

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO PARANÁ
ESCOLA DE CIÊNCIAS DA VIDA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL

HANNA CAROLINE PROCHNO

USO DA TERMOGRAFIA NO ACOMPANHAMENTO DE CAVALOS PURO
SANGUE INGLÊS DE CORRIDA EM INÍCIO DE TREINAMENTO

(Use of thermography monitoring of Thoroughbred race horses in the beginning of
training)

CURITIBA

2019

HANNA CAROLINE PROCHNO

**USO DA TERMOGRAFIA NO ACOMPANHAMENTO DE CAVALOS PURO
SANGUES INGLÊS DE CORRIDA EM INÍCIO DE TREINAMENTO**

(Use of thermography monitoring of Thoroughbred race horses in the beginning of training)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, área de concentração Saúde, Tecnologia e Produção Animal, da Escola de Ciências da Vida da Pontifícia Universidade Católica do Paraná, para obtenção do título de Mestre em Ciência Animal.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Vicente Michelotto Jr.

Coorientador: Prof. Dr. Gervásio Henrique Bechara.

CURITIBA

2019

TERMO DE APROVAÇÃO

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	v
AGRADECIMENTOS	vi
FORMATO DA DISSERTAÇÃO	vii
RESUMO GERAL.....	viii
ABSTRACT	ix
CAPITULO 1 - INTRODUÇÃO E CONTEXTUALIZAÇÃO.....	10
1.1 Sistema musculoesquelético de cavalos PSI de corrida: Adaptação ao treinamento.....	12
1.2 Principais alterações musculoesqueléticas do cavalo PSI de corrida	14
1.3 Termografia infravermelha e obtenção da imagem termográfica	16
1.4 Uso da termografia no acompanhamento do sistema musculoesquelético de cavalos atletas.....	19
2 OBJETIVOS.....	21
2.1 Objetivo Geral.....	21
2.2 Objetivos Específicos	21
3 HIPÓTESES.....	22
CAPÍTULO 2.....	23
Infrared thermography applied to monitoring musculoskeletal adaptation to training in Thoroughbred race horses	23
CAPÍTULO 3.....	52
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	52
REFERÊNCIAS	53

DEDICATÓRIA

“Quer você pense que pode, quer você
pense que não pode, você está certo dos
dois jeitos.” - Henry Ford.

Aos meus pais e irmãos. Dedico.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Pedro Vicente Michelotto Jr., quem tenho admiração desde o meu segundo ano de graduação. Agradeço imensamente pela confiança pessoal, estímulo e crédito profissional. Sua retidão de caráter mantém viva a esperança de uma Medicina Veterinária comprometida com a seriedade.

Ao Prof. Dr. Gervásio Henrique Bechara pela co-orientação e pela gentileza da concessão da bolsa de isenção do meu mestrado.

Ao Prof. Dr. Saulo Henrique Weber pela paciência, tranquilidade, disponibilidade e conhecimentos, que deram consistência estatística a esse trabalho.

Aos alunos do PIBIC Bianca Pegoraro, Patrícia Rodrigues, Luiza Poniewas, Letícia Buch, Rodolfo Jansen, e as doutorandas Fernanda Bastos e Fernanda Barussi por toda a ajuda e amizade durante a realização deste estudo.

Ao proprietário e funcionários do Haras Belmont que estavam sempre dispostos a nos ajudar durante todo o período das coletas dos dados.

À Caroline Nocera Bertton, secretária do programa de pós-graduação, que sempre esteve disposta a me ajudar no que fosse preciso para que meu mestrado fosse concluído.

À J.A. Saúde Animal e principalmente ao meu gerente Rogério Terra e meu colega de trabalho Everton Cardoso por permitirem que eu fizesse meu mestrado, entendendo e aceitando muitas vezes a minha ausência no meu emprego.

À Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de nível superior - Brasil (CAPES) pelo apoio financeiro deste projeto.

Finalmente, agradeço à Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUC-PR) por abrir as portas para que eu pudesse realizar este sonho que é a minha dissertação de mestrado.

FORMATO DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação é composta por capítulos. O capítulo 1 apresenta uma introdução geral, a contextualização do tema e os objetivos e hipótese do estudo. O capítulo 2 trata-se de artigo científico completo, contendo referências, e formatado nas normas da revista *Preventive Veterinary Medicine*. O capítulo 3 finaliza esta dissertação com conclusões gerais e considerações finais deste trabalho e sugestões para estudos futuros. As referências do capítulo 1 encontram-se ao final da dissertação.

RESUMO GERAL

A termografia infravermelha é capaz de medir a temperatura das superfícies corporais e pode detectar distúrbios circulatórios provenientes da inflamação semanas antes da manifestação clínica, portanto tem sido usada para ajudar no diagnóstico de claudicação. Desta forma, surge como hipótese, que ela poderia ser também uma ferramenta valiosa para entender a adaptação musculoesquelética ao treinamento de corrida, e uma técnica sensível para prever a ocorrência de lesões. Este estudo teve como objetivo avaliar a variação térmica do sistema musculoesquelético de equinos jovens da raça Puro Sangue Inglês (PSI) durante seus primeiros meses de treinamento para corrida. Os exames termográficos foram realizados quinzenalmente em 16 cavalos PSI (10 machos e seis fêmeas) entre 20 e 23 meses de idade (21.7 ± 0.9). As avaliações foram realizadas desde o início do treinamento desses animais, em junho de 2016, e finalizaram em janeiro de 2017, totalizando 16 avaliações. As imagens termográficas eram realizadas no início da manhã, 30 minutos após a limpeza dos cavalos dentro de suas baias e no mesmo horário (06:00 am), a uma distância de 1,5 m do animal, utilizando uma câmera térmica (modelo E50bx, FLIR Systems Sorocaba, Brasil). Os termogramas foram avaliados usando o software *FLIR Tools*, e a temperatura ($^{\circ}\text{C}$) foi medida nos aspectos dorsais e palmares/plantares de regiões específicas de interesse, incluindo regiões do boleto, metacarpo e metatarso, e regiões do carpo e do tarso. A imagem também foi realizada na coluna toracolombar e sacroilíaca, e na anca. Inicialmente, a temperatura aumentou em todas as regiões anatômicas ao longo do estudo, com temperaturas significativamente mais altas na avaliação final em comparação com a inicial ($p < 0,0001$). Todas as regiões demonstraram uma correlação positiva entre si. No entanto, houve uma diferença significativa entre os lados direito e esquerdo durante os diferentes períodos de treinamento. Quatro cavalos tiveram interrupção no treinamento devido a lesões musculoesqueléticas; sendo que o exame termográfico anterior à manifestação clínica foi capaz de revelar mudanças significativas de temperatura nas regiões de interesse. Os resultados deste estudo demonstraram que a termografia infravermelha é uma técnica sensível e não invasiva, que pode facilitar na compreensão das adaptações do sistema musculoesquelético ao treinamento para a corrida, e pode ser usada como uma ferramenta preditiva com antecipação na ocorrência de lesões.

Palavras-chave: Adaptação; Cavalos de corrida; Diagnóstico; Equino; Termografia.

ABSTRACT

Infrared thermography is able to measure the body surfaces temperatures and has been used to aid in the diagnosis of lameness, and can detect circulatory disorders from inflammation weeks before the clinical manifestation. In this way, it appears as a hypothesis that it could also be a valuable tool to understand the musculoskeletal adaptation to running training, and a sensitive technique to predict the occurrence of injuries. The present study was aimed to evaluate the thermal variation in musculoskeletal system of young Thoroughbred (TB) horses during their initial months of race training. Were performed thermographic examinations fortnightly on 16 (10 male, six female) TB racehorses with approximately two years old, with a total of 16 evaluations from arrival to the racetrack in June 2016, until January 2017. Was performed the thermographic imaging early in the morning (06:00 am), 30 min after the horses were cleaned inside their stable stalls, at 1.5 m of distance using a thermal camera (Model E50bx, FLIR Systems, Sorocaba, Brazil). The images were evaluated using FLIR Tools software, and temperature (°C) was measured at the dorsal and palmar/plantar aspects of specific regions of interest, including fetlock, metacarpal and metatarsal regions, and carpal and tarsal regions. Imaging was also performed on the thoracolumbar and sacroiliac spine, and in both hips. As a result, all regions demonstrated a positive correlation with which other. The temperature increased in all anatomical regions throughout the study, with significantly higher temperatures in the final evaluation compared with the initial one ($p < 0.0001$). However, there was a significant difference between the right and left sides during the different training periods. Some horses exhibited poor musculoskeletal conditions associated with training; and the thermographic examination before training was able to reveal significant changes before clinical manifestation. Results of this study demonstrated that infrared thermography is a non-invasive and sensitive technique that can facilitate understanding of musculoskeletal system adaptations to race training, and may be used as a predictive tool to anticipate the occurrence of lesions.

Keywords: Adaptation; Diagnosis; Equine; Race horses; Thermography.

CAPITULO 1 - INTRODUÇÃO E CONTEXTUALIZAÇÃO

A cadeia produtiva do cavalo no Brasil é um setor muito importante para a economia. A atividade movimenta anualmente R\$ 16,15 bilhões e gera 610 mil empregos diretos e 2.230 mil empregos indiretos. A tropa nacional é superior a 5 milhões de cavalos, computados os cavalos de trabalho, de raça, lazer e competição. Sendo que o número estimado de cavalos Puro Sangue Inglês (PSI) de corrida no Brasil é de 15 mil animais (MAPA, 2016). Devido à importância desse setor no âmbito nacional, é dever dos profissionais que trabalham nesse meio estarem atualizados com tecnologias que auxiliem na manutenção e no crescimento desta área e, além disso, que priorizem o bem-estar desses animais.

Dentre as principais afecções que envolvem cavalos PSI de corrida, as lesões relacionadas ao sistema musculoesquelético são as principais responsáveis por condições que resultam na diminuição do desempenho, interrupção do treinamento e incapacidade atlética prematura (Hernandez e Hawkins, 2001; Rogers et al., 2012). Nos Estados Unidos, 19% a 33% dos cavalos Puro Sangue Inglês (PSI) de corrida deixam o treinamento aproximadamente no terceiro mês (Haynes e Robinson, 1989; Kobluk et al., 1991; Hill et al., 2001), e 26% deles até o nono mês na Alemanha (Lindner e Dingerkus, 1993).

Pesquisas atuais envolvendo cavalos PSI estão voltadas para uma melhor compreensão dos fatores que levam à alta incidência de lesões musculoesqueléticas. Essas lesões prejudicam a percepção pública acerca da corrida de cavalos, e têm consequências emocionais e financeiras relacionadas à perda de cavalos atletas em decorrência de lesões precoces. Além disso, essas lesões comprometem a segurança de outros cavalos e jóqueis, devido a possível ocorrência de acidentes durante as provas ou treinos que possam envolver os jóqueis e outros animais (McKee, 1995; Estberg et al., 1996; Bailey et al., 1997; Boden et al., 2005; Wylie et al., 2017). Desta forma, é necessário entender as adaptações fisiológicas do sistema musculoesquelético que ocorrem durante o treinamento de corrida.

Prevenir as lesões do sistema musculoesquelético é fundamental, especialmente quando se trata de cavalos jovens que estão iniciando a vida atlética. Estes animais ainda não atingiram o nível de maturidade física necessário para suportar treinamentos intensos, tendo sua estrutura musculoesquelética ainda em

desenvolvimento, o que o torna suscetível ao surgimento de lesões (Velie et al., 2013). Foi demonstrado que cavalos PSI de corrida apresentam falhas adaptativas em suas estruturas ósseas e articulares, consequência de doenças relacionadas ao estresse, que se desenvolvem quando há o treinamento intenso ou excessivo. Esta sobrecarga causada pelo treinamento excessivo influencia diretamente na capacidade de adaptação dos ossos e articulações. O resultado desta má adaptação é uma fadiga cíclica que resulta em compressão excessiva das estruturas ósseas e articulares (Nunamaker, 2002; Muir et al., 2008; Whiton et al., 2010).

As modificações musculoesqueléticas ocorrem precocemente e muito sutilmente, praticamente sem evidência em exames de radiografia digital, sugerindo a necessidade de ressonância magnética, cintilografia e/ou tomografia computadorizada para identificação (Gaschen e Burba, 2012). Isso, portanto, levou à busca de outros métodos para identificar os primeiros sinais de má adaptação do sistema musculoesquelético dos cavalos ao treinamento de corrida que sejam fáceis e confiáveis.

A termografia infravermelha é uma técnica baseada na observação de mudanças de temperatura locais, portanto identifica modificações circulatórias resultantes de um processo inflamatório e é até 10 vezes mais sensível do que a mão humana (Turner et al., 2001). Esta ferramenta foi relatada como uma técnica de diagnóstico capaz de demonstrar alterações subclínicas nas articulações e tendões de cavalos atletas, como alteração de temperatura nessas regiões, duas semanas antes do aparecimento dos sinais clínicos (Stromberg, 1973; Vaden e Purohit, 1980). Seguindo este contexto, Turner et al. (2001), Soroko et al. (2014) e Michelotto et al. (2016) identificaram a possibilidade de monitorar o impacto do treinamento através da medição da temperatura da superfície corporal, que é influenciada pela vascularização e atividade metabólica abaixo da superfície da pele. Até hoje, no entanto, nenhum estudo foi realizado utilizando um grupo homogêneo de cavalos PSI desde o início do treinamento para corrida.

Neste estudo, levantamos a hipótese de que a termografia infravermelha pode identificar com precisão as modificações musculoesqueléticas ocorridas em cavalos PSI de corrida jovens que iniciam o treinamento. Portanto, o objetivo do presente estudo foi avaliar o uso do exame termográfico para investigar modificações musculoesqueléticas adaptativas em equinos jovens da raça PSI durante os meses iniciais de treinamento. Além disso, o valor da termografia como uma ferramenta de

diagnóstico profilático na antecipação da ocorrência de lesões musculoesqueléticas também foi investigado.

1.1 Sistema musculoesquelético de cavalos PSI de corrida: Adaptação ao treinamento

A incidência de lesões fatais relatada no cavalo PSI durante a corrida é de 0,30 a 2,44 ocorrências para cada 1000 partidas (Bourke, 1995; McKee, 1995; Bailey et al., 1997; Williams et al., 2001; Boden et al., 2006; Henley et al., 2006; Arthur, 2010; Hitchens et al., 2019), e a maioria das fatalidades foi atribuída a lesões musculoesqueléticas necessitando de eutanásia (Estberg et al., 1998; Williams et al., 2001; Hitchens et al., 2016). Em adição, tais ferimentos são a causa mais comum de quedas nos jóqueis e têm sido associados a um risco aumentado de lesão nos jóqueis na Califórnia (Hitchens et al., 2016) e na Austrália (Wylie et al., 2017).

Um estudo epidemiológico sobre as lesões fatais ocorridas durante as competições de cavalos PSI de corrida no Hipódromo de Cidade Jardim do Jockey Club de São Paulo, entre 1996 e 2006, revelou uma incidência de 2,68 lesões graves para cada mil largadas, das quais 67,1% não foram fatais (1,8/1000 largadores) e 32,9 % foram fatais (0,88/1000 largadores). Durante os 11 anos do estudo, foi observada uma diminuição progressiva, estatisticamente significativa, no número dos dias de corridas, corridas, largadas por cavalo e cavalos por páreo, entretanto, observou-se um aumento das ocorrências graves, fatais e não fatais (Legorreta, 2013). Isso demonstra que mesmo com a evolução da medicina veterinária dos últimos anos, com altas tecnologias de diagnóstico e tratamentos disponíveis, essa classe de animais continua sofrendo com a alta incidência de lesões.

Cavalos da raça PSI de corrida possuem uma falha adaptativa em sua estrutura articular, devido à alta exigência física a que são expostos (Whitton, 2010). É provável que eles possuam uma falha na remodelação óssea, tendo uma reparação fisiológica deficiente. Por esse motivo, a atividade atlética cumulativa pode levar à perda de cartilagem hialina da superfície articular, devido a uma diminuição da vascularização da cartilagem ao longo do tempo, e falha no remodelamento (Holmes et al., 2014). A consequência disso é uma falha adaptativa,

com acúmulo de microdanos na superfície articular, associada à esclerose do osso subcondral adjacente, e desenvolvimento de fraturas por estresse (Muir et al., 2008).

Outra explicação seria que os métodos de treinamento e condicionamento dos equinos de corrida não estariam evoluindo ao ponto de aperfeiçoar as respostas adaptativas do sistema musculoesquelético desses animais, pois muitos sistemas de treinamento ainda estão pautados em métodos empíricos e tradicionais (Goodship e Smith, 2006).

Os métodos de treinamento são importantes, pois, quando uma carga é aplicada a um osso, ele se deforma. Dentro de um limite esta deformação é elástica e o osso retorna à sua forma original, inalterada, uma vez que a carga seja removida. Se o grau de deformação ultrapassa o limite, uma mudança irreversível pode acontecer no osso. Enquanto uma carga extrema única pode deformar o osso além do seu limite, resultando em falha completa e repentina, uma carga menor pode ser insuficiente para causar uma falha completa e repentina. Porém, a repetição de tal carga pode resultar em danos (fadiga), o que pode levar a uma falha grave. O grau de deformação depende da magnitude da carga e rigidez do osso. Esta é determinada pela sua geometria e propriedades do material do tecido ósseo sob o qual é formado (Riggs, 2002). Está bem estabelecido que a forma geral e a construção da maioria dos ossos são geneticamente predeterminadas; no entanto, sua massa, estrutura tridimensional e características microestruturais são todas capazes de mudar em resposta à variação do seu ambiente mecânico (Riggs et al., 1993). No entanto, não se sabe quanto tempo leva para que aconteça uma modelagem/remodelação adaptativa completa no osso de um cavalo (Whitton et al., 2010).

Os mecanismos de modelagem óssea acompanham geralmente os processos de crescimento e de hipertrofia do sistema musculoesquelético, modificando estrategicamente o tamanho e a forma das estruturas ósseas. A modelagem óssea consiste na formação de tecido ósseo sem que tenha ocorrido qualquer reabsorção prévia. Por sua vez, a remodelação óssea age na reconstrução de uma área óssea previamente lesionada, compreendendo sempre um processo de reabsorção antes de qualquer etapa de formação. Pode-se afirmar então que a modelagem (construção) está mais relacionada com a prevenção dos danos, enquanto a remodelação (reconstrução) está mais ligada com a sua reparação. A modelação e

remodelação óssea minimizam o stress alterando a estrutura óssea para evitar a ocorrência de situações de fraturas ósseas (Nakashima et al., 2012).

Um estudo histomorfométrico do córtex dorsal dos ossos do terceiro metacarpo de cavalos PSI submetidos experimentalmente a diferentes níveis de exercício, demonstrou modelagem significativamente aumentada, porém com diminuição da remodelação óssea em animais que foram exercitados quando comparados ao grupo controle que estava em repouso (McCarthy e Jeffcott, 1992). Os ossos de um cavalo que está em treinamento de corrida são submetidos a cargas elevadas. Estas por sua vez, resultarão em altas tensões e, portanto, ocasionando risco relativamente elevado de danos até que uma resposta óssea adaptativa seja completada (Riggs, 2002).

Mudanças significativas ocorrem nas propriedades geométricas do terceiro metacarpo em cavalos PSI em resposta ao treino de corrida (Sherman et al., 1995; Davies et al., 1999), mas nenhum estudo documentou a duração dessa resposta. Portanto, o tempo que um cavalo precisa estar em treinamento antes de completar a adaptação permanece desconhecido.

Cavalos PSI de corrida iniciam o treinamento antes mesmo de completarem o seu desenvolvimento musculoesquelético. Entretanto, cavalos que iniciam o treinamento mais jovens (até 2 anos), têm maiores chances de ter sucesso na carreira atlética do que os que iniciam mais tarde, devido a uma melhor adaptação ao exercício. Porém, quanto mais jovens, maior o risco de sofrerem lesões e necessitarem de interrupções durante o treinamento (Tanner et al., 2013).

Bolwell et al. (2013) desenvolveram um estudo com cavalos de corrida PSI de até 2 anos de idade e perceberam uma correlação entre as interrupções no treinamento com o desempenho nas competições e longevidade na carreira de cavalos atletas, concluindo que os animais que tiveram o treinamento inicial interrompido devido a lesões musculoesqueléticas, tiveram maiores chances de apresentar danos à carreira atlética no futuro.

1.2 Principais alterações musculoesqueléticas do cavalo PSI de corrida

Os fatores de risco para lesões musculoesqueléticas que envolvem cavalos PSI de corrida são idade avançada, fatores relacionados ao nível do cavalo, por

exemplo, cavalos que competem em categorias mais importantes tem um risco maior de apresentar lesões; o sexo, sendo que os machos foram mais propensos a apresentar lesões; fatores como a qualidade da pista, distâncias mais longas, e fatores relacionados ao manejo, incluindo questões identificadas no exame pré-corrida como lesão anterior ou pré-existente, e administração recente de medicamentos (Hitchens et al., 2019).

A maioria das lesões ósseas em cavalos PSI são consequência de lesões por estresse no osso subcondral, ou seja, são resultadas de micro lesões repetitivas que ocorrem no osso em resposta às forças de concussão que estão sujeitos no treinamento de corrida. Esse tipo de lesão por estresse é muito frequente e pode estar presente em cavalos que não apresentam sinal clínico de claudicação, ou que apresentam sinais de dor e claudicação, mas que não são diagnosticados, devido à dificuldade da incidência do raio-x nas regiões lesionadas (Gaschen e Burba, 2012).

A região do boleto é o foco de vários tipos de lesões, e é a região mais acometida na rotina de cavalos PSI de corrida (Muir et al., 2008). Fraturas de côndilo do osso terceiro metacarpiano, osteocondrose traumática do aspecto palmar dos côndilos do terceiro metacarpiano, desmíte do ligamento suspensor, fratura dos sesamóides proximais e desmíte dos ligamentos distais dos sesamóides proximais são todas lesões comuns (Stover, 2003). Em um estudo com 150 cavalos PSI, 56% dos animais tiveram interrupção no treinamento devido a lesões envolvendo a articulação do boleto dos membros torácicos, a maioria ocasionada por estresse acumulativo envolvendo osso, cartilagem ou tecidos moles (Arthur et al., 2011; Hunt e Northrop, 2011).

O carpo (Jeffcott et al., 1982), a falange distal (Mohammed et al., 1991), e tendão flexor digital superficial (Robinson et al., 1988) também foram relatados como estruturas frequentemente afetadas por lesões em cavalos PSI de corrida. As lesões normalmente ocorrem na metade distal dos membros torácicos (Wilson et al., 1996). As lesões que envolvem o carpo normalmente não são lesões graves. O aparelho suspensório que suporta a articulação metacarpofalângica (ligamento suspensor, ossos sesamóides proximais e ligamentos distais dos ossos sesamóides proximais) e o osso terceiro metacarpo, são as estruturas mais comumente afetadas por lesões graves (Johnson et al., 1994; Hernandez e Hawkings, 2001).

Em estudos anteriores realizados na Austrália, foi relatado que aproximadamente três quartos das lesões fatais que envolvem cavalos PSI de corrida acontecem nos

membros torácicos (Peloso et al., 1994; McKee, 1995; Estberg et al., 1998; Cruz et al., 2007).

A periostite metacarpal também está entre as principais afecções locomotoras que afetam cavalos de corrida, conhecida como “dor de canela”, principalmente nos cavalos PSI de corrida jovens (Bailey et al., 1998). Nunamaker (2002) descreveu que a periostite metacarpal representa 24,1% de todas as lesões musculoesqueléticas em cavalos PSI; além disso, estima-se que 12% dos cavalos com periostite metacarpal desenvolvem subsequentemente evidência radiográfica de fraturas de estresse na região dorsolateral do terceiro osso metacarpiano, isso dentro de um ano após a lesão original. Tais lesões ocorrem quando há treinamento intenso ou excessivo que superam a capacidade óssea de suportar tal estresse. No entanto, os membros pélvicos raramente são afetados para este tipo de afecção (Bertone, 2002), porém, no estudo de Michelotto et al. (2016) utilizando a termografia, observou-se que os membros pélvicos também sofrem alterações importantes de adaptação ao treinamento.

1.3 Termografia infravermelha e obtenção da imagem termográfica

A termografia pode detectar e medir a radiação infravermelha emitida espontaneamente de qualquer objeto que esteja em uma temperatura acima do zero absoluto (-273°C) (Rosenmeier et al., 2012). É uma ferramenta de análise não invasiva por não causar danos ao paciente e nem ao operador. Ela pode ser considerada um método fisiológico de avaliação, porque fornece uma avaliação em tempo real, capaz de criar uma imagem dinâmica do objeto avaliado, por meio de um termograma. O termo “termograma” refere-se à representação gráfica da radiação eletromagnética emitida por uma superfície, que é então transformada em uma imagem visível, e demonstra a temperatura corporal através de uma escala de cores (Turner, 2001).

O aquecimento da superfície corporal é influenciado pela circulação local e pelo metabolismo do tecido que está em contato ou próximo à pele. Alterações na temperatura da superfície corporal são causadas por alterações na perfusão tecidual local. O calor é um dos principais sinais de inflamação, uma vez que o aumento do

suprimento sanguíneo no processo inflamatório leva ao aumento da temperatura local. Lesões teciduais ocasionadas por traumas ou doenças inflamatórias sempre causam uma mudança na circulação e a termografia pode detectar um ponto ou região mais quente na imagem, associado a uma inflamação local; ou um ponto ou região mais fria, que pode ser uma diminuição da temperatura causada por uma alteração no fluxo sanguíneo, como por exemplo uma isquemia tecidual, trombose venosa, edema, entre outros (Kastberger e Stachi, 2003; Yanmaz e Okumus, 2007).

A termografia é utilizada principalmente por três diferentes funções na prática veterinária. A primeira é o uso da termografia como ferramenta de diagnóstico em um animal que já foi detectado uma lesão prévia. Neste caso, a técnica é utilizada como auxílio no prognóstico da doença e acompanhamento da evolução do tratamento (Arruda, 2011). O segundo método de utilização desta técnica está no programa de avaliação do bem-estar animal, porque a variação da temperatura da pele causada por vasoconstrição periférica é dependente do estado fisiológico e emocional do animal (Valera et al., 2012). E o terceiro método é o uso da termografia para melhorar a avaliação fisiológica de um animal clinicamente saudável. A termografia é capaz de realizar um mapeamento geral da superfície corporal, ajudando a identificar a presença de assimetrias, detectar mudanças de temperatura e indicar “áreas anatômicas suspeitas” de alguma lesão, antes de ser realizado o exame clínico completo. No entanto, o médico veterinário deve interpretar as informações obtidas e posteriormente investigar, por meio de comparação com outros exames, a causa da variação de temperatura (Becker-Birck, 2012). Neste último inclui o uso da termografia em cavalos de esporte por meio de avaliações seriadas, para detecção do estresse musculoesquelético e de lesões subclínicas. Outros usos da termografia incluem o monitoramento de alguns procedimentos clínicos, avaliação do efeito vasomotor de alguns medicamentos específicos, e como ferramenta auxiliar em programas de *antidoping*, entre outros (Levet et al., 2009).

A termografia também possui algumas limitações, como o custo da câmera termográfica, bem como gastos com sua manutenção. Outro ponto importante a ser considerado é que mesmo sendo capaz de fornecer informações sobre as condições fisiológicas e fisiopatológicas e localizar regiões com lesões, permitindo apoio no exame diagnóstico, a técnica não pode substituir outros procedimentos como o exame clínico e outros exames complementares de imagem. Além disso, ela é

incapaz de fornecer informações sobre a origem ou a causa da doença. Portanto, a termografia usada de forma isolada não é útil para formulação de uma terapia apropriada (Eddy et al., 2001; Yanmaz e Okumus, 2007).

Para se obter imagens confiáveis, alguns cuidados devem ser tomados no momento da avaliação termográfica. Para auxiliar na obtenção dessas imagens uma diretriz foi criada por membros da Academia Americana de Termologia (AAT) com instruções detalhadas para a obtenção de um termograma correto (*American Academy of Thermology*, 2016). Dentre estes cuidados estão a limpeza correta da superfície corpórea do animal, devendo estar livre de sujeiras como serragem, fezes, entre outros. O paciente não deve ter contato com nenhum objeto com a parte do corpo que está sendo avaliada. Todas as bandagens, mantas ou quaisquer outros objetos devem ser removidos durante, no mínimo, 20 minutos antes do início do exame. Os animais não devem ser tocados antes do exame, devendo ser conduzidos apenas pelo cabresto. Deve ser evitado o uso de qualquer tipo de material na pele, como pomadas, anti-inflamatórios tópicos, spray repelente, medicamentos *pour on*, e os pelos devem estar secos. O examinador deve estar atento à presença de qualquer substância tópica ou sistêmica vasoativa. Sempre que possível, esteroides, agonistas simpáticos e antagonistas, sedativos, medicamentos vasoativos, devem ser evitados por pelo menos 24 horas antes do exame, e neurolíticos por três dias, pois podem causar falsos padrões termográficos na circulação periférica. Deve-se evitar a manipulação esquelética, acupuntura, massagem terapêutica, o uso de unidades de estimulação muscular, ultrassom terapêutico, ondas de choque, dispositivos de compressão, gelo ou qualquer tipo de dispositivo terapêutico ou de tratamento. O exercício intenso deve ser evitado por pelo menos duas horas antes do exame (*American Academy of Thermology*, 2016).

O exame deve ser realizado em um ambiente em que, na medida do possível, a temperatura do ambiente seja controlada, livre de correntes de ar e onde não haja exposição a raios infravermelhos, como lâmpadas incandescentes ou luz solar, que podem resultar em aquecimento ou artefatos. A sala de imagens deve ser confortavelmente fria para permitir a dissipação de calor. A temperatura ideal do ambiente deve estar em um intervalo entre 20 e 25°C. No entanto, desde que esteja abaixo 30° C e a sudorese não seja induzida, a imagem térmica pode ser realizada. Os sistemas de ventilação devem ser projetados para evitar fluxo de ar direto no paciente. Também é importante que o animal seja encaminhado ao local do exame

15 a 20 minutos antes da avaliação, para que ocorra uma adaptação climática ao ambiente (American Academy of Thermology, 2016).

1.4 Uso da termografia no acompanhamento do sistema musculoesquelético de cavalos atletas

O emprego da termografia aplicada ao diagnóstico de afecções locomotoras de equinos começou com Turner (1983), que investigou o uso da termografia para o diagnóstico de doença do navicular em equinos. Após isso, existem trabalhos referentes à sua utilização na detecção de laminite (Turner, 2001), osteoartrites (Vaden et al., 1980) e diagnósticos de lombalgias (Colles et al., 1995). Nos casos de lombalgias, a termografia possui grande utilidade no mapeamento das possíveis lesões presentes na região toracolombar devido à dificuldade de acesso às estruturas anatômicas envolvidas (Henson, 2009).

Além disso, Turner et al. (2001) identificaram a possibilidade de monitorar o treinamento de cavalos PSI de corrida com o auxílio da termografia, realizando avaliações seriadas durante o período de treinamento desses cavalos, e concluíram que a termografia foi capaz de mostrar alterações de temperatura nas estruturas avaliadas até duas semanas antes do aparecimento clínico.

Seguindo este contexto, Soroko et al. (2014), em um estudo realizado com cavalos Puro Sangue Árabe (PSA) e cavalos mestiços, constataram que o exame termográfico regular encontrou pontos de aumento de temperatura nos membros anteriores associadas a sobrecargas de exercício para a corrida. Isso indica que a maioria dos cavalos tem maior probabilidade de desenvolver lesões associadas aos membros torácicos do que aos membros pélvicos. Em outro estudo, verificou-se que a temperatura das partes caudal e distal dos membros pélvicos em repouso foi aumentada por treinamento de longa duração (Soroko et al., 2015), sugerindo uma sobrecarga de descanso.

Michelotto et al. (2016) em um estudo com 12 cavalos Puro Sangue Inglês (PSI) de corrida com acompanhamento termográfico durante três meses de treinamento (três meses posteriores ao início de treinamento desses animais), concluíram que a termografia apresentou-se como uma ferramenta preditiva para a doença dorsal do metacarpo. Foi identificada a doença em dois equinos antes mesmo da

manifestação dos sinais clínicos. Desta forma, parece que o uso rotineiro da termografia tem papel importante no cuidado médico veterinário de cavalos de corrida, principalmente no que tange o diagnóstico precoce de lesões por estresse, uma vez que esta doença tem causas importantes na vida atlética destes animais, e à dificuldade em estabelecer um diagnóstico correto.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar o uso da termografia infravermelha como ferramenta para a identificação das modificações do sistema musculoesquelético em cavalos Puro Sangue Inglês de corrida em início de treinamento.

2.2 Objetivos Específicos

- Estudar a termografia como ferramenta de auxílio à interpretação de modificações circulatórias na fase inicial da remodelação óssea e de tecidos moles, bem como a adaptação dessas estruturas ao treinamento para corrida.

- Eleger quais as regiões anatômicas necessitam de avaliações com maior intensidade e frequência durante o período inicial de treinamento, bem como se há momentos mais propícios a lesões;

- Avaliar o uso profilático da termografia infravermelha para a prevenção de afecções locomotoras em cavalos de corrida.

3 HIPÓTESES

H0 – A termografia infravermelha não identificará alterações locomotoras decorrentes do exercício.

H1 – O exame termográfico identificará alterações locomotoras relacionadas à adaptação ao exercício.

H2 - O exame termográfico identificará, de forma profilática antes da manifestação clínica, afecções locomotoras decorrente do treinamento.

CAPÍTULO 2

(Artigo científico submetido para publicação no periódico Preventive Veterinary Medicine)

Infrared thermography applied to monitoring musculoskeletal adaptation to training in Thoroughbred race horses

Abstract

Infrared thermography can measure body surfaces temperatures and has been used to help in lameness diagnosing. Thermography can detect circulatory disorders due to inflammation weeks before the clinical manifestation. Thus, the authors hypothesized that it could be a valuable tool in understanding musculoskeletal adaptation to race training, as well as be a sensitive technique to predict the occurrence of lesions. This study aimed to evaluate the thermal variation in musculoskeletal system of young Thoroughbred (TB) horses during their initial months of race training. Thermographic examinations were performed once every two weeks on 16 (10 male, six female) TB racehorses between 20 and 23 months of age (21.7 ± 0.9), from arrival to the racetrack in June 2016, until January 2017, with a total of 16 evaluations. Thermographic imaging was performed early in the morning, 30 min after the horses were cleaned inside their stable stalls at the same time (06:00 am), at 1.5 m of distance using a thermal camera (Model E50bx, FLIR Systems, Sorocaba, Brazil). Thermograms were evaluated using FLIR Tools software, and temperature ($^{\circ}\text{C}$) was measured at the dorsal and palmar/plantar aspects of specific regions of interest, including fetlock, metacarpal and metatarsal regions, and carpal and tarsal regions. Imaging was also performed on the thoracolumbar and sacroiliac spine, and in both hips. Initially, temperature increased

in all anatomical regions throughout the study, with significantly higher temperatures in the final evaluation compared with the initial one ($p < 0.0001$). All regions demonstrated a positive correlation with which other. In addition, there was a significant difference between the right and left sides during the different training periods. Four horses exhibited poor musculoskeletal conditions associated with training; and the thermographic examination before training was able to reveal significant changes before clinical manifestation. Results of this study demonstrated that infrared thermography is a non-invasive and sensitive technique that can improve the understanding of musculoskeletal system adaptations to race training, and may be used as a predictive tool to anticipate the occurrence of lesions.

Keywords: Adaptation; Diagnosis; Equine; Race horses; Thermography.

Introduction

Research involving Thoroughbred (TB) race horses is currently focused toward a better understanding of the factors that lead to the high incidence of musculoskeletal injuries responsible for decreases in performance, training interruption, and premature disability in the athletic life of these animals (Rogers et al., 2012). In addition, concerning animal welfare, such injuries are detrimental to the public perception of horse racing, have emotional and financial consequences, and compromise the safety of other horses and jockeys (McKee, 1995; Estberg et al., 1996; Bailey et al., 1997; Boden et al., 2005; Wylie et al., 2017). Therefore, it is necessary to understand the physiological adaptations of the musculoskeletal system that occur during race training.

It has been demonstrated that TB racehorses exhibit adaptive failure in their bone and joint structures. The consequences of this are stress-related diseases that

develop when intense or excessive training overwhelms the capacity of bones and joints to adapt, resulting in high-strain cyclic fatigue, which in turn causes excessive compression of bones and/or joints, which cannot adequately remodel to withstand such stresses (Nunamaker, 2002; Muir et al., 2008; Whiton et al., 2010). This type of stress injury is very common and may be present in horses that exhibit no clinical signs of lameness, or signs of pain and/or lameness but are not properly diagnosed.

Modifications occur early and very subtly, with virtually no evidence on digital radiography examinations, suggesting the need for magnetic resonance imaging, scintigraphy, and computed tomography for identification (Gaschen and Burba, 2012). This, therefore, has prompted the search for methods to easily and reliably identify the early signs of poor adaptation of the musculoskeletal system of horses to race training.

In this context, infrared thermography is a technique based on the observation of changes in the temperature of body surfaces, which can signal circulatory modifications resulting from an inflammatory process, and is up to 10 times more sensitive than the human hand (Turner, 2001). Thermography has been described as a diagnostic technique capable of revealing subclinical changes related to the tendons and joints of athletic horses, detecting conditions in the early stages by as much as two weeks before the clinical signs manifest (Stromberg, 1973; Vaden et al., 1980).

Due to its sensitivity in detecting minor changes in temperature, the role of thermography in monitoring the musculoskeletal system of race horses during the race-training routine has been previously demonstrated (Turner et al., 2001; Soroko et al., 2014; Michelotto et al., 2016). Soroko et al. (2014) demonstrated the reliability of thermographic follow-up of musculoskeletal modifications that occur in race horses

during a training program. Michelotto et al. (2016) demonstrated its predictive use for the detection of dorsal metacarpal disease in two-year-old TB race horses.

The longevity of TB horses depends on a successful first-year campaign as a race horse, without interruptions caused by lesions (Bowell et al., 2013; Tanner et al., 2013). However, initiating a training program in a yearling carries a high risk for the occurrence of musculoskeletal lesions. The musculoskeletal system is the most likely system to be involved in conditions resulting in training failure in two-year-old TB racehorses (Hernandez and Hawkins, 2001), causing between 19% and 33% to leave training/racing ≤ 3 months in the United States (Haynes and Robinson, 1989; Kobluk et al, 1991; Hill et al., 2001). In Germany, 26% of TB horses leave training/racing in \leq nine months (Lindner and Dingerkus, 1993). In the present study, we hypothesized that infrared thermography can accurately identify modifications in young TB racehorses initiating training. Musculoskeletal modifications that occur due to race training in the initial months, as well as in periods in which more important changes occur, have not been extensively studied. Therefore, the objective of the present study was to evaluate the use of thermographic examination to investigate adaptive musculoskeletal modifications in TB race horses during the initial months of training. Additionally, the predictive value of thermography in anticipating the occurrence of musculoskeletal lesions was also investigated.

Materials and methods

Animals and ethics approval

Sixteen TB racehorses (10 male, six female) between 20 and 23 months of age (mean [\pm standard deviation (SD)] age 21.7 ± 0.9 months), belonging to the same owner and under the training responsibility of the same trainer, were

investigated at the Jockey Club of Paraná, in the city of Curitiba, Brazil. The animals arrived at the racetrack to begin training in June 2016, and were housed in individual stalls measuring approximately 3.5 m × 3.5 m × 5.0 m, with bed of sawdust, and fed a diet consisting of oats, commercial concentrate feed, grass and alfalfa hay, with ad libitum access to water. All horses were confirmed dewormed by coproparasitological examination, and were vaccinated for tetanus, influenza, and herpesvirus types 1 and 4.

During the period from June 2016 to January 2017, thermographic evaluations were performed once every two weeks, always in the morning before training (between 06:00 and 06:30 am), for a total of 16 evaluations. The group of horses, all of which were of the same equestrian age, began training at the same time with homogeneous management and methods. Exclusion criteria were applied throughout the study and included situations that interrupted training of the animal(s), which interfered with the continuity of evaluations. As such, only nine of the 16 animals completed the entire study period due to the occurrence of musculoskeletal injuries, exportation, or colic surgery. However, data collected from evaluations of four horses that were withdrawn from the study were included in the analyses to fulfill the objectives of the research.

The present study was approved by the Ethics Committee on the Use of Animals of the *Pontifícia Universidade Católica do Paraná*, registered under number 0951A.

Race training

On arrival to the racetrack, all horses underwent a two-week acclimatization period, followed by an initial trotting training period (average speed, 5.5 m/s), which

lasted until approximately the third week of August 2016. From then, gallop training began at distances ranging from 1600 mm to 2000 m per day at an average speed of 9.5 m/s. By the second week of October, speed training was initiated at speeds ranging from 13.3 to 15.3 m/s, starting at distances of 200 m and reaching 1000 m by the end of the study period.

In addition to evaluating the training period in its entirety (defined as “general”), it was divided into specific segments, including: ‘trot’ (June 20 to August 3, 2016 [four evaluations]); “gallop” (August 17 to September 28, 2016 [four evaluations]); and “intense” (the start of speed training [October 12, 2016 to Jan 18, 2017]), which encompassed the final eight evaluations.

Thermographic evaluation

Thermographic evaluations were performed once every two weeks in the morning (always at 06:00 am), with the animals inside their own stall protected from light and wind, approximately 30 min after they were cleaned and restrained only by a halter, following the guidelines of the American Academy of Thermology (2016) for veterinary thermographic research in field conditions. Thermographic recordings of all horses were acquired at a distance of approximately 1.5 m from the animal using an infrared camera (Model E50bx, FLIR Systems, Sorocaba, Brazil). The acquired images comprised the dorsal and palmar/plantar aspects of the forelimbs (including fetlocks, metacarpal and carpal regions) and hindlimbs (including fetlocks, metatarsal and tarsal regions), and back region (including the thoracolumbar spine, sacroiliac regions, and hips), totaling five thermograms per animal in each evaluation.

The FLIR Tools program (FLIR Systems, Sorocaba, Brazil) was used to evaluate the thermogram data, considering 18 regions of interest (ROI): dorsal and

palmar view of the carpal joint; metacarpal and front fetlocks; dorsal and plantar view of the tarsal joint; metatarsal and hind fetlocks; the midline of the thoracolumbar spine and both paravertebral muscles; sacroiliac region; and both hips. Except for the evaluation of the dorsal midline of the thoracolumbar spine and the sacroiliac region, other ROIs were evaluated on both sides, totaling 30 points of temperature (°C) measurement per animal in each evaluation.

In the FLIR Tools program, the evaluation of the carpus and tarsus was performed using a circle with a diameter of 26 mm; the metacarpal and metatarsal regions were assessed using a line from the proximal to the distal end of the region; the fetlock region with a circle 20 mm in diameter (Figures 1 and 2); the thoracolumbar spine and the paravertebral regions were investigated using lines, while a 14 × 21 mm square was used for the sacroiliac region and hips (Figure 3). For each investigated region, the mean value of temperature was used, after adjusting for emissivity of 0.97 μm (McCafferty, 2007). In addition, data regarding ambient temperature and relative humidity were obtained from the official meteorological service (Simepar, Paraná Meteorological System) and were adjusted in the FLIR Tools system for each image evaluated.

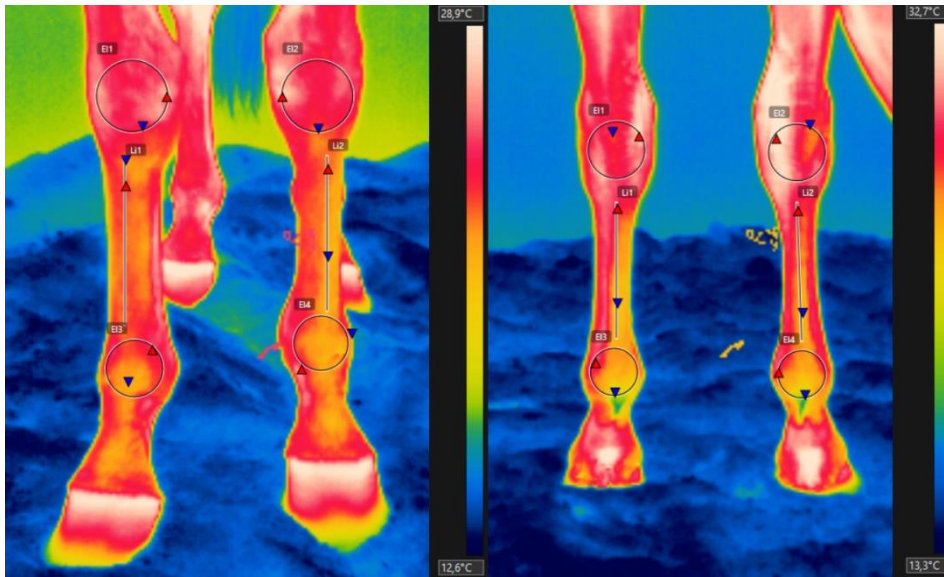


Figure 1 - Equine forelimb thermograms in the dorsal (left panel) and palmar (right panel) views, illustrating temperature investigations performed at each point of interest (carpus, metacarpus, and fetlock).

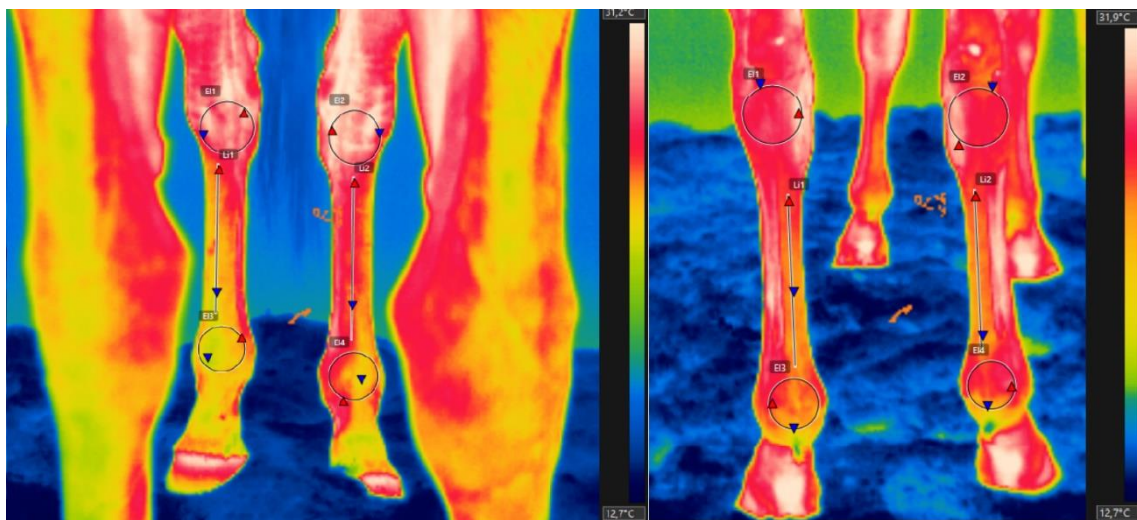


Figure 2 - Equine hindlimb thermograms in the dorsal (left panel) and plantar (right panel) views, illustrating temperature investigations performed at each point of interest (tarsus, metatarsus, and fetlock).

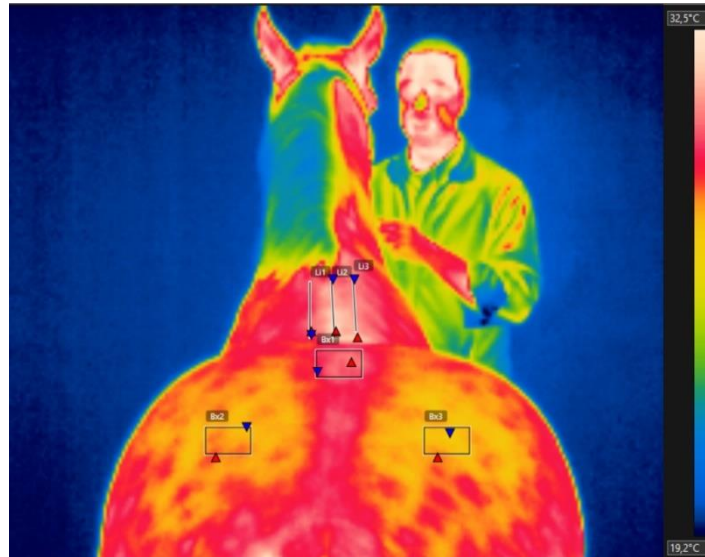


Figure 3 - Equine back thermogram illustrating temperature investigations performed at each point of interest (thoracolumbar spine and sacroiliac regions and hips).

Statistical analysis

Initially, data normality was analyzed using the D'Agostino and Pearson test. The paired Student's *t* test was used for comparisons between the right and left sides (homologous contralateral regions). For correlation analysis of all regions, and for the correlation between the temperature of the horses and the temperature of the environment, the Pearson correlation test was used. For comparison of the temperatures of each region in the different training periods, one-way ANOVA followed by Bonferroni or Tukey test were used according to the Levene variance homogeneity test. The evaluations were performed for the entire study period (i.e., general) and for each training segment (i.e., trot, gallop, and intense), using commercially available software (Statgraphics Centurion, Warrenton, Virginia, USA); $p < 0.05$ was considered to be statistically significant.

Results

The study began with 16 horses and concluded with nine due to musculoskeletal injuries (4/16 [25%]), exportation (2/16 [12.5%]), and one (6.25%) horse that underwent exploratory laparotomy after an episode of colic.

According to official meteorological service data, the lowest recorded ambient temperature in the region during the study period at the time of image acquisition was 6.9°C and the highest was 19.2°C (difference, 12.3°C). The minimum relative humidity was 77.2% and the maximum was 95.5%. There was a strong correlation between the temperature of the horse and ambient temperature ($p < 0.0001$; $\rho = 0.987$).

Considering homologous regions on the right and left sides, the temperature of the investigated ROI was significantly higher in the last evaluation compared with the initial evaluation in all regions analyzed ($p < 0.0001$) (Table 1). Temperature variations throughout the study period in the different investigated regions are shown in Figure 4.

Table 1 – Temperature (°C) at the first and last evaluations, and variation in each region of interest, in the thermographic investigation of two-year-old thoroughbred racehorses in the initial seven months of race training

Limb	Region	First evaluation	Last evaluation	Difference
Forelimbs	Dorsal carpus	23.8±1.2	29.6±0.8	5.8
	Dorsal metacarpus	23.0±1.8	29.2±1.3	6.2
	Dorsal fetlock	23.3±1.3	28.8±1.0	5.5
	Palmar carpus	23.8±1.50	30.3±0.6	6.5
	Palmar metacarpus	21.4±1.8	27.1±1.3	5.7
	Palmar fetlock	22.0±1.6	27.2±0.9	5.2
Hindlimbs	Dorsal tarsus	25.0±2,3	32.3±0.7	7.3
	Dorsal metatarsus	23.5±2.3	30.2±0.9	6.7
	Dorsal fetlock	22.5±1.5	29.2±1.0	6.6
	Plantar tarsus	23.1±0.9	22.8±0.8	5.6
	Plantar metatarsus	20.6±1.4	27.0±0.7	6.4
	Plantar fetlock	21.4±1.1	27.2±0.7	5.8
Back	Paravertebral	24.1±1.0	32.4±0.4	8.3
	Hips	22.2±0.7	30.9±0.5	8.6
	Thoracolumbar spine	24.4±1.7	32.6±0.3	8.2
	Sacroiliac	23.6±1.0	31.2±0.3	7.6

Data correspond to the temperature of the right and left sides and are presented as mean ± standard deviation, unless otherwise indicated.

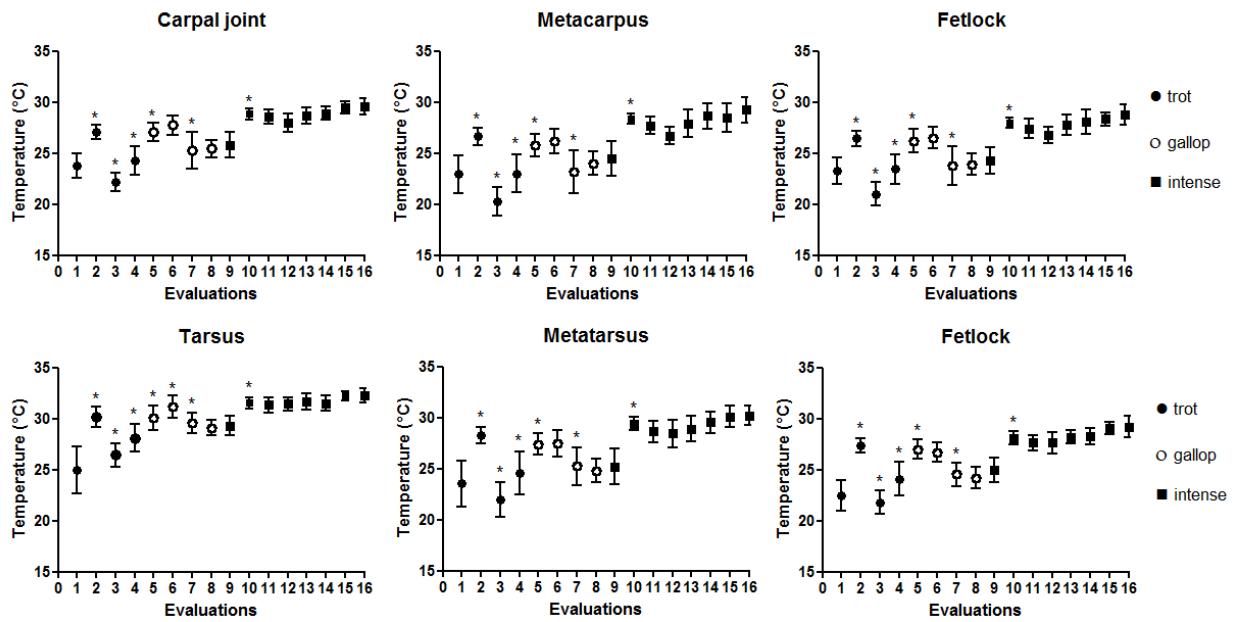


Figure 4 – Representative plots depicting temperature (°C) variation during the study period, and in the different training segments (i.e., trot, gallop and intense) at the dorsal aspect of the forelimbs (top row) and hindlimbs (bottom row), considering the right and left sides together. Data presented as mean \pm standard deviation. *Statistically significant difference compared with previous evaluation.

In the correlation analysis, all of the regions investigated were positively and significantly correlated with one another, revealing that temperature variation was directly proportional between different musculoskeletal regions.

The mean \pm SD temperature in the different regions investigated across the entire study period, and in the different training periods, are shown in Table 2. In general, the SD of the analyzed regions demonstrated a variation of 2.7°C (2.3 to 3.1°C); however, this variation was different among the training periods. When only the trot period was analyzed, the mean SD was 9.9°C (8.9 to 11.3°C), decreased to 8.1°C (7.0 to 9.5°C) in the gallop period, and increased to 13.8°C (12.9 to 15.0°C) during the intense training period.

Table 2 - Temperatures (°C) in specific anatomical regions of two-year-old thoroughbred racehorses, measured using thermographic examination during the initial seven months of race training

Anatomical region	General		Trot		Gallop		Intense	
	Left	Right	Left	Right	Left	Right	Left	Right
Dorsal carpus	26.6±2.4	26.7±2.3	24.0±9.9	24.2±10	26.3±7.9	26.4±7.9	28.3±13.6	28.4±13.6
Dorsal metacarpus	25.4±2.9	25.5±2.8	22.8±9.5	23.0±9.7	24.7±7.5	24.8±7.5	27.6±13.4	27.5±13.3
Dorsal fetlock (forelimb)	25.5±2.5	25.6±2.5	23.3±9.6	23.3±9.6	25.0±7.6	25.2±7.6	27.2±13.1	27.3±13.2
Palmar carpus	28.2±2.6	28.2±2.5	25.2±10.4	25.4±10.5	27.8±9.4	27.9±9.4	30.2±14.5	30.1±14.5
Palmar metacarpus	25.4±3.1	25.2±3.0	22.0±9.1	22.0±9.2	24.9±8.4	24.8±8.4	27.8±13.4	27.6±13.6
Palmar fetlock	25.6±2.6	25.4±2.6	22.7±9.4	22.6±9.3	25.3±9.0	25.0±8.8	27.5±13.3	27.5±13.4
Dorsal tarsus	29.8±2.3	29.9±2.3	27.3±11.2	27.4±11.3	29.9±9.5	30.1±9.5	31.3±14.9	31.4±15.0
Dorsal metatarsus	26.7±2.8	26.8±2.9	24.2±10.1	24.4±10.2	26.1±8.4	26.3±8.5	28.6±13.7	28.7±13.8
Dorsal fetlock (hindlimb)	26.0±2.5	26.1±2.5	23.6±9.8	23.8±9.9	25.4±8.1	25.7±8.2	27.7±13.3	27.8±13.3
Plantar tarsus	27.0±2.5	27.0±2.6	24.5±10.2	24.5±10.2	26.5±7.9	26.7±8.5	28.9±13.8	28.6±13.7
Plantar metatarsus	24.4±3.1	24.5±3.0	21.3±8.9	21.4±9.0	23.7±7.2	23.8±7.2	26.8±12.9	26.8±12.9
Plantar fetlock	24.9±2.6	25.1±2.6	22.1±9.2	22.3±9.2	24.4±7.8	24.6±7.3	26.8±12.9	27.0±13.0
Paravertebral	28.7±2.8	28.9±2.7	25.5±10.5	25.6±10.5	27.9±7.6	28.4±7.7	31.1±14.9	31.2±14.9
Hip	26.6±3.1	26.6±3.1	23.2±9.6	23.1±9.6	25.6±7.0	25.7±7.0	29.4±14.1	29.4±14.1
Thoracolumbar spine	29.1±2.6		26.2±10.8		28.5±7.8		31.4±15.0	
Sacroiliac	27.5±2.7		24.6±10.1		26.5±7.2		30.0±14.4	

Data presented as mean ± standard deviation across the entire study period (General) and the different periods of training (Trot, Gallop, and Intense).

Comparison between right and left homologous regions during the general period and specific phases of race training revealed that some regions demonstrated significant differences at particular times (Table 3).

Table 3 - Regions of interest exhibiting statistical differences in comparisons of temperature (°C) between the right and left sides, for the entire study period (general) and the different training phases (i.e., trot, gallop and intense) in a group of two-year-old thoroughbred racehorses during the initial seven months of race training

Limb	Region	View	Training period	Left side	Right side	p
Forelimbs	Carpus	Dorsal	General	26.6±2.4	26.7±2.3	0.048
	Fetlock	Palmar	General	25.6±2.6	25.4±2.6	0.014
	Fetlock	Palmar	Gallop	25.3±9.0	25.0±8.8	0.004
Hindlimbs	Tarsus	Dorsal	General	29.8±2.3	29.9±2.3	0.048
	Tarsus	Dorsal	Intense	31.3±14.9	31.4±15.0	0.031
	Fetlock	Dorsal	General	26.0±2.5	26.1±2.5	0.005
	Fetlock	Dorsal	Gallop	25.4±8.1	25.7±8.2	0.009
	Tarsus	Plantar	Intense	28.9±13.8	28.6±13.7	0.024
	Fetlock	Plantar	General	24.9±2.6	25.1±2.6	0.0001
	Fetlock	Plantar	Intense	26.8±12.9	27.0±13.0	0.0004
Back	Paravertebral	Dorsal	General	28.7±2.8	28.9±2.7	0.003
	Paravertebral	Dorsal	Gallop	27.9±7.6	28.4±7.7	0.004

Data presented as mean ± standard deviation.

Temperature data from the four horses withdrawn from the study due to orthopedic problems are shown in Table 4.

Table 4 - Temperature (°C) of the regions of interest* in the thermographic evaluation of four two-year-old thoroughbred racehorses before withdrawal from race training and from the study due to musculoskeletal problems

Evaluation	Horse	LDMc	RDMc	LDFH	RDFH	LPMc	RPMc	LDMt	RDMt	LDFH	RDFH	LPMt	RPMt	LTS	RTD	Training in previous weeks	Reason for injury
7	16	23.2	21.8	24	23.6	26.5	26.1	26.0	24.7	25.5	24.4	24.2	25.0	27.8	28.9	Gallop	Splint right second metacarpus
8	3	21.2	22.9	20.5	21.9	22.7	25.2	24.2	22.6	23.2	23.7	20.7	22.0	26.8	27.5	Gallop	metacarpal disease right forelimb
10	1	27.5	27.4	26.8	27.8	28.8	28.7	28.6	28.6	26.8	27.7	27.1	27.3	30.6	31.0	400 and 600 m intense	Metacarpal disease right forelimb
14	13	29.3	28.4	27.9	27.0	29.6	29.1	29.0	28.8	28.6	27.4	27.2	26.6	31.6	30.9	600 m intense	Metacarpal disease left forelimb

Temperatures of the last thermographic evaluation, the training period in which the animal was at the moment of exclusion and the reason for the exclusion.

Differences in temperature > 1°C between homologous regions are shown in bold type.

*LDMc: Left dorsal metacarpus; RDMc: Right dorsal metacarpus; LDFH: Left dorsal fetlock forelimbs; RDFH: Right dorsal fetlock forelimbs; LPMc: Left palmar metacarpus; RPMc: Right palmar metacarpus; LDMt: Left dorsal metatarsus; RDMt: Right dorsal metatarsus; LDFH: Left dorsal fetlock hindlimbs; RDFH: Right dorsal fetlock hindlimbs; LPMt: Left plantar metatarsus; RPMt: Right plantar metatarsus; LTS: Left thoracolumbar spine; RTS: Right thoracolumbar spine.

Discussion

The present study investigated a group of TB racehorses with the aim of understanding modifications in areas of the musculoskeletal system resulting from adaptation to race training in the initial months of training. Infrared thermography was used previously in a similar study by Turner et al. (2001), who weekly evaluated a group of TB horses in training for racing for 10 weeks. Soroko et al. (2014) investigated a group of horses including TB, Arabian and Polish half-breed horses, and performed thermographic evaluations every 30 days for 10 months. Finally, Michelotto et al. (2016) evaluated the metacarpal and metatarsal regions of two-year-old TB racehorses for 3 months during race training. In all of these studies, the horses were already in the midst of race training when the investigation started, differing from the present study, which investigated a group comprising only TB racehorses that were examined using thermographic evaluations every two weeks, and initiated training together.

The reduction in the number of animals throughout the present study was inevitable, and is inherent in this type of investigation in which horses are evaluated in real-world training situations. Thus, concurring with other studies, musculoskeletal lesions can be expected to be the most frequent reason for training interruption. In England, 20% of horses experienced serious musculoskeletal problems that prevented them from returning to race training (Jeffcott et al., 1982). In the United States, between 19% and 33% of racehorses were reported to leave training approximately in the third month (Haynes and Robinson, 1989; Kobluk et al., 1991; Hill et al., 2001), and 26% in the ninth month in Germany (Lindner and Dingerkus, 1993).

The four horses that were withdrawn from the present study due to musculoskeletal problems represented 25% of the initial sample, a reduction similar to that reported in the studies mentioned above. The problems were related to the metacarpal region, which is among the most frequent in TB racehorses in the first year of training (Bailey et al., 1998; Nunamaker, 2002). Three of these occurrences were between the third and fourth month of training, emphasizing the importance of careful and preventive clinical observation during the initial training period(s). All of the animals that were withdrawn from the present study exhibited important alterations in the evaluations *before* the appearance of clinical signs, such as temperature differences between the right and left limbs, and also in regions different from those responsible for withdrawal, thus demonstrating the interdependence between and among structures of the musculoskeletal system. These results confirmed one of the hypotheses of the present study, demonstrating that thermography is a tool that can be used for predictive diagnosis of injuries in racehorses during race training. It is evidence that veterinarians responsible for the care of racehorses need to be aware of to mitigate risks for musculoskeletal injuries in the adaptation period, despite the lighter effort compared with periods of intense training or racing.

The horses in the present study exhibited temperature increases in the ROIs throughout the study period; however, this did not occur in a linear fashion, and varied throughout the training period. For this, thermography revealed itself to be a sensitive tool able to identify modifications provoked by musculoskeletal adaptation during race preparation. As a non-invasive and quick procedure, thermography may be an important auxiliary tool for the

veterinarian as a screening investigation to provide accurate and sensitive information, as well as for the early identification of possible injuries.

All ROIs revealed an increase in temperatures at the last evaluation compared with those at the beginning of the study. This was also observed by Soroko et al. (2014 and 2017), who reported an increase in temperature in the back and distal portions of the limbs throughout the duration of race training. Infrared thermography can be used to measure body surface temperatures, and changes associated with the autonomic nervous and circulatory systems, physiological or arising from inflammatory processes (McCafferty, 2007). Considering the temperature variations in the ROIs in the study period in all animals, temperature variations occur independently and in a similar fashion, suggesting a process of physiological adaptation to training, with higher recruitment of peripheral blood vessels occurring in all regions and in a similar manner. However, this increase did not occur linearly throughout the training period. From the eighth to the last evaluation, there was a more gradual increase in the temperature of all regions compared with variations observed in the trot and gallop phases. There were two significant decreases in temperature, the most pronounced was in the third evaluation, which also occurred at the time of the lowest ambient temperature of the study (6.9°C), 8.5°C less than the previous evaluation and 3.5°C less than the next. Whether ambient temperature influenced the assessment of the ROIs is uncertain. Climatic influence cannot be ruled out because it was significantly correlated with the temperatures in the ROIs; this influence was also reported previously (Soroko et al., 2017). However, the seventh evaluation, which also revealed a significant decrease in temperature in the investigated regions, recorded the

same climatic temperature as the subsequent evaluation, and only 2°C less than the previous evaluation. In fact, the evaluation of athletes in real-world situations does not enable the complete control of variables—such as the influence of ambient temperature—that is possible under laboratory conditions. Additionally, the ambient temperatures recorded in this study were provided by the official meteorological service and were not measured inside each stall at the time of evaluation. Nevertheless, another study that measured temperatures inside the stalls reported differences of up to 20°C throughout the research period (Soroko et al., 2017). In our study, the largest difference between the first and final evaluations was 12.3°C. If temperature recordings were performed inside the stalls, the variation could have been even smaller. However, climatic variation appears to be inherent in such real-world studies, despite the adherence to guidelines from the American Academy of Thermology (2016), and using a protocol similar to other studies (Turner et al., 2001; Soroko et al., 2014; Michelotto et al., 2016; Soroko et al., 2017).

In the evaluation of a horse thermogram, symmetry is important, and homologous contralateral regions must not exhibit differences $> 1^{\circ}\text{C}$ (Turner, 1991) or 1.25°C (Soroko et al., 2013); differences larger than these are considered to be problematic. However, this is still to be further investigated and more clearly demonstrated, as in the study by Soroko et al. (2013), in which clinical conditions were not identified, even in horses with temperature differences between homologous contralateral regions. In the present study, the average temperature differences in the investigated regions were $< 1^{\circ}\text{C}$.

Significant differences $> 1^{\circ}\text{C}$, however, were recorded between homologous right and left regions in specific phases of training. For the four

withdrawn horses, the differences emerged when training progressed from trot to gallop in two, and intense training in the other two, and were all in the metacarpal region. In another study, comparing the occurrence of changes in the third metacarpal bone with the training phase, significant changes in temperatures occurred when the velocity was increased from a trot (5.5 m/s) to an intense gallop (16.6 m/s) (Boston and Nunamaker, 2000).

In the present study, anatomical regions that exhibited temperature differences in the early phases of training, but without clinical manifestation, included the fore and hind fetlocks, as well as the paravertebral region. The metacarpophalangeal joints are one of the most prevalent regions involved in racetrack injuries (Muir et al, 2008) because both fore and hindlimb fetlocks undergo major adaptive changes during race training (Gaschen and Burba, 2012). These changes are due to sclerosis in the palmar or plantar region of the third metacarpal and metatarsal bones (Gaschen and Burba, 2012), resulting in predisposition to injury, due to loss of impact-damping capacity, or even fracture (Whitton et al., 2010; Holmes et al., 2014). These bone modifications are very subtle and virtually undetectable in digital radiography examinations, necessitating magnetic resonance imaging and scintigraphy, and computed tomography for possible diagnoses (Gaschen and Burba, 2012). This emphasizes the role of thermographic examination, not only in a lameness examination, but during the entire training period. Thermography can alert veterinarians to signs that should prompt a more thorough clinical investigation due to detection of temperature differences and asymmetry among the different musculoskeletal regions.

In addition to the fetlocks, carpus and tarsus, other regions also exhibited early asymmetry in temperature, demanding special attention because these are also regions prone to injuries in racehorses during the adaptive training period (Stover, 2003).

Finally, the thoracolumbar region exhibited significant temperature differences compared with the right and left paravertebral regions when the horses started the gallop phase of training. The dorsal column is also an important location of injuries in racehorses, which are often underdiagnosed due to the difficulty of performing imaging tests (Haussler, 2007). In England, of 20% of lameness cases in racehorses, 4.35% were related to low-back pain (Landman et al., 2004). Changes in the dorsal column have been described by Tunley and Henson (2004), and Turner et al. (2004) using thermography examination. In addition, the fact that the differences are significant after training intensification is likely associated with orthopedic imbalance, given that the dorsal column plays a central role in maintaining body balance. It has been shown that many animals exhibit alterations in the joints of the hindlimbs because of back pain resulting from overloading exerted on the hindlimbs and the transfer of support to relieve pain in the back (Turner et al., 2004).

Collectively, this information highlights the interdependence among orthopedic regions in a racehorse. In the present study, all regions demonstrated a significant positive correlation with temperature, which was stronger in the trotting period. However, because horses do not respond or evolve to training in a homogeneous manner, changes appeared and were most pronounced when they started galloping and began speed exercises. Although specific region(s) can be the most affected, others are interrelated and may also

suffer, thus demanding from the veterinarian this understanding, and a complete and careful investigation. Regarding musculoskeletal injuries in TB racehorses, the term "spontaneous" could not be more misleading for most injuries, especially fractures. Rather, they are the culmination of a series of events that generally follow a characteristic and predictable course. Understanding adaptation processes and, especially, knowledge of the time necessary for this adaptation for each individual during the training period, can reduce the risk for injuries in racehorses.

Conclusions

Routine thermographic examination performed on TB horses during race training accurately revealed changes in the musculoskeletal system caused by training adaptation and identified regions that are more prone to early injury, thus demonstrating its sensitivity and predictive potential as a diagnostic modality. Studies aimed at further optimizing protocols for thermographic prediction and prevention of musculoskeletal conditions in TB racehorses are warranted.

Conflict of interest statement

None of the authors have any conflict of interest to declare.

Acknowledgements

This study was financed, in part, by the *Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior* - Brazil (CAPES) - Finance Code 001; thus, the

authors are grateful for the scholarship grant and supporting of their research. Additionally, the authors thank the staff of the Haras Belmont for helping with the study.

References

American Academy of Thermology- Veterinary Guidelines for Infrared Thermography. Turner, T.A, Waldsmith, J., Marcella, K., Henneman, K., Purohit, R.C., Morino, D., Schwartz, R.G., Campbell, J., Crawford, J., Neves, E.B., Wensink, I. 2016. <https://aathermology.org/> (accessed 20 December 2018).

Bailey, C.J., Reid, S.W., Hodgson, D.R., Suann, C.J., Rose, R.J., 1997. Risk factors associated with musculoskeletal injuries in Australian thoroughbred racehorses. *Prev Vet Med.* 32, 47–55.

Bailey, C.J., Reid, S.W., Hodgson, D.R., Bourke, J.M., Rose, R.J. 1998. Flat, hurdle and steeple racing: risk factors for musculoskeletal injury. *Equine Vet J.* 30, 498–503.

Boden, L.A., Charles, J.A., Slocombe, R.F., Sandy, J.R., Finnin, P.J., Morton, J.M., Clarke, A.F., 2005. Sudden death in racing Thoroughbreds in Victoria, Australia. *Equine Vet J.* 37, 269–271.

Bolwell, C.F., Rogers, C.W., French, N.P., Firth, E.C. 2013. The effect of interruptions during training on the time to the first trial and race start in Thoroughbred racehorses. *Prev Vet Med.* 108, 188–198.

Boston, R.C., Nunamaker, D.M. 2000. Gait and speed as exercise components of risk factors associated with onset of fatigue injury of the third metacarpal bone in 2-year-old Thoroughbred racehorses. *Am J Vet Res.* 61(6), 602–608.

Estberg, L., Stover, S.M., Gardner, I.A., Johnson, B.J., Case, J.T., Ardans, A., Read, D.H., Anderson, M.L., Barr, B.C., Daft, B.M., Kinde, H., Moore, J., Stoltz, J., Woods, L.W. 1996. Fatal musculoskeletal injuries incurred during racing and training in Thoroughbreds. *J Am Vet Med Assoc.* 208(1), 92–96.

Gaschen, L., Burba, D.J. 2012. Musculoskeletal injury in Thoroughbred racehorses correlation of findings using multiple imaging modalities. *Vet Clin North Am Equine Pract.* 28, 539–561.

Hausler, K.K. 2007. Review of the examination and treatment of back and pelvic disorders. *Proc Am Assoc Equine Pract.* 53, 158–182.

Haynes, P.F., Robinson, R.A. 1989. Racetrack breakdown pilot study summary. *Proc Am Assoc Equine Pract.* 34, 673–676.

Hernandez, J., Hawkins, D.L. 2001. Training failure among yearling horses. *Am J Vet Res.* 62, 1418–1422.

Hill, A.E., Stover, S.M., Gardner, I.A. 2001. Risk factors for and outcomes of noncatastrophic suspensory apparatus injury in Thoroughbred racehorses. *J Am Vet Med Assoc.* 218, 1136–1144.

Holmes, J.M, Mirams, M., Mackie, E.J., Whitton, R.C. 2014. Thoroughbred horses in race training have lower levels of subchondral bone remodelling in highly loaded regions of the distal metacarpus compared to horses resting from training. *Vet J.* 202, 443–447.

Jeffcott, L.B., Rosedale, P.D., Freestone, J. 1982. An assessment of wastage in Thoroughbred racing from conception to 4 years of age. *Equine Vet J.* 14, 185–198.

Kobluk, C.N., Robinson, R.A., Clanton, C.J. 1991. Comparison of the exercise level and problem rate of 95 Thoroughbred horses: a cohort study. *Proc Am Assoc Equine Pract.* 36, 471–475.

Landman, M.A.A.M., Blaauw, J.A., Van Weeren, P.R., Hofland, J.L. 2004. Field study of the prevalence of lameness in horses with back problems. *Vet Rec.* 155, 165–168.

Lindner, A., Dingerkus, A. 1993. Incidence of training failure among thoroughbred horses at Cologne, Germany. *Prev Vet Med.* 16, 85–94.

McCafferty, D.J. 2007. The value of infrared thermography for research on mammals: previous applications and future directions. *Mammal Rev.* 37, 207–23.

McKee, S.L., 1995. An update on racing fatalities in the UK. *Equine Vet Educ.* 7, 202–204.

Michelotto, B., Rocha, R.M.V.M., Michelotto JR., P.V. 2016. Thermographic detection of dorsal metacarpal/metatarsal disease in 2-year-old Thoroughbred racehorses: a preliminary study. *J Equine Vet Sci.* 44, 37–41.

Muir, P., A. Peterson, A.L., Sample, S.J. Scollay, M.C., Markel, M.D., Kalscheur, V.L. 2008. Exercise-induced metacarpophalangeal joint adaptation in the Thoroughbred racehorse. *J Anat.* 213, 706–717.

Nunamaker, D.M. 2002. On bucked shins. *Proc Am Assoc Equine Pract.* 48, 76–88.

Rogers, C. W., Bolwell, C. F., Tanner, J. C., Van Weeren, P.R. 2012. Early exercise in the horse. *J Vet Behav.* 7, 375–379.

Soroko, M., Henklewski, R., Filipowski, H., Jodkowska, E. 2013. The Effectiveness of Thermographic Analysis in Equine Orthopedics. *J Equine Vet Sci.* 33, 760–762.

Soroko, M., Dudek, K., Howell, K., Jodkowska, E., Henklewski, H. 2014. Thermographic evaluation of racehorse performance. *J Equine Vet Sci.* 34, 1076–1083.

Soroko, M., Howellb, K., Dudekc, K. 2017. The effect of ambient temperature on infrared thermographic images of joints in the distal forelimbs of healthy racehorses. *J Therm Biol.* 66, 63–67.

Stover, S.M. The epidemiology of Thoroughbred racehorse injuries. 2003. *Clin Tech Equine Pract.* 2, 312–322.

Stromberg, B. 1973. Morphologic, thermographic and ¹³³Xe clearance studies on normal and diseased flexor tendons in race horses. *Equine Vet J.* 5, 156–161.

Tanner, J.C., Rogers, C.W., Firth, C. 2013. The association of 2-year-old training milestones with career length and racing success in a sample of Thoroughbred horses in New Zealand. *Equine Vet J.* 45, 20–24.

Tunley, B.V., Henson, F.M. 2004. Reliability and repeatability of thermographic examination and the normal thermographic image of the thoracolumbar region in the horse. *Equine Vet J.* 36, 306–312.

Turner, T.A. 1991. Thermography as an aid to the clinical lameness evaluation. *Vet Clin North Am Equine Pract.* 7, 311–338.

Turner, T.A. 2001. Diagnostic thermography. *Vet Clin North Am Equine Pract.* 17, 95–113.

Turner, T.A., Pansch, J., Wilson, J.H. 2001. Thermographic assessment of racing Thoroughbreds. *Proc Am Assoc Equine Pract.* 47, 344–346.

Turner, T.A., Waldsmith, J.K., Wilson, J.H. 2004. How to assess saddle fit in horses. *Proc Am Assoc Equine Pract.* 50, 196–201.

Vaden, M.F., Purohit, R.C., McCoy, D., Vaughan, J.T. 1980. Thermography: a technique for subclinical diagnosis of osteoarthritis. *Am J Vet Res.* 41, 1175–1179.

Whitton, R.C.; Trope, G.D.; Ghasem-Zadeh, A. 2010. Third metacarpal condylar fatigue fractures in equine athletes occur within previously modelled subchondral bone. *Bone.* 47, 826–831.

Wylie, C.E., McManusb, P., McDonald, C., Jorgensenc, S., McGreevyc, P.
2017. Thoroughbred fatality and associated jockey falls and injuries in races in
New South Wales and the Australian Capital Territory, Australia: 2009-2014.
Vet J. 227, 1–7.

CAPÍTULO 3

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A termografia, se realizada com avaliações periódicas durante as diferentes fases de treinamento em cavalos de corrida, pode funcionar como uma ferramenta de alarme para o médico veterinário, apontando regiões mais propensas ao aparecimento de lesões, e indicando quais períodos de treinamento esses animais necessitam de maior cuidado e atenção. No presente estudo as regiões que demonstraram ser mais afetadas por lesões foram os boletos e metacarpos, e o período que mais demonstrou aparecimento de lesões foi quando os animais passam a treinar no galope. Além disso, esta técnica demonstrou ser sensível para detecção de alterações subclínicas, podendo, portanto ser uma ferramenta útil para diagnóstico preditivo de lesões em cavalos PSI de corrida. As sugestões para trabalhos futuros são estudar um intervalo de confiança de temperatura para cada região de interesse e otimizar um protocolo de uso da termografia em cavalos de esporte para a prevenção de lesões.

REFERÊNCIAS

American Academy of Thermology- Veterinary Guidelines for Infrared Thermography. Turner, T.A, Waldsmith, J., Marcella, K., Henneman, K., Purohit, R.C., Morino, D., Schwartz, R.G., Campbell, J., Crawford, J., Neves, E.B., Wensink, I. 2016. Disponível em: <https://aathermology.org/>

Arthur, R.M. 2010. Comparison of racing fatality rates on dirt, synthetic, and turf at four California racetracks. Proc Am Assoc Equine Pract, Baltimore, USA. 405–408.

Arthur, R.M., Blea, J.A., Ross, M.W., Moloney, P.J., Cheney, M.W. 2011. The North American Thoroughbred. In: Ross, M.W. e Dyson, S.J. Diagnosis and management of lameness in the horse. 2th Ed. Elsevier Saunders. 977.

Arruda, T.Z., Brass, K.E., De La Corte, F.D. 2011. Thermographic Assessment of Saddles Used on Jumping Horses. J Equine Vet Sci. 31, 625-629.

Bailey, C.J., Reid, S.W., Hodgson, D.R., Suann, C.J., Rose, R.J., 1997. Risk factors associated with musculoskeletal injuries in Australian Thoroughbred racehorses. Prev Vet Med. 32, 47–55.

Bailey, C.J., Reid, S.W., Hodgson, D.R., Bourke, J.M., Rose, R.J. 1998. Flat, hurdle and steeple racing: risk factors for musculoskeletal injury. Equine Vet J. 30, 498–503.

Becker-Birck, M., Schmidt, A., Wulf, M., Aurich, J., Von Der Wense, A., Möstl, E., Berz, R., Aurich, C. 2012. Cortisol release, heart rate and heart rate variability, and superficial body temperature, in horses lunged either with hyperflexion of the neck or with an extended head and neck position. J Anim Physiol Anim Nutr. 97(2), 322–330.

Bertone, A.L. 2002. The metacarpus and metatarsus. In: Stashak, T.S., editor. *Adam's lameness in horses*. 5th ed. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins. 800–30.

Boden, L.A., Charles, J.A., Slocombe, R.F., Sandy, J.R., Finnin, P.J., Morton, J.M., Clarke, A.F., 2005. Sudden death in racing Thoroughbreds in Victoria, Australia. *Equine Veterinary Journal*. 37, 269–271.

Boden, L.A., Anderson, G.A., Charles, J.A., Morgan, K.L., Morton, J.M., Parkin, T.D., Slocombe, R.F., Clarke, A.F., 2006. Risk of fatality and causes of death of Thoroughbred horses associated with racing in Victoria, Australia: 1989–2004. *Equine Vet J*. 38, 312–318.

Bolwell, C.F., Rogers, C.W., French, N.P., Firth, E.C. 2013. The effect of interruptions during training on the time to the first trial and race start in Thoroughbred racehorses. *Prev Vet Med*. 108, 188–198.

Bourke, J.M. 1995. Wastage in Thoroughbreds. Proceedings of the Annual Seminar of the Equine Branch of the New Zealand Thoroughbred Association, Massey, New Zealand, July 1995. 107–119.

Colles C., Holah G., Pusey A. 1995. Thermal imaging an aid to the diagnosis of back pain in the horse. Back pain in horses. In: *The Thermal Image in Medicine and Biology*, Eds: K. Ammer and E.F.J. Ring, Uhlen Verlag, Vienna. p. 164–167.

Cruz, A.M., Poljak, Z., Filejski, C., Lowerison, M.L., Goldie, K., Martin, S.W., Hurtig, M. B. 2007. Epidemiologic characteristics of catastrophic musculoskeletal injuries in Thoroughbred racehorses. *Am J Vet Res*. 68,1370–1375.

Davies, H. M. S., Gale, S. M., Baker, D. C. 1999. Radiographic measures of bone shape in young Thoroughbreds during training for racing. *Equine Vet J.* 30, 262–265.

Eddy, A.L., Van Hoogmoed, L.M., Snyder, J.R. 2001. The role of thermography in the management of equine lameness. *Vet J.* 162, 172–81.

Estberg, L., Stover, S.M., Gardner, I.A., Johnson, B.J., Case, J.T., Ardans, A., Read, D.H., Anderson, M.L., Barr, B.C., Daft, B.M., Kinde, H., Moore, J., Stoltz, J., Woods, L.W. 1996. Fatal musculoskeletal injuries incurred during racing and training in thoroughbreds. *J Am Vet Med Assoc.* 208, 92–96.

Estberg, L., Stover, S.M., Gardner, I.A., Johnson, B.J., Jack, R.A., Case, J.T., Ardans, A., Read, D.H., Anderson, M.L., Barr, B.C., et al., 1998. Relationship between race start characteristics and risk of catastrophic injury in Thoroughbreds: 78 cases (1992). *J Am Vet Med A.* 212, 544–549.

Gaschen, L., Burba, D.J. 2012. Musculoskeletal Injury in Thoroughbred Racehorses Correlation of Findings Using Multiple Imaging Modalities. *Vet Clin North Am Equine Pract.* 28, 539–561.

Goodship, A. E., Smith, R. K. W. Skeletal Physiology: responses to exercise and training. In Hinchcliff, W. K., Keneps, A. J., Geor, R. J. *Equine sports medicine and surgery.* Saunders, 2006. 7, 111–129.

Haynes, P.F., Robinson, R.A. 1989. Racetrack breakdown pilot study summary. *Proc Am Assoc Equine Pract.* 34, 673–676.

Henley, W.E., Rogers, K., Harkins, L., Wood, J.L., 2006. A comparison of survival models for assessing risk of racehorse fatality. *Prev Vet Med.* 74, 3–20.

Henson, F.M.D. *Equine Back Patology.* 2009. Ed. Wiley-Blackwell. Cambridge, UK.

Hernandez, J., Hawkins, D.L. 2001. Training failure among yearling horses. *Am J Vet Res.* 62, 1418–1422.

Hill, A.E., Stover, S.M., Gardner, I.A. 2001. Risk factors for and outcomes of noncatastrophic suspensory apparatus injury in Thoroughbred racehorses. *J Am Vet Med Assoc.* 218, 1136–1144.

Hitchens, P.L., Hill, A.E., Stover, S.M., 2016. The role of catastrophic injury or sudden death of the horse in race day jockey falls and injuries in California, 2007–2012. *Equine Vet J.* 48, 50–56.

Hitchens, P.L., Morrice-West, A.V., Stevenson, M.A., Whitton, R.C. 2019. Meta-analysis of risk factors for racehorse catastrophic musculoskeletal injury in flat Racing. *Vet J.* 245, 29–40

Hunt, R.J.; Northrop, F. 2011. The thoroughbred racehorse. In: Baxter, G.M. Adams & Stashak's Lameness in Horses. 6th Ed. Wiley-BlackWell. 1474-75.

Holmes, J.M; Mirams, M.; Mackie, E.J.; Whitton, R.C. 2014. Thoroughbred horses in race training have lower levels of subchondral bone remodelling in highly loaded regions of the distal metacarpus compared to horses resting from training. *Vet J.* 202, 443–447.

Jeffcott, L.B.; Rosedale, P.D.; Freestone, J. 1982. An assessment of wastage in Thoroughbred racing from conception to 4 years of age. *Equine Vet J.* 14, 185–198.

Johnson, B. J., Stover, S. M., Daft, B. M., Kinde, H., Read, D. H., Barr, B. C., Anderson, M., Moore, J., Woods, L., Stoltz, J. Blanchard, P. 1994. Causes of death in racehorses over a 2 year period. *Equine Vet J.* 26, 327–330.

Kastberger, G., Stachi R. 2003. Infrared imaging technology and biological applications. *Behav Res Methods*. 35, 429–439.

Kobluk, C.N., Robinson, R.A., Clanton, C.J. 1991. Comparison of the exercise level and problem rate of 95 Thoroughbred horses: a cohort study. *Proc Am Assoc Equine Pract*. 36, 471–475.

Legorreta, G.G.L. 2013. Ocorrências graves: injúrias catastróficas e não catastróficas nas corridas no hipódromo de cidade jardim do Jockey Club de São Paulo no período de 1996 a 2006. *Vet. e Zootec*. 20(3), 9–27.

Levet, T., Martens, A., Devisscher, L. Duchateau, L., Bogaert, L., Vlaminck, L. 2009. Distal limb cast sores in horses: risk factors and early detection using thermography. *Equine Veterinary Journal*. 41(1), 18–23.

Lindner, A., Dingerkus, A. 1993. Incidence of training failure among thoroughbred horses at Cologne, Germany. *Prev Vet Med*. 16, 85–94.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2016. Revisão do Estudo do Complexo de Agronegócio do Cavalo. Brasília. 7.

McCarthy, R. N., Jeffcott, L. B. 1992. Effects of treadmill exercise on cortical bone in the third metacarpus in young horses. *Res Vet Sci*. 52, 28–37.

McKee, S.L., 1995. An update on racing fatalities in the UK. *Equine Vet Educ*. 7, 202–204.

Michelotto, B., Rocha, R.M.V.M., Michelotto Jr., P.V. 2016. Thermographic Detection of Dorsal Metacarpal/Metatarsal Disease in 2-Year-Old Thoroughbred Racehorses: A Preliminary Study. *J Equine Vet Sci*. 44, 37–41.

Mohammed, H.O., Hill, T., Lowe, J. 1991. Risk factors associated with injuries in Thoroughbred racehorses. *Equine Vet J*. 23, 445–448.

Muir, P.; A. Peterson, A.L., Sample, S.J. Scollay, M.C., Markel, M.D., Kalscheur, V.L. 2008. Exercise-induced metacarpophalangeal joint adaptation in the Thoroughbred racehorse. *Journal of Anatomy*. 213, 706–717.

Nakashima, T., Hayashi, M., Takayanagi, H. 2012. New insights into osteoclastogenic signaling mechanisms. *Trends Endocrinol Metab*. 23(11), 582–90.

Nunamaker, D.M. 2002. On bucked shins. *Proc Am Assoc Equine Pract*. 48, 76–88.

Peloso, J.G., Mundy, G.D., Cohen, N.D., 1994. Prevalence of, and factors associated with, musculoskeletal racing injuries of Thoroughbreds. *J Am Vet Med Assoc*. 204, 620–626.

Riggs, C. M., Lanyon, L. E., Boyde, A. 1993. Functional Associations Between Collagen Fibre Orientation and Locomotor Strain Direction in Cortical Bone of the Equine Radius. *J Anat Embryol*. 187, 231–238.

Riggs, C.M. 2002. Fractures - A Preventable Hazard of Racing Thoroughbreds? *Vet J*. 163, 19–29.

Robinson, R.A., Kobluk, C., Clanton, C. 1988. Epidemiology studies of musculoskeletal racing and training injuries in Thoroughbred horses, Minnesota, USA. *Acta Vet Scand*. 84, 340–344.

Rogers, C.W., Bolwell, C. F., Tanner, J.C., Van Weeren, P.R. 2012. Early exercise in the horse. *J Vet Behav*. 7(6), 375–379.

Rosenmeier, J.G., Strathe, A.B., Andersen, P.H. 2012. Evaluation of coronary band temperatures in healthy horses. *Am J Vet Res*. 73(5), 719–23.

Sherman, K. M., Miller, G. J., Wronski, T. J., Colahan, P.T., Brown, M., Wilson, W. 1995. The effect of training on equine metacarpal bone breaking strength. *Equine Vet J.* 27, 135–139.

Soroko, M., Dudek, K., Howell, K., Jodkowska, E., Henklewski, H. 2014. Thermographic Evaluation of Racehorse Performance. *J Equine Vet Sci.* 34, 1076–1083.

Soroko, M., Jodkowska, E., Dudek, K. 2015. Thermography diagnosis in monitoring annual racehorses' training cycle. *Med Weter.* 71(1), 52–58.

Stover, S.M. 2003. The Epidemiology of Thoroughbred Racehorse Injuries. *Clin Tech Equine Pract.* 2(4), 312–322.

Stromberg, B. 1973. Morphologic, thermographic and ¹³³Xe clearance studies on normal and diseased flexor tendons in race horses. *Equine Vet J.* 5, 156–161.

Tanner, J.C., Rogers, C.W., Firth, C. 2013. The association of 2-year-old training milestones with career length and racing success in a sample of Thoroughbred horses in New Zealand. *Equine Vet J.* 45(1), 20–24.

Turner, T.A., Fessler, J.F., Lamp, M., Pearce, J.A., Geddes, LA. 1983. Thermographic evaluation of horses with podotrochlosis. *Am J Vet Res.* 44, 535–539.

Turner, T.A. 2001. Diagnostic thermography. *Vet Clin North Am Equine Pract.* 17, 95–113.

Turner, T.A., Pansch, J., Wilson, J.H. 2001. Thermographic assessment of racing Thoroughbreds. *Proc Am Assoc Equine Pract.* 47, 344–6.

Vaden, M.F., Purohit, R.C., McCoy, D., Vaughan, J.T. 1980. Thermography: a technique for subclinical diagnosis of osteoarthritis. *Am J Vet Res.* 41, 1175–1179.

Valera, M., Bartolomé, E., Sánchez, M.J., Molina, A., Cook, N.J., Schaefer, A.L. 2012. Changes in eye temperature and stress assessment in horses during show jumping competitions. *J Equine Vet Sci.* 32, 827–30.

Velie, B.D., Stewart, B.D., Lam, K., Wade, C.M., Hamilton, N.A. 2013. Profiling the Careers of Thoroughbred Horses Racing in Hong Kong Between 2000 and 2010. *Equine Vet J.* 45(6), 694–699.

Williams, R.B., Harkins, L.S., Hammond, C.J., Wood, J.L., 2001. Racehorse injuries, clinical problems and fatalities recorded on British racecourses from flat racing and National Hunt racing during 1996, 1997 and 1998. *Equine Vet J.* 33, 478–486.

Wilson, J.H., Robinson, R.A. 1996. Risk factors for equine racing injuries. *Compend Contin Educ Vet J.* 18, 682–690.

Whitton, R.C., Trope, G.D., Ghasem-Zadeh, A. 2010. Third metacarpal condylar fatigue fractures in equine athletes occur within previously modelled subchondral bone. *Bone.* 47, 826–83.

Wylie, C.E., McManusb, P., McDonaldc, C., Jorgensenc, S., McGreevyc, P. 2017. Thoroughbred fatality and associated jockey falls and injuries in races in New South Wales and the Australian Capital Territory, Australia: 2009–2014. *Vet J.* 227, 1–7.

Yanmaz, L.E., Okumus, Z. 2007. Instrumentation of Thermography and its Applications in Horses. *J Anim Vet Adv.* 6, 858–862.

ANEXO



Pontifícia Universidade Católica do Paraná
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Comissão de Ética em Pesquisa no Uso de Animais

Curitiba, 10 de agosto de 2017.

PARECER DE PROTOCOLO DE PESQUISA

REGISTRO DO PROJETO: 0951A – EMENDA – (Inclusão de Pesquisador)

TÍTULO DO PROJETO: USO DA TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA NO ACOMPANHAMENTO DE CAVALOS PURO SANGUE INGLÊS DE CORRIDA EM INÍCIO DE TREINAMENTO

PESQUISADOR RESPONSÁVEL

Pedro Vicente Michelotto Júnior

EQUIPE DE PESQUISA

Fernanda C. Mendes Brussi, Fernanda Z. Bastos, Bianca P. Vieira, Patrícia R. Fernandes, Rodolfo Augusto A. Jansen, Hanna Prochno

INSTITUIÇÃO

Pontifícia Universidade Católica do Paraná

ESCOLA / CURSO

Escola de Ciências da Vida / Medicina Veterinária

VIGÊNCIA DO PROJETO	Maio 2017 a Abril 2019	QUANTIDADE DE ANIMAIS	Conforme projeto original
ESPECIE/LINHAGEM	Conforme projeto original – 0951	Nº SISBIO (Somente animais de vida livre)	Não se aplica
SEXO	Conforme projeto original – 0951	ATIVIDADES (Somente animais de vida livre)	Não se aplica
IDADE / PESO	Conforme projeto original – 0951	ESPECIE – GRUPO TAXONÔMICOS (de vida livre)	Não se aplica
ORIGEM DO ANIMAL	Conforme projeto original – 0951	LOCAL (IS) (Somente animais de vida livre)	Não se aplica

O colegiado da CEUA certifica que este protocolo que envolve a produção, manutenção e/ou utilização de animais pertencentes ao filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto homem), para fins de pesquisa científica, encontra-se de acordo com os preceitos da Lei nº 11.794/2018 e Decreto nº 6.899/2009, e com as normas editadas pelo CONCEA e foi **APROVADO** pela CEUA - PUCPR em reunião de colegiado no dia **10.08.2017**. Se houver mudança do protocolo o pesquisador deve enviar um relatório à CEUA descrevendo de forma clara e sucinta, a parte do protocolo a ser modificado e as suas justificativas. Se a pesquisa, ou parte dela for realizada em outras instituições, cabe ao pesquisador não iniciar antes de receber a autorização formal para a sua realização. O documento que autoriza o início da pesquisa deve ser carimbado e assinado pelo responsável da instituição e deve ser mantido em poder do pesquisador responsável, podendo ser requerido por esta CEUA em qualquer tempo. Lembramos ao pesquisador que é **obrigatório** encaminhar qualquer **alteração** no protocolo de pesquisa e o **Relatório Final** a esta CEUA.

Atenciosamente,

Prof. Dr. Sérgio Luiz Rocha
Coordenador
Comissão de Ética no Uso de Animais



Rua Imaculada Conceição, 1155 Prado Velho CEP 80215-901 Curitiba Paraná Brasil
Telefone: (41) 3271-2200