

TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA EM MEDICINA VETERINÁRIA – HISTÓRICO, PRINCÍPIOS BÁSICOS E APLICAÇÕES

Marco Aurélio Torrecillas Sturion¹
Jéssica Leite Fogaça²
Michel de Campos Vettorato³
Vânia Maria Vasconcelos Machado⁴

RESUMO

A termografia infravermelha (TIV) representa um exame de imagem complementar, trata-se de uma ferramenta não ionizante e não invasiva que capta e registra a emissão térmica da superfície da pele. Esta vem sendo utilizada na medicina humana há mais de 50 anos, na avaliação das mudanças da temperatura superficial induzida por enfermidades como: neoplasias mamárias, diabetes, distúrbios vasculares, regiões musculares, doenças articulares, alterações simpáticas e parassimpáticas entre outras utilidades. Em medicina veterinária, as primeiras descrições ocorreram na década de 1960, e desde então passou a crescer tecnologicamente. Esta revisão descreveu sobre a princípios básicos e as principais aplicações da TIV em medicina veterinária. Foi realizada uma pesquisa bibliográfica possibilitando assim consolidar informações relativas à base teórica e ao tema proposto. Após a revisão foi possível identificar a história tecnológica da TIV, além de descrever princípios físicos básicos relacionados a técnica e as principais aplicações em medicina veterinária, visando destacar a eficácia desta modalidade no auxílio diagnóstico das inúmeras situações descritas.

Palavras-chave: termografia, diagnóstico por imagem, temperatura corporal.

INFRARED THERMOGRAPHY IN VETERINARY MEDICINE - HISTORY, BASIC PRINCIPLES AND APPLICATIONS

ABSTRACT

Infrared thermography (TIV) represents a complementary imaging test. It is a non-ionizing, non-invasive tool that captures and records the thermal emission of the skin surface. This has been used in human medicine for more than 50 years, in the evaluation of changes in surface temperature induced by diseases such as: breast cancer, diabetes, vascular disorders, muscle regions, joint diseases, sympathetic and parasympathetic alterations, among other uses. In veterinary medicine, the first TIV descriptions occurred in the 1960s, and have since grown technologically. This review describes the basic principles and main applications of TIV in veterinary medicine. A bibliographic research was carried out, thus making it possible to consolidate information related to the theoretical basis and the proposed theme. After the review, it was possible to identify the technological history of TIV, in addition to describing basic physical principles related to the technique and the main applications in veterinary

¹ Pós-doutoramento em Diagnóstico por Imagem no Departamento de Cirurgia Veterinária e Reprodução Animal da FMVZ/UNESP, Botucatu-SP, marcosturion@gmail.com

² Discente do Programa de Pós graduação em Biotecnologia Animal da FMVZ/UNESP, Botucatu-SP, jesicaleite@hotmail.com

³ Discente do Programa de Pós graduação em Animais Selvagens da FMVZ/UNESP, Botucatu-SP, m_vettorato@hotmail.com

⁴ Docente do Departamento de Cirurgia Veterinária e Reprodução Animal da FMVZ/UNESP, Botucatu-SP, Correspondência: vania.mv.machado@unesp.br

medicine, aiming to highlight the effectiveness of this modality in helping to diagnose the numerous situations described.

Keywords: thermography, diagnostic imaging, body temperature.

TERMOGRAFÍA INFRARROJA EN MEDICINA VETERINARIA - HISTORIA, PRINCIPIOS BÁSICOS Y APLICACIONES

RESUMEN

La termografía infrarroja (TIV) representa un examen de imagen complementario, es una herramienta no ionizante y no invasiva que captura y registra la emisión térmica de la superficie de la piel. Esto se ha utilizado en medicina humana durante más de 50 años, en la evaluación de cambios en la temperatura de la superficie inducidos por enfermedades como: cáncer de mama, diabetes, trastornos vasculares, regiones musculares, enfermedades articulares, alteraciones simpáticas y parasimpáticas, entre otros. En medicina veterinaria, las primeras descripciones de TIV ocurrieron en la década de 1960 y desde entonces han crecido tecnológicamente. Esta revisión describió los principios básicos y las principales aplicaciones de la TIV en medicina veterinaria. Se realizó una búsqueda bibliográfica que permitió consolidar la información relacionada con la base teórica y el tema propuesto. Después de la revisión, fue posible identificar la historia tecnológica de la TIV, además de describir los principios físicos básicos relacionados con la técnica y las principales aplicaciones en medicina veterinaria, con el objetivo de resaltar la efectividad de esta modalidad para ayudar a diagnosticar las numerosas situaciones descritas.

Palabras clave: termografía, diagnóstico por imagen, temperatura corporal.

INTRODUÇÃO

A termografia infravermelha (TIV) consiste em uma técnica não invasiva, de mapeamento térmico, a partir da radiação infravermelha emitida pela superfície do corpo em estudo (1,2). Todo objeto que apresenta uma temperatura acima de zero absoluto (0° K ou $-273,15^{\circ}$ C) emite radiação infravermelha, essa radiação invisível aos olhos humanos pode ser detectada apenas pela sua forma de calor (3).

Essa radiação possui um espectro de comprimento de onda como ocorre com as radiações e luz visível, seu espectro comumente detectado pelas imagens termográficas está entre 7,5 até 13 μ m (4).

A TIV encontra-se em constante evolução tecnológica, como ocorre em outras modalidades de diagnóstico por imagem como: ultrassom, raios-x digital, tomografia computadorizada e ressonância magnética. Por ser um método não invasivo e livre de emissões de radiação pode ser realizado por longos períodos de monitoramento sem prejuízo para o paciente (5).

Este método não necessita de contato físico ou de contenção, não sendo necessária a utilização de fármacos para contenção química. Esta característica permite a avaliação das mudanças fisiológicas da superfície da pele, em tempo real, no recinto de animais silvestres ou no habitat das diversas espécies. Pessoas e mamíferos são homotérmicos. O corpo dispõe de diversas formas de manter o equilíbrio térmico e a temperatura corporal se torna, para o organismo, um indicador da condição de saúde (6).

A TIV vem sendo utilizada na medicina humana há mais de 50 anos, na avaliação das mudanças da temperatura superficial induzida por enfermidades como: neoplasias mamárias,

diabetes, distúrbios vasculares (isquemia), regiões musculares (miosites, ponto gatilho), doenças articulares (reumatismo, artroses entre outros), alterações simpáticas e parassimpáticas entre outras utilidades (7,8).

Na medicina veterinária foi inicialmente aplicada em equinos, introduzida em 1960. Na avaliação de animais de companhia tem apresentado nos últimos anos um crescente interesse. A TIV pode ser empregada de diversas formas na medicina veterinária como: uma ferramenta de triagem diagnóstica, um teste adjuvante para melhorar o exame físico em exames ortopédicos e neurológicos, guiar o manejo terapêutico e avaliar a resposta em tratamento de longo prazo (9,10).

Esta revisão teve como objetivo descrever sobre a história tecnológica, princípios básicos relacionados e as principais aplicações da TIV em medicina veterinária. Para a concretização foi realizada uma pesquisa bibliográfica por um levantamento teórico com fontes secundárias possibilitando assim, consolidar informações relativas à base teórica e ao tema proposto.

REVISÃO DE LITERATURA

História da tecnologia

A termologia, como ciência médica foi inicialmente documentada por Hipócrates, 400 a.C. Neste período postulou que “Em qualquer parte do corpo, se houver excesso de calor ou de frio, a doença existe e é para ser descoberta” (11,12). Em suas primeiras tentativas de descobrir alterações de temperaturas locais ou centrais que indicassem uma doença, ele utilizava o dorso da mão na busca de regiões com diferenças de temperatura. A lama, por sua vez, era outra alternativa utilizada para localizar alterações de temperatura. Uma vez passada no corpo, eram identificados os locais de secagem mais rápida, que indicavam local com maior temperatura no corpo (13,14).

Apesar desses esforços, a tecnologia de infravermelho só iniciou seu desenvolvimento séculos depois, com a sequência de diversos descobrimentos, como a descrição das frações da luz branca, feita em 1664 por Newton. Com a utilização de um prisma, Newton demonstrou as diversas cores em uma tela. Essa imagem alongada e colorida do sol foi chamada por Newton de “espectro”. Em 1672, Newton descreveu seu conceito de que a luz é “uma mistura heterogênea de raios com diferentes refrangibilidades” (15).

Os princípios iniciais da termografia estão relacionados com a descoberta do Sir William Herschel, alemão naturalizado inglês, que no ano de 1800 fez dentre várias, a descoberta da radiação térmica, essa luz invisível mais tarde chamada de infravermelho ou radiação infravermelha (16,17). Neste período, ele havia notado que alguns filtros de vidro de diferentes cores deixavam passar o calor em uma quantidade diferente (18,19).

Em seu experimento, Herschel (18) decidiu medir a temperatura após a cor vermelha e descobriu que nesta região, mesmo não tendo luz, a temperatura aumenta e possui índices mais elevados. Ele concluiu que havia alguma radiação nesta região e, após alguns testes, descobriu que essa radiação sofria os mesmos efeitos da refração, reflexão, absorção e transmissão da mesma forma que a luz visível (17).

No ano de 1840, foi obtido o primeiro registro rudimentar da imagem térmica em papel. O feito foi realizado pelo filho de Sir William Herschel, também astrônomo famoso, Sir John Herschel, que se baseou na evaporação de uma película fina de petróleo. Essa, quando exposta à radiação térmica refletida, tornava a imagem visível ao olho nú. A descoberta foi chamada na época por “termógrafo” (20).

Wunderlich (21), foi pioneiro na tentativa de determinar a temperatura como uma ferramenta clínica. Ele aferia a temperatura de indivíduos que sofriam de febre (hipertermia) e

comparava com a dos indivíduos normais. Assim se estabeleceu a temperatura como um indicador científico de doença.

James D. Hardy em 1934, descreveu o papel fisiológico da emissão infravermelha do corpo humano e propôs que a pele humana pode ser considerada como um radiador de corpo negro. Ele estabeleceu a importância diagnóstica da medição de temperatura pela técnica de infravermelho que abriu o caminho para o uso da TIV em ciências médicas (22).

Durante a Segunda Guerra Mundial, a tecnologia de infravermelho ganha impulso tecnológico com interesse de se utilizar essa ferramenta para detectar alvos inimigos (11). Com desenvolvimento desses dispositivos, foi possível revolucionar a ciência, substituindo termômetros de contato e termometria de cristal líquido (6,12,23).

A TIV inicia seu desenvolvimento na década de 1950 e apresenta uma característica diferente dos outros exames: essa ferramenta diagnóstica capta a energia térmica emitida pelo objeto ou paciente, sendo assim um exame inócuo para o animal (9). A TIV, desde o seu desenvolvimento inicial em 1950, sofreu intensa evolução tecnológica. Somente após o início dos anos 2000, a TIV se desenvolveu com mais rapidez, com o uso de sistemas automatizados se tornando mais dinâmica e com imagens simultâneas, possibilitando, assim, a aplicação em pequenos animais (3,24-26).

A primeira prática de termografia como ferramenta diagnóstica no campo da medicina foi realizada em 1957 por R. N. Lawson, que descobriu que a temperatura da pele sobre a área de um tumor de mama, era maior que a do tecido normal (6). Na medicina veterinária, as primeiras descrições ocorreram na década de 1960 em equinos, o sistema de aquisição das imagens nesta época era lento e podia demorar mais de cinco minutos para realizar uma única imagem (10).

Em 1970, surgem às primeiras câmeras comerciais (4). Os primeiros modelos tinham como base tecnológica um tubo piroelétrico. Atualmente, esses conceitos foram aprimorados com novas tecnologias (eletrônica e computacional).

Clark et al. (27), realizaram as primeiras investigações das alterações fisiológicas do exercício em humanos, dando início a estudos dinâmicos na avaliação da temperatura superficial da pele, utilizando no experimento corredores em ambiente aberto não climatizado.

Apesar de toda essa evolução, somente no ano de 1987 o conselho da American Medical Association reconhece a termografia de infravermelho como ferramenta diagnóstica no campo médico (28,29).

Já existe a proposta de máquinas termográficas que se acoplam nos aparelhos celulares (30,31). Esta tecnologia apresenta preço acessível, existem pequenas limitações com relação à qualidade da imagem (3). Contudo já existe a proposta de sua utilização na medicina, sendo indicada na avaliação de alterações precoces da vascularização periférica de membros de pessoas com diabetes (31).

Com a evolução das câmeras para aquisição das imagens, essas podem ser avaliadas de forma estática, como uma fotografia (termograma), ou serem realizadas em tempo real e armazenadas em formato de vídeo. Nos termogramas, a interpretação depende principalmente da identificação da distribuição espacial da temperatura, com pontos quentes e frios e distribuições assimétricas na superfície da pele (6). Existem ferramentas de processamento de imagem, por meio de softwares disponibilizados pela internet. Essas ferramentas incluem muitas funções de processamento dos termogramas, como análise de histogramas de áreas selecionadas, comparação térmica entre regiões, perfis de linha, medição de pontos entre outras funções.

Princípios básicos e aspectos físicos

O espectro eletromagnético é descrito por comprimentos de ondas (designadas por bandas) e frequência que vão desde raios gama (ondas mais curtas), raios x, luz ultravioleta, luz visível, luz infravermelha, microondas e ondas de rádio mais longas (32). Nas frequências baixas com comprimento de onda maiores encontram-se as ondas de rádio apresentando como característica baixa energia, e em oposto à radiação gama, com comprimento de onda menor e com grande energia (12).

Dentro desse espectro, os seres humanos percebem apenas uma região muito pequena conhecida como luz visível. A radiação infravermelha, que é detectada por câmeras térmicas, é emitida por todos os objetos proporcionais à temperatura. Essa radiação pode ser absorvida, emitida, refletida ou transmitida (28,33).

A luz tem as duas propriedades de uma onda eletromagnética, mas também as propriedades de um fluxo de partículas, chamadas de fótons. Os fótons são carregados de energia e não dependem da matéria para viajar pelo espaço, portanto, podem viajar tanto pelo vácuo quanto pelo ar (33). O fluxo de fótons carregados de energia, chamado de luz infravermelha ou radiação infravermelha, tem uma frequência menor e um comprimento de onda maior do que o olho humano pode ver e, portanto, é percebido apenas como calor pelos animais e seres humanos (24,32).

A radiação eletromagnética infravermelha tem comprimento de onda entre 1 micrômetros e 1000 micrômetros. Ligeiramente mais longa que a luz visível, situa-se no espectro entre a luz vermelha e as micro-ondas (20).

Câmeras de imagem térmicas medem a quantidade de radiação infravermelha emitida por um corpo, no qual a temperatura não seja menor que zero e caracterizado por um comprimento de onda de 8 a 12 μm , e convertem a leitura em um termograma, conforme a equação de Stefan-Boltzmann:

$$R = \varepsilon \sigma T^4$$

Onde:

ε – significa a emissividade da superfície, ou seja, a capacidade de uma superfície para emitir e absorver radiação. Os tecidos biológicos tendem a variar entre 0,94 e 1,0.

σ – é a constante de Stefan-Boltzmann ($5.67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$).

T - é a temperatura absoluta da superfície em kelvins ($^{\circ}\text{K}$).

A escala de emissividade (ε) varia de zero até um, sendo que zero representa um objeto que reflete toda a radiação e “1”, é igual a um corpo negro. Um corpo negro é um conceito teórico que não ocorre na natureza, tem como intuito considerar a hipótese de existir um objeto com o potencial de absorver 100% da radiação eletromagnética, sem refletir ou transmitir nenhuma energia (34).

O físico Gustav Kirchhoff comprovou, em 1860, que a capacidade de um corpo em absorver energia é igual à de emití-la. Isso significa que um corpo capaz de absorver toda a radiação em qualquer comprimento de onda é igualmente capaz na emissão de radiações (20).

$$\varepsilon = W'/W$$

Onde:

ε – emissividade.

W' - quantidade de energia emitida pelo corpo (λ constante).

W - quantidade de energia emitida pelo corpo negro (λ constante).

Entretanto os corpos reais não se comportam como a teoria dos corpos negros, isto ocorre em decorrência dos corpos reais não absorverem toda a energia eletromagnética que

incide sobre ele. Assim, um objeto (corpo) qualquer pode absorver uma parcela (α) da radiação incidente, pode refletir (reflexão espectral δ) e/ou transmitir (τ). A soma desses três fatores (parcelas) equivale à energia total que incidiu sobre o corpo (34).

$$\alpha + \delta + \tau = 1$$

A pele humana apresenta uma emissividade que varia entre 0,97 a 0,99 (35). O fator de emissão da pele dos animais pode variar de 0,93 a 0,98 dependendo da quantidade de pelos e do comprimento da pelagem (36). Existe pouca descrição de emissividade ideal para uma determinada espécie ou tipos de pelagem.

Em cães, Mari Vainionpää et al. (24), utilizaram o índice de emissividade em “1,0” para avaliar cães de corrida da raça Galgo (Greyhounds). O valor da emissividade pode ser definido na câmera antes de capturar as imagens ou com software durante o processamento das imagens. Mesmo não havendo um valor fixo de utilização na medicina veterinária, a maioria dos estudos de termografia em animais sugerem a utilização entre 0,95 e 1,0 de emissividade.

A importância de entender a relevância da emissividade das superfícies biológicas, está na garantia de que todas as imagens térmicas serão realizadas com total conhecimento das limitações físicas e capacidades da tecnologia (34).

A umidade do ambiente pode ser monitorada por higrômetro, este parâmetro pode ser ajustado à câmera conforme a medição no momento de realizar as imagens. A câmera pode também compensar o fator de transmissão da temperatura pela umidade relativa da atmosfera, sendo indicado para distâncias curtas com valor predefinido de 50% (20).

Além da umidade e outros fatores já descritos, a radiação térmica do ambiente emite calor para (ao redor) o objeto ou paciente, esta variante também deve ser levada em consideração. Pode ser geralmente compensada com medições externas, no entanto, muitos fabricantes levaram isso em consideração e existem câmeras termográficas com recurso de compensação integrada dessa radiação térmica (ambiente) (37-39).

Os dois parâmetros importantes para um sensor térmico são sua resolução (pixels) e a sensibilidade. A sensibilidade é medida em graus Fahrenheit, Kelvin e Celsius. Sendo a última escala a mais utilizada como referência na literatura (34).

A sensibilidade na detecção do calor pode ser até 40 vezes maior do que na palpação (exame físico), pois aparelhos com sensibilidade superior podem detectar variações inferiores de temperatura de 0,025°C (24,31). Essa sensibilidade é considerada valiosa para aplicabilidade médica, uma vez que variações locais de temperatura causadas por tumores, inflamações e angiogênese, costumam causar elevação na temperatura da superfície da pele e podem ser detectadas antes dos seus sinais clínicos respectivos (33,40).

A resolução de temperatura é análoga ao número de cores em uma exibição de computador ou fotografia colorida. Quanto melhor a resolução (maior for a matriz de pixels, ex. 240x360 pixels), mais suaves serão as transições de temperatura. Se o objeto de estudo (paciente) tiver gradientes de temperatura sutis, eles serão atribuídos ao objeto e não à câmera (41).

Os termogramas podem ser visualizados em palhetas com cores ou em cinza (Figura 1), podendo ser analisado um pixel como uma medida de temperatura, por exemplo: uma câmera com resolução de 320 x 240 pixels irá gerar 76.800 medidas térmicas em uma imagem. O sistema Flir oferece também a função de spot onde mostra em tempo real o pixel de interesse e assim demonstra uma aferição de temperatura única e pontual na região de interesse (20,24).

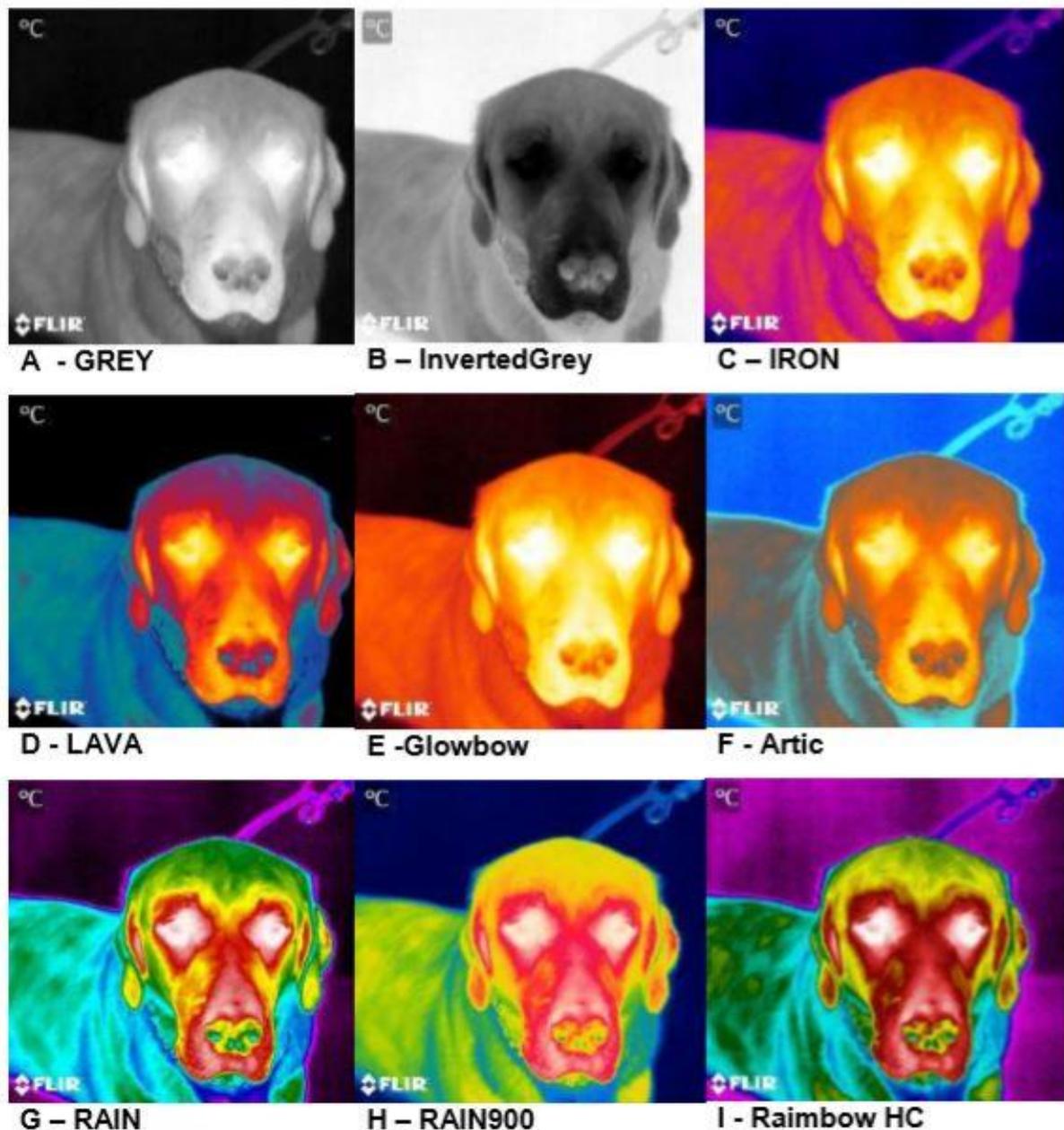


Figura 1. Imagem térmica de um mesmo cachorro da raça Labrador Retriever em vista frontal da face, evidenciando aspecto normal da diferença de temperatura encontradas na face. Estão dispostas algumas das diversas palhetas de cores que o software FLIR Tools® oferece, sendo que nas figuras: A – palheta de cores GREY; B – InvertedGrey; C – Iron; D – LAVA; E – Glowbow; F – Artic; G – RAIN; H – RAIN900 e I – Raimbow HC. Fonte: Arquivo pessoal.

Principais aplicações

As primeiras descrições da utilização da TIV na medicina veterinária se iniciaram com estudos em equinos na década de 60, onde para se realizar uma imagem, o tempo necessário médio era de 5 minutos (10). A TIV só apresentou vantagem como ferramenta diagnóstica para pequenos animais, quando se tornou mais precisa, rápida e acessível. As principais

descrições de aplicabilidade em pequenos animais (Quadro 1) surgiram somente nas últimas décadas (3,14,42).

Quadro 1. Principais publicações referentes a utilização da termografia infravermelha em cães.

Objetivo	Referência
Avaliação de membros saudáveis	Loughin e Marino (43)
Avaliação de joelho com e sem ruptura do ligamento cruzado	Infernuso et al. (1)
Triagem diagnóstica: estudos preliminares	Redaelli et al. (3)
Detecção de osteossarcoma	Amini et al. (44)
Discopatia em cães condrodistroficos tipo I	Grossbard et al. (2)
Revisão de métodos de imagem na avaliação do joelho	Marino e Loughin (9)
Utilização como ferramenta na clínica medica	Vainionpää (25)
Auxílio diagnóstico de neoplasias mamarias	Clementino et al. (45)
Avaliação da acupuntura para tratamento em artrite crônica induzida	Um et al. (46)
Análise de termo câmeras para veterinária	Vainionpää et al. (24)
Avaliação de ferida cirúrgica	Herlofson (32)
Detecção da fase reprodutiva	Durrant et al. (47), Olğaç et al. (48)
Avaliação de cães de corrida	Vainionpää et al. (49)
Anestesia – Avaliação da vasodilatação periférica	Vainionpää et al. (50)
Fisioterapia – avaliação de lesões musculares	Steiss (51)
Odontologia - Avaliação de doenças dentárias	Dornbusch (52), Dornbusch et al. (53)
Trombose em artéria femoral - relato de caso	Kim e Park (54)
Oftalmologia – cães com e sem ceratoconjuntivite seca	Biondi et al. (55)
Mudanças na temperatura superfície corporal associada a exercício em esteira	Rizzo et al. (26)
Comportamento - Temperatura dos olhos	Travain et al. (56,57)

A TIV é um método diagnóstico que atualmente está ganhando destaque por auxiliar com informações imprescindíveis para um diagnóstico mais completo, seguro e eficiente. Por não ser invasiva e não emitir radiações, esta técnica apresenta diversas vantagens em sua utilização, sendo empregada nos mais diversos campos da medicina veterinária, com as mais diferentes espécies. Como não necessita de contenções químicas e físicas, pode ser aplicada no local em que o animal se encontra, preservando, assim, o bem-estar e o conforto do paciente (2).

A sua aplicação em pequenos animais ainda apresenta desafios, pois está diretamente ligada à precisão e qualidade da câmera utilizada. Atualmente não há literatura internacional suficiente para sua padronização e utilização na rotina de clínica de pequenos animais (43).

A termografia desempenha um papel importante como ferramenta de diagnóstico complementar na medicina veterinária, pode demonstrar em tempo real imagens qualitativas da superfície do paciente indicando quaisquer áreas de anormalidades e sugerindo áreas de triagem para melhor diagnóstico ou acompanhamento do tratamento (58).

Infernuso et al. (1) descreveram a utilização da técnica no diagnóstico de cães com ruptura de ligamento cruzado. Os autores comparam seu emprego em joelhos de animais saudáveis, com o objetivo de investigar a capacidade da técnica e sua precisão. Os resultados descritos são de aproximadamente 75 a 85% de precisão na detecção dessa enfermidade em joelhos com pelo ou tosados.

Redaelli et al. (3), realizaram um experimento investigativo em 110 animais (92 cães e 18 gatos), que foram selecionados aleatoriamente no atendimento clínico na Faculdade de Medicina Veterinária da Universidade de Milão. Esses pacientes foram separados nos seguintes grupos: oncologia, dermatologia, ortopedia e neurologia. Os achados do experimento descrevem com 100% de sensibilidade e especificidade de 44% nos diversos casos observados.

A comparação entre a ressonância magnética (RM) e a técnica de TIV apresenta correlação positiva em humanos (59) e em cães (2). Grossbard et al. (2) realizaram um estudo de detecção da doença disco intervertebral toracolombar em cães condrodistoficos tipo I, utilizaram TIV e confirmaram os achados com RM e cirúrgicos. Encontraram resultado de 97% de sucesso da TIV na identificação da região do disco intervertebral anormal.

Pré-condições para a realização das imagens termográficas

Para iniciar a realização das imagens termográficas ou termogramas, com o intuito de evitar artefatos e realizar medições de temperatura com precisão, existe a necessidade de compensar os efeitos de um determinado número de diferentes fontes emissoras de radiação. Para isso a literatura científica em um esforço de produzir imagens com repetitividade tenta padronizar os seguintes parâmetros introduzidos na câmera: emissividade do objeto, temperatura aparente refletida, distância entre o objeto e a câmera, umidade relativa (%) e a temperatura da atmosfera (temperatura da sala de exame) (13,33,60-62).

Paciente

Na avaliação de esforço repetitivo das mãos em humanos, Gold et al. (63), solicitaram as pessoas avaliadas a absterem-se de exercícios intensos, uso de ferramentas elétricas, café, álcool (por 10 horas) e tabaco por uma hora antes do experimento.

Ng e Etehadtavakol (64), descreveram que a imagem termográfica deve ser feita antes do planejamento da endoscopia, para eliminar qualquer potencial de influência da limpeza intestinal e do mecanismo endoscópico. Podendo ser realizadas imagens antes e depois como forma de comparação.

A preparação dos animais, contudo, requer outros aspectos, devem ser consideradas as alterações que podem causar influência na microcirculação da pele como: situação térmica do paciente (hiper ou hipotermia), alterações neurais, umidade na pele (banhos, pomadas, géis), medicamentos tópicos ou parenterais, exercício físico, fatores emocionais (medo, euforia), fatores fisiológicos (dor e inflamação), fatores ambientais e de estação do ano, se precaver em regiões de lambidura do paciente ou quando há presença de mais de um animal e evitar regiões com sujidades. Pode ser extrapolado como no humano o jejum de substâncias, fármacos ou alimentos energéticos que alterem o metabolismo, bem como medicamentos anti-inflamatórios, analgésicos e fármacos vasoativos que alterem a microcirculação da pele (65-68).

Ambiente

As imagens devem ser obtidas em ambiente climatizado que apresente condições padronizadas. Variáveis que podem ser controláveis incluem movimento do paciente, fluxo de ar, influência do sol na sala e temperatura ambiente. A termografia pode ser realizada em sala climatizada com um intervalo de temperatura de 20 a 25°C (68° a 77°F), entretanto, Simon et al. (69) citaram que a termografia em equinos pode ser realizada com temperaturas menores que 30°C (86°F).

McCafferty et al. (39) utilizaram a termografia na avaliação da temperatura superficial de pinguim imperador em seu habitat natural. As mensurações foram realizadas com temperatura ambiente não controlada de -17,6 °C, demonstrando a diversidade de empregabilidade da técnica.

Interpretação das imagens

Para interpretar termogramas de seres humanos ou animais, seja de corpo inteiro ou de regiões de interesse, é essencial considerar as alterações que podem causar influência na microcirculação da superfície da pele como: situação térmica do paciente (hiper ou hipotermia), fatores ambientais (adaptativos) e de estação do ano, alterações neurais, hormonais, neoplásicas, metabólicas, reguladores da pressão arterial e venosa (70), mecânicos que influenciam o fluxo sanguíneo local (decúbitos antes do exame) e artefatos (lambeduras, produtos tópicos, umidade, utilização de medicação) (37,71). Também como os fatores já citados anteriormente na preparação do paciente.

Devido à grande variação de diferentes fatores reguladores, fisiológicos ou não, que podem interferir na circulação da pele, a TIV se apresenta como uma ferramenta de grande desafio diagnóstico, por assumir caráter de exame fisiológico e pouco morfológico como nos casos dos exames radiográficos, ultrassonográficos de tomografia computadorizada entre outros exames (9,72).

A TIV pode ser aplicada em todas as classes e espécies de animais. Assim, é possível produzir e analisar termogramas de insetos, anfíbios, répteis, aves (39,73) e mamíferos (34). Contudo, algumas espécies podem apresentar limitações técnicas decorrentes das características fisiológicas (ectotérmico) e morfológicas como: plumagem, pena, lã, bico, escamas entre outras características, essas regiões densas podem oferecer um isolante térmico e aparecerão nos termogramas com a temperatura do ambiente, influenciadas principalmente pela temperatura do ar ou do sol, quando presente (73). Para interpretar a temperatura nesses casos é importante considerar os princípios básicos da termorregulação de cada espécie (66,74).

Os tecidos animais, por possuírem uma grande concentração de água, em geral tornam a emissividade alta (mais de 0,80). Nos cães, algumas partes do corpo que não são cobertas por pelos, são as áreas em que é possível ler a temperatura da superfície do animal com maior acurácia (34). Essas regiões podem ser consideradas “Janelas Térmicas” e podem ser produzidas com a retirada do pelo (37,43) ou afastando o pelo ou a lã. Outra opção são áreas que apresentam pouca cobertura como região da face (região periocular, mucosas da boca e carúncula lacrimal) (39,48,56,68), barriga e genitálias (75).

Ao avaliar o pinguim imperador em seu habitat natural (-17,6°C), Mccafferty et al. (39), descreveram que quase todas as superfícies externas do corpo estavam com temperatura abaixo do ponto de congelamento, com exceção da região dos olhos (periocular), demonstrando seu valor como área de avaliação.

Outro princípio importante na interpretação dos termogramas é que não se pode atribuir uma cor a uma determinada doença, contudo pode se determinar faixas ou limites de temperatura. Esses parâmetros de “anomalias térmicas” devem ser conectados sempre com fenômenos fisiológicos ou ambientais, como já descritos (14,66).

Inflamações

A temperatura superficial do corpo ou da região de interesse (RI), varia entre a temperatura do ambiente e a temperatura sanguínea da pele (aproximadamente 30-34°C). A temperatura da pele ou RI pode, por sua vez, ser avaliada remotamente por termografia infravermelha a partir da quantidade de calor que irradia (70,76).

Os processos inflamatórios quando agudos causam, em geral, aumento da temperatura local, sendo esse um dos sinais que indicam a presença desse processo, podendo em algumas situações ocorrer o aumento da temperatura antes de aparecerem os sinais clínicos no paciente (14,38). Isso ocorre em decorrência do aumento metabólico local, vasodilatação ou mesmo angiogênese, assim, as imagens nesse tipo de processo tendem a ser hiper radiantes.

Áreas hiporradiantes

Locais que apresentam baixa temperatura podem significar alterações ou sinais de doenças como: edema, fibrose, atrofia muscular, falta ou falha na circulação (38).

Isquemia ou gangrena

Anderson e Desrochers (77) indicaram a utilização da termografia na avaliação da viabilidade de extremidades distais de bovinos. Isquemias e gangrenas graves podem levar a amputação de extremidades (dígitos e casco) de membros e têm um impacto dramático na qualidade de vida e na produtividade desses animais.

Em humanos, Wallace et al. (31) propuseram a utilização de termogramas produzidos a partir de aparelhos celulares, para avaliar a perfusão sanguínea em extremidades de membros inferiores em pacientes diabéticos. O trabalho destaca potenciais aplicações, incluindo diagnóstico de doença arterial periférica, avaliação transoperatória e monitoramento após as terapias indicadas.

As imagens descritas nesses trabalhos, em decorrência da baixa perfusão, são de caráter hiporradiante e ajudam na indicação de amputações ou terapia conservadora.

Osteoartrite

Estudos em humanos demonstraram boa relação entre achados radiográficos e aumento da temperatura em termogramas de joelho (12,28,71,78). Em cães, Infernuso et al. (1) realizaram avaliação termográfica de animais que sofreram ruptura de ligamento cruzado e observaram uma taxa de 75 - 85% de sucesso do exame com achados cirúrgicos.

Collins et al. (79), correlacionaram os achados da termografia e radiologia em lesões inflamatórias, localizada em carpo e joelho de pessoas. Os autores destacam que as duas técnicas medem diferentes facetas do mesmo fenômeno e os achados de cada uma devem ser considerados complementares. A termografia infravermelha demonstra maior valor nas alterações da vascularização na fase aguda de uma lesão, enquanto a radiologia mostra mudanças estruturais anatômicas, decorrentes da cronicidade da enfermidade.

Acompanhamento clínico

Em um modelo experimentalmente induzido de artrite canina, os mapas de cores termográficas mudaram à medida em que a temperatura aumentava no dermatômo das articulações artríticas. A acupuntura foi usada por quatro semanas e os padrões termográficos

e as temperaturas voltaram ao normal, enquanto os padrões termográficos permaneceram anormais no grupo não tratado (9,46). Steiss (51) descreveu a importância da utilização da termografia infravermelha juntamente com outras técnicas de diagnóstico por imagem na avaliação e acompanhamento da terapia de cães atletas que recebem reabilitação de distúrbios musculoesqueléticos.

Tendinopatias

Smith (10), em seu trabalho pioneiro em cavalos, destacou a possibilidade de observar aumentos localizados de temperatura em tendões, contusões entre outras lesões, apontando aumento de temperatura da superfície do corpo na área com alteração.

Eddy et al. (33) descreveram que a tendinite na fase aguda, se apresenta nos cavalos como uma zona focal de aumento de temperatura tendo forma elíptica. Destaca que os pontos quentes (hot spots) podem ser detectados termograficamente até duas semanas antes dos equinos apresentarem evidência de sinais clínicos como dor ou inchaço. Essas informações são importantes, pois somadas ao exame físico, podem ajudar a detectar precocemente lesões ou confirmar várias dores palpáveis nos equinos, e dessa maneira promover mudanças na rotina de treinamento ou permitir indicações de tratamento e bem-estar.

Miopatias

Segundo Vainionpää et al. (35), a termografia tem o potencial de reconhecer e apontar regiões lesionadas ou potencialmente dolorosas em cães e gatos, isso ocorre pelas alterações vasculares e de temperatura superficial que podem revelar alterações principalmente em animais que apresentam relutância para realizar o exame físico.

Contudo, os termogramas, não são imagens que representam dor e sim disfunções morfofisiológicas que estão relacionadas com regiões álgicas, pois demonstram os componentes somáticos do sistema nervoso autônomo simpático e mecanismos inflamatórios, que alteram o fluxo sanguíneo dérmico (8,53).

Comportamento

As respostas emocionais dos cães frente a alimentos apetitosos foram estudadas usando a TIV e avaliando a frequência cardíaca. Este estudo foi realizado por Travain et al. (57), que observaram aumento na temperatura dos olhos e da frequência cardíaca após ser oferecido alimento. Em suas considerações descrevem a TIV como uma ferramenta útil na avaliação dos estados emocionais em termos de excitação, mas falha em discriminar o estado emocional, cuja interpretação não pode ser desconsiderada, os índices comportamentais como o abanar da cauda entre outros.

Avaliação de estresse

A avaliação do estresse pode ser realizada de várias formas, como mensuração das concentrações de cortisol sérico, presente na saliva, fezes e dispositivos remotos para registro da temperatura corporal, frequência cardíaca e coleta de amostras de sangue (80).

Na região periocular, a carúncula lacrimal é uma estrutura anatômica localizada na região medial do olho, esta é descrita como a mais sensível às alterações em eventos de estresse, dor e termorregulação. Alterações na sua temperatura têm sido atribuídas a respostas simpáticas e do sistema nervoso autônomo (29,56,80).

O estresse pode ser definido como um mecanismo de defesa ou adaptação do organismo contra fatores adversos do cotidiano, quando estimulado ativa as vias neuroendócrinas do eixo hipotálamo-pituitária-adrenocortical (HPA) para realizar a adaptação do comportamento e as mudanças fisiológicas do animal à nova situação. Com a ativação do eixo HPA ocorre a produção de calor, como consequência da elevação da concentração sérica de catecolaminas e cortisol que irão induzir aumento de fluxo sanguíneo (81).

A relação entre TIV e a atividade do eixo HPA, foi inicialmente investigada por Cook et al. (81), em equinos, que correlacionaram a utilização de termogramas da face e cortisol e, assim, descreveram a correlação positiva desses dois índices biomédicos.

Avaliação de dor

Os animais, de modo geral, possuem a capacidade de percepção dos estímulos externos, contudo não são capazes de se expressar de forma verbal, ou com mímicas (faciais ou corporais) às suas alterações emocionais ou fisiológicas decorrentes de estímulos dolorosos ou estressantes. Vieira (82), destaca essa importância na avaliação da dor em cavalos com cólica e ressalta que, além disso, formas de mensuração da severidade da dor nos animais são indispensáveis para tomar decisões clínicas.

Como ocorre no estresse, a forma de avaliação pode ser por vários métodos, contudo a região ocular (região da carúncula lacrimal) por ser uma região muito vascularizada, a temperatura tende a aumentar. Estudos recentes da avaliação da dor por avaliação da temperatura ocular têm se mostrado relevantes como os observados em bovinos (81) e em equinos com cólica (82).

Nos cães há poucos estudos que validam a utilização da técnica de termografia de infravermelho como ferramenta de detecção de dor com base no aumento ou diminuição da temperatura, porém, alguns estudos apontam que esta pode ser uma ferramenta útil na avaliação do estresse ou na excitação (56,57).

Odontologia

Dornbusch et al. (53) realizaram trabalho pioneiro na avaliação da inflamação causada pela presença de abscessos dentários em uma avaliação de 53 cães, com 13 animais positivos para enfermidade. O trabalho destaca alterações significativas da temperatura em áreas, nas quais há inflamação e sugere a termografia infravermelha (TIV) como ferramenta de triagem, além da utilização da radiologia nos cães como forma de aumentar a acurácia das técnicas.

Amorim et al. (29) utilizaram na odontologia humana a TIV e descreveram como uma ferramenta útil no diagnóstico das reações inflamatórias da cavidade oral, bem como monitoramento do paciente após submetidos às várias possibilidades de tratamento. Outro aspecto importante está na possibilidade de monitorar a eficiência dos tratamentos odontológicos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por esta revisão foi possível identificar a história tecnológica, os princípios básicos relacionados e as principais aplicações da TIV em medicina veterinária, além de destacar a eficácia desta modalidade no auxílio diagnóstico das inúmeras situações descritas.

REFERÊNCIAS

1. Infernuso T, Loughin CA, Marino DJ, Umbaugh SE, Solt PS. Thermal imaging of normal and cranial cruciate ligament-deficient stifles in dogs. *Vet Surg.* 2010;39(4):410-7. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1532-950X.2010.00677.x>.
2. Grossbard BP, Loughin CA, Marino DJ, Marino LJ, Sackman J, Umbaugh SE, et al. Medical infrared imaging (thermography) of type I thoracolumbar disk disease in chondrodystrophic dogs. *Vet Surg.* 2014;43(7):869-76. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1532-950X.2014.12239.x>.
3. Redaelli V, Tanzi B, Luzi F, Stefanello D, Proverbio D, Crosta L, et al. Use of thermographic imaging in clinical diagnosis of small animal: preliminary notes. *Ann Ist Super Sanit.* 2014;50(2):140-6. doi: https://doi.org/10.4415/ANN_14_02_06.
4. Arfaoui A, Polidori G, Tair R, Popa C. Infrared thermography in sports activity. In: Prakash RV. *Infrared thermography.* Croatia: InTech; 2012. p.141-68.
5. Roberto JVB, Souza BD. Utilização da termografia de infravermelho na medicina veterinária e na produção animal. *J Anim Behav Biometeorol.* 2014;2(3):73-84. doi: <http://dx.doi.org/10.14269/2318-1265/jabb.v2n3p73-84>.
6. Jiang LJ, Ng EYK, Yeo ACB, Wu S, Pan F, Yau WY, et al. A perspective on medical infrared imaging. *J Med Eng Technol.* 2005;29(6):257-67. doi: <https://doi.org/10.1080/03091900512331333158>.
7. Brioschi ML, Yeng L, Teixeira MJ. Diagnóstico avançado em dor por imagem infravermelha e outras aplicações. *Prat Hosp [Internet].* 2007 [cited 2019 Sept 28];50(1):93-8. Available from: https://www.researchgate.net/profile/Marcos_Brioschi/publication/274071052_Diagnostico_o_Avançado_em_Dor_por_Imagem_Infravermelha_e_Otras_Aplicacoes/links/55141d120cf23203199cd99c.pdf
8. Brioschi ML. Metodologia de normalização de análise do campo de temperaturas em imagem infravermelha humana [tese]. Curitiba: Universidade Federal do Paraná; 2011.
9. Marino DJ, Loughin CA. Diagnostic imaging of the canine stifle: a review. *Vet Surg.* 2010;39(3):284-95. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1532-950X.2010.00678.x>.
10. Smith WM. Applications of thermography in veterinary medicine. *Ann N Y Acad Sci.* 1964;121(1):248-54. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1964.tb13700.x>.
11. Lahiri BB, Bagavathiappan S, Jayakumar T, Philip J. Medical applications of infrared thermography: a review. *Infrared Phys Technol.* 2012;55(4):221-35. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.infrared.2012.03.007>.
12. Côrte ACR, Hernandez AJ. Termografia médica infravermelha aplicada à medicina do esporte. *Rev Bras Med Esporte.* 2016;22(4):315-9. doi: <https://doi.org/10.1590/1517-869220162204160783>.

13. Meira LF, Krueger E, Neves EB, Nohama P, Souza MA. Termografia na área biomédica. *Pan American J Med Thermol.* 2014;1(1):31-41. doi: <http://dx.doi.org/10.18073/2358-4696/pajmt.v1n1p31-41>.
14. Ferreira KD, Ávila Filho SH, Fernanda J. Termografia por infravermelho em medicina veterinária. *Enciclopedia Biosfera.* 2016;13(23):1298-313. doi: https://doi.org/10.18677/Enciclopedia_Biosfera_2016_115.
15. Silva CC, Martins RDA. A teoria das cores de Newton: um exemplo do uso da história da ciência em sala de aula. *Cienc Educ (Bauru).* 2003;9(1):53-65. doi: <https://doi.org/10.1590/S1516-73132003000100005>.
16. Herschel W. Experiments on the refrangibility of the invisible rays of the sun. *Philos Mag [Internet].* 1800 [cited 2019 Sept 13];8(29):284-92. Available from: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14786440008562602>
17. Ring EFJ. The discovery of infrared radiation in 1800. *Imaging Sci J.* 2000;48(1):1-8. doi: <https://doi.org/10.1080/13682199.2000.11784339>.
18. Herschel FW. Investigation of the powers of the prismatic colours to heat and illuminate objects. *Philos Trans R Soc Lond [Internet].* 1800 [cited 2019 Sept 13];90:255-83. Available from: <http://rstl.royalsocietypublishing.org/cgi/doi/10.1098/rstl.1800.0014>
19. Ring FJ, Jones BF. Historical development of thermometry and thermal imaging in medicine. In: Diakides M, Bronzino JD, Peterson DR, editors. *Medical infrared imaging principles and practices.* New York: CRC Press; 2013. p.2-6.
20. Flir Systems. User's manual - flir exx series. USA: Interlek; 2013.
21. Wunderlich CA. On the temperature in diseases: a manual of medical thermometry. London: New Sydenham Society; 1871. v. 49.
22. Hardy JD. The radiation of heat from the human body. *J Clin Invest.* 1934 [cited 2020 Mar 21];13(4):593-604. Available from: <http://www.jci.org/articles/view/100607>
23. Rogalski A. Recent progress in infrared detector technologies. *Infrared Phys Technol.* 2011;54(3):136-54. doi: <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2010.12.003>.
24. Vainionpää M, Raekallio M, Tuhkalainen E, Hänninen H, Alhopuro N, Savolainen M, et al. Comparison of three thermal cameras with canine hip area thermographic images. *J Vet Med Sci.* 2012;74(12):1539-44. doi: <https://doi.org/10.1292/jvms.12-0180>.
25. Vainionpää M. Thermographic imaging in cats and dogs usability as a clinical method [dissertação]. Helsinki: University of Helsinki; 2014.
26. Rizzo M, Arfuso F, Alberghina D, Giudice E, Giancesella M, Piccione G. Monitoring changes in body surface temperature associated with treadmill exercise in dogs by use of infrared methodology. *J Therm Biol.* 2017;69:64-8. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2017.06.007>.

27. Clark RP, Mullan BJ, Pugh LG. Skin temperature during running--a study using infra-red colour thermography. *J Physiol.* 1977;267(1):53-62. doi: <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1977.sp011800>.
28. Hildebrandt C, Raschner C, Ammer K. An overview of recent application of medical infrared thermography in sports medicine in Austria. *Sensors.* 2010;10(5):4700-15. doi: <https://doi.org/10.3390/s100504700>.
29. Amorim AMAM, Silva Barbosa J, Farias Freitas APL, Viana JEF, Vieira LEM, Suassuna FCM, et al. Termografia infravermelha na odontologia. *HU Rev.* 2018;44(1):15-22. doi: <https://doi.org/10.34019/1982-8047.2018.v44.13943>.
30. Klaessens JH, van der Veen A, Verdaasdonk RM. Comparison of the temperature accuracy between smart phone based and high-end thermal cameras using a temperature gradient phantom. In: *Proceedings of 10th Design and Quality for Biomedical Technologies*; 2017; San Francisco. San Francisco: SPIE BiOS; 2017. p.100560D. doi: <http://dx.doi.org/10.1117/12.2252898>.
31. Wallace GA, Singh N, Quiroga E, Tran NT. The use of smart phone thermal imaging for assessment of peripheral perfusion in vascular patients. *Ann Vasc Surg.* 2018;47:157-61. doi: <https://doi.org/10.1016/j.avsg.2017.07.028>.
32. Herlofson EG. The use of thermography in evaluation of surgical wounds in small animal practice [monography]. Uppsala: Faculty of Veterinary Medicine and Animal Science, Swedish University of Agricultural Sciences; 2017.
33. Eddy AL, Van Hoogmoed LM, Snyder JR. The role of thermography in the management of equine lameness. *Vet J.* 2001;162(3):172-81. doi: <https://doi.org/10.1053/tvj.2001.0618>.
34. Luzi F, Mitchell M, Nanni C, Redaelli V. Thermography: current status and advances in livestock animals and in veterinary medicine [Internet]. In: Luzi F, Mitchell M, Nanni Costa L, Redaelli V, editors. *Thermography: current status and advances in livestock animals and in veterinary medicine*. Brescia: Fondazione Iniziative Zooprofilattiche e Zootecniche; 2013 [cited 2020 Mar 21]. Available from: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20153288876>
35. Vainionpää MH, Raekallio MR, Junnila JJ, Hielm-Björkman AK, Snellman MP, Vainio OM. A comparison of thermographic imaging, physical examination and modified questionnaire as an instrument to assess painful conditions in cats. *J Feline Med Surg.* 2012;15(2):124-31. doi: <https://doi.org/10.1177/1098612X12463926>.
36. Stelletta C, Gianesella M, Vencato J, Fiore E, Morgante M. Thermographic applications in veterinary medicine. In: Prakash RV. *Infrared thermography*. Croácia: InTech; 2012. p.117-40.
37. Kastberger G, Stachl R. Infrared imaging technology and biological applications. *Behav Res Meth Instrum Comput.* 2003;35(3):429-39. doi: <https://doi.org/10.3758/BF03195520>.

38. Mikail S. Termografia: diagnóstico através da temperatura. *Nosso Clin.* 2010;13(74):20-4.
39. Mccafferty DJ, Gilbert C, Thierry AM, Currie J, Le Maho Y, Ancel A. Emperor penguin body surfaces cool below air temperature. *Biol Lett.* 2013;9(3):1-4. doi: <https://doi.org/10.1098/rsbl.2012.1192>.
40. Bezerra LA. Uso de imagens termográficas em tumores mamários para validação de simulação computacional [dissertação]. Recife: Universidade Federal de Pernambuco; 2007.
41. Diakides M, Bronzino JD, Peterson DR. *Medical infrared imaging principles and practices.* New York: CRC Press; 2013.
42. Prakash RV. *Infrared thermography.* Croatia: InTech; 2012.
43. Loughin CA, Marino DJ. Evaluation of thermographic imaging of the limbs of healthy dogs. *Am J Vet Res.* 2007;68(10):1064-9. doi: <https://doi.org/10.2460/ajvr.68.10.1064>.
44. Amini M, Liu P, Umbaugh SE, Marino DJ, Loughin CA. Thermographic image analysis method in detection of canine bone cancer (osteosarcoma). In: 5th International Congress on Image and Signal Processing (IEEE); 2012; Chongqing. Chongqing: IEEE; 2012. p.485-9. doi: <https://doi.org/10.1109/CISP.2012.6470012>.
45. Clementino WKL, Lins JGG, Azevedo AS. Uso da termografia infravermelha como auxílio diagnóstico de neoplasia mamária canina. *Rev Principia [Internet].* 2018 [cited 2020 Feb 21];43:76-87. Available from: <https://pdfs.semanticscholar.org/7213/a41555df11b9db4451cca2a4559a0ebde036.pdf>
46. Um SW, Kim MS, Lim JH, Kim SY, Seo KM, Nam TC. Thermographic evaluation for the efficacy of acupuncture on induced chronic arthritis in the dog. *J Vet Med Sci.* 2005;67(12):1283-4. doi: <https://doi.org/10.1292/jvms.67.1283>.
47. Durrant BS, Ravida N, Spady T, Cheng A. New technologies for the study of carnivore reproduction. *Theriogenology.* 2006;66(6-7):1729-36. doi: <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2006.02.046>.
48. Olğaç KT, Akçay E, Çil B, Uçar BM, Daşkın A. The use of infrared thermography to detect the stages of estrus cycle and ovulation time in anatolian shepherd dogs. *J Anim Sci Technol.* 2017;59(1):21. doi: <https://doi.org/10.1186/s40781-017-0146-4>.
49. Vainionpää M, Tienhaara EP, Raekallio M, Junnila J, Snellman M, Vainio O. Thermographic imaging of the superficial temperature in Racing Greyhounds before and after the race. *ScientificWorldJournal.* 2012;182749:1-6. doi: <https://doi.org/10.1100/2012/182749>.
50. Vainionpää M, Salla K, Restitutti F, Raekallio M, Junnila J, Snellman M, et al. Thermographic imaging of superficial temperature in dogs sedated with medetomidine and butorphanol with and without MK-467 (L-659'066). *Vet Anaesth Analg.* 2013;40(2):142-8. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1467-2995.2012.00768.x>.

51. Steiss JE. Muscle disorders and rehabilitation in canine athletes. *Vet Clin Small Anim Pract.* 2002;32(1):267-85. doi: [https://doi.org/10.1016/S0195-5616\(03\)00088-3](https://doi.org/10.1016/S0195-5616(03)00088-3).
52. Dornbusch LPTC. Estudo da aplicação da termografia na doença periodontal e nos abscessos apicais em cães [dissertação]. Curitiba: Universidade Federal do Paraná; 2013.
53. Dornbusch LPTC, Cardoso TL, Leite JESB, Lange RR, Barros Filho IR, Vilani RGDO, et al. Achados termográficos em cães acometidos de abscesso periapical. *Arch Vet Sci.* 2017;22(1):57-63. doi: <http://dx.doi.org/10.5380/avs.v22i1.48176>.
54. Kim JH, Park HM. Unilateral femoral arterial thrombosis in a dog with malignant mammary gland tumor: clinical and thermographic findings, and successful treatment with local intra-arterial administration of streptokinase. *J Vet Med Sci.* 2012;74(5):657-61. doi: <https://doi.org/10.1292/jvms.11-0432>.
55. Biondi F, Dornbusch PT, Sampaio M, Montiani-Ferreira F. Infrared ocular thermography in dogs with and without keratoconjunctivitis sicca. *Vet Ophthalmol.* 2015;18(1):28-34. doi: <https://doi.org/10.1111/vop.12086>.
56. Travain T, Colombo ES, Heinzl E, Bellucci D, Previde EP, Valsecchi P. Hot dogs: thermography in the assessment of stress in dogs (*Canis familiaris*) - a pilot study. *J Vet Behav.* 2015;10(1):17-23. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jveb.2014.11.003>.
57. Travain T, Colombo ES, Grandi LC, Heinzl E, Pelosi A, Previde EP, et al. How good is this food? A study on dogs' emotional responses to a potentially pleasant event using infrared thermography. *Physiol Behav.* 2016;159:80-7. doi: <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2016.03.019>.
58. Soroko M, Howell K. Infrared thermography: current applications in equine medicine. *J Equine Vet Sci.* 2018;60:90-6. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2016.11.002>.
59. Fricke TR, Tahhan N, Resnikoff S, Papas E, Burnett A, Ho SM, et al. Global prevalence of presbyopia and vision impairment from uncorrected presbyopia: systematic review, meta-analysis, and modelling. *Ophthalmology.* 2018;125(10):1492-9. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2018.04.013>.
60. Turner TA. The use of thermography in lameness evaluation [Internet]. In: *Proceeding of the 44th American Association of Equine Practitioners; 1998; Baltimore.* Lexington: American Association of Equine Practitioners; 1998 [cited 2020 Mar 21]. p.224-6. Available from: <https://pdfs.semanticscholar.org/22a5/9e88d19e6cfae953b774c98265dbd6e244a4.pdf>
61. Van Hoogmoed LM, Snyder JR. Use of infrared thermography to detect injections and palmar digital neurectomy in horses. *Vet J.* 2002;164(2):129-41. doi: <https://doi.org/10.1053/tvj.2002.0719>.
62. Gatt A, Formosa C, Cassar K, Camilleri KP, De Raffaele C, Mizzi A, et al. Thermographic patterns of the upper and lower limbs: Baseline data. *Int J Vasc Med.* 2015:1-9. doi: <https://doi.org/10.1155/2015/831369>.

63. Gold JE, Cherniack M, Buchholz B. Infrared thermography for examination of skin temperature in the dorsal hand of office workers. *Eur J Appl Physiol.* 2004;93(1-2):245-51. doi: <https://doi.org/10.1007/s00421-004-1210-6>.
64. Ng EY, Etehadtavakol M. Application of infrared to biomedical sciences. Sinagapura: Springer Nature; 2017.
65. Hellstrom B, Hammel H. Some characteristics of temperature regulation in the unanesthetized dog. *Am J Physiol Legacy Content.* 1967;213(2):547-56. doi: <https://doi.org/10.1152/ajplegacy.1967.213.2.547>.
66. Mccafferty DJ. The value of infrared thermography for research on mammals: previous applications and future directions. *Mamm Rev.* 2007;37(3):207-23. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2907.2007.00111.x>.
67. Kwon CJ, Brundage CM. Quantifying body surface temperature differences in canine coat types using infrared thermography. *J Therm Biol.* 2019;82:18-22. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2019.03.004>.
68. Trindade PHE, Camargo Ferraz G, Lima MLP, Negrão JA, Costa MJP. Eye surface temperature as a potential indicator of physical fitness in ranch horses. *J Equine Vet Sci.* 2019;75:1-8. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2018.11.015>.
69. Simon EL, Gaughan EM, Epp T, Spire M. Influence of exercise on thermographically determined surface temperatures of thoracic and pelvic limbs in horses. *J Am Vet Med Assoc.* 2006;229(12):1940-4. doi: <https://doi.org/10.2460/javma.229.12.1940>.
70. Bouzida N, Bendada A, Maldague XP. Visualization of body thermoregulation by infrared imaging. *J Therm Biol.* 2009;34(3):120-6. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2008.11.008>.
71. Engel JM. Clinical application of advanced infrared thermography (IRT) in locomotor diseases. In: Proceedings of Advanced Infrared Sensor Technology, International Society for Optics and Photonics; 1983; Geneva. Geneva: SPIE; 1983. v.395, p.254-60. doi: <https://doi.org/10.1117/12.935210>.
72. Costa RC, Parent J, Dobson H, Holmberg D, Partlow G. Comparison of magnetic resonance imaging and myelography in 18 Doberman pinscher dogs with cervical spondylomyelopathy. *Vet Radiol Ultrasound.* 2006;47(6):523-31. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1740-8261.2006.00180.x>.
73. Torquato JL, Souza JBF Jr, Queiroz JPAF, Costa LLM. Termografia infravermelha aplicada a emas (*Rhea americana*). *J Anim Behav Biometeorol.* 2015;3:51-6. doi: <http://dx.doi.org/10.14269/2318-1265/jabb.v3n2p51-56>.
74. Phillips PK, Sanborn AF. An infrared, thermographic study of surface temperature in three ratites: ostrich, emu and double-wattled cassowary. *J Therm Biol.* 1994;19(6):423-30. doi: [https://doi.org/10.1016/0306-4565\(94\)90042-6](https://doi.org/10.1016/0306-4565(94)90042-6).

75. Klir JJ, Heath JE. An infrared thermographic study of surface temperature in relation to external thermal stress in three species of foxes: the red fox (*Vulpes vulpes*), arctic fox (*Alopex lagopus*), and kit fox (*Vulpes macrotis*). *Physiol Zool.* 1992;65(5):1011-21. doi: <https://doi.org/10.1086/physzool.65.5.30158555>.
76. Vianna DM, Carrive P. Changes in cutaneous and body temperature during and after conditioned fear to context in the rat. *Eur J Neurosci.* 2005;21(9):2505-12. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2005.04073.x>.
77. Anderson DE, Desrochers A. Bovine orthopedics. *Vet Clin North Am Food Anim Pract.* 2014;30(1):1-281. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2013.12.002>.
78. Warashina H, Hasegawa Y, Tsuchiya H, Kitamura S, Yamauchi KI, Torii Y, et al. Clinical, radiographic, and thermographic assessment of osteoarthritis in the knee joints. *Ann Rheum Dis.* 2002;61(9):852-4. doi: <http://dx.doi.org/10.1136/ard.61.9.852>.
79. Collins AJ, Ring F, Bacon PA, Brookshaw JD. Thermography and radiology complimentary methods for the study of inflammatory diseases. *Clin Radiol.* 1976;27(2):237-43. doi: [https://doi.org/10.1016/S0009-9260\(76\)80153-5](https://doi.org/10.1016/S0009-9260(76)80153-5).
80. Stewart M. Non-invasive measurement of stress and pain in cattle using infrared thermography [thesis]. Palmerston North: Massey University; 2008.
81. Cook NJ, Schaefer AL, Warren L, Burwash L, Anderson M, Baron V. Adrenocortical and metabolic responses to ACTH injection in horses: an assessment by salivary cortisol and infrared thermography of the eye. *Can J Anim Sci.* 2001;81:621.
82. Vieira RPM. Estudo da utilidade da termografia infravermelha na medição da dor em cavalos com cólica. Comparação com escalas de dor padronizadas [dissertação]. Lisboa: Faculdade de Medicina Veterinária, Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias; 2018.

Recebido em: 25/06/2020

Aceito em: 17/11/2020