. Secções de 3 µm de espessura foram cortadas em micrótomo e montadas em lâminas de vidro, para serem coradas com hematoxilina e eosina. As lâminas foram avaliadas em microscópio óptico de luz. Para avaliação das lâminas, as identificações foram removidas e as análises foram feitas de forma aleatória.

As lesões histopatológicas foram classificadas segundo escore pré-definido considerando o tipo de lesão e a intensidade de cada lesão. Ao final, foi obtido um escore total, resultado da soma dos escores de degeneração e necrose muscular,

infiltrado inflamatório e regeneração muscular. O escore de lesões utilizado está descrito a seguir.

2.9.1 Degeneração e necrose muscular

Miócitos com degeneração hialina ou flocuolar, caracterizadas por perda das estriações, sarcolema homogêneo eosinofílico (hialina) ou fragmentado e eosinofílico (flocuolar). A intensidade de degeneração e necrose muscular foi classificada em:

- Ausente (0): ausência de degeneração e necrose muscular.
- Discreta (1): alguns miócitos multifocais degenerados (**Figura 2A**).
- Moderada (2): áreas multifocais ou multifocais a coalescentes de miócitos degenerados (mais extensas que a anterior) e áreas multifocais discretas de necrose ou perda de fibras, fibras com irregularidade de forma e tamanho multifocal moderada (**Figura 2B**).
- Acentuada (3): extensas áreas multifocais ou multifocais a coalescentes de miócitos degenerados, com áreas multifocais moderadas a acentuadas de necrose ou perda de miócitos, grande quantidade de fibras com irregularidade de forma e tamanho (**Figura 2C**).
- Severa (4): extensas áreas multifocais ou multifocais a coalescentes de miócitos degenerados e extensas áreas de necrose ou perda de miócitos (predominando necrose), fibras com perda da definição das bordas (**Figura 2D**).

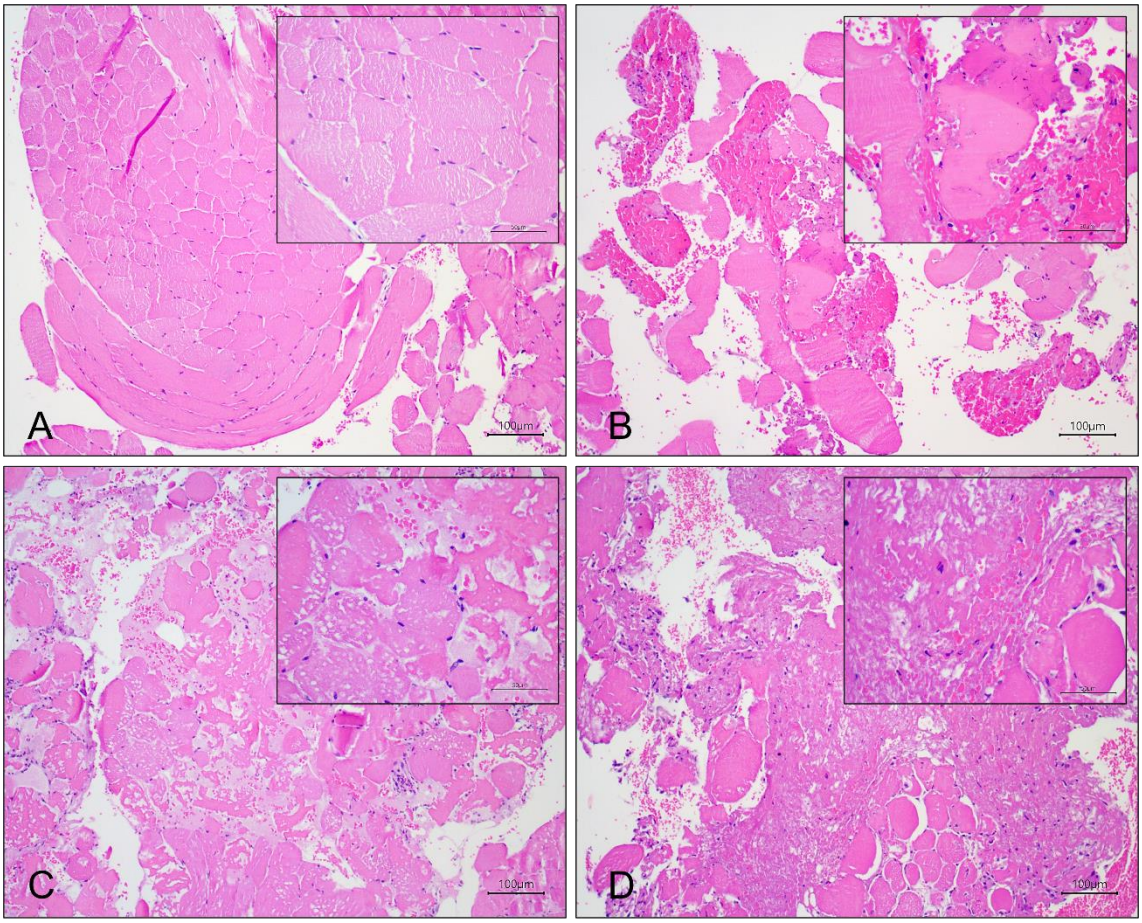

Figura 2. Imagens representativas das lesões de degeneração e necrose muscular. (**A**) Degeneração discreta (1) com alguns miócitos com perda da estriação e início de fragmentação do sarcolema. (**B**) Degeneração moderada (2) com miócitos com perda da estriação e alguns miócitos com perda da estrutura, bordos irregulares, caracterizando necrose. (**C**) Degeneração acentuada (3) com extensas áreas de degeneração e necrose de miócitos, com perda de alguns miócitos. (**D**) Degeneração severa (4) com extensas áreas de perda de miócitos. Hematoxilina e eosina, barras de escala = 100 µm e 50 µm (insets).

2.9.2 Infiltrado inflamatório

Infiltrado inflamatório histiocitário e neutrofílico ao redor dos miócitos ou no sarcolema degenerado. A intensidade de inflamação foi classificada em:

- Ausente (0): ausência de infiltrado inflamatório

- Discreta (1): áreas multifocais com mínima quantidade de histiócitos e/ou neutrófilos (**Figura 3A**).

- Moderada (2): áreas multifocais discretas com histiócitos e/ou neutrófilos fagocitando/lise os restos de sarcolema (individualizadas) (**Figura 3B**).

- Acentuada (3): áreas multifocais ou multifocais a coalescentes com moderada quantidade de histiócitos e/ou neutrófilos fagocitando/lise o sarcolema degenerado (mais extensa que a anterior) (**Figura 3C**).
- Severa (4): extensas áreas multifocais ou multifocais a coalescentes com histiócitos e/ou neutrófilos fagocitando/lise restos de miócitos degenerados (**Figura 3D**).

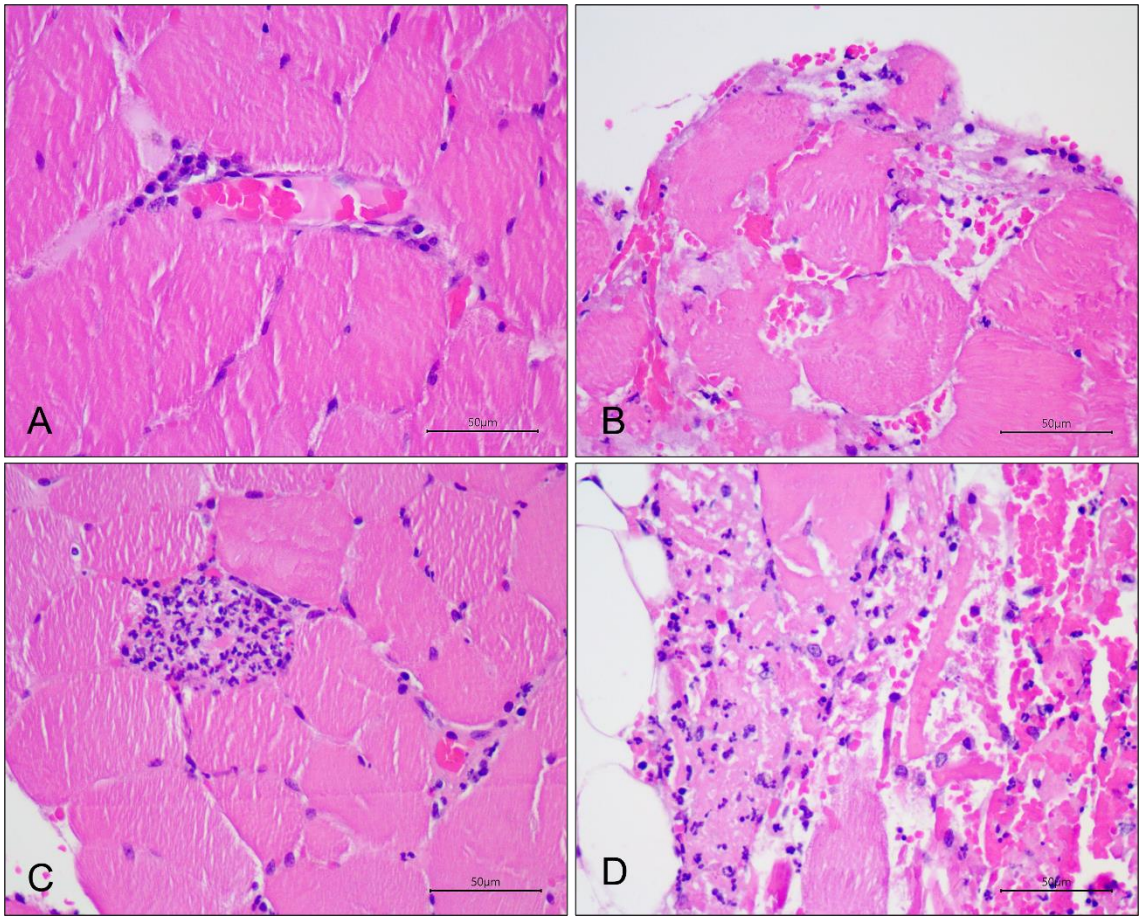

Figura 3. Imagens representativas das lesões de inflamação no tecido muscular. (**A**) Inflamação mínima (1) com alguns macrófagos perivasculares e ausência de fagocitose. (**B**) Inflamação discreta (2) com alguns neutrófilos associados a um miócito em degeneração. (**C**) Inflamação moderada (3) com neutrófilos e histiócitos dentro de um miócito degenerado, com lise e fagocitose do sarcolema. (**D**) Inflamação acentuada (4) com extensa área com macrófagos e neutrófilos associados a miócitos em degeneração, com lise e fagocitose do sarcolema. Hematoxilina e eosina, barras de escala = 50µm.

2.9.3 Regeneração muscular

Hiperplasia de células satélites, formação de miotúbulos (miócitos regenerados) e fibroplasia/fibrose associadas (**Figura 4**). A intensidade de regeneração muscular foi classificada em:

- Ausente (0): ausência de regeneração muscular
- Discreta (1): escassas fibras regenerando.
- Moderada (2): áreas multifocais com moderada quantidade de fibras regenerando e/ou fibroplasia moderada com algumas células multinucleadas.
- Acentuada (3): grande quantidade de fibras regenerando e/ou intensa fibroplasia com inúmeras células multinucleadas.
- Severa (4): intensa quantidade de fibras em regeneração e/ou intensa fibroplasia com inúmeras células multinucleadas. Predominando essa característica no fragmento de tecido muscular.

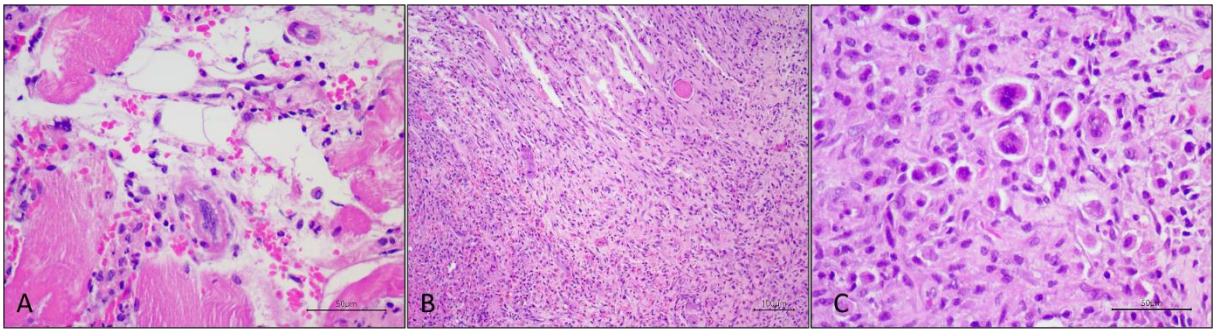

Figura 4. Imagens representativas de regeneração do tecido muscular. (**A**) Um único miócito multinucleado, caracterizando um processo de regeneração com deslocamento de células satélites hipertrofiadas ao centro do miócito lesionado. (**B**) Intensa hiperplasia e hipertrofia de células satélites associadas a fibroplasia caracterizando tentativa de regeneração e perda do tecido muscular. (**C**) Alguns miócitos binucleados e multinucleados em meio a uma área de hiperplasia e hipertrofia de células satélites.

2.10 Delineamento e análise estatística

O experimento seguiu o delineamento fatorial 3 x 4 (3 tratamentos e 4 momentos de avaliação), com três repetições pareadas, num esquema de parcelas subdivididas, em que cada parcela foi um tratamento (três tratamentos: GC, VCI e GN) e cada subparcela foi um momento de avaliação (0, DT, e 3 e 6 horas após). No bloco subsequente do experimento aplicou-se delineamento *cross-over*, ou seja, os cavalos

receberam mais de um tratamento, com período de *wash-out* de sete dias entre cada bloco. Este modelo supramencionado foi proposto considerando as avaliações de biopsia muscular.

A análise estatística foi realizada por meio do software RStudio para Windows (versão 2023.06.0+421 "Mountain Hydrangea"). Inicialmente, todos os dados foram avaliados quanto à normalidade dos resíduos por meio do teste de Shapiro-Wilk, associado à avaliação visual de gráficos QQ. A homoscedasticidade das variâncias foi avaliada pelo teste de Levene. Dados considerados heterocedásticos foram transformados por classificação. Para análise estatística foi utilizada análise de variância (ANOVA) de duas vias para medidas repetidas, com avaliação *post hoc* pelo teste T pareado com correção de Bonferroni. Para verificação de um possível condicionamento aeróbio entre os blocos, checou-se as variáveis frequência cardíaca e lactato plasmático em cada bloco, aplicando-se análise de variância de uma via, seguida pelo teste T pareado com correção de Bonferroni. Para os dados da avaliação histopatológica foi realizada análise de variância de uma via para dados não paramétricos por meio do teste de Kruskal-Wallis, seguido pelo teste de Dunnett, sendo fixado como controle todos os momentos, exceto o momento 6H. Para todas as análises empregadas, o nível de significância estabelecido foi de 5%.

3. RESULTADOS

3.1 Condicionamento aeróbio entre os blocos experimentais

Objetivando verificar possível incremento de aptidão aeróbia ao longo do experimento, checou-se as variáveis frequência cardíaca e lactato plasmático, logo após o fim da SEI, sendo que não houve diferença entre os blocos, indicando que não houve ganho de condicionamento físico ao longo do período experimental (**Figura 5 e Tabela Suplementar 1**). Cabe ressaltar que todos os animais utilizados no presente estudo já estavam previamente condicionados. Ademais, nenhum animal teve que

interromper o teste por indicação de fadiga, sendo que essa seria evidenciada pela incapacidade de acompanhar a velocidade da esteira ou por incoordenação motora

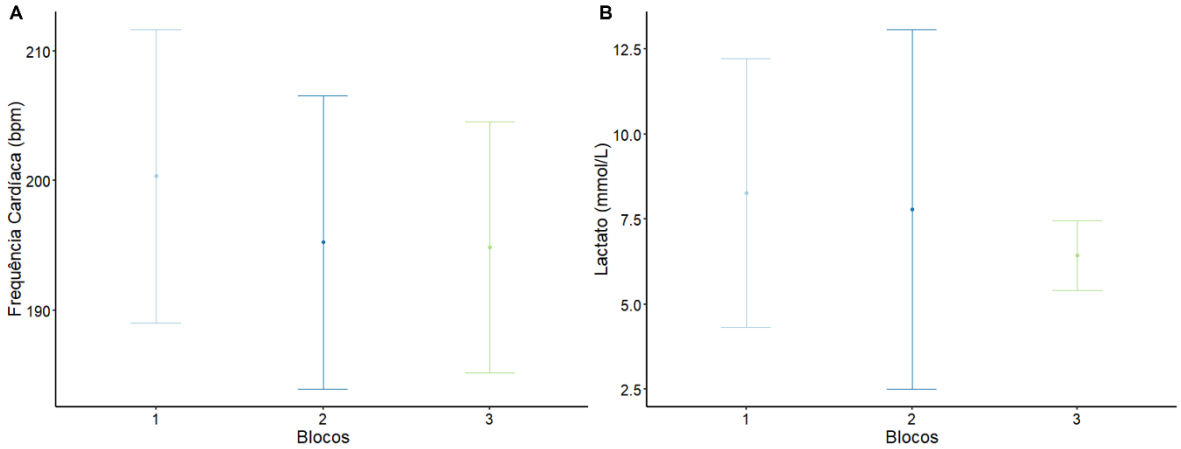

Figura 5. Representação gráfica das médias ± desvio padrão de (**A**) frequência cardíaca e (**B**) lactato plasmático de cavalos (n=8) após uma sessão de exercício intenso em cada bloco experimental com objetivo de verificar possível incremento de aptidão aeróbia ao longo do experimento. Os resultados demonstram que não houve aumento da capacidade aeróbia entre os blocos experimentais.

Tabela Suplementar 1. Médias ± desvio padrão da frequência cardíaca (FC) e lactato de cavalos submetidos a sessão de exercício intenso em cada bloco experimental.

Variáveis	**Blocos**		
	1	2	3
FC (bpm)	200±11,3	195±11,3	195±9,69
Lactato (mmol/L)	8,27±3,95	7,79±5,29	6,43±1,03

3.2 Termografia infravermelha

Não houve diferença entre os grupos em nenhum dos momentos avaliados. Em todas as áreas avaliadas houve aumento de temperatura no momento DT para todos os grupos (**Figura 6 e Tabela Suplementar 2**).

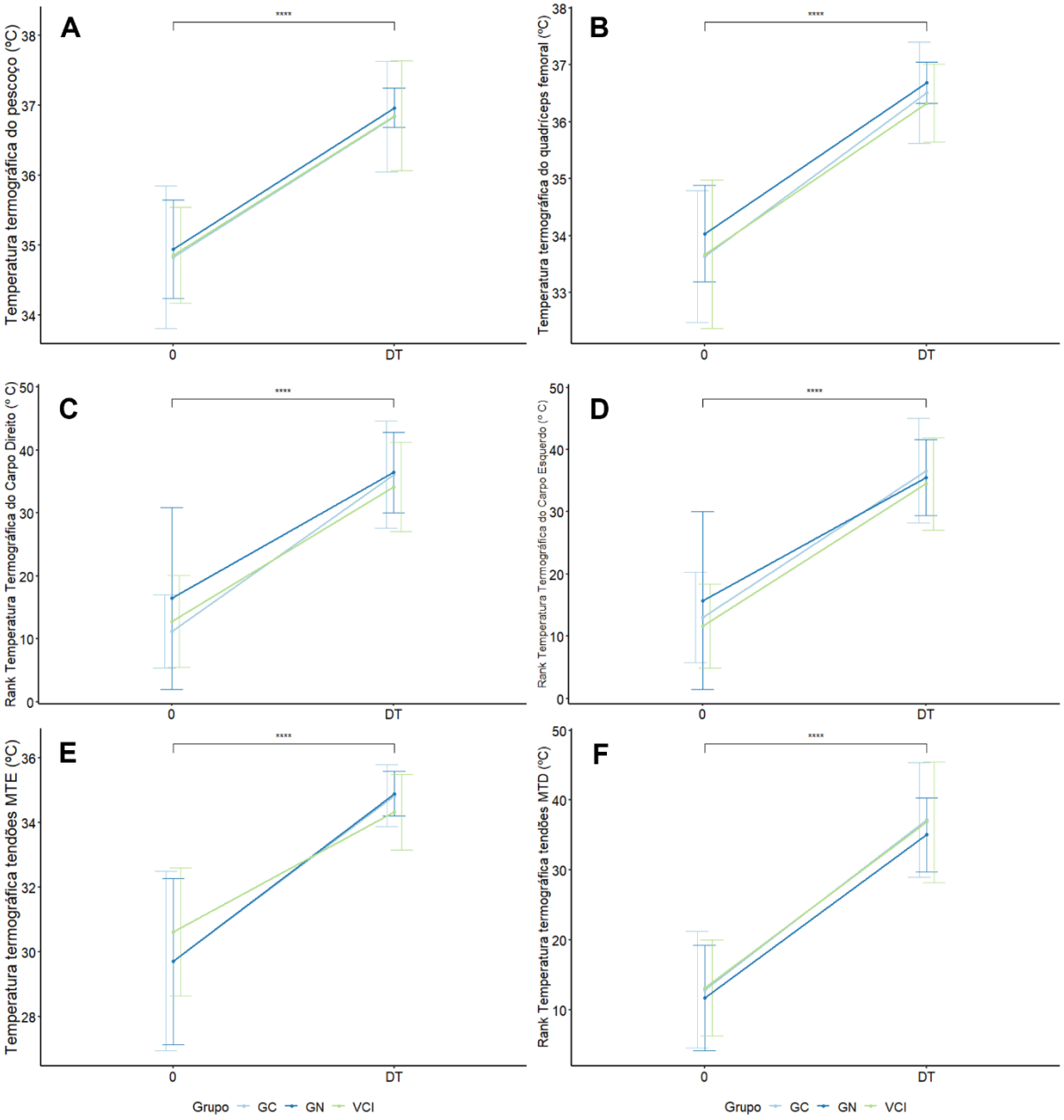

Figura 6. Representação gráfica das médias ± desvio padrão das temperaturas termográficas da (**A**) face lateral do pescoço na região pré-escapular esquerda, (**B**) região do quadríceps femoral do membro pélvico esquerdo, (**C**) região cárpica direita, (**D**) região cárpica esquerda, (**E**) visão lateral dos tendões flexores do membro torácico esquerdo e (**F**) visão lateral dos tendões flexores do membro torácico direito de cavalos (n=8) submetidos a sessão de exercício intenso e sessão de desaquecimento em plataforma vibratória (VCI), esteira (GC), ou plataforma vibratória desligada (GN). **** Indica diferença entre os momentos (p<0,0001).

Tabela Suplementar 2. Médias ± desvio padrão das temperaturas termográficas (ºC) da face lateral do pescoço na região pré-escapular esquerda, da região do quadríceps femoral do membro pélvico esquerdo, das regiões cárpicas direita e esquerda e da visão lateral dos tendões flexores do membro torácico esquerdo e direito de cavalos submetidos a sessão de exercício intenso e sessão de desaquecimento em plataforma vibratória (VCI), esteira (GC), ou plataforma vibratória desligada (GN).

Áreas avaliadas	GC		GN		VCI	
	0	DT	0	DT	0	DT
Pescoço	34,8±1,0[a]	36,8±0,8[b]	34,9±0,7[a]	37,0±0,3[b]	34,8±0,7[a]	36,8±0,8[b]
Quadríceps femoral	33,6±1,2[a]	36,5±0,9[b]	34,0±0,9[a]	36,7±0,4[b]	33,7±1,3[a]	36,3±0,7[b]
Carpo direito	28,1±2,2[a]	35,4±0,8[b]	28,4±3,5[a]	35,6±0,6[b]	28,8±3,1[a]	32,5±0,6[b]
Carpo esquerdo	28,2±2,6[a]	35,5±0,8[b]	27,8±3,2[a]	35,7±0,5[b]	28,0±3,0[a]	35,3±0,6[b]
Tendões flexores MTE	29,7±2,8[a]	34,8±1,0[b]	29,7±2,6[a]	34,9±0,7[b]	30,6±2,0[a]	34,3±1,2[b]
Tendões flexores MTD	30,2±2,4[a]	35,0±0,8[b]	29,9±2,5[a]	34,8±0,5[b]	30,3±2,0[a]	34,7±0,7[b]

Letras minúsculas diferentes indicam diferença entre os tempos para um determinado grupo.

3.3 Atividade sérica da enzima creatina quinase

Não houve diferença entre os grupos em nenhum momento avaliado. Na comparação intragrupo, a atividade sérica da CK apresentou elevação em todos os grupos, no momento 6H, 12H e 24H, em relação ao momento 0, e no momento 12H em relação ao momento 1H (**Figura 7 e Tabela Suplementar 3**). Embora alguns indivíduos tenham apresentado valores levemente acima da referência, sem importância clínica, a atividade sérica média da CK permaneceu dentro dos valores fisiológicos para a espécie equina (Smith, 2015).

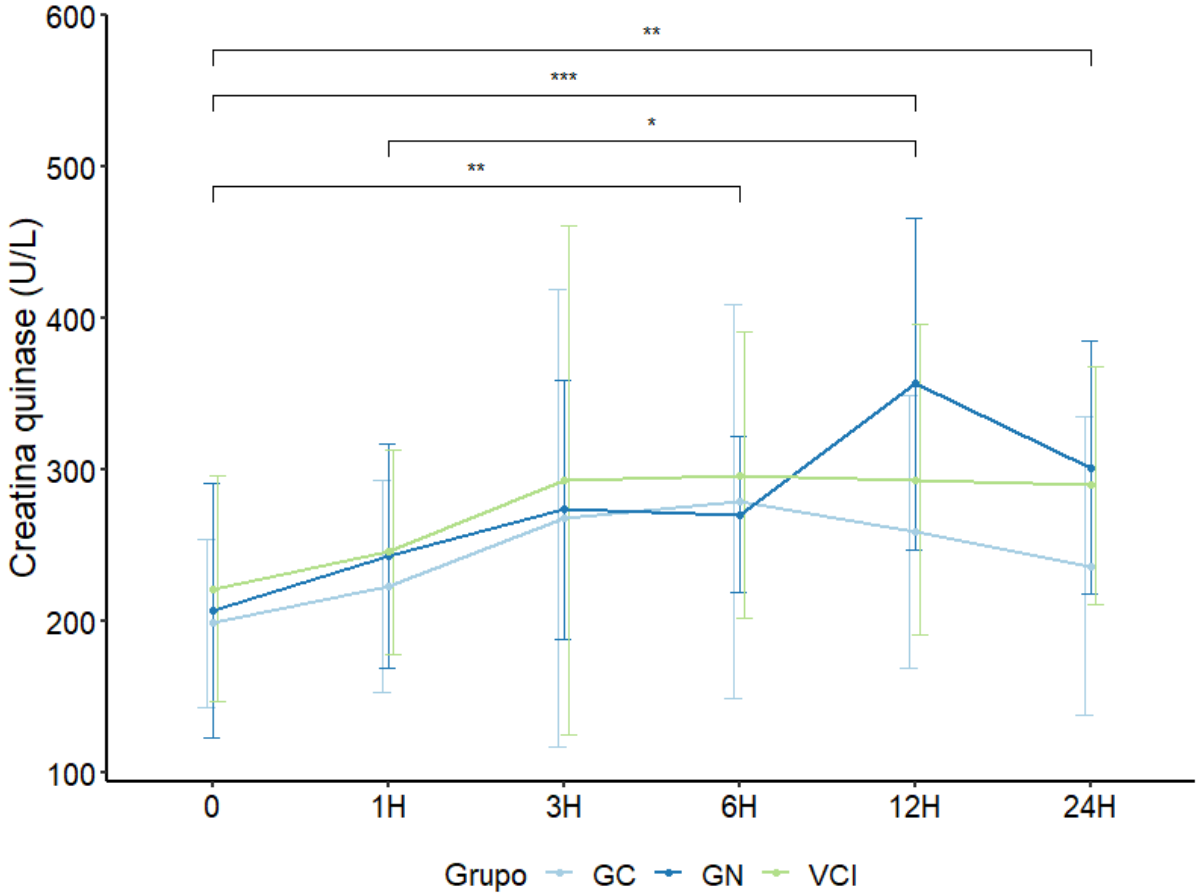

Figura 7. Representação gráfica das médias ± desvio padrão da atividade sérica da enzima creatina quinase de cavalos (n=8) submetidos a sessão de exercício intenso e sessão de desaquecimento em plataforma vibratória (VCI), esteira (GC), ou plataforma vibratória desligada (GN). *Indica diferença entre os momentos (p<0,05). **Indica diferença entre os momentos (p<0,01). *** Indica diferença entre os momentos (p<0,001).

Tabela Suplementar 3. Médias ± desvio padrão da atividade sérica da enzima creatina quinase (U/L) de cavalos submetidos a sessão de exercício intenso e sessão de desaquecimento em plataforma vibratória (VCI), esteira (GC), ou plataforma vibratória desligada (GN).

Grupos	**Momentos**					
	0	**1H**	**3H**	**6H**	**12h**	**24H**
GC	199±56^{a}	223±70^{ab}	268±151^{abc}	279±130^{bc}	259±90^{c}	236±99^{bc}
GN	207±84^{a}	243±74^{ab}	274±86^{abc}	270±52^{bc}	357±109^{c}	301±83^{bc}
VCI	221±74^{a}	246±68^{ab}	293±168^{abc}	296±94^{bc}	293±103^{c}	290±79^{bc}

Letras minúsculas diferentes indicam diferença entre os tempos para um determinado grupo.

3.4 Análise histopatológica

Não foi possível observar diferença entre os grupos para nenhuma das variáveis da análise histopatológica. Na avaliação intragrupo, houve aumento da degeneração e necrose muscular para todos os grupos entre os momentos 3 e 6h. Para o infiltrado inflamatório, foi possível observar diferença somente para o grupo VCI, que apresentou aumento três horas após a VCI. Para a variável regeneração muscular não houve diferença para nenhum dos grupos. No escore total, que consistiu na soma dos escores das três variáveis, observou-se diferença intragrupo para o grupo GN, que apresentou aumento 3 e 6h após o final do período de recuperação, e para o grupo VCI, que apresentou aumento apenas 3h após (**Tabela 3**).

Tabela 3. Mediana e amplitude (mínimo – máximo) das variáveis histopatológicas, de cavalos submetidos a sessão de exercício intenso que realizaram a sessão de desaquecimento em plataforma vibratória (VCI), esteira (GC), ou plataforma vibratória desligada (GN), antes, imediatamente após (DT), 3 e 6 h após o período de recuperação.

Grupos	Momentos	Degeneração e necrose muscular	Infiltrado inflamatório	Regeneração muscular	Escore total
GC	**0**	2 (0 – 4)^{ab}	2 (0 – 4)	0 (0 – 2)	4 (0 – 7)
	DT	2 (0 – 3)^{a}	1 (0 – 4)	0 (0 – 3)	3 (0 – 9)
	3H	3 (1 – 4)^{bc}	3 (0 – 4)	0 (0 – 2)	6 (1 – 10)
	6H	3 (3 – 4)^{c}	3 (0 – 4)	0 (0 – 0)	7 (3 – 8)
GN	**0**	0,5 (0 – 1)^{a}	0 (0 – 2)	0 (0 – 0)	1 (0 – 2)^{a}
	DT	1,5 (1 – 2)^{ab}	1 (0 – 2)	0 (0 – 0)	2,5 (1 – 4)^{ab}
	3H	2 (1 – 4)^{b}	3 (0 – 4)	0 (0 – 0)	5 (1 – 8)^{b}
	6H	3 (1 – 4)^{b}	2 (0 – 4)	0 (0 – 0)	5 (1 – 8)^{b}
VCI	**0**	0,5 (0 – 2)^{a}	0 (0 – 2)^{a}	0 (0 – 0)	1 (0 – 4)^{a}
	DT	1 (1 – 2)^{ab}	0 (0 – 2)^{a}	0 (0 – 0)	1,5 (1 – 4)^{a}
	3H	3 (3 – 3)^{c}	4 (4 – 4)^{b}	0 (0 – 1)	7 (7 – 8)^{b}
	6H	3 (1 – 3)^{bc}	3 (0 – 3)^{a}	0 (0 – 0)	6 (1 – 6)^{a}

Letras minúsculas diferentes indicam diferença entre os tempos para um determinado grupo.

4. DISCUSSÃO

O propósito deste estudo foi apresentar os efeitos do exercício intenso, seguido de diferentes protocolos de recuperação, com destaque para a VCI, sobre a temperatura da superfície cutânea e a resposta inflamatória muscular de cavalos. Até onde o nosso conhecimento atinge, esse é o primeiro estudo que investigou os efeitos da VCI como método para recuperação de cavalos submetidos a SEI. O principal achado desta pesquisa foi que a VCI não promoveu alterações na temperatura da superfície cutânea ou na resposta inflamatória muscular de cavalos após exercício intenso.

Como encontrado no presente estudo, estudos prévios mostram que a termografia infravermelha (TIV) foi capaz de detectar indiretamente o calor produzido pela contração muscular e o aumento do fluxo sanguíneo local para atender às demandas metabólicas dos tecidos durante o esforço físico no cavalo (Yarnell et al., 2014, Soroko et al., 2018; Soroko et al., 2019; Witkowska-Pilaszewicz et al., 2020; Janczarek et al., 2021; Masko et al., 2021; Soroko et al., 2022; Domino et al., 2022; Kruljc, 2023; Silva et al., 2023). A TIV é uma técnica de imagem não invasiva de detecção de radiação infravermelha emitida naturalmente pela superfície da pele, sendo capaz de identificar alterações na transferência de calor e do fluxo sanguíneo por meio da captação de mudanças na temperatura corporal superficial (Soroko; Howell, 2018; Domino et al., 2022). Durante o exercício físico, a produção metabólica de calor é suficiente para elevar a temperatura corporal em 3-5ºC (Hinchcliff; Geor, 2008), sendo que apenas 20 a 25% da energia utilizada pelos músculos é convertida em energia mecânica. Os três quartos restantes são dissipados como calor (Hyyppa; Poso, 2004).

No nosso estudo, não foi possível observar alterações na temperatura termográfica associadas à VCI. Isto indica que o protocolo de vibração testado não foi suficiente para suscitar alterações vasculares superficiais significativas nas regiões estudadas. Em humanos, a VCI pode induzir aumento da atividade simpática, por meio da vasodilatação muscular, com consequente aumento do fluxo sanguíneo e da temperatura da pele (Herrero et al., 2011; Ritzmann et al., 2014), seria esperado que observássemos maiores temperaturas cutâneas nos animais submetidos à VCI.

Entretanto, estudo realizado no homem encontrou diminuição na temperatura dos membros inferiores durante 15 minutos de exposição à VCI, o que foi atribuído à vasoconstrição (Sonza et al., 2015). Em cavalos submetidos a uma sessão de aquecimento de 10 min com VCI também não foi possível observar alterações na temperatura superficial da pele (Buchner et al., 2017). Da mesma forma, estudos em cães não observaram alterações significativas na temperatura termográfica da região dos músculos bíceps femoral e vasto lateral (Santos et al., 2019) e das regiões do músculo glúteo superficial e do músculo bíceps femoral de ambos os membros posteriores (Agostinho et al., 2023) associadas ao uso da VCI. Considerando a restrição dos dados sobre VCI, especialmente em cavalos, podemos inferir que a VCI não contribuiu com a perda de calor, tendo em vista a vasodilatação necessária, que, perifericamente, é controlada pelo tônus simpático.

Independente do grupo, os achados obtidos no presente estudo mostraram que houve elevação da atividade sérica de CK após as intervenções para recuperação. O aumento significativo da atividade da CK após exercício está de acordo com o relatado em outros estudos (Oliveira et al., 2014; Gundasheva, 2016; Stucchi et al., 2019). Nos cavalos, a CK é encontrada principalmente na musculatura esquelética, no miocárdio e no cérebro (Stucchi et al., 2019). Esta enzima é responsável pela quebra do fosfato de creatina em creatina e fosfato, permitindo que haja a fosforilação do ADP, liberando, desta forma, energia para a contração muscular (Barclay, 2017). Sabe-se que o exercício induz elevação significativa de biomarcadores musculares esqueléticos como aspartato aminotransferase, alanina aminotransferase, creatina quinase, lactato desidrogenase e mioglobina em cavalos, sendo que estas enzimas são comumente usadas como biomarcadores da atividade muscular (Fazio et al., 2023). Em cavalos saudáveis e bem condicionados pode ocorrer pequeno aumento na concentração de CK após esforço físico devido a alterações no volume plasmático, mas com recuperação dos valores pré-teste em poucas horas (Silva et al., 2023).

No presente estudo, não foi possível observar alterações na atividade sérica da CK associada à VCI. Os estudos que avaliaram CK em cavalos após o tratamento com VCI são escassos e controversos. Um estudo observou diminuição da CK imediatamente após uma sessão de 10 min em uma frequência de 15 a 21 Hz (Carstanjen et al., 2013), enquanto outro estudo encontrou maiores concentrações de

CK no grupo tratado em relação ao grupo controle após o tratamento, além de aumento de CK após o tratamento no grupo que realizou VCI (Hyatt, 2017).

Com relação à avaliação histopatológica da resposta inflamatória muscular, os escores mais altos nos momentos 0 podem estar relacionados com as biopsias musculares dos blocos anteriores. Embora tenha tido um período de *wash-out* de sete dias, pode ser que esse não tenha sido suficiente para completa recuperação muscular. Entretanto, como foi feito *cross-over* no delineamento experimental, esses escores ficaram diluídos entre os três grupos experimentais e, quando observamos os resultados basais de CK, não foi possível detectar qualquer indício de microlesão ou aumento da permeabilidade do sarcolema entre os blocos experimentais.

No presente estudo foi possível observar aumento, possivelmente fisiológico, da degeneração e necrose muscular 3 e 6 horas após as intervenções para todos os grupos, e aumento do infiltrado inflamatório 3 horas após, apenas para o grupo VCI. O processo inflamatório que segue a realização de um exercício físico é imprescindível para a reparação e regeneração funcional completa do músculo esquelético, sendo um processo que, eventualmente, leva à remodelação adaptativa, como, por exemplo, à hipertrofia muscular esquelética (Chazaud, 2016; Cheng et al., 2020). Esse processo abrange várias fases sequenciais. Primeiramente, no início do processo inflamatório, há liberação de fatores pró-inflamatórios e presença de infiltrado de leucócitos no local da lesão e; depois, ocorre a resolução da inflamação, caracterizada por mudança de ambiente pró-inflamatório para o estabelecimento da fase anti-inflamatória da inflamação. Por último, ocorre a reparação/regeneração tecidual, que inclui angiogênese, remodelação da matriz e retorno à homeostase (Chazaud, 2016).

A variável ‘infiltrado inflamatório’ utilizado no presente estudo, avaliou-se, principalmente, a presença de macrófagos e neutrófilos ao redor dos miócitos ou no sarcolema degenerado. Os macrófagos são os leucócitos predominantes observados em cada momento da regeneração do músculo esquelético após uma lesão e exercem efeitos específicos e diretos sobre os precursores miogênicos que regeneram as miofibras danificadas (Chazaud, 2016). Entretanto, os neutrófilos têm papel importante na regeneração muscular, que envolve a remoção de material necrótico. Assim, apesar de os macrófagos invasores terem um papel proeminente na fagocitose

de células necróticas, os neutrófilos parecem ser necessários para realizar completamente a remoção do tecido necrótico (Teixeira et al., 2003; Cheng et al., 2020). Embora não tenha sido observada diferença entre os grupos, o aumento do infiltrado inflamatório para o grupo VCI três horas após as vibrações pode ser indicativo de que a VCI favoreceu a mobilização celular que pode contribuir com a recuperação muscular. Entretanto, mais estudos são necessários para comprovação desse fato.

Em camundongos adultos submetidos a treinamento de quatro semanas numa frequência de cinco dias por semana com VCI foi possível evidenciar menor variedade de alterações histopatológicas relacionadas ao envelhecimento, sendo que essas mudanças pareceram melhorar com o aumento da frequência de vibração, especialmente nas seções de músculo esquelético. Os autores sugeriram que a VCI pode ser capaz de promover alterações na musculatura esquelética (Lin et al., 2015).

Embora os achados do presente estudo indicaram que a VCI não foi capaz de promover quaisquer alterações na temperatura da superfície cutânea ou na resposta inflamatória muscular de cavalos após exercício intenso, mais estudos são necessários, especialmente no que tange o tipo de protocolo utilizado. Estudos já mostraram que os efeitos da VCI dependem intimamente do tipo de protocolo utilizado e que diferentes órgãos ou tecidos têm diferentes suscetibilidades à vibração (Cariati et al., 2022).

5. CONCLUSÕES

O protocolo de VCI utilizado não promoveu alterações na temperatura da superfície cutânea ou na resposta inflamatória muscular causada pelo exercício intenso. Entretanto, considerando que os efeitos da VCI dependem do protocolo utilizado, mais estudos são necessários em cavalos.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP (processo nº 2019/16779-3) pelo apoio financeiro.

Referências

Agostinho M, Rahal S, Bonatelli S, Rosa G, Tsunemi M, Zadra V, Mamprim M, Takahira R, Souza P, Santos I (2023) Evaluation of infrared thermography, arterial doppler ultrasound, and doppler echocardiography in healthy adult dogs exposed to a single session of whole-body vibration at different frequencies. **Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi** 1-7.

Barcellos LAM, Gonçalves WA, Oliveira MPE, Guimarães JB, Queiroz-Junior CM, Resende CB, Russo RC, Coimbra CC, Silva AN, Teixeira MM, Rezende BM, Pinho V (2021) Effect of physical training on exercise-induced inflammation and performance in mice. **Frontiers in Cell and Development Biology** 9:625680.

Barclay CJ (2017) Energy demand and supply in human skeletal muscle. **Journal of Muscle Research and Cell Motility** 38:143-155.

Berger A (2018) **The influence of whole body vibration on bone mineral content and bone metabolism in the stalled horse.** 49 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Equina) – Middle Tennessee State University, Murfreesboro.

Buchner HHF, Zimmer L, Haase L, Perrier J, Peham C (2017) Effects of whole body vibration on the horse: actual vibration, muscle activity, and warm-up effect. **Journal of Equine Veterinary Science** 51:54-60.

Cariati I, Bonanni R, Pallone G, Romagnoli C, Rinaldi AM, Annino G, D'Arcangelo G, Tancredi V (2022) Whole body vibration improves brain and musculoskeletal health by modulating the expression of tissue-specific markers: FNDC5 as a key regulator of vibration adaptations. **International Journal of Molecular Sciences** 23:10388.

Carstanjen B, Balali M, Gajewski Z, Furmanczky K, Bondzio A, Remy B, Hartmann H (2013) Short-term whole body vibration exercise in adult health horses. **Polish Journal of Veterinary Sciences** 16(2):403-405.

Chazaud B (2016) Inflammation during skeletal muscle regeneration and tissue remodeling: application to exercise-induced muscle damage management. **Immunology and Cell Biology** 94(2):140-145.

Chen TC, Yang TJ, Huang MJ, Wang HS, Tseng KW, Chen HL, Nosaka K (2019) Damage and the repeated bout effect of arm, leg, and trunk muscles induced by eccentric resistance exercises. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports** 29:725-735.

Cheng AJ, Jude B, Lanner JT (2020) Intramuscular mechanisms of overtraining. **Redox Biology** 35(2020):101480.

Deyhle MR, Gier AM, Evans KC, Eggett DL, Nelson WB, Parcell AC, Hyldahl RD (2016) Skeletal muscle inflammation following repeated bouts of lengthening contractions in humans. **Frontiers in Physiology** 6:424.

Domino M, Borowska M, Kozlowska N, Trojakowska A, Zdrojkowski L, Jasiński T, Smyth G, Maśko M (2022) Selection of image texture analysis and color model in the advanced image processing of thermal images of horses following exercise. **Animals** 12:444.

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(2023):104882.

Ferraz GC, Sgarbiero T, Carvalho JRG, Almeida MLM, Pereira GT, Funnicelli MIG, Pinheiro DG, Restan AZ (2022) Predicting maximal lactate steady state from lactate thresholds determined using methods based on an incremental exercise test in beagle dogs: A study using univariate and multivariate approaches. **Research in Veterinary Science** 152:289-299.

Greene AL (2020) **Effect of vibration stimulation on muscle and bone parameters in mature stock-type horses on stall rest**. 58 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura) – Faculty of Mississippi State University, Mississippi.

Gundasheva D (2016) Biochemical response to physical exercise in show-jumping horses. **Comparative Exercise Physiology** 12(1):11-16.

Halsberghe BT (2017) Long-term and immediate effects on whole body vibration on chronic lameness in the horse: a pilot study. **Journal of Equine Veterinary Science** 48:121-128.

Halsberghe BT (2018) Effect of two months whole body vibration on hoof growth rate in the horse: a pilot study. **Research in Veterinary Science** 119(2018):37-42.

Halsberghe BT, Gordon-Ross P, Peterson R (2017) Whole body vibration affects the cross-sectional area and symmetry of the m. multifidus of the thoracolumbar spine in the horse. **Equine Veterinary Education** 29(9):493-499.

Herrero AJ, Menéndez H, Gil l, Martín J, Martín T, García-López D, Gil-Agudo A, Marín PJ (2011) Effects of whole body vibration on blood flow and neuromuscular activity in spinal cord injury. **Spinal Cord** 49:554–559.

Hinchcliff KW & Geor RJ. The horse as an athlete: a physiological overview. In: **Equine Exercise Physiology**. Philadelphia: Saunders, p. 2-11

Hyatt CS (2017) **Effects of vertical whole-body vibration on select biochemical markers of muscle turnover in yearling horses**. 49 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) – Texas A&M University, College Station.

Hyyppa S, Poso A. Metabolic diseases of athletic horses. In: Hinchcliff K, Kaneps A, Geor RJ, eds. **Equine Sports Medicine and Surgery**. London: WB Saunders Co, 2004;836–850.

Huang CC, Tseng TL, Huang WC, Chung YH, Chuang HL, Wu JH (2014) Whole-body vibration training effect on physical performance and obesity in mice. **International Journal of Medical Sciences** 11(12):1218-1227.

Hulak ES, Spooner HS, Haffner JC (2015) Influence of whole-body vibration on bone density in the stalled horse. In: **Equine Science Society Symposium**. Proceedings… St. Pete Beach: University of Florida, p. 393.

Janczarek I, Kędzierski W, Tkaczyk E, Kaczmarek B, Luszczyński J, Mucha K (2021) Thermographic analysis of the metacarpal and metatarsal areas in jumping sport horses and leisure horses in response to warm-up duration. **Animals** 11, 2022.

Kruljc P (2023) Thermography as an aid in the performance testing of Lipizzan horses. **Proceedings of Socratic Lectures** 8:39-44.

Lamprecht ED, Williams CA (2012) Biomarkers of antioxidant status, inflammation, and cartilage metabolism are affected by acute intense exercise but not superoxide dismutase supplementation in horses. **Oxidative Medicine and Cellular Longevity** 2012:1-15.

Lee HG, Choi JY, Park JW, Park TS, Song KD, Shin D, Cho BW (2019) Effects of exercise on myokine gene expression in horse skeletal muscles. **Asian-Australian Journal of Animal Science** 32(31):350-356.

Liburt NR, Adams AA, Betancourt A, Horohov DW, McKeever KH (2010) Exercise-induced increases in inflammatory cytokines in muscle and blood of horses. **Equine Veterinary Journal** 42(Suppl. 38):280-288.

Lin CI, Huang WC, Chen WC, Kan NW, Wei L, Chiu YS, Huang CC (2015) Effect of whole-body vibration training on body composition, exercise performance and biochemical responses in middle-aged mice. **Metabolism** 64(9):1146-1156.

Maher K, Spooner H, Hoffman R, Haffner J (2020) The influence of whole-body vibration on heart rate, stride length, and bone mineral content in the mature exercising horse. **Comparative Exercise Physiology** 16(5):403-408.

Masko M, Borowska M, Domino M, Jasinski T, Zdrojkowski L, Gajewski Z (2021) A novel approach to thermographic images analysis of equine thoracolumbar region: the effect of effort and rider's body weight on structural image complexity. **BMC Veterinary Research** 17:99.

Nowlin C, Nielsen B, Mills J, Robison C, Schott H, Peters D (2018) Acute and prolonged effects of vibrating plataform treatment on horses: a pilot study. **Journal of Equine Veterinary Science** 62:116-122.

Oliveira ACC, Azevedo JF, Miranda ACT, Souza BG, Ramos MT, Costa APD, Baldani CD, Silva VP, Almeida FQ (2014) Hematological and blood gas parameters' response to treadmill exercise test in eventing horses fed different protein levels. **Journal of Equine Veterinary Science** 34(2014):1278-1285.

Redaelli V, Luzi F, Mazzola S, Bariffi GD, Zappaterra M, Costa LN, Padalino B (2019) The use of infrared thermography (IRT) as stress indicator in horses trained for endurance: a pilot study. **Animals** 9:84.

Ritzmann R, Kramer A, Bernhardt S, Gollhofer A (2014) Whole body vibration training - improving balance control and muscle endurance. **Plos One** 9(2):324–331.

Santos I, Rahal S, Santos A, Inamassu L, Rodrigues M, Tsunemi M, Mamprim M, Rodrigues C, Teixeira C, Sato T (2019) Whole-body vibration on leg muscles thermography and femoral resistive index of adult healthy dogs. **Research in Veterinary Science** 122(2019):118-123.

Schoser B (2015) Muscle histology changes after short term vibration training in healthy controls. **Acta Myologica** 34(2-3):133-138.

Silva CJFL, Trindade KLG, Cruz RKS, Vilela CF, Coelho CS, Ribeiro-Filho JD, Manso HECCC, Manso-Filho HC (2023) Association between infrared thermography, blood count and creatine kinase in the evaluation of the welfare of Vaquejada horses. **Open Journal of Veterinary Medicine** 13:53-67.

Silva TCS, Mariz TMA, Escodro PB (2022) Use of thermography in clinical and sports evaluations of equine animals: a review. **Research, Society and Development** 11(8): e13911530532.

Smith BP (2015) **Large Animal Internal Medicine**. Riverport Lane: Elsevier. p. 354.

Sonza A, Robinson CC, Achaval M, Zaro MA (2015) Whole body vibration at different exposures frequencies: infrared thermography and physiological effects. **The Scientific World Journal** 2015: 452657.

Soroko M, Howell K, Zielińska P (2016) Application of thermography in racehorse performance. In: **13th Quantitative Infrared Thermography Conference** (pp. 765-769).

Soroko M, Howell K (2018) Infrared thermography: current applications in equine medicine. **Journal of Equine Veterinary Science** 60(2018):90-96.

Soroko M, Howell K, Dudek K, Wilk I, Zastrzeżyńska M, Janczarek I (2018) A pilot study into the utility of dynamic infrared thermography for measuring body surface temperature changes during treadmill exercise in horses. **Journal of Equine Veterinary Science** 62(2018):44-46.

Soroko M, Śpitalniak-Bajerska K, Zaborski D, Poźniak B, Dudek K, Janczarek I (2019) Exercise-induced changes in skin temperature and blood parameters in horses. **Archives Animal Breeding** 62:205-213.

Soroko M, Górniak W, Godlewska M, Howell K (2022) The effect of training on infrared thermographic images of the forelimb and hindlimb joints of healthy racehorses. **Polish Journal of Veterinary Sciences** 25(1):83-92.

Stucchi L, Valli C, Stancari G, Zucca E, Ferrucci F (2019) Creatine-kinase reference intervals at rest and after maximal exercise in Standardbred racehorses. **Comparative Exercise Physiology** 15(5):319-325.

Sugg SJ (2018) **Effects of whole-body vibration on lameness, stride length, cortisol, and other parameters in healthy horses**. 36 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Equina) – Middle Tennessee State University, Murfreesboro.

Teixeira CFP, Zamunér SR, Zuliani JP, Fernandes CM, Cruz-Hofling MA, Fernandes I, Chaves F, Gutiérrez JM (2003) Neutrophils do not contribute to local tissue damage, but play a key role in skeletal muscle regeneration, in mice injected with *Bothrops asper* snake venom. **Muscle & Nerve** 28(4):449-459.

Vasile A, Trifan EL, Bucsan C, Micu CA (2013) Electro-magnetic actuated vibrating platform. In: **2013 IEEE 19th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME)**. Proceedings... Galati: Scimago Journal & Country Rank, p. 241-244.

Verdegaal ELJMM, Howarth GS, McWhorter TJ, Delesalle CJG (2024) Thermoregulation during field exercise in horses using skin temperature monitoring. **Animals** 14:136.

Witkowska-Piłaszewicz O, Maśko M, Domino M, Winnicka A (2020) Infrared thermography correlates with lactate concentration in blood during race training in horses. **Animals** 10:2072.

Yarnell K, Fleming J, Stratton TD, Brassington R (2014) Monitoring changes in skin temperature associated with exercise in horses on a water treadmill by use of infrared thermography. **Journal of Thermal Biology** 45:110-116.

APÊNDICE A. PERFIL HEMATOLÓGICO DOS ANIMAIS

Variáveis	Referência	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
He (milhões/mm³)	6,5-12,5	7,0	7,8	6,9	7,4	6,2	7,8	6,9	6,6
Hb (g/dL)	11-19	11,7	13,1	11,1	12,6	11,5	12,6	11,9	12,0
Ht (%)	32-52	34	38	33	37	34	36	34	34
HCM (pg)	13,3-18,6	17	17	16	17	19	16	17	18
VCM (pg)	34-58	49	49	48	50	55	46	49	52
CHCM (%)	31-37	34	34	34	34	34	35	35	35
Le (mm³)	5500-12500	12600	9700	10200	10300	8200	9700	7900	7500
Bast (%)	0-2	1	0	0	0	0	0	0	0
Bast (mm³)	0-100	126	0	0	0	0	0	0	0
Seg (%)	30-65	51	54	60	56	61	63	47	54
Seg (mm³)	2700-6700	6426	5238	6120	5768	5002	6111	3713	4050
Eos (%)	0-11	4	8	5	6	4	8	2	7
Eos (mm³)	0-925	504	776	510	618	328	776	158	525
Bas (%)	0-3	0	0	0	0	0	0	0	0
Bas (mm³)	0-170	0	0	0	0	0	0	0	0
Linf (%)	25-70	40	34	31	33	30	24	47	34
Linf (mm³)	1500-5500	5040	3298	3162	3399	2460	2328	3713	2550
Mon (%)	1-7	4	4	4	5	5	5	4	5
Mon (mm³)	0-800	504	388	408	515	410	485	316	375
Plaq (mil/mm³)	100-260	140	135	130	138	158	139	113	165

Valores de hemácias (He), hemoglobina (Hb), hematócrito (Ht), hemoglobina corpuscular média (HCM), volume corpuscular médio (VCM), concentração da hemoglobina corpuscular média (CHCM), leucócitos (Le), bastonetes (Bast), segmentados (Seg), eosinófilos (Eos), basófilos (Bas), linfócitos (Linf), monócitos (Mon), plaquetas (Plaq).