

Termografia na Área Biomédica

Leanderson Franco de Meira¹, Eddy Krueger², Eduardo Borba Neves³, Percy Nohama²,
Mauren Abreu de Souza²

1. Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde pela Escola de Medicina da Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUC PR), Curitiba-PR, Brasil.
2. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Curitiba-PR, Brasil.
3. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Curitiba-PR, Brasil.

e-mail: leandersonfm@gmail.com

Resumo — A termografia é um método não invasivo, indolor e sem contato físico que gera imagens de alta resolução. Objetiva-se com este artigo apresentar as principais aplicações biomédicas da termografia na atualidade. Efetuou-se a revisão da literatura por meio de busca eletrônica nas bases Wiley Online Library, ScienceDirect, Scielo, Google Scholar, IEEE Xplorer, Elsevier, Medline, Pubmed. O idioma de preferência selecionado foi o inglês com as palavras-chave: medical termography, medical infrared images, thermographic assessment, thermography assessment e medical infrared imaging. Seguindo o método retrospectivo, efetuou-se a procura de trabalhos com uma janela de tempo dos últimos cinco anos, de 2007 a 2012. Constatou-se, com certo grau de detalhamento, a aplicação da termografia nas áreas da ortopedia, odontologia, cirurgia, esporte, oncologia, cardiologia, angiologia, endocrinologia, medicina forense, hemodinâmica, obstetrícia, fisioterapia, e ergonomia. Conclui-se que o uso da termografia em conjunto com observações clínicas ou outros exames adicionais, pode ser decisivo para definir o diagnóstico médico ou para avaliar a eficácia das modalidades terapêuticas empregadas.

Palavras-chave: Termografia; Engenharia Biomédica; Medicina; Diagnóstico por Imagem

Abstract — Thermography is a non-invasive and non-painful technique that allows the generation of high resolution images without any physical contact. This paper presents the main applications involving biomedical thermography nowadays. For this purpose, it was performed a literature review through the known electronic based search options, such as, Wiley Online Library, ScienceDirect, Scielo, Google Scholar, IEEE Xplorer, Elsevier, Medline, Pubmed. Preferentially, it was used English language with the following keywords: medical termography, medical infrared images, thermographic assessment, thermography assessment e medical infrared imaging. It was followed the retrospective method, searching for research papers involving a window time of the last five years, from 2007 to 2012. It is noticed at a certain level of detail, that thermography is being applied mainly at the following areas: orthopedic, odontology, surgery procedures, sports, oncology, cardiology, angiology, endocrinology, Forensic Medicine, hemodynamics, obstetric, physiotherapy and ergonomic. Therefore, it is concluded that the use of thermography and other clinical observations and additional exams together, may assist to define medical diagnostics or to evaluate the efficacy of the therapeutic methods employed.

Keywords: Thermography; Biomedical Engineering; Medicine; Medical Imaging diagnosis.

1. INTRODUÇÃO

Documentos datados de 400 aC já relatavam a relação entre a temperatura corporal e alterações fisiológicas para o tratamento de patologias. A partir da década de 1950, iniciaram-se estudos biomédicos envolvendo avaliações termográficas. Desde então, tanto a sensibilidade e resolução dos sensores térmicos quanto às técnicas de processamento de imagem têm evoluído bastante, inclusive em termos da abrangência de suas aplicações (1).

Estudos publicados em 1978 por Harzbecker e cols (2) já apontavam a termografia como uma técnica promissora, capaz de medir sem contato, de forma rápida e dinâmica a energia térmica corporal, proporcionando a geração de imagens. Salientam, ainda, que processos funcionais e fisiopatológicos apresentam mudanças de temperatura, desta forma o uso de termografia para o diagnóstico de doenças a partir da observação térmica da superfície corporal poderia ser recomendado.

A análise de imagens termográficas oferece uma abordagem útil para o diagnóstico e acompanhamento de vários distúrbios físicos. Geralmente, a maioria das lesões tissulares está relacionada a variações no fluxo sanguíneo, as quais podem afetar a temperatura cutânea. Como exemplos, podem-se citar os processos inflamatórios que acarretam em hipertermia. Por outro lado, uma diminuição da perfusão pode causar hipotermia (3).

Problemas iniciais como a baixa sensibilidade dos detectores e com limitações técnicas representavam uma enorme fonte de erro para termografia limitando e retardando a aceitação da técnica até os anos 1990. Desde então, os equipamentos para aquisição de imagens termográficas evoluíram significativamente. Os sistemas atuais de aquisição de imagem compreendem sofisticadas câmeras térmicas acopladas a computadores com programas específicos aonde as imagens podem ser processadas para obtenção de informações confiáveis. As imagens arquivadas apresentam boa qualidade, tornando a termografia um método de diagnóstico seguro e preciso (4).

Atualmente, a termografia é um método de avaliação de anormalidades fisiológicas representadas pelo aumento ou diminuição da temperatura na superfície da pele, que pode ser aplicada sem restrições por se uma técnica não-invasiva, que produz imagens sem a utilização de

radiação ionizante (5), além de ter potencial para diagnósticos *in vivo*, propiciando informações de processos fisiológicos em curso, em tempo real, aos terapeutas e pacientes (3). Neste sentido e, em virtude da recente e crescente interesse, pesquisa e utilização da termografia na área biomédica, o objetivo da pesquisa que culminou neste artigo foi apresentar uma revisão sistemática atualizada às aplicações biomédicas da termografia.

2. METODOLOGIA

A busca de informações foi realizada nas bases Wiley Online Library, ScienceDirect, Scielo, Google Scholar, IEEE Xplorer, Elsevier, Medline, Pubmed. O idioma selecionado como preferencial foi o inglês, e as palavras-chave escolhidas: medical thermography, medical infrared images, thermographic assessment, thermography assessment e medical infrared imaging. Seguindo o método retrospectivo, efetuou-se a procura de artigos com uma janela de tempo dos últimos cinco anos, de 2007 a 2012. Foram excluídos os trabalhos que não estavam de acordo com o escopo do artigo, ou seja que não apresentavam contextos relacionados à área biomédica. Após a realização da busca nas bases de dados, foram lidos os abstracts e eliminadas as duplicações. Selecionados os trabalhos a serem considerados, foram identificadas as áreas em que se enquadravam cada estudo e analisados os resultados da utilização da termografia nessas aplicações.

3. RESULTADOS

Inicialmente, foram encontrados 66 trabalhos e, destes, selecionaram-se para revisão os 25 que apresentavam temas relacionados às aplicações biomédicas da termografia. Foram incluídos os trabalhos de Jiang e cols (1), Harzbecker e cols (2) e Mikulska e cols (4) com abordagem histórica da evolução da termografia na área médica, com datas de publicação anteriores à janela de tempo proposta devido à relevância de suas informações para o contexto do estudo, assim como duas obras clássicas relacionadas à termografia (6,7) e dissertações referentes a termografia na saúde para o acervo de imagens (8-10).

No Quadro 1, enumeram-se os estudos que abordam aplicações práticas da termografia e seus respectivos principais parâmetros de abordagem.

Autor (ano)	N	Resolução geométrica	Resolução de temperatura mínima detectável (° C)	Aplicação da Termografia
Zivcak e cols (2011) ¹⁷	134	76.800 (320X240)	0,05 a 30	Síndrome do túnel do carpo
Nahm e cols (2007) ¹⁹	92	NI	NI	Disfunção temporo mandibular
Kulis e cols (2012) ²⁴	12	76.800 (320X240)	0,07 a 30	Varicocele
Hildebrandt e cols (2010) ³	15	NI	NI	Lesões por overuse de joelho em esquiadores
Lourenço e cols (2011) ²⁰	07	NI	NI	Complexo cranio cervico mandibular
Tkacova e cols (2010) ¹⁵	14	76.800 (320X240)	0,05 a 30	Síndrome do túnel do carpo
Sivanandam e cols (2012) ²⁶	62	NI	0,05 a 30	Diabetes tipo 2
Niehof e cols (2007) ¹⁶	26	76.800 (320X240)	0,05 a 30	Síndrome da dor regional tipo 1
Cooke e cols (2011) ²⁸	45	NI	NI	Lesões hemorrágicas traumáticas
Lee e cols (2007) ²¹	20	NI	NI	Pós operatório de cirurgia ortognática
Wu e cols (2009) ³²	53	76.800 (320X240)	NI	Síndrome dolorosa do cóccix
Pauling e cols (2011) ²⁵	55	NI	NI	Fenômeno de Raynaud
Pauling e cols (2012) ²⁹	14	NI	NI	Avaliação da função microvascular
Song e cols (2007) ²³	Estudo de caso em rato imunodeprimido	81.920 (320X256)	NI	Tumor secundário a xenoinxerto
Morasiewicz e cols (2008) ¹⁸	18	NI	NI	Regeneração óssea
Mijović e cols (2012) ³³	9	76.800 (320X240)	0,08 a 30	Avaliação de vestuário
Trafarski e cols (2008) ³¹	NI	NI	NI	Resposta a crioterapia em portadores de artrite reumatóide
Tkacova e cols (2010) ¹⁴	20	NI	NI	Lesões músculo Esqueléticas

NI = não indicado no estudo

Quadro 1. Resoluções e aplicações da termografia.

4. DISCUSSÃO

Aspectos técnicos da Termografia na área médica

A imagiologia médica começou com a aplicação dos raios-X na visualização interna de partes do corpo, em especial, a estrutura óssea. Com os avanços da ciência e da tecnologia médica, muitas técnicas de diagnóstico por imagem, tais como ressonância magnética, ultrassom, tomografia computadorizada, SPECT (tomografia computadorizada por emissão de um único fóton), PET (tomografia por emissão de pósitron), entre outras modalidades, foram descobertas. As técnicas por imagem médica podem ser divididas em invasiva e não invasiva, e ionizante e não ionizante, sendo as técnicas não invasivas e não ionizantes mais seguras para os seres humanos, podendo ser repetidas inúmeras vezes sem prejuízos significativos para a saúde do avaliado (11).

Quanto ao espectro eletromagnético, às modalidades de imagens médicas podem ser classificadas pela faixa de frequência da radiação eletromagnética em que atuam e, de modo geral, fornecem informações anatômicas. A termografia, por sua vez, é uma técnica digital que gera imagens bidimensionais referentes a dados fisiológicos, os quais associados a determinações anatômicas tornam possível a localização da área afetada e extensão de uma lesão ou estado patológico (3,11).

Os sensores das câmeras termográficas geram imagens com base na quantidade de calor (radiação infravermelha) emitido na superfície do corpo. A tecnologia termográfica é uma forma de medir a radiação eletromagnética (no espectro de frequência na faixa do infravermelho), convertendo-a em sinais elétricos. Estes sinais são visualizados em tons de cinza ou em cores que representam os valores de temperatura. Geralmente, a termografia é avaliada por uma palheta de cores aonde, por exemplo, o azul representa baixa temperatura, o vermelho representa alta temperatura e a cor preta representa o espaço de ar (3).

As técnicas de digitalização de imagens médicas em geral usam o espectro eletromagnético para a construção da anatomia interna proporcionando a visibilidade de tecidos e órgãos e podendo detectar tumores e outras anormalidades como mostra a Figura 1. A radiação infravermelha, que é parte do espectro eletromagnético, sendo uma alternativa potencial

no diagnóstico por imagem (11).

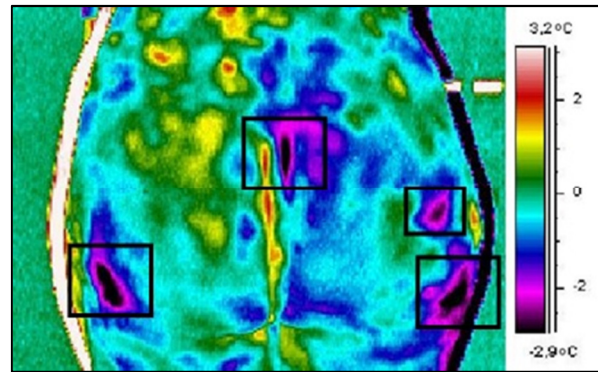


Figura 1. Regiões acometidas por isquemia em uma pessoa que permanece sentada imóvel por mais de 1 h. O termograma representa a imagem térmica resultante da subtração digital das imagens obtidas antes e depois de permanecer sentado por 1 h. Imagem retirada de Gődke (8).

A termografia é um método de diagnóstico não invasivo, indolor e seguro, tanto para o paciente quanto para o examinador. Tal técnica permite definir, por meio de mapeamento térmico, o estado fisiológico do tecido ou órgão examinado, baseando-se na emissão da radiação infravermelha do objeto ou corpo sob análise, a qual pode contribuir para o diagnóstico médico (12). O interesse das áreas médicas pela termografia é justificado pelo fato de que tal técnica pode ter uma aplicação generalizada para fins de diagnósticos, prognósticos, biometria, monitoramento de pacientes e cirurgias (13).

Para a aquisição das imagens, torna-se essencial observar as normas técnicas senão ficarão comprometidas a qualidade e a precisão dos resultados. Pensando nisso, Tkacova e cols (14) conduziram um estudo de aplicação de imagem térmica para medir a distribuição da temperatura superficial das extremidades em vinte indivíduos saudáveis, com o objetivo de avaliar a técnica de medição mais adequada. Os autores observaram que não houve correlação entre a temperatura oral ou axilar e a temperatura da superfície da pele nas extremidades inferiores. Apenas uma pequena diferença (0,2 °C) foi observada em ângulos diferentes e distâncias diferentes da câmara. Os fatores relevantes para os resultados foram a temperatura ambiente e a umidade na sala de medida, a distância e o ângulo entre a câmera e o segmento avaliado.

Hildebrandt e cols (3) salientam a importância de investigações sobre a confiabilidade visto que variações técnicas e alterações biológicas, tais

como o ritmo circadiano, podem resultar em ruídos de medidas. Para as aplicações médicas, normalmente são usadas câmeras com velocidade de trinta quadros por segundo, com resolução térmica de 0,1 °C e resolução das imagens de 320x240 pixels (15).

Niehof e cols (16) avaliaram a sensibilidade, especificidade, confiabilidade e repetitividade na avaliação das imagens termográficas. Foram analisadas as diferenças das medidas termográficas das imagens por trinta e cinco diferentes observadores independentes, previamente orientados quanto à técnica de análise; porém, que não tinham experiência na prática da termografia. Os resultados do estudo mostraram sensibilidade de 71%, especificidade de 85%, repetibilidade de 0,5267 e confiabilidade de 0,4967. Os autores concluíram que as relações das imagens termográficas entre indivíduos doentes e saudáveis podem ser distinguidas mesmo por observadores inexperientes, no entanto, devido aos baixos resultados de confiabilidade e repetibilidade da avaliação, indicam a necessidade de padronização das análises e treinamento dos observadores.

A Termografia na Ortopedia

A termografia tem sido apontada como uma técnica adequada para avaliações dos distúrbios e lesões do sistema músculo-esquelético. Os termogramas são utilizados de forma complementar os exames convencionais, para identificar qual parte do sistema músculo-esquelético está afetada por uma determinada doença ou lesão ou para avaliar a eficácia do tratamento (14).

Hildebrandt e cols (3) utilizaram a termografia para a avaliação de lesões por esforço repetitivo no joelho e tendinopatia patelar em esquiadores alpinistas. O estudo foi realizado após programa de treinamento pré-temporada que incluiu saltos excessivos aumentando a tensão sobre o tendão patelar. Um grupo de quinze atletas foi acompanhado, dos quais sete atletas relataram sintomas de reações locais no joelho, os demais apresentavam-se assintomáticos. Os atletas sintomáticos apresentaram diferenças médias de temperatura entre o joelho sintomático e o joelho contralateral de $1,4 \pm 0,58$ °C, enquanto os atletas não sintomáticos tiveram uma variação média de temperatura entre os dois joelhos de $0,3 \pm 0,61$ °C (3).

Zivcak e cols (17) avaliaram por meio da termografia a distribuição da temperatura da pele

do dorso da mão de portadores de síndrome do túnel do carpo em comparação com indivíduos hígidos. Foi analisada uma base de dados de 268 imagens térmicas do lado dorsal de 120 voluntários saudáveis e 14 voluntários com diagnóstico clínico de síndrome do túnel do carpo. Os resultados do estudo indicaram maior temperatura dos dedos comparada à temperatura dos punhos nos indivíduos portadores da síndrome do túnel do carpo ao contrário dos indivíduos saudáveis que apresentaram extremidades com temperaturas mais baixas do que as temperaturas dos punhos.

Morasiewicz e cols (18), baseados no fato de que a fase de regeneração óssea pós-fratura é caracterizada por um aumento do metabolismo e, conseqüentemente, da temperatura dos tecidos locais, avaliaram a correlação das análises termográficas com as evidências da radiografia. Para isso, acompanharam o caso de 18 pacientes em tratamento de distração osteogênica para alongamento ósseo com fixador externo Ilizarov. Os resultados indicaram correlação estatisticamente significativa entre a regeneração óssea e índices térmicos sendo que os valores médios do coeficiente de correlação de Spearman para a tíbia e fêmur foram de 0,925 ($p < 0,01$) e 0,724 ($p < 0,05$), respectivamente. A termografia mostrou-se um valioso complemento aos métodos tradicionais de diagnóstico de fraturas e pode ser usada para monitorar e avaliar a formação e remodelação dos ossos em todas as fases do tratamento. As Figuras 2 e 3 ilustram exemplos de imagens termográficas em sítios anatômicos distintos e com palhetas de representação térmicas diferentes.

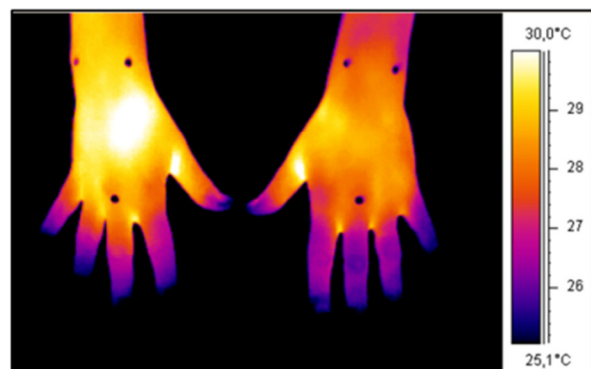


Figura 2: Imagem termográfica evidenciando um aumento de temperatura na região do metacarpo e dorso da mão direita em indivíduo com LER/DORT. Imagem retirada de Magas (9).

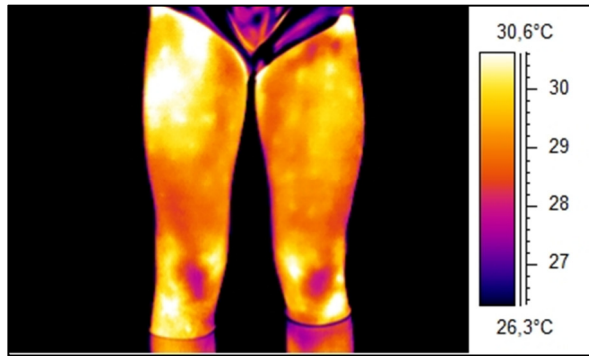


Figura 3: Imagem termográfica da parte anterior dos membros inferiores de um jogador de futebol, indicando assimetria entre os membros e a provável existência de lesão na musculatura do quadríceps (região mais clara, ou seja, de maior temperatura). Imagem cedida pelo Laboratório de Termografia Médica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

A Termografia na Odontologia

Nahm e cols (19) estudaram a viabilidade da aplicação da termografia na avaliação da disfunção da articulação temporomandibular (DTM). Para isso, 61 voluntários com diagnóstico clínico de DTM e 31 voluntários normais e sem sintomas foram submetidos à termografia avaliando-se a diferença da temperatura dos lados opostos das articulações têmporo-mandibulares e dos músculos masseter. O grupo patológico apresentou variações de temperatura na articulação temporomandibular e no músculo masseter de $0,42 \pm 0,38$ °C e $0,38 \pm 0,33$ °C, respectivamente. Já o grupo controle apresentou variações de $0,10 \pm 0,07$ °C e $0,15 \pm 0,10$ °C para os mesmos pontos de avaliação.

Lourenço e cols (20) avaliaram 7 pianistas da Escola Superior de Musica, da cidade de Porto em Portugal. A avaliação consistiu na aquisição de imagens termográficas em repouso antes de começar a tocar piano, durante a prática e ao final da atividade tendo como objetivo correlacionar os pontos de avaliação termográfica com os pontos de localização da dor. Um padrão de assimetria térmica foi detectado com temperaturas mais elevadas nos locais onde os pianistas relataram dor, tais como trapézio, pescoço e ombro. Outro resultado apontado pelos autores foi a observação de um pianista que apertava os dentes enquanto tocava piano no qual foi identificado que a temperatura inicial lateral da face foi de 32,4 °C do lado direito e 33,3 °C do lado esquerdo, sendo que depois de tocar piano, a

temperatura subiu 1,8 °C e 1,2 °C, respectivamente.

A Termografia no Pós-cirúrgico

Lee e cols (21) avaliaram termograficamente 20 pacientes portadores de deformidade dentofacial classe III submetidos à cirurgia ortognática. Este tipo de procedimento cirúrgico tem uma elevada incidência de lesões nervosas locais, desta forma, o objetivo do estudo foi avaliar por meio da termografia as lesões secundárias à cirurgia e seu processo de recuperação. Para isso, foram realizadas termografias no período pré-operatório, uma e quatro semanas após a cirurgia. Nos pacientes com lesão nervosa unilateral, a diferença das temperaturas do mento nos dois lados, foi de 0,64 °C uma semana após a cirurgia, diminuindo para 0,23 °C quatro semanas após a cirurgia. Nas imagens laterais, as diferenças de temperatura do mento foram de 0,10 °C após uma semana e 0,27 °C quatro semanas após a cirurgia. Nos pacientes com lesão nervosa bilateral, sob o ponto de vista ântero-posterior, as diferenças das temperaturas do mento nos 2 lados foram de 0,20 °C após uma semana de pós-operatório e 0,13 °C após quatro semanas. Nas vistas laterais, as diferenças foram 0,18 °C após uma semana e 0,34 °C, quatro semanas após a cirurgia. A análise das medidas da visão ântero-posterior mostrou resultados estatisticamente significativos em pacientes com lesão unilateral de nervo. Os autores concluíram que a termografia é um método de avaliação objetivo que pode ser aplicado de maneira complementar para o diagnóstico de lesões nervosas secundárias em cirurgias ortognáticas.

A Termografia no Esporte

Bandeira e cols (5) realizaram um estudo no qual dividiram atletas de futebol em dois grupos: o de controle, que participou de atividade de baixa intensidade e o grupo experimental, o qual realizou exercícios de agachamento, rack e mesa extensora (nesta ordem) a 80% da carga máxima individual. Os sujeitos do grupo experimental realizaram séries consecutivas até a exaustão, com intervalos de 90 segundos entre as séries. No estudo citado, os pesquisadores não encontraram correlação entre a CK e a variação de temperatura nos músculos estudados, porém, encontraram diferença de temperatura estatisticamente significativa entre a avaliação pré e pós-atividade, para os músculos analisados exclusivamente no grupo experimental, sugerindo

que os exercícios realizados por este grupo foram capazes de produzir microlesões, que desencadearam um processo inflamatório, e conseqüentemente, causou variação significativa na temperatura do local. As figuras 4 e 5 mostram identificações de temperatura através da termografia de um jogador de rúgbi antes e após um jogo.

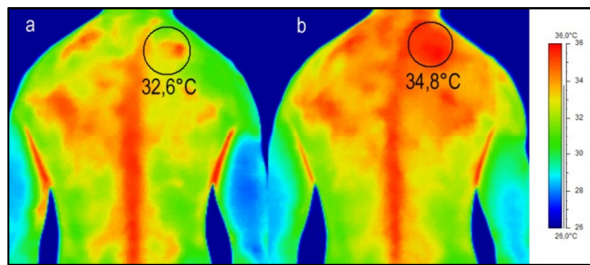


Figura 4: Imagens infravermelhas da região posterior do tronco de um jogador de rúgbi adquiridas em dois momentos distintos: antes de um jogo (a) e 48 h após um jogo (b). Avaliando as concentrações de CK, o primeiro termograma corresponde a um momento de menor CK) e o segundo, de maior CK. Na região de maior temperatura 34,8 °C, é provável que exista uma lesão. Imagem retirada de Bandeira (10).

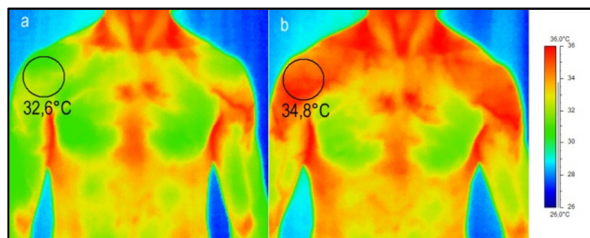


Figura 5: Imagens infravermelhas da região anterior do tronco de um jogador de rúgbi adquiridas em dois momentos distintos: antes de um jogo (a) e 48 h após um jogo (b). Avaliando as concentrações de CK, o primeiro termograma corresponde a um momento de menor CK) e o segundo, de maior CK. Na região de maior temperatura 34,8 °C, é provável que exista uma lesão. Imagem retirada de Bandeira (10).

A Termografia na Oncologia

O câncer é uma doença cujas incidências e mortalidades destacam-se no contexto da medicina. De fato, o reconhecimento e tratamento precoce podem ser significativos na sobrevida dos pacientes. Os dispositivos de investigação não invasivos, geralmente são capazes de reconhecer tumores com diâmetros superiores a 1 cm. Já a termografia, baseada no conceito de que a projeção de calor na pele pode

indicar um estado de doença, é capaz de reconhecer tumores com diâmetros menores do que 0,5 cm, sendo capaz de diagnosticar certos casos antes da detecção por outros dispositivos médicos. Todavia, o contorno e textura da região tumoral são parâmetros muito importantes na investigação dos oncologistas. Neste sentido, Gavrioloia e cols (22) propuseram um método aperfeiçoado de filtragem que reduz o ruído em imagens infravermelhas, podendo realçar e preservar bordas, e aplicaram essa nova técnica na avaliação de um tumor localizado na região da glândula tireóide, com a qual obtiveram uma melhor delimitação da área, textura mais homogênea e coloração mais clara da região do tumor (22).

A evolução de um tumor usualmente está associada à angiogênese e ao aumento do fluxo sanguíneo periférico, o que pode resultar no aumento da temperatura local da pele de 1 a 2 °C. Assim sendo, a imagem termográfica pode representar um método adjuvante no monitoramento do crescimento e controle dos tumores. No estudo conduzido por Song e cols (23), aplicou-se a técnica de xenoenxerto em ratos imunodeprimidos para detectar as mudanças de temperatura da superfície da pele por meio da termografia. Os resultados mostraram diminuição da temperatura nos ratos três dias antes de quaisquer sinais visíveis e palpáveis de tumor em contraste com o aumento de temperatura da pele normalmente associados ao câncer em humanos. As áreas dos tumores eram mais frias do que o tecido em torno deles e, além disso, a temperatura dos tumores xenoenxertados diminuiu progressivamente à medida que a área cresceu durante o período de observação. Os resultados do estudo indicam que a imagiologia termográfica tem considerável potencial contributivo no controle da evolução e resposta ao tratamento de xenoenxertos tumorais (23).

A Termografia na Cardiologia e na Angiologia

Na área cardiológica, há inúmeras pesquisas buscando novos métodos de identificação das placas ateroscleróticas vulneráveis, em grande parte, baseados na avaliação do processo de inflamação relacionado ao desenvolvimento das placas ateroscleróticas. Com a aplicação da termografia nos vasos sanguíneos, é possível medir a temperatura de suas paredes, a fim de detectar as placas ateroscleróticas vulneráveis e avaliar o potencial risco de ocorrência da

síndrome coronária aguda (12).

Kulis e cols (24) analisaram a aplicação da termografia no diagnóstico de varicocele, doença definida pela formação de varizes nas veias do escroto associada à infertilidade masculina. O grupo estudado consistiu de 10 voluntários com idade média de $18,2 \pm 2,4$ anos com diagnóstico clínico de varicocele. Foram observadas as médias de temperatura na bolsa escrotal esquerda de $34,65 \pm 0,66$ °C e na direita $32,53 \pm 0,78$ °C e no testículo esquerdo de $33,58 \pm 0,97$ °C, enquanto no testículo direito era $32,19 \pm 0,81$ °C. A diferença de temperatura entre os lados esquerdo e direito da bolsa escrotal foi de $2,12 \pm 1,08$ °C e entre testículos foi de $1,39 \pm 1,20$ °C. Nesse caso, concluiu-se que a termografia obteve sucesso na confirmação do diagnóstico de varicocele em todos voluntários.

Pauling e cols (25) e seus colaboradores utilizaram a termografia para a investigação do fenômeno de Raynaud através de um teste de estresse em baixas temperaturas que simulava condições ambientais variadas e suas repercussões sobre a função circulatória de extremidades. Os experimentos demonstraram, a exemplo da literatura revisada pelos autores a utilidade da avaliação termográfica no contexto da patologia. A Figura 6 ilustra um termograma para avaliação de um caso de trombose.

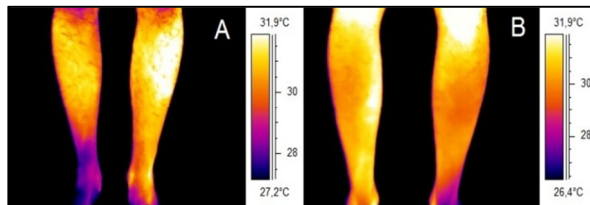


Figura 6: Imagem infravermelha da porção anterior (A) e posterior (B) dos membros inferiores de um indivíduo com trombose venosa profunda (TVP). A assimetria térmica entre os membros indica o acometimento da TVP na perna esquerda na região mais clara, ou seja, de maior temperatura, decorrente da alteração circulatória nessa região. Imagem cedida pelo Laboratório de Termografia Médica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

A Termografia na Endocrinologia

Sivanandam e cols (26) avaliaram a aplicação da termografia, tanto para diagnóstico como prevenção de diabetes tipo 2, em comparação com ensaios bioquímicos de hemoglobina glicada. Um total de 62 voluntários, 30 diabéticos

e 32 não diabéticos foram submetidos ao exame termográfico. No grupo de diabéticos, a hemoglobina glicada mostrou correlação negativa com a temperatura na região da carótida ($r = -0,471$, $p = 0,01$) e a temperatura média da pele foi mais baixa do que o grupo normal em regiões do corpo como joelho ($p = 0,002$), tibia ($p = 0,003$), testa ($p = 0,014$) e palma da mão ($p = 0,019$). Com o estudo, concluiu-se que com o aumento da hemoglobina glicada a temperatura da pele diminui, sendo que tal diminuição da temperatura da pele pode decorrer da diminuição da taxa metabólica basal, diminuição da perfusão sanguínea e da elevada resistência à insulina. Para esses autores, a termografia pode ser usada como uma ferramenta de diagnóstico, bem como de prognóstico para o diabetes tipo 2.

A Termografia na Medicina Forense

A medicina forense é uma área médica na qual o uso da termografia tem sido utilizado de maneira complementar aos recursos já existentes, especialmente no âmbito dos exames pós-morte. Notavelmente, as alterações patológicas e os danos estruturais do tecido influenciam a condutividade térmica e a capacidade de resposta a um teste de termografia. Assim, a análise de uma sequência de termogramas registrados durante processos térmicos transitórios, aquecimento ou resfriamento, pode ser relevante no contexto médico-legal dos diagnósticos de morte (27).

A Termografia na Hemodinâmica

A termografia fornece uma medida da irradiação do calor através da microcirculação, de aproximadamente 1 a 2 mm abaixo da superfície da pele. Considerando que o fluxo sanguíneo da pele diminui progressivamente com reduções de pressão sanguínea, Cooke e cols (28) sugeriram que a termografia também pode ser aplicável para a avaliação de lesões hemorrágicas traumáticas e propuseram sua utilização como um indicador de sinal de vida aplicado a vítimas de acidentes traumáticos favorecendo a triagem e tomadas de decisões de socorro e resgate. Para verificar a viabilidade desta idéia, desenvolveram um complexo método de avaliação da taxa respiratória, envolvendo variáveis hemodinâmicas e da temperatura da pele em pontos específicos do corpo durante uma simulação de hemorragia e redução da pressão sanguínea utilizando uma câmara de descompressão. Os resultados desse estudo

sugerem que a termografia possa ser útil para a avaliação remota de pacientes traumáticamente feridos. A detecção de sinais de vida pode ser determinada por meio da verificação da taxa respiratória e a determinação da magnitude da hemorragia, a qual também pode ser possível com base em associações entre a temperatura da pele e de variáveis hemodinâmicas (28).

Pauling e cols (29) analisaram a validade e confiabilidade da termografia para a avaliação dinâmica da função microvascular digital das mãos em 14 voluntários saudáveis. A metodologia do estudo incluiu medidas iniciais em temperatura ambiente e após estresse com baixas temperaturas analisando as curvas de reaquecimento pós estímulo, os autores consideram a termografia como uma técnica de excelente reprodutibilidade para avaliação de medidas da perfusão vascular digital.

A Termografia na Obstetrícia

Vachutka e cols (30) apresentaram outra aplicação da termografia avaliando o aquecimento dos tecidos com a aplicação do ultrassom com finalidade de diagnóstico. A ultrassonografia é uma técnica diagnóstica amplamente utilizada na prática médica, sendo um método acessível para determinações anatômicas e fisiológica dos tecidos e órgãos. Na obstetrícia, é utilizada com frequência durante o período gestacional. Mas é preciso lembrar que qualquer modalidade de diagnóstico baseada na transmissão de energia para o corpo pode ser prejudicial pelo aquecimento dos tecidos. Nesse caso, esses autores desenvolveram um modelo de avaliação termográfica dos efeitos térmicos gerados pela propagação das ondas ultrassônicas numa superfície de gel com propriedades acústicas semelhantes às do tecido humano. Os resultados apontaram um maior aumento de temperatura na área de contato com o transdutor, sendo que a temperatura variava de maneira dependente da profundidade alcançada pela onda ultrassônica.

A Termografia na Fisioterapia

Trafarski e cols (31) investigaram a utilização da termografia para avaliar a eficácia do procedimento de crioterapia local em pacientes com artrite reumatóide. Para isso, determinaram a intensidade da estimulação térmica durante o procedimento e a duração da resposta do organismo ao estímulo, que consistiu na aplicação de vapores de nitrogênio líquido ou ar

fresco na mão. Com base na comparação da distribuição da temperatura na superfície da mão, em diferentes momentos: antes, imediatamente após e em determinados intervalos após a aplicação do estímulo. Observou-se que a resposta do organismo à estimulação com vapores de nitrato líquido dura cerca de 2 h, enquanto no caso de ar frio a duração do resfriamento equivale a 90 min. A pesquisa realizada demonstrou que a termografia é uma técnica de medição viável na análise das reações térmicas do organismo em resposta a crioterapia local, sendo útil na avaliação da evolução e monitoramento do tratamento.

Wu e cols (32) estudaram 53 pacientes com quadro de dor cocígea previamente diagnosticada. Eles foram submetidos a modalidades terapêuticas que consistiram de sessões de terapia manual e fisioterapia utilizando como recurso a diatermia por ondas curtas realizada três vezes por semana, durante oito semanas. Os voluntários foram avaliados através de uma escala numérica de classificação da dor e termografia antes do tratamento e em doze semanas. Após o curso da pesquisa foram observadas diferenças significativas em ambos os critérios de avaliação, tais como relato de dor na escala numérica de classificação (de 6,15 para 2,70 com valor de $p < 0,05$) e temperatura superficial da pele na termografia (de 30,16 °C para 28,70 °C com valor de $p < 0,05$). A correlação entre a melhora da dor e diminuição da temperatura foi estatisticamente significativa ($r = 0,67$, $p < 0,01$). Os achados do estudo mostram que a termografia pode distinguir objetiva e quantitativamente o decréscimo das temperaturas da superfície, de modo a correlacionar-se com as mudanças na intensidade da dor após o tratamento da síndrome da dor cocígea.

A Termografia na Ergonomia

Mijović e cols (33) conduziram um estudo com o objetivo de determinar se a termografia poderia ser utilizada para avaliar o transporte de calor e umidade nas roupas usadas por policiais. Um sistema de câmaras termográficas foi utilizado para identificar padrões de temperatura ao longo do corpo de homens adultos saudáveis realizando atividades físicas dentro de um ambiente com temperatura controlada. A termografia revelou que os padrões de distribuição de temperatura foram claramente associados com regiões de resfriamento por

evaporação de suor, da mesma forma que as diferenças nos padrões de temperatura entre os sujeitos que produzem grandes ou poucas quantidades de suor também foram observadas. O estudo mostrou que a termografia é uma ferramenta eficaz para avaliar a temperatura da pele e a evaporação do suor de diferentes tipos de roupas. A informação obtida pode ser aplicada para a concepção de novos materiais para vestuário e para maximizar os efeitos de resfriamento de evaporação do suor do corpo.

5. CONCLUSÃO

A termografia é um método não invasivo, indolor e sem contato físico que gera imagens de alta resolução. Por estas características, vem sendo utilizada para verificar e avaliar mudanças fisiológicas, funcionais, de modo a complementar os padrões de investigações radiográficas já estabelecidos. Neste estudo, pode-se observar com certo grau de detalhamento, a aplicação da termografia nas áreas da ortopedia, odontologia, cirurgia, esporte, oncologia, cardiologia, angiologia, endocrinologia, medicina forense, hemodinâmica, obstetrícia, fisioterapia e ergonomia. Do exposto, conclui-se que o uso da termografia em conjunto com observações clínicas ou outros exames complementares, pode ser decisivo para definição do diagnóstico médico ou para avaliar a eficácia das modalidades terapêuticas empregadas sendo, em perspectivas futuras, uma técnica adicional de grande utilidade na área biomédica.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus.

REFERÊNCIAS

- Jiang LJ, Ng EY, Yeo AC, Wu S, Pan F, Yau WY, et al. A perspective on medical infrared imaging. *J Med Eng Technol* 2005 Nov-Dec; 29(6): 257-67.
- Harzbecker K, Hopner S, Mahrlein W, Krause M, Muller HR. [Thermographic thorax diagnostics]. *Z Gesamte Inn Med* 1978 Feb 1; 33(3): 78-80.
- 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.
- Mikulska D. [Contemporary applications of infrared imaging in medical diagnostics]. *Ann Acad Med Stetin* 2006; 52(1): 35-9; discussion 9-40.
- Bandeira F, Moura MAMd, Souza MAd, Nohama P, Neves EB. Pode a termografia auxiliar no diagnóstico de lesões musculares em atletas de futebol?; Can thermography aid in the diagnosis of muscle injuries in soccer athletes? *Rev bras med esporte* 2012; 18(4): 246-51.
- Bronzino JD. *Medical Devices and Systems, The Biomedical Engineering Handbook*. Third Edition ed. USA: CRC Press, 2006,
- Diakides NA, Bronzino JD. *Medical Infrared Imaging*. USA: CRC Press, 2008,
- Gödke F. *Sistemas Dinâmicos para Evitar Úlceras de Pressão*. Curitiba: UTFPR; 2002.
- Magas V. *Avaliação da Aplicação da Termografia no Diagnóstico e LER/DORT nas Articulações do Punho, Carpo e Metacarpo*. Curitiba PUCPR; 2012
- Bandeira FH. *Termografia no apoio ao diagnóstico de lesão muscular no esporte*. Curitiba: UTFPR; 2013.
- Umadevi V, Raghavan S. *Infrared Thermography Based Image Construction for Bio-Medical Applications*. 2009: IEEE; 2009. p. 1-5.
- Prasal M, Sawicka KM, Wysokinski A. [Thermography in cardiology]. *Kardiol Pol* 2010 Sep; 68(9): 1052-6.
- Arthur DT, Khan MM. Thermal infrared imaging: toward diagnostic medical capability. *Conference proceedings : Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society IEEE Engineering in Medicine and Biology Society Conference 2011*; 2011: 6146-9.
- Tkacova M, Foffova P, Zivcak J, Hudak R. The methodics of medical thermography in the diagnostics of the human body musculoskeletal system. *Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMI), 2010 IEEE 8th International Symposium on*; 2010 28-30 Jan. 2010; 2010. p. 275-7.

15. Tkacova M, Foffova P, Hudak R, Svehlik J, Zivcak J. Medical thermography application in neuro-vascular diseases diagnostics. *Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMI)*, 2010 IEEE 8th International Symposium on; 2010 28-30 Jan. 2010; 2010. p. 293-6.
16. Niehof SP, Huygen FJ, Stronks DL, Klein J, Zijlstra FJ. Reliability of observer assessment of thermographic images in complex regional pain syndrome type 1. *Acta Orthop Belg* 2007 Feb; 73(1): 31-7.
17. Zivcak J, Madarasz L, Hudak R. Application of medical thermography in the diagnostics of Carpal Tunnel Syndrome. 12th IEEE International Symposium on Computational Intelligence and Informatics 2011: IEEE; 2011. p. 535-9.
18. Morasiewicz L, Dudek K, Orzechowski W, Kulej M, Stepniewski M. Use of thermography to monitor the bone regenerate during limb lengthening--preliminary communication. *Ortop Traumatol Rehabil* 2008 May-Jun; 10(3): 279-85.
19. Nahm FS, Koo MS, Kim YH, Suh JH, Shin HY, Choi YM, et al. Infrared Thermography in the Assessment of Temporomandibular Joint Disorder. *Korean J Pain* 2007; 20(2): 163-8.
20. Lourenço S, Clemente MP, Coimbra D, Silva A, Gabriel J, Pinho JC. The assessment of trapezius muscle symptoms of piano players by the use of infrared thermography. 2011.
21. Lee JG, Kim SG, Lim KJ, Choi KC. Thermographic assessment of inferior alveolar nerve injury in patients with dentofacial deformity. *J Oral Maxillofac Surg* 2007 Jan; 65(1): 74-8.
22. Gavrioloia G, Neamtu C, Gavrioloia M, Ghemigan A. Anisotropic diffusion filtering of infrared medical images. 2011: IEEE; 2011. p. 1-4.
23. Song C, Appleyard V, Murray K, Frank T, Sibbett W, Cuschieri A, et al. Thermographic assessment of tumor growth in mouse xenografts. *Int J Cancer* 2007 Sep 1; 121(5): 1055-8.
24. Kulis T, Kolaric D, Karlovic K, Knezevic M, Antonini S, Kastelan Z. Scrotal infrared digital thermography in assessment of varicocele--pilot study to assess diagnostic criteria. *Andrologia* 2012 May; 44 Suppl 1: 780-5.
25. Pauling JD, Flower V, Shipley JA, Harris ND, McHugh NJ. Influence of the cold challenge on the discriminatory capacity of the digital distal-dorsal difference in the thermographic assessment of Raynaud's phenomenon. *Microvasc Res* 2011 Nov; 82(3): 364-8.
26. Sivanandam S, Anburajan M, Venkatraman B, Menaka M, Sharath D. Medical thermography: a diagnostic approach for type 2 diabetes based on non-contact infrared thermal imaging. *Endocrine* 2012 Oct; 42(2): 343-51.
27. Maksymowicz K, Dudek K, Bauer J, Jurek T, Drozd R. Assessment of the possibilities of application of the thermovision technique in medico-legal diagnosis. Theoretical basis. *Ann Acad Med Stetin* 2007; 53 Suppl 2: 102-6.
28. Cooke WH, Moralez G, Barrera CR, Cox P. Digital infrared thermographic imaging for remote assessment of traumatic injury. *J Appl Physiol* 2011 Dec; 111(6): 1813-8.
29. Pauling JD, Shipley JA, Raper S, Watson ML, Ward SG, Harris ND, et al. Comparison of infrared thermography and laser speckle contrast imaging for the dynamic assessment of digital microvascular function. *Microvasc Res* 2012 Mar; 83(2): 162-7.
30. Vachutka J, Grec P, Mornstein V, Caruana CJ. Visualizing and measuring the temperature field produced by medical diagnostic ultrasound using thermography. *European Journal of Physics* 2008; 29(6): 1287.
31. Trafarski A, Róanski L, Straburzynska-Lupa A, Korman P. The Quality of Diagnosis by IR Thermography as a Function of Thermal Stimulation in Chosen Medical Applications. 2008; 2008. p. 2-5.
32. Wu C-L, Yu K-L, Chuang H-Y, Huang M-H, Chen T-W, Chen C-H. The Application of Infrared Thermography in the Assessment of Patients With Coccygodynia Before and After Manual Therapy Combined With Diathermy. *Journal of manipulative and physiological therapeutics* 2009; 32(4): 287-93.
33. Mijović B, Salopek ČI, Skenderi Z, Reischl U. Thermographic Assessment of Sweat Evaporation inside Clothing Systems. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe* 2012; 5(94): 81-6.