



A TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA COMO ALIADA NA PREVENÇÃO E DIAGNÓSTICO DE LESÕES MUSCULOESQUELÉTICAS NO ESPORTE: UMA REVISÃO NARRATIVA

INFRARED THERMOGRAPHY AS AN ALLY IN THE
PREVENTION AND DIAGNOSIS OF MUSCULOSKELETAL
INJURIES IN SPORT: A NARRATIVE REVIEW

 *Thatiana Lacerda Nobre**

 *Erico Chagas Caperuto***

>> Resumo

Os atletas são constantemente expostos à uma série de sobrecargas físicas que ocasionam alterações morfológicas no músculo esquelético. O monitoramento da intensidade de treinamento, de prevenção e de lesões musculares, se torna importante no cenário esportivo tanto para atletas de modalidades individuais como coletivas. A detecção das mudanças na temperatura da pele, com o uso da termografia infravermelha, vem se destacando por ser uma ferramenta de avaliação e diagnóstico seguro, que pode juntamente com outros recursos, identificar e prevenir quadros de lesões musculoesqueléticas. Neste artigo revisamos a importância da utilização da termografia infravermelha como recurso de identificação e prevenção de lesões. Além do recurso de monitoramento das alterações de padrões do fluxo sanguíneo cutâneo durante e após o exercício.

>> Palavras-chave

Termografia infravermelha, Mapeamento térmico, Imagem termográfica, Atleta, Esporte

* Doutoranda e Mestre em Educação Física, seguindo a linha de pesquisa de Promoção e Prevenção em Saúde pela Universidade São Judas Tadeu.

**graduação em Bacharelado Em Educação Física pela USP, mestrado em Ciências (Fisiologia Humana) pela USP e doutorado em Biologia Celular e Molecular pela USP.

>> Abstract

athletes are constantly exposed to a series of physical overloads that cause morphological changes in skeletal muscle. Monitoring training intensity; Prevention and prevention of muscle injuries becomes important in the sporting scenario for both individual and team athletes. Detecting changes in skin temperature, using infrared thermography, has emerged as a safe assessment and diagnosis tool, which can, together with other resources, identify and prevent musculoskeletal injuries. In this article we review the importance of using infrared thermography as a resource for identifying and preventing injuries. In addition to the ability to monitor changes in skin blood flow patterns during and after exercise.

>> Keywords

Infrared thermography, Thermal mapping, Thermographic imaging, Athlete, Sport

1. INTRODUÇÃO

No ambiente esportivo, os atletas são expostos constantemente à uma série de sobrecargas físicas por meio de treinamento e partidas que causam alterações morfológicas no músculo esquelético, seguido pelo aumento da concentração de enzimas pró-inflamatórias e prejudiciais aos músculos (Bishop, Jones & Woods, 2008; Cheng, Jude & Lanner, 2020). Essas reações causam mudança no fluxo sanguíneo, que acontece em decorrência da vasodilatação e do aumento do volume da quantidade de sangue circulando na região, que afeta a temperatura da pele (Merla et al, 2010).

Para os atletas, o conhecimento da temperatura corporal (central) e a temperatura da pele durante uma atividade intensa, como a corrida de longa distância, citado como exemplo, é de grande importância para entender a sustentabilidade do trabalho muscular necessário, bem como para inferir uma possível associação da resposta termorregulatória com o desempenho atlético (Tanda, 2016). Após uma prova, o monitoramento do dano muscular se mostra importante para tentar melhorar a recuperação e assim, reduzir possíveis risco de lesão (Halson, 2014; Mujika, 2017).

O dano muscular induzido pelo exercício é comumente avaliado pela quantificação dos marcadores sanguíneos como creatino quinase sérica, lactato desidrogenase, entre outros (Ramos Campos et al, 2016; Gutierrez - Vargas et al, 2018; Rubio-Arias et al, 2019;). Contudo, esses marcadores são considerados bons indicadores de dano muscular (Banfi et al, 2012). Mas, também é sugerido que a inflamação resultante de lesão muscular pode aumentar a temperatura do músculo e alterar a temperatura basal (Fernandes et al, 2017a). Já que, após o exercício físico, o organismo realiza uma série de respostas fisiológicas para tentar manter a homeostase corporal (Ramos Campos et al, 2016; Gutierrez - Vargas et al, 2018; Rubio-Arias et al, 2019; Rojas- Valverde et al, 2019; Rojas-valverde et al, 2021). A variação da temperatura basal depende de vários fatores e pode aumentar em decorrência de um maior fluxo sanguíneo, atividade metabólica ou temperatura do ambiente. No entanto, a redução da temperatura também pode acontecer, devido a transpiração ou diminuição do fluxo sanguíneo na pele (Hillen et al, 2020; Rojas-valverde et al, 2021).

Durante a corrida, por exemplo, a produção metabólica de calor pode aumentar cerca de dez à vinte vezes mais, quando comparado com uma pessoa em estado sedentário. Contudo, cerca de 30% da produção metabólica de calor é convertida em energia mecânica, e o restante, passa a ser transportado aos compartimentos periféricos do corpo para a pele, para que assim, seja dissipado no meio do ambiente (Lin, Byrne e Lee, 2008).

O processo de recuperação muscular também é caracterizado por um aumento de calor naquele músculo específico devido à alta taxa do metabolismo e fluxo sanguíneo. (Uchôa et al, 2018). Um aumento na intensidade durante o treinamento ou competição pode levar a danos musculares e inflamação do tecido (Perez-Guarner et al, 2019).

A avaliação da temperatura basal como forma de obter informações sobre o dano muscular é baseado em sua relação com a inflamação e

alterações do fluxo sanguíneo da pele (Hildebrandt, Raschner & Ammer, 2010; Priego- Quesada et al, 2020). Para este tipo de análise, a termografia infravermelha vem se destacando cada dia mais no cenário esportivo, pois tem se mostrado ser uma ferramenta que revela padrões de distribuição da temperatura na pele Bandeira et al, (2012); Tanda, (2016); Oliveira et al, (2018), através de distribuição da radiação superficial durante a atividade física (Hillen et al, 2020).

Sendo assim, a presente pesquisa irá revisar o uso da Termografia Infravermelha no esporte, como recurso para identificar, tratar e prevenir lesões musculoesqueléticas em atletas. No primeiro tópico será abordada uma explicação sobre o que é termografia infravermelha e sua aplicabilidade. Já o segundo tópico descreverá sobre a utilização e importância do uso do recurso de termografia infravermelha em atletas de diferentes modalidades esportivas.

2. Termografia Infravermelha

A termografia infravermelha é uma ferramenta de avaliação e diagnóstico seguro, não invasivo, indolor e sem contato Hildebrandt et al, (2010); Uchôa et al, (2018); Carvalho et al, (2021) que tem como função, a capacidade de mapear a distribuição da temperatura por todo o corpo (Fournet et al, 2013).

Atualmente, as câmeras infravermelhas geram imagens térmicas com base na quantidade de calor dissipado na superfície do corpo (Hildebrandt et al, 2012). Essas câmeras captam com precisão a mudança de temperatura, e dessa forma, também, pode ser usado como um feedback instantâneo sobre as possíveis assimetrias no paciente ou atleta. Contudo, ao contrário de outras ferramentas de avaliações de imagem, a termografia infravermelha não está relacionada à morfologia (Hildebrandt et al, 2012).

Com o avanço da tecnologia ao longo dos anos, as câmeras infravermelhas também foram beneficiadas, tornando-as com melhores resoluções; os softwares utilizados para análise dessas imagens também foram se aprimorando e, protocolos de avaliação padronizados foram desenvolvidos por associações e entidades de pesquisadores do tema, resultando em uma melhor capacidade, sensibilidade e confiabilidade diagnóstica.

Segundo Hillen et al, (2023) cada experimento, cada estudo de pesquisa tem focado em uma determinada região de interesse (ROI). A escolha da região e análise das imagens pode contribuir para uma melhor decisão na fase de aquecimento do atleta em diferentes modalidades esportivas Chudecka & Lubkowska, (2012), além de, uma seleção adequada de exercícios Szurko et al, (2022), na prevenção do fenômeno overtraining Kermann, (2010), e avaliação da aptidão física (Chudecka & Lubkowska, 2010).

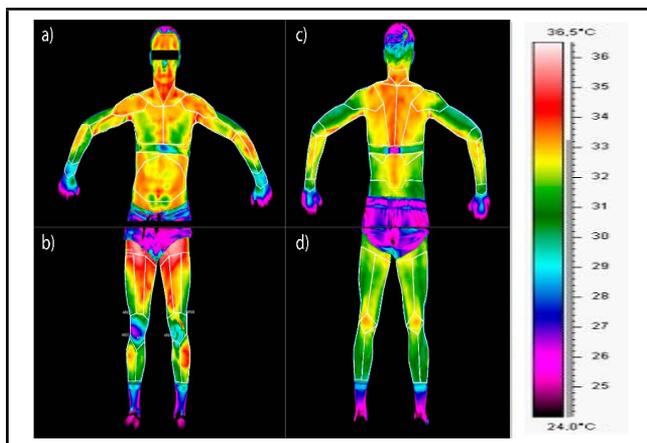
Segundo Merla et al, (2010), este instrumento é capaz de avaliar a adaptação do fluxo sanguíneo cutâneo. Podendo também ser utilizada diariamente para a detecção de sobrecarga muscular, identificação de fadiga Côte et al, (2019) e diagnóstico de traumas (Korman et al, 2016). Segundo Hildebrandt et al, (2012), as imagens térmicas são amplamente utilizadas

como forma de apoiar outras avaliações e recursos médicos relacionados a identificação de várias fisiopatologias.

No cenário esportivo este método de avaliação vem atraindo a atenção e ganhando cada vez mais espaço (Carvalho et al, 2021). Justificando-se pela facilidade de diagnóstico de possíveis lesões musculoesqueléticas e até mesmo de prevenção das mesmas Côrte & Hernandes, (2016), principalmente após o treinamento (Bandeira et al, 2012). O uso da termografia infravermelha no pós treino tem como objetivo mostrar a capacidade de recuperação fisiológica do atleta e também as alterações da temperatura no mapa corporal (Gomes-Carmona et al, 2020). Isto acontece, pois, cada área do corpo humano, é determinada pelo equilíbrio térmico entre a atividade muscular, vasodilatação, evaporação do suor e o ambiente (Priego-Quesada et al, 2016).

Quadros de lesões musculares e inflamação tecidual resultantes do treinamento e competição podem aumentar a temperatura muscular, e isso, pode se refletir diretamente na temperatura da pele (Hildebrandt, 2010). Visto que os atletas são expostos a estresse físico e sobrecarga durante as sessões de treinamento e competições que causam mudanças no fluxo sanguíneo, afetando a temperatura da pele (Merla et al, 2010). Para Fernandes-Cuevas et al, (2015) uma assimetria térmica poderia representar um potencial risco de lesão relacionada à sobrecarga de treino e/ou competição. Para Simmons et al (2011), pessoas treinadas geralmente tem maior capacidade de transferência de calor, fator esse que deve ser devido a uma maior capacidade de vasodilatação periférica Chudecka & Lubkowska, (2010).

Figura 1: Representação da imagem térmica da região anterior e posterior dos membros superiores (a,c) e inferiores (b,d) de um atleta. A amplitude térmica analisada também está demonstrada ao lado da figura que vai de 24°C até 36,5°C.



Fonte: (Szurko et al, 2022)

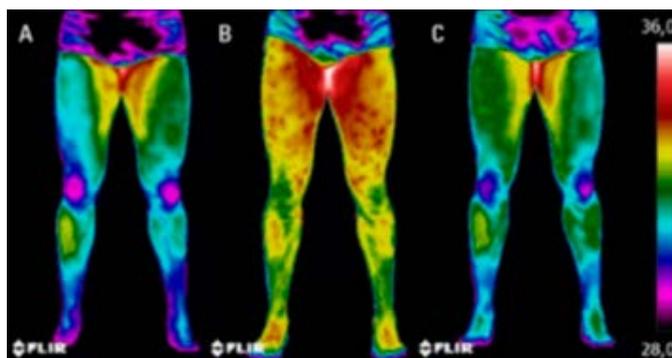
3. Aplicabilidade da termografia infravermelha no esporte

No futebol, cada sessão de treinamento ou jogo resulta no atleta um grande número de microlesões musculares, devido as ações excêntricas decorrentes do mecanismo do gesto esportivo (Hyldahl & Hubal, 2014). Proporcionando também, um redirecionamento do fluxo sanguíneo arterial para os músculos solicitados no exercício, o que gera maior temperatura muscular e conseqüentemente vasodilatação cutânea local (Fernandes et al, 2017b). No qual, poderia ser classificado como um indicador de desgaste ou lesão muscular, e, ressaltar caso haja, overtraining no atleta (Fernandes et al, 2017a).

No estudo proposto por Côrte et al, (2019) utilizaram a ferramenta de termografia infravermelha como um complemento avaliativo de prevenção de lesões musculares em atletas da série A de futebol masculino do Brasil. A proposta do estudo foi de avaliar os atletas sempre 48 horas após os jogos, e caso fosse observada uma assimetria de temperatura de 0,4°C, imediatamente um protocolo de prevenção de lesões era administrado. Contudo, no final de um ano de pesquisa avaliativa, a equipe de atletas apresentou diminuição de 64% no índice de lesões musculoesqueléticas, quando comparado com o ano anterior em que a termografia infravermelha não era utilizada. Esses achados também foram observados no estudo proposto por Gomez-Carmona et al (2020) que também aplicaram protocolo de prevenção de lesões em atletas de futebol com o auxílio da termografia e, como resultado observaram a diminuição do índice e nível de gravidade dessas lesões musculoesqueléticas, e, como consequência a diminuição do tempo de afastamento dos atletas dos treinos e jogos.

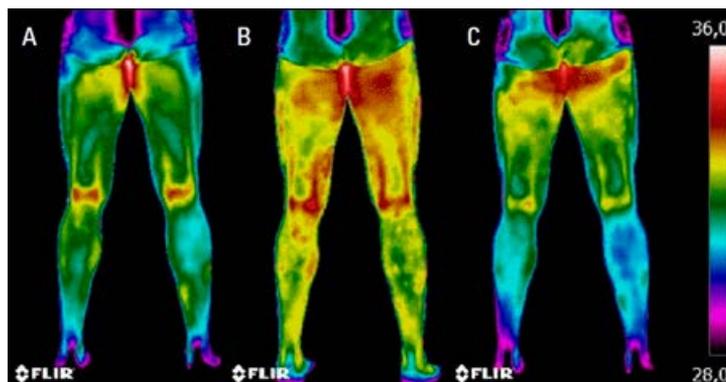
Já Fernandes et al. (2017a) realizou um estudo de caso em que acompanhou a temperatura térmica dos membros inferiores, associada a concentração sanguínea de creatino quinase 24 horas antes, e mais, 24 e 48 horas após uma partida oficial. Que demonstrou que 24 após o jogo, o atleta apresentou elevação da temperatura nos membros inteiros analisados. Contudo, já 48 horas após o esforço da partida, pode-se observar alteração da temperatura somente em algumas regiões como: anterior da coxa direita, anterior da perna esquerda, região anterior de ambos os tornozelos e posterior de ambas as coxas (Figuras 2 e 3). Cogitando que esses resultados podem ser utilizados como indicador de lesão muscular, a termografia infravermelha pode ser utilizada como uma ferramenta para auxiliar no controle da intensidade de treinamento, podendo fazer parte também do programa de prevenção de lesão nos clubes esportivos e nas clínicas de reabilitação.

Figura 2: Termogramas das vistas anteriores: (A) 24 horas antes da partida, (B) 24 horas após o início da partida e (C) 48 horas após o início da partida.



Fonte: (Fernandes et al, 2017a).

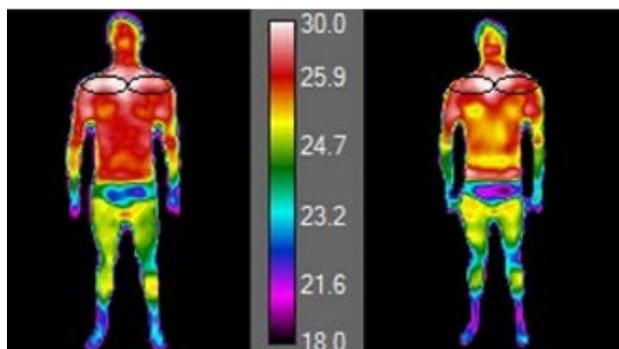
Figura 3: Termogramas das vistas posteriores: (A) 24 horas antes da partida, (B) 24 horas após o início da partida e (C) 48 horas após o início da partida. Fonte: (Fernandes et al, 2017a)



Fonte: (Fernandes et al, 2017a).

Na modalidade natação, o uso da termografia infravermelha, também se aplica na identificação de lesões musculares, como descrito nos achados de Côrte et al. (2019), que avaliou atletas da seleção olímpica do Brasil e este recurso serviu para o tratamento e a mudança da carga de treino. Os autores relatam o caso da identificação de alteração na simetria térmica entre os lados da cintura escapular, onde o lado direito apresentava-se mais hiperradiante, com uma diferença de $0,4^{\circ}\text{C}$. Ao exame físico, o atleta se queixou de dor na região posterior do ombro esquerdo, compatível assim com uma retração da cápsula posterior. Desta forma, foi realizada uma intervenção fisioterapêutica e após três dias a diferença térmica passou para $0,2^{\circ}\text{C}$. Na figura 4 pode-se identificar a imagem térmica antes e após os três dias da intervenção fisioterapêutica.

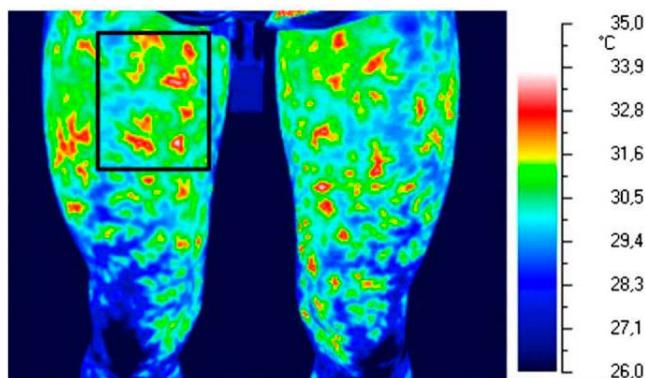
Figura 4: Imagens termográficas antes e após intervenção fisioterapêutica. ROIs: escapular anterior.



Fonte: Côrte et al, 2019

No ciclismo, o uso da termografia infravermelha também está presente. Ludwig et al (2016), avaliaram os atletas não durante a competição, mas sim em um teste incremental, com o objetivo de entender como a temperatura cutânea iria se comportar em condições ambientais controladas. Os resultados trouxeram bastante informação, pois pode-se perceber que durante o exercício, acontece uma vasoconstrição nos músculos que estão sendo mais exigidos no movimento, e, é seguido por um aumento da temperatura quando o atleta chega à exaustão. Contudo, em todos os ciclistas, pode-se observar um padrão térmico, pontos quentes na superfície da pele, o que para os pesquisadores isto é uma característica de atletas, ciclistas, altamente treinados, que possuem uma alta capacidade de modificar a temperatura da pele durante o esforço muscular, como pode-se observar na figura 5.

Figura 5: Imagem térmica após exaustão de teste incremental em ciclista. Amostragem representativa das áreas mais quentes da região das coxas



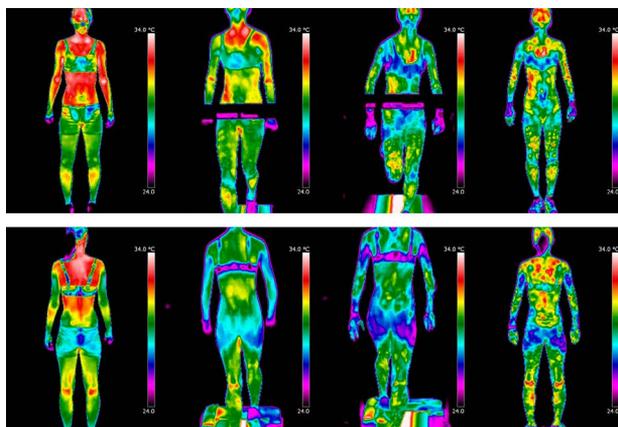
Fonte: (Ludwig et al, 2016)

Esses achados também estão presente no estudo de Cholewka et al, (2015), onde observaram uma diminuição da temperatura corporal média nos primeiros momentos do teste de incremental de esforço, mas com o passar do tempo algumas oscilações na temperatura são observadas na superfície corporal. Desta forma, acredita-se que este tipo de alteração da temperatura cutânea esteja relacionado com os mecanismos de termoregulação que são ativados durante o treinamento físico, visto que no início do teste a temperatura mais baixa aparente dar-se-á a uma maior eficiência no sistema de termoregulação devido também a uma menor carga do treinamento. Porém, durante o esforço repetitivo ou por um período, o aumento do gradiente de temperatura acontece devido a aceleração do metabolismo.

No início do exercício tem-se um aumento no fluxo sanguíneo como forma de oxigenar os músculos ativos, o que também leva a uma redução do fluxo sanguíneo cutâneo (vasoconstrição cutânea). Contudo, à medida que o exercício vai progredindo, o calor começa a acumular no corpo, devido à intensa produção metabólica de calor, levando ao aumento da temperatura central. Quando a temperatura está muito elevada, o hipotálamo, órgão central responsável pelo controle da termoregulação corporal; ele por sua vez, ativa a função de defesa para dissipar calor do corpo para o meio ambiente, fenômeno esse da sudorese e da vasodilatação da pele (Tanda, 2017).

Durante a vasodilatação cutânea, o sangue que estava na região central, é redirecionado para a superfície (perfusão sanguínea), esse sangue também é levado para a periferia, promovendo assim, aumento da temperatura cutânea e diminuição da temperatura central (Charkoudian, 2003). Esses achados podem ser observados nos escritos de Tanda (2017), que descreve que a dinâmica da resposta da temperatura da pele é afetada pelo exercício, pois descobriu-se que as temperaturas médias da pele eram menores em regiões mais periféricas do corpo e que não estavam envolvidas com o gesto da corrida (membros superiores), mas podiam ser comparáveis ou superiores em regiões mais exigidas pelo exercício, como pernas e coxas, como mostra a figura 6.

Figura 6: Imagens térmicas infravermelhas da região anterior e posterior do corpo do indivíduo do sexo feminino durante exercício com carga graduada. Da esquerda para a direita: antes do exercício, na fase central do exercício, antes do final do exercício e durante a recuperação imóvel do exercício.



Fonte: (Tanda, 2017)

Já Rojas-Valverde et al (2021) avaliaram a temperatura cutânea em atletas no dia posterior a uma maratona, mas em um ambiente não controlado, classificado como quente, diferentemente do que foi a pesquisa de Tanda (2017), que a corrida foi na esteira e um local climatizado. Contudo, Rojas-valverde et al (2021) descreve que a temperatura da pele dos atletas participantes estavam mais alta no dia seguinte à maratona e que essa dinâmica da temperatura poderia ser devido ao calor gerado pela maratona juntamente com o ambiente quente, o que refletiria na temperatura da pele devido a vasodilatação periférica que acontece durante o movimento.

Embora a maratona seja um exercício extenuante, os resultados do estudo de Priego-Quesada et al. (2020) mostram que a temperatura basal da pele não aumentou nos dias subsequentes a competição de corrida (24 e 48 horas). Esses achados concordam com estudos anteriores (Silva et al, 2018; Perez-Guarner et al, 2019). Mas, discordam de outras investigações (Fernandes et al, 2017a; Priego-Quesada et al, 2019).

No entanto, uma possível explicação para estes fatos descritos acima é que estudos com acompanhamento contínuo da temperatura basal da pele após uma sessão de treinamento, competição ou reabilitação sejam necessários para identificar e mensurar quando ocorre o pico de temperatura na pele. Contudo, os estudos científicos sobre o tema ainda se apresentam escassos e com resultados contraditórios.

>> Considerações finais

A termografia infravermelha tem mostrado ser um método de grande confiabilidade, seguro e de aplicação não invasiva, o que deixa a técnica como uma forma de grande opção, pois sua aplicação é indolor. Porém, sua grande utilização ainda parece ser para a identificação de lesões musculares em atletas e quantificação da intensidade da carga nas sessões de treinamento. Contudo, esse rastreamento térmico pode ser utilizado nas diferentes modalidades esportivas, o que colabora e orienta os treinadores, médicos e fisioterapeutas quanto a característica do treino e/ou reabilitação nos atletas.

Sendo assim, os resultados da presente pesquisa sugerem a possibilidade do uso da Termografia Infravermelha como ferramenta unida com técnicas de exames clínicos, podendo ser um complemento nas avaliações clínicas e dar suporte as decisões de detecção e prevenção de lesão.

Porém, ainda existem muitas dúvidas quanto a eficácia e precisão das respostas térmicas no esporte, já que o número de artigos e diversificação das modalidades esportivas ainda precisam ser melhorados, o que nos mostra uma limitação neste estudo. Mas também, abre precedentes para serem exploradas em pesquisas futuras.

>> Referências

- BANDEIRA F. *et al.* Pode a termografia auxiliar no diagnóstico de lesões musculares em atletas de futebol? *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, v. 18, n. 4, p. 246-251, Jul. 2012. <https://doi.org/10.1590/S1517-86922012000400006>
- BANFI, G., COLOMBINI, A., LOMBARDI, G., LUBKOWSKA, A. Metabolic markers in sports medicine. *Advances in clinical chemistry*, v. 56, p. 1-54. 2012. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-394317-0.00015-7>
- BISHOP, P. A., JONES, E., WOODS, A. K. Recovery from training: a brief review: brief review. *Journal of strength and conditioning research*, v. 22, n. 3, p. 1015-1024. May. 2008. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31816eb518>
- CARVALHO, G. *et al.* Correlation between skin temperature in the lower limbs and biochemical marker, performance data, and clinical recovery scales. *PLoS one*, v. 16, n. 3. March. 2021. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0248653>
- CÔRTE A.C.R., HERNANDEZ A.J. Termografia médica infravermelha aplicada medicina do esporte. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, v. 22, p. 315-9. Jul - Ago. 2016. <https://doi.org/10.1590/1517-869220162204160783>
- CÔRTE, A.C. *et al.* Infrared thermography study as a complementary method of screening and prevention of muscle injuries: pilot study. *BMJ open sport & exercise medicine*, v. 5, n. 1. 2019. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2018-000431>
- CHARKOUDIAN, N. Skin blood flow in adult human thermoregulation: how it works, when it does not, and why. *Mayo Clin Proc.* v. 78, n. 5, p. 603-12. May. 2003. <https://doi:10.4065/78.5.603>
- CHENG, A. J., JUDE, B., LANNER, J. T. Intramuscular mechanisms of overtraining. *Redox biology*, v. 35. Aug. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.redox.2020.101480>
- CHOLEWKA, A. *et al.* May thermal imaging be useful in cyclist endurance tests? *J Therm Anal Calorim*, v. 123, p. 1973-1979. April. 2015. <https://doi.org/10.1007/s10973-015-4662-5>
- CHUDECKA M., LUBKOWSKA A. Temperature changes of selected body's surfaces of handball players in the course of training estimated by thermovision, and the study of the impact of physiological and morphological factors on the skin temperature. *Journal of Thermal Biology*, v. 35, n. 8, p. 379-385. Dec. 2010. <https://doi:10.1016/j.jtherbio.2010.08.001>
- CHUDECKA, M., LUBKOWSKA, A. The use of thermal imaging to evaluate body temperature changes of athletes during training and a study on the impact of physiological and morphological factors on skin temperature. *Hum. Mov*, v. 13, n. 1, p. 33-39. March. 2012. <https://doi:10.2478/v10038-012-0002-9>
- FERNANDES, A.A. *et al.* Effect of a professional soccer match in skin temperature of the lower limbs: a case study. *Journal of exercise rehabilitation*, v. 13, n. 3, p. 330-334. Jun. (2017a). <https://doi.org/10.12965/jer.1734934.467>
- FERNANDES A.A. *et al.* Application of infrared thermography in the assessment of muscle damage in elite soccer athletes. *MOJ Orthop Rheumatol*, v. 8. Aug. (2017b). <https://doi.org/10.15406/mojor.2017.08.00328>.
- FERNÁNDEZ-CUEVAS, I. *et al.* Classification of factors influencing the use of infrared thermography in humans: a review. *Infrared Phys Technol*. v. 71, p. 28 - 55. July. 2015. <https://doi:10.1016/j.infrared.2015.02.007>

FOURNET, D. *et al.* Body mapping of thermoregulatory and perceptual responses of males and females running in the cold. *J. Therm. Biol.*, v. 38, n. 6, p. 339–344. Aug. 2013. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2013.04.005>

GÓMEZ-CARMONA, P. *et al.* Infrared Thermography Protocol on Reducing the Incidence of Soccer Injuries. *Journal of sport rehabilitation*, v. 29, n. 8, p. 1222–1227. Nov. 2020. <https://doi.org/10.1123/jsr.2019-0056>

GUTIÉRREZ-VARGAS, R. *et al.* Biochemical and Muscle Mechanical Postmarathon Changes in Hot and Humid Conditions. *Journal of strength and conditioning research*, v. 34, n. 3, p. 847–856. Mar. 2018. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002746>

HALSON, S. L. Monitoring training load to understand fatigue in athletes. *Sports medicine*, v. 44, p. 139–147. Set. 2014. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0253-z>

HYLDAHL, R.D., HUBAL M.J. Lengthening our perspective: morphological, cellular, and molecular responses to eccentric exercise. *Muscle Nerve*, v. 49, n. 2, p. 155–170. Feb. 2014. <https://doi.org/10.1002/mus.24077>

HILDEBRANDT, C., RASCHNER, C., AMMER, K. An overview of recent application of medical infrared thermography in sports medicine in Austria. *Sensors*, v. 10, n. 5, p. 4700–4715. May. 2010. <https://doi.org/10.3390/s100504700>

HILDEBRANDT, C., ZEILBERGER, K., RING, E.F.J., RASCHNER, C. The application of medical infrared thermography in sports medicine. In *An International Perspective Topics in Sports Medicine and Sports Injury*, p. 257–274. Feb. 2012. <https://doi.org/10.5772/28383>

HILLEN, B., PFIRRMANN, D., NAGELE, M., SIMON, P. Infrared thermography in exercise physiology: the dawning of exercise radiomics. *Sports Med.* v. 50, n. 2, p. 263–282. Feb. 2020. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01210-w>.

HILLEN, B. *et al.* Acute physiological responses to a pyramidal exercise protocol and the associations with skin temperature variation in different body areas. *J Therm Biol*, v. 115. July. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2023.103605>.

KELLMANN, M. Preventing overtraining in athletes in high-intensity sports and stress/recovery monitoring. *Scand. J. Med. Sci. Sports*, v. 20, p. 95–102. Oct. 2010. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01192.x>.

KORMAN, P. *et al.* Changes in body surface temperature during speed endurance work-out in highly-trained male sprinters. *Infrared Phys. Technol*, 78, 209–213. Sep. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2016.08.003>

LIM, C.L., BYRNE, C., LEE, J.K. Human thermoregulation and measurement of body temperature in exercise and clinical settings. *Annals of the Academy of Medicine*, v. 37 n. 4, p. 347–353. Apr. 2008.

Ludwig, N. *et al.* Thermography for skin temperature evaluation during dynamic exercise: a case study on an incremental maximal test in elite male cyclists. *Appl Opt*, v. 55, n. 34, p. 126–130. 2016. <https://doi.org/10.1364/AO.55.00D126>.

MERLA, A., MATTEI, P. A., DI DONATO, L., ROMANI, G. L. Thermal imaging of cutaneous temperature modifications in runners during graded exercise. *Annals of biomedical engineering*, v. 38, n. 1, p. 158–163. Jan. 2010. <https://doi.org/10.1007/s10439-009-9809-8>

MUJKA I. Quantification of Training and Competition Loads in Endurance Sports: Methods and Applications. *International journal of sports physiology and per-*

formance, v. 12(Suppl 2), p. S29–S217. Apr. 2017. <https://doi.org/10.1123/ijssp.2016-0403>

Oliveira, S.A.F. *et al.* Measuring of skin temperature via infrared thermography after an upper body progressive aerobic exercise *J. Phys. Educ. Sport*, v. 18, p. 184–92. Jan. 2018. <https://doi.org/10.7752/jpes.2018.01024>

PÉREZ-GUARNER, A. *et al.* Association between physiological stress and skin temperature response after a half marathon. *Physiol Meas*, v. 3, n. 40 Apr. 2019. doi: 10.1088/1361-6579/ab0fdc.

PRIEGO-QUESADA, J.I. *et al.* Effects of the cycling workload on core and local skin temperatures. *Exp. Therm. Fluid Sci*, v. 77, p. 91–99. Oct. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2016.04.008>

PRIEGO-QUESADA, J.I., OFICIAL-CASADO, F., GANDIA-SORIANO, A., CARPES, F.P. A preliminary investigation about the observation of regional skin temperatures following cumulative training loads in triathletes during training camp. *J Therm Biol*. v. 84, p. 431–438. Jul. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2019.07.035>

PRIEGO-QUESADA, J.I. *et al.* Effect of a Marathon on Skin Temperature Response After a Cold-Stress Test and Its Relationship With Perceptive, Performance, and Oxidative-Stress Biomarkers. *International journal of sports physiology and performance*, v. 15, n. 10, p. 1467–1475. May. 2020. <https://doi.org/10.1123/ijssp.2019-0963>

RAMOS-CAMPO, D.J. *et al.* Muscle damage, physiological changes, and energy balance in ultra-endurance mountain-event athletes. *Applied physiology, nutrition, and metabolism*, v. 41, n. 8, p. 872–878. Aug. 2016. <https://doi.org/10.1139/apnm-2016-0093>

ROJAS-VALVERDE, D. *et al.* External Workload Indicators of Muscle and Kidney Mechanical Injury in Endurance Trail Running. *International journal of environmental research and public health*, v. 16, n. 20. Oct. 2019. <https://doi.org/10.3390/ijerph16203909>

Rojas-Valverde, D. *et al.* Relationship between Skin Temperature Variation and Muscle Damage Markers after a Marathon Performed in a Hot Environmental Condition. *Life*, v. 11, n. 8. Jul. 2021. <https://doi.org/10.3390/life11080725>

RUBIO-ARIAS, J.Á. *et al.* Muscle damage and inflammation biomarkers after two ultra-endurance mountain races of different distances: 54 km vs 111 km. *Physiology & behavior*, v. 205, p. 51–57. Jun. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2018.10.002>

SILVA, W. *et al.* Can exercise-induced muscle damage be related to changes in skin temperature? *Physiol Meas*, v. 39, n. 10. Oct. 2018. <https://doi.org/10.1088/1361-6579/aae6df>

SIMMONS, G.H., WONG, B.J., HOLOWATZ, L.A., KENNEY, W.L. Changes in the control of skin blood flow with exercise training: where do cutaneous vascular adaptations fit in? *Experimental physiology*, v. 96, n. 9, p. 822–828. May. 2011. <https://doi.org/10.1113/expphysiol.2010.056176>

SZURKO, A. *et al.* Thermovision as a Tool for Athletes to Verify the Symmetry of Work of Individual Muscle Segments. *Int J Environ Res Public Health*. v. 19, n. 14, Jul. 2022. <https://doi.org/10.3390/ijerph19148490>.

TANDA, G. Skin temperature measurements by infrared thermography during running exercise. *Experimental Thermal and Fluid Science*. v. 71, p. 103–113.

Feb. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2015.10.006>

TANDA, G. Total body skin temperature of runners during treadmill exercise: A pilot study. *J Therm Anal Calorias*, v. 131, n. 1, p. 1967-1977. Aug. 2017. <https://doi.org/10.1007/s10973-017-6634-4>

UCHÔA, P. *et al.* Evaluation of two different resistance training volumes on the skin surface temperature of the elbow flexors assessed by thermography Infrared. *Phys. Technol*, v. 93, p. 178-83. Set. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2018.07.038>

