



Rev Bras Futebol 2022; v. 15, n. 3, 3 – 20.

**BASES FISIOLÓGICAS DA APLICAÇÃO DA TERMOGRAFIA PARA CONTROLE DE CARGA NO
FUTEBOL: UMA BREVE REVISÃO**

**PHYSIOLOGICAL BASIS OF THE THERMOGRAPHY APPLICATION FOR TRAINING LOAD
CONTROL IN SOCCER. A BRIEF REVIEW**

Alisson Gomes da Silva

Escola Preparatória de Cadetes do Ar

Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Educação Física UFV/UFJF

Hamilton Henrique Teixeira Reis

Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Educação Física UFV/UFJF

João Carlos Bouzas Marins

Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Educação Física UFV/UFJF

Endereço de correspondência:

Alisson Gomes da Silva

Departamento de Educação Física, Universidade Federal de Viçosa, Campus Universitário

CEP: 36570-000 –Viçosa – MG

Celular: (3) 9 8484-4969

Contato: alisson.gomes@ufv.br

BASES FISIOLÓGICAS DA APLICAÇÃO DA TERMOGRAFIA PARA CONTROLE DE CARGA NO FUTEBOL: UMA BREVE REVISÃO

RESUMO

Introdução: A termografia tem sido recentemente proposta na literatura como uma ferramenta não invasiva de avaliação da recuperação muscular em futebolistas, já que aumentos na temperatura da pele têm sido associados à resposta inflamatória induzida por treinamentos e jogos.

Objetivo: Apresentar a base fisiológica teórica que fundamenta a aplicação da termografia como uma ferramenta de monitoramento da recuperação muscular no futebol e, conseqüentemente, de controle de carga de treinamento.

Métodos: Trata-se de uma revisão narrativa e crítica estruturada em 3 tópicos, sendo eles: a) aspectos básicos sobre o dano muscular induzido pelo exercício (DMIE); b) resposta inflamatória subsequente ao DMIE para reparo/regeneração muscular; c) síntese dos estudos que analisaram a resposta da temperatura da pele no período de recuperação após partidas ou treinamentos de futebol. O conteúdo tomou como referência uma busca realizada nas bases de dados Pubmed, Scielo, Science Direct e Google Acadêmico, combinando os descritores “thermography” OR “thermal image”, AND “soccer” OR “muscle fatigue”.

Resultados: Há fundamentos fisiológicos coerentes na literatura sustentando que a resposta inflamatória induzida pelo jogo cause um aumento na temperatura da pele, já que a inflamação aumenta a produção de calor na musculatura exercitada. A maior produção de calor ocorre devido a processos fisiológicos que acompanham a inflamação, como uma maior atividade metabólica local, vasodilatação e maior fluxo sanguíneo. Esse comportamento ficou evidente em partidas de futebol, que levaram a um aumento na temperatura da pele de membros inferiores, que pode durar de 24 h até 48 h após os jogos. Além disso, o efeito térmico parece ser exacerbado em sequências de jogos realizados com curto intervalo de recuperação.

Conclusão: Existe um fundamento fisiológico sólido para que a termografia possa ser utilizada como forma de controle do dano muscular decorrente do treino e competição no futebol, sendo uma ferramenta interessante para seu emprego de forma estendida nessa modalidade. Contudo, como essa é uma área de investigação recente, mais pesquisas são necessárias para consolidar a relação da resposta térmica durante o período de recuperação com marcadores de dano muscular e inflamação.

Palavras-chave: Futebol, Termografia, Temperatura Cutânea, Regulação da Temperatura Corporal.

PHYSIOLOGICAL BASIS OF THE THERMOGRAPHY APPLICATION FOR TRAINING LOAD
CONTROL IN SOCCER: A BRIEF REVIEW

ABSTRACT

Introduction: Thermography has been proposed as a non-invasive tool for muscle recovery monitoring in soccer players since increased skin temperature has been associated with the inflammatory response induced by training sessions and matches.

Objective: To present the theoretical physiological background of thermography application as a tool for muscle recovery monitoring in soccer and, consequently, controlling training load.

Methods: This narrative and critical review was organized into three topics: a) basic aspects of the exercise-induced muscle damage (EIMD); b) inflammatory response following EIMD for muscle repair and regeneration; c) synthesis of study results that analyzed the response of skin temperature during the recovery period after matches or soccer training sessions. A search was conducted in Pubmed, Scielo, Science Direct, and Scholar Google with the descriptors “thermography” OR “thermal image”, AND “soccer” OR “muscle fatigue”.

Results: There is a consistent physiological background in the literature supporting that the inflammatory response induced by soccer matches increases skin temperature since inflammation increases the local heat production in exercised muscles. Higher heat production occurs due to the inflammation's physiological processes, such as higher local metabolism, vasodilation, and increased blood flow. This behavior was evident in soccer matches which induced increases in the lower limbs' skin temperature from 24h to 48h post-matches. Moreover, the thermal effects appear to be exacerbated by consecutive matches performed with short recovery intervals.

Conclusion: A solid physiological background justifies thermography to be investigated as a tool to evaluate muscle damage induced by training and soccer matches, being an interesting tool for prolonged monitoring in this modality. However, since it is a developing research field, more studies are needed to consolidate the relationship between the thermal response during recovery and biochemical markers of muscle damage and inflammation.

Keywords: Soccer, Thermography, Skin Temperature, Body Temperature Regulation.

1. INTRODUÇÃO

Jogadores de futebol podem apresentar fadiga transitória durante as partidas e fadiga residual após o seu término em função da alta demanda física e neuromuscular requerida nos jogos [1]. A sobrecarga imposta ao jogador aumenta com a rotina de viagens, treinamento e participação em jogos consecutivos com poucos dias de intervalo, o que dificulta uma recuperação satisfatória. Um quadro de fadiga residual é comumente observado até 72 h pós-jogo, caracterizado, por exemplo, por redução na produção de força e potência, prejuízo no desempenho físico e no estado psicométrico e aumento em marcadores de dano muscular e inflamação [1]. Assim, monitorar a carga de treinamento/jogos e a recuperação de jogadores é importante para a comissão técnica planejar o treinamento, já que a prescrição de cargas de treinamento incompatíveis com o estado de recuperação do atleta pode aumentar o risco de lesões e comprometer a saúde e o desempenho [2, 3].

A recuperação no futebol pode ser avaliada, por exemplo, por meio de escalas de bem-estar, dor e recuperação percebida [4], desempenho em testes físicos como o salto com contramovimento e análise de biomarcadores sanguíneos de dano muscular e inflamação [1, 5]. Porém, como cada um desses métodos possui alguma limitação [2, 6], novas alternativas de monitoramento de recuperação continuam sendo investigadas na literatura. Nesse sentido, a termografia tem sido sugerida como uma ferramenta de avaliação indireta da resposta inflamatória decorrente do dano muscular induzido por partidas de futebol [7-9]. A termografia identifica a radiação infravermelha emitida da superfície de objetos [10] por meio de uma câmera que capta essa radiação e gera imagens térmicas (termogramas). Desse modo, com base no calor irradiado da superfície corporal, é possível mapear a temperatura da pele (TP) de várias regiões corporais de interesse (RCI) de modo não invasivo, seguro e sem contato [11, 12].

Ao longo de uma seção de treinamento e principalmente de competição, ocorre uma fase catabólica com depleção energética, hídrica e tecidual. Imediatamente após o seu final, ocorrem processos restaurativos no período de recuperação após partidas de futebol [13] gerando ressíntese de glicogênio muscular [14] e fosfocreatina [15], reposição de água intracelular [16, 17], remoção de metabólitos [18] e aumento na taxa de síntese proteica muscular [19]. Além disso, uma resposta inflamatória atua para reparar as microlesões causadas no sarcômero e regenerar os músculos esqueléticos e suas organelas e enzimas que atuam na contração muscular [20]. Durante a resposta inflamatória, processos fisiológicos como vasodilatação muscular e maior metabolismo local aumentam a produção de calor local [21]. Em teoria, essa resposta adaptativa tem potencial para influenciar a TP pós-exercício, pois o calor interno poderia ser transferido para a superfície corporal e captado por imagens

Silva et al. Termografia e Controle de Carga no Futebol. Rev Bras Futebol 2022; v. 15, n. 3, 3 – 19.

térmicas [7]. Alguns estudos apontam essa tendência de relação causa e efeito, como os trabalhos de Fernandes et al. [8, 9] que apresentaram aumentos na TP na fase de recuperação após jogos de futebol.

Este artigo apresenta os fundamentos fisiológicos teóricos que podem sustentar o emprego da termografia como uma técnica de apoio ao controle da carga de treinamento e competição, especialmente no futebol, por ser um esporte de alta intensidade, com ações concêntricas e excêntricas constantes, e elevada frequência de acelerações, desacelerações e mudanças de direção. Isso é importante para a prática diária no ambiente esportivo, em especial para preparadores físicos, fisiologistas do esporte, médicos ou fisioterapeutas, que poderiam contar com uma ferramenta rápida de análise voltada para controle da carga de treino e prevenção de lesões. Portanto, o objetivo desta revisão é apresentar a base fisiológica que fundamenta o uso da termografia como uma possível ferramenta de monitoramento da recuperação muscular após partidas ou treinamentos de futebol, além de resumir os estudos que investigaram esse tópico e sugerir recomendações para pesquisas futuras.

2. MÉTODOS

A abordagem metodológica compreendeu uma revisão narrativa e crítica estruturada em 3 tópicos, sendo eles: a) aspectos básicos sobre o dano muscular induzido pelo exercício (DMIE); b) resposta inflamatória subsequente ao DMIE para reparo/regeneração muscular; c) síntese dos estudos que analisaram a resposta da TP no período de recuperação após partidas ou treinamentos de futebol. Para a busca dos artigos (referente ao item c), foi realizada uma busca simples nas bases de dado Pubmed, Scielo, Science Direct e Google Acadêmico, combinando os descritores “thermography” OR “thermal image”, AND “soccer” OR “muscle fatigue”. Foram considerados elegíveis estudos originais que analisaram o efeito de partidas ou treinamentos de futebol na TP basal medida por termografia pelo menos 1 dia após a intervenção. A lista de referências dos artigos incluídos foi analisada em busca de trabalhos que atendessem ao propósito desta revisão. Não foram incluídos estudos que analisaram assimetrias térmicas como desfecho.

3. DANO MUSCULAR INDUZIDO PELO EXERCÍCIO (DMIE)

A sobrecarga mecânica imposta pelo exercício ao músculo esquelético causa microlesões denominadas DMIE, as quais ocorrem principalmente após exercícios não habituais, intensos e com alto componente excêntrico [22]. Alguns fatores intervenientes na magnitude do DMIE são a duração do exercício [23], ângulo articular/comprimento muscular [24], nível de treinamento [25], genética [26], segmento corporal exercitado [20] e tipo de exercício [27]. Embora os mecanismos subjacentes ao DMIE não sejam totalmente elucidados, é geralmente

reconhecido que ações excêntricas danificam os sarcômeros que se alongam além do ponto de sobreposição dos miofilamentos [28]. Isso sobrecarrega e afeta as proteínas estruturais e o sarcolema, e prejudica o processo de acoplamento excitação e contração [28].

Avaliações diretas do DMIE podem ser realizadas por biópsia muscular, o que permite analisar a integridade do tecido e a infiltração de células imunes em uma pequena amostra do tecido [20]. Contudo, o resultado de biópsias pode não ser representativo do músculo como um todo, já que o DMIE ocorre de modo heterogêneo ao longo de um mesmo grupo muscular [29]. Além disso, realizar biópsias repetidas em locais distintos do mesmo músculo aumenta a variabilidade dos resultados [29], ao passo que repetir o procedimento no mesmo local de incisão pode induzir resposta inflamatória e gerar tecido cicatricial [30]. As limitações inerentes à técnica de biópsia a torna inviável em uma dinâmica diária de treinamento com atletas. Assim, marcadores indiretos são normalmente utilizados para avaliar a magnitude de DMIE.

Marcadores indiretos incluem diversos sintomas associados ao DMIE como a redução na força e potência muscular, dor muscular de início tardio (DMIT), edema, reduzida amplitude de movimento (ADM) e extravasamento de enzimas e proteínas miocelulares no sangue [20, 31]. A avaliação de um conjunto de marcadores auxilia a caracterizar o dano de maneira mais abrangente, já que cada sintoma se relaciona a algum aspecto fisiológico do DMIE [30, 32]. Por exemplo, o dano físico à estrutura tecidual reduz a capacidade de geração de força e ADM; o aumento da permeabilidade do sarcolema está relacionado ao extravasamento de enzimas intracelulares para a corrente sanguínea [e.g., creatina quinase (CK)]; o edema causa aumento na circunferência de uma área afetada e aumento da espessura muscular [22, 31].

Nesse contexto, alguns autores sugerem que a resposta inflamatória subsequente ao DMIE poderia aumentar a TP sobrejacente ao grupo muscular exercitado devido a maior produção de calor local que acompanha a inflamação [9, 33, 34]. O calor é um sintoma clínico de inflamação atribuído a processos fisiológicos como vasodilatação muscular, maior fluxo sanguíneo e aumento do metabolismo muscular [21]. Por exemplo, Fernandes et al.[9] monitoraram a resposta térmica de membros inferiores por termografia em 10 jogadores de elite (sub-20) 24h e 48h após 2 partidas de futebol, separadas por um intervalo de 3 dias. Juntamente com aumento na concentração de CK, sugerindo dano muscular, eles [9] observaram aumentos significativos na TP 24h após ambos os jogos, com maior magnitude após a segunda partida, indicando um possível acúmulo de fadiga. Além disso, a TP 48h após o segundo jogo permaneceu elevada acima dos valores basais.

A seguir, é apresentada uma breve caracterização da resposta inflamatória pós-exercício.

4. RESPOSTA INFLAMATÓRIA PÓS-EXERCÍCIO

O DMIE é um fenômeno bem descrito nos trabalhos de Paulsen et al. [22], Peake et al. [20], Chazaud [35, 36], caracterizando assim uma resposta catabólica. Porém, imediatamente após finalizado o exercício, é iniciada uma resposta anabólica destinada à recuperação de todos as estruturas lesionadas. Todo este processo está bem descrito na literatura [37, 38], conforme ilustrado na Figura 1, sendo que fatores internos e externos modificam a magnitude da fase catabólica e a velocidade da fase anabólica.

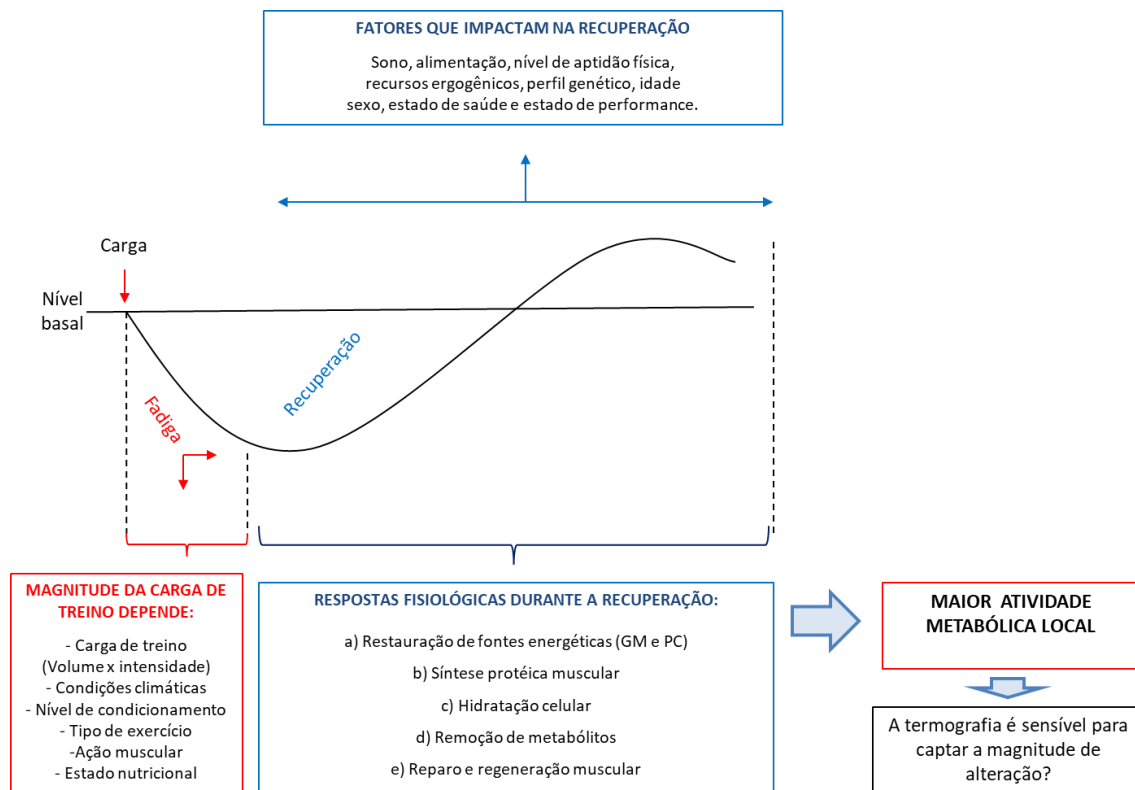


Figura 1. Modelo teórico da fase catabólica que ocorre durante o exercício físico e sua fase anabólica após sua finalização, além dos fatores que atuam ao longo destas fases. GM = glicogênio muscular; PC = fosfocreatina.

Fonte: Elaborado pelos autores deste artigo.

Uma importante etapa da fase anabólica durante o período de recuperação compreende a resposta inflamatória, a qual representa o processo fisiológico responsável pelo apropriado reparo tecidual e regeneração funcional completa [20, 35, 36]. A magnitude da resposta inflamatória é um dos principais pontos da possível utilização da termografia como um instrumento de controle da carga, tendo em vista que um maior nível de atividade metabólica implicada nesse processo levaria a uma maior produção de calor local [7] que, por sua vez, seria captado pelas câmeras termográficas que possuem uma alta sensibilidade para identificar alterações térmicas. A Figura 2 sintetiza as fases sequenciais da resposta inflamatória ao longo do período de recuperação pós-exercício, sendo essas fases brevemente caracterizadas a seguir.

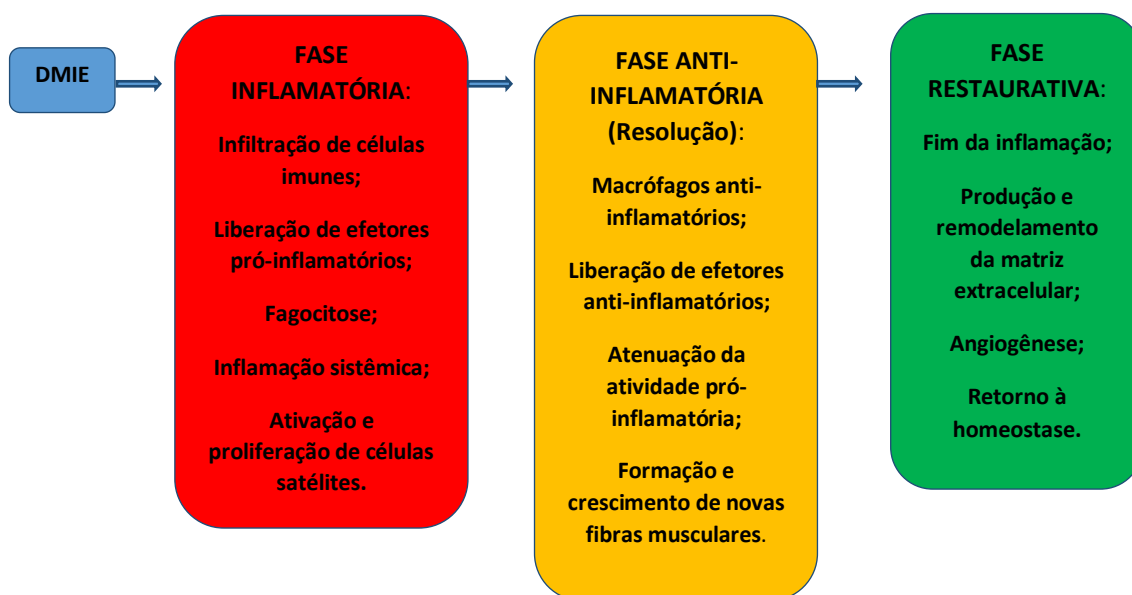


Figura 2. Resposta inflamatória subsequente ao dano muscular induzido por exercício. DMIE = dano muscular induzido por exercício.

Fonte: Elaborado pelos autores deste artigo.

a) Fase I: Fase Inflamatória

É caracterizada pela infiltração de células imunes para o local da microlesão e liberação de efetores pró-inflamatórios. Nesta fase, neutrófilos e macrófagos se acumulam e infiltram no local lesionado [35]. Eles expressam efetores pró-inflamatórios, como a interleucina (IL)-1 β e TNF α , e são associados com a fagocitose das fibras musculares danificadas [35]. As células imunes removem detritos celulares e fragmentos de proteína para permitir a regeneração muscular subsequente [39]. Essa inflamação local pode ser acompanhada por uma inflamação sistêmica, chamada de resposta de fase aguda, em que ocorre aumento de leucócitos, citocinas (e.g., IL-6) e proteínas hepáticas (e.g., proteína C reativa (PCR)) na corrente sanguínea [40]. Além disso, nesta fase, as células satélites são ativadas e rapidamente se proliferam, aumentando transitoriamente a quantidade dessas células, as quais são necessárias para posteriormente regenerar as fibras musculares [35, 41, 42].

b) Fase II: Fase de Resolução da Inflamação

Nesta fase ocorre a troca de ambiente pró-inflamatório para o estabelecimento de uma fase anti-inflamatória. Os macrófagos mudam seu fenótipo, adquirindo um perfil anti-inflamatório caracterizado pela maior expressão de efetores anti-inflamatórios e atenuação da atividade pró-inflamatória [35]. A IL-6 também atua na fase de resolução, atenuando a produção de citocinas pró-inflamatórias e estimulando a síntese de citocinas anti-inflamatórias

como a IL-10 [20]. Os macrófagos anti-inflamatórios se proliferam em grande quantidade; eles são associados às fases posteriores da regeneração muscular, o que envolve a formação e o crescimento de novas fibras musculares e remodelamento tecidual (síntese da matriz extracelular, angiogênese) [20, 35]. Por exemplo, os macrófagos regulam a presença e a função de progenitores fibroadipogênicos (PFAs), controlando o equilíbrio entre sua apoptose e diferenciação para células produtoras da matriz extracelular [35]. Células satélites se fundem com outras células em diferenciação e com fibras pré-existentes para formar novas fibras musculares [41, 42].

c) Fase III: Fase Restaurativa

Essa fase compreende o reparo/regeneração do tecido, englobando angiogênese, remodelamento da matriz extracelular e o retorno à homeostase [35]. A maioria das células imunes atuam na resposta inflamatória [21, 43], mas os macrófagos estão presentes em alto número e exercem funções específicas em todas as etapas da inflamação [44, 45]. Uma vez que as fibras musculares tenham crescido o suficiente e o músculo tenha retornado à sua homeostase, o número de macrófagos diminui para um nível basal [35].

O processo de regeneração muscular é complexo, e todas as fases da inflamação são importantes e contribuem para a recuperação do DMIE [20]. No contexto esportivo, monitorar o DMIE e sua resposta inflamatória associada favorece o gerenciamento de cargas de treinamento visando permitir a recuperação muscular e minimizar o risco de lesões [1]. A probabilidade de ocorrerem adaptações positivas após leve DMIE é alta, porém, quando o DMIE é severo ocorre uma intensa ruptura da fibra muscular e resposta inflamatória exacerbada; em casos mais extremos, pode ocorrer adaptações negativas, resultando em lesões musculoesqueléticas, necrose da fibra, regeneração insuficiente e desenvolvimento de tecido cicatricial [39, 43].

Tomando como base as respostas fisiológicas implicadas nas fases anteriormente descritas da resposta inflamatória, associado às outras ações anabólicas dentro da fibra muscular durante o período de recuperação, têm-se que a termografia teria uma capacidade potencial de captar o nível de atividade metabólica local, diretamente dependente da resposta inflamatória. Com isso, seria possível monitorar o momento em que esta recuperação estivesse concluída, permitindo, assim, considerar um retorno à normalidade térmica da região exercitada como um indicativo para aplicação de uma nova carga de treino de forma integral. Um modelo teórico deste controle é apresentado na Figura 3, onde foi considerado como referencial à volta da normalidade térmica uma variação térmica de até 0,2°C da linha de base do perfil térmico do atleta.

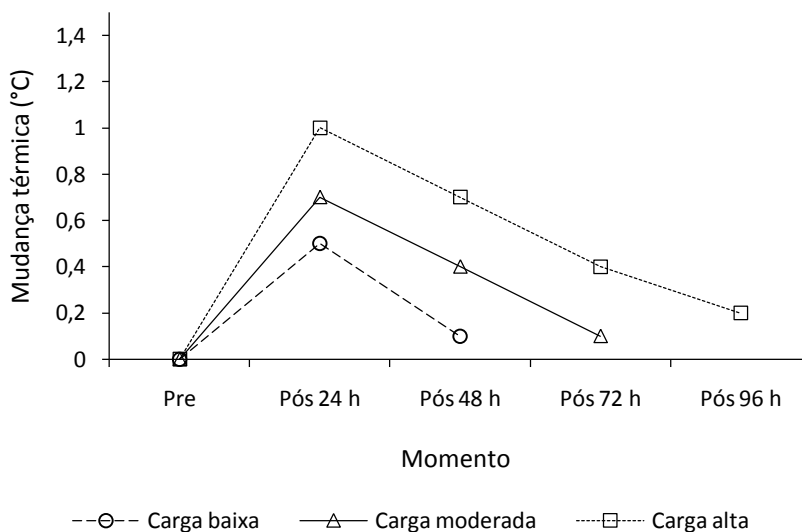


Figura 3. Modelo teórico de resposta da temperatura da pele frente a diferentes cargas de treino.

Fonte: Elaborado pelos autores deste artigo.

5. ESTUDOS SOBRE O EFEITO DO JOGO OU TREINAMENTO DE FUTEBOL NA TEMPERATURA DA PELE

O quadro 1 sintetiza o conhecimento dos estudos incluídos para análise no presente estudo, reforçando, em parte, a composição do modelo teórico apresentado na Figura 3. No quadro, são destacadas as informações dos estudos como amostra, intervenção, momentos de registro de TP, RCIs analisadas, bem como os resultados de resposta térmica e de demais variáveis analisadas. A seguir é apresentada uma análise crítica sobre ações metodológicas e resultados dos estudos.

Quadro 1. Estudos que monitoraram a TP nos dias após partidas de futebol ou intervenções de exercício em futebolistas.

ESTUDO	PARTICIPANTES	INTERVENÇÃO	MOMENTO	RCI	RESULTADO TP	RESULTADO(OUTRAS VARIÁVEIS)
Duarte et al. (2022) [46]	Onze (n=11) futebolistas de elite, homens (idade: 29,26 ± 4,52 anos)	Três partidas oficiais de futebol consecutivas, com intervalo < 4 dias entre elas.	Pré; Pós: 24 h, 48 h, 72 h após cada partida.	Membros inferiores (anterior e posterior)	↑ TP 24 h e 48 h pós-jogos. TP e níveis de PCR foram positivamente correlacionados (0,60 – 0,88). Δ % TP 48 h após o jogo 3 foi maior quando comparado às partidas 1 e 2.	↑ PCR 24 h e 48 h pós-jogos. Δ % PCR 48 h após o jogo 3 foi maior do que após os jogos 1 e 2. A DTP na 3ª partida foi menor vs. 2ª partida.
Matta et al. (2019) [47]	Dez (n=10) futebolistas de elite, homens (idade: 25,3 ± 4,6 anos).	Partida oficial de futebol (88,6 ± 9,1 min)	Pré; Pós: 24 h e 48 h.	Coxa e Perna (anterior e posterior)	↑ TP média e TP máxima 24 h e 48 h pós-jogo em todas as RCIs. Não houve associação entre TP e as outras variáveis.	↑ CK 24 h e 48 h pós; ↑ Condutância da pele 24 h pós; Piores escores de fadiga, sono e dor 24 h e 48 h pós-jogo; ↔ estresse e humor.
Fernandes et al. (2017) [9]	Dez (n=10) futebolistas de elite sub-20, homens (idade: 19,0 ± 1,0 anos)	2 partidas oficiais de futebol, com intervalo de 3 dias entre elas.	Pré-jogo 1; Pós: 24 h e 48 h após cada partida.	Coxa e Perna (anterior e posterior)	↑ TP 24 h após o 1º jogo (~1°C) e ↔ TP 48 h pós-jogo 1; ↑ TP 24 h após 2º jogo, com maior magnitude (~1,5 °C) em todas as RCIs, permanecendo ↑ 48 h pós-jogo. Correlação significativa: TP e CK (variaram de 0,2 - 0,4)	↑ CK 24 h pós-jogos, ↔ 48h pós. A concentração de CK foi significativamente maior 48 h após a 2ª vs. 1ª partida.
Bandeira et al. (2012) [48]	Dezoito (n=18) futebolistas de elite, homens (idade: 15 a 17 anos)	Grupo experimental (n=10): Exercício de agachamento, rack e cadeira extensora a 80% 1RM: foram realizadas séries consecutivas com o máximo de reps em cada série e 90s intervalo. Após cada série, eram retirados 10 kg e o atleta realizava a nova série até que restassem apenas 20 kg de carga no aparelho. Grupo controle (n=8): sessão de corrida contínua de baixa intensidade (50-60% FCM).	Pré; Pós: 24 h.	Adutor longo, Reto femoral, Vasto medial (lado direito).	↑ TP 24 h pós-treino apenas no grupo experimental, não correlacionado com valores de CK 24 h pós.	LDH e lactato pós-exercício foram diretamente relacionados com CK 24 h pós. Espessura de dobra cutânea da coxa inversamente correlacionada com TP.

↑ = aumento significativo em relação à condição de repouso; ↓ = redução significativa em relação à condição de repouso; ↔ = manutenção em relação à condição de repouso; RCI = região corporal de interesse; Δ = variação; rep = repetição; TP = temperatura da pele; PCR = proteína c reativa; DTP: distância total percorrida; CK = creatina quinase; LDH = lactato desidrogenase; FCM = frequência cardíaca máxima.

Todos os estudos revisados encontraram um aumento de TP em algum dos momentos durante o período de recuperação, o qual foi atribuído pelos autores à resposta inflamatória local decorrente do dano muscular induzido pelo jogo ou treinamento de futebol. Porém, correlações significativas entre TP e biomarcadores foram observadas em dois estudos [9, 46], enquanto os outros dois não encontraram o mesmo resultado [47, 48].

Bandeira et al. [48] reportaram aumentos de TP na coxa (visão anterior) 24 h após uma sessão de treinamento resistido em dez jovens jogadores, cuja resposta não foi relacionada com valores de CK 24 h pós-exercício. Do mesmo modo, Matta et al. [47] observaram um aumento na TP 24 h e 48 h após um jogo oficial em jogadores profissionais; essa resposta também não foi associada aos valores de CK e à indicadores subjetivos de recuperação. Nesses estudos, os autores sugeriram que a termografia poderia determinar a intensidade e o local de microlesões, apontadas pelo aumento nos valores de CK.

Por outro lado, Fernandes et al. [9] observaram aumentos na TP em jogadores (sub-20) 24 h após 2 partidas de futebol, separadas por 3 dias. O aumento de TP foi diretamente relacionado com a concentração de CK (em maioria, correlações fracas), e apresentou maior magnitude após a segunda partida, indicando um possível acúmulo de fadiga devido ao período insuficiente de recuperação entre os jogos. Além disso, a TP 48 h após o segundo jogo permaneceu elevada, não retornando aos valores basais. Um efeito cumulativo de jogos também foi reportado por Duarte et al. [46], que observaram um aumento na TP de membros inferiores e nos níveis de PCR (marcador inflamatório) 24 h e 48 h após jogos, em uma sequência de 3 partidas. Essa resposta térmica foi diretamente relacionada à resposta inflamatória, e o aumento relativo de TP e PCR foi significativamente maior no jogo 3 em comparação aos dois jogos iniciais, indicando um possível efeito cumulativo dos jogos realizados com curto intervalo de recuperação, o que foi corroborado pela menor distância total percorrida no 3º jogo em comparação ao 2º.

É importante interpretar os resultados com cautela, pois os estudos até o momento são insuficientes para estabelecer a termografia de forma determinante e categórica como uma ferramenta de monitoramento de recuperação muscular. Além da baixa quantidade de trabalhos, os estudos possuem um tamanho amostral reduzido, o que reduz o poder estatístico [49], e foram realizados sem grupo controle, com exceção do trabalho de Bandeira et al. [48], que incluiu um grupo controle que realizou corrida de baixa intensidade. Pesquisas futuras com grupo controle podem auxiliar a entender melhor o efeito do jogo ou treinamento de futebol na TP. Isso é fundamental para analisar se o resultado obtido é devido às intervenções experimentais ou a outros fatores, especialmente no caso da TP que é influenciada por diversos fatores [50]. Além disso, embora possa ser difícil, assegurar que os

Silva et al. Termografia e Controle de Carga no Futebol. Rev Bras Futebol 2022; v. 15, n. 3, 3 - 19.

participantes sigam uma rotina diária similar aumenta o controle experimental, como foi realizado no estudo de Fernandes et al. [9] em que os jogadores permaneceram em um local de concentração durante a pesquisa.

Para um maior entendimento do processo de recuperação pós-jogo, é importante que os estudos incluam um conjunto de marcadores de recuperação, o que permite caracterizar melhor o estresse fisiológico, como marcadores sanguíneos de DMIE [e.g., CK, lactato desidrogenase (LDH)] e inflamação (e.g., proteína c reativa, interleucinas), indicadores físico-motores e indicadores subjetivos (e.g., DMIT, percepção de recuperação). Todos os estudos analisados na presente revisão avaliaram biomarcadores sanguíneos. Um estudo mediu um biomarcador inflamatório (PCR) [46], três estudos avaliaram a concentração de CK como biomarcador de dano muscular [9, 47, 48], sendo que em um desses estudos também foram avaliados LDH e lactato [48]. Marcadores subjetivos foram avaliados apenas em um trabalho [47], assim como indicadores de desempenho, avaliado por Duarte et al. [46] pela distância total percorrida nos jogos. Outro indicador analisado foi a condutância da pele como uma medida de atividade nervosa simpática [47]. A função muscular não foi investigada em nenhum estudo.

É sugerido que estudos sobre termografia e recuperação muscular relacionem a resposta térmica com um conjunto de marcadores de recuperação, incluindo a capacidade de geração de força muscular, já que este indicador se relaciona a observações histológicas como ruptura miofibrilar e infiltração de leucócitos [22] e parece orquestrar a resposta de outros marcadores indiretos de DMIE [32]. Ampliar a quantidade de marcadores permitiria investigar a associação entre eles com a resposta térmica, o que é importante pois a relação entre DMIE, inflamação e TP ainda não é clara na literatura. Por exemplo, Rojas-Valverde et al. [51] não encontraram associação entre um aumento de TP e aumento de CK e LDH 24 h após uma maratona realizada em ambiente quente.

Em outros trabalhos, não foram encontradas alterações térmicas e associação com indicadores de DMIE nos dias após exercício excêntrico [52], exercício resistido com leg press [53], corrida de meia-maratona [54] e múltiplas séries de flexão plantar [55]. Por isso, esses autores argumentaram que o DMIE e resposta inflamatória podem não impactar a TP pois são processos internos. Nesse sentido, investigar a associação entre TP com um maior número de indicadores de recuperação pode auxiliar a elucidar os mecanismos do aumento de TP sobrejacente a grupos musculares em condição de fadiga residual induzida pelo jogo e por treinamentos de futebol, como estudos que monitorem fluxo sanguíneo, muscular e periférico, conjunto de marcadores bioquímicos inflamatórios, temperatura muscular, temperatura interna e taxa metabólica basal.

6. CONCLUSÃO

Existe um bom nível de evidências de que partidas de futebol levam a um aumento na TP de membros inferiores, que pode durar de 24 h até 48 h após os jogos. O efeito térmico é exacerbado por sequências de jogos realizados com curto intervalo de recuperação. Há fundamentos fisiológicos coerentes na literatura que sustentam a resposta inflamatória induzida pelo jogo como um agente causador do aumento na TP, já que a inflamação aumenta a produção de calor na musculatura exercitada. Porém, o mecanismo que aumenta a TP no período de recuperação pós-exercício ainda não é claro. Após essa revisão, é sugerido que estudos futuros sejam realizados com maior tamanho amostral, grupo controle, bem como com um maior número de marcadores de recuperação para serem correlacionados com a resposta térmica.

7. REFERÊNCIAS

- 1.Silva JR, Rumpf MC, Hertzog M, Castagna C, Farooq A, Girard O, et al. Acute and residual soccer match-related fatigue: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med.* 2018;48(3):539-83.
- 2.Meeusen R, Duclos M, Foster C, Fry A, Gleeson M, Nieman D, et al. Prevention, diagnosis, and treatment of the overtraining syndrome: joint consensus statement of the European College of Sport Science and the American College of Sports Medicine. *Med Sci Sports Exerc.* 2013;45(1):186-205.
- 3.American College of Sports Medicine. Load, overload, and recovery in the athlete: select issues for the team physician - a consensus statement. *Med Sci Sports Exerc.* 2019;51(4):821-8.
- 4.Saw AE, Main LC, Gastin PB. Monitoring the athlete training response: subjective self-reported measures trump commonly used objective measures: a systematic review. *Br J Sports Med.* 2016;50(5):281-91.
- 5.Hagstrom AD, Shorter KA. Creatine kinase, neuromuscular fatigue, and the contact codes of football: A systematic review and meta-analysis of pre- and post-match differences. *Eur J Sport Sci.* 2018;18(9):1234-44.
- 6.Halson SL. Monitoring training load to understand fatigue in athletes. *Sports Med.* 2014;44 Suppl 2:S139-47.
- 7.Fernandes AA, Pimenta EM, Moreira DG, Marins JCB, Garcia ES. Application of infrared thermography in the assessment of muscle damage in elite soccer athletes. *MOJ Orthop Rheumatol.* 2017;8(5):328.
- 8.Fernandes AA, Pimenta EM, Moreira DG, Sillero-Quintana M, Marins JCB, Morandi RF, et al. Effect of a professional soccer match in skin temperature of the lower limbs: a case study. *J ExercRehabil.* 2017;13(3):330-4.
- 9.Fernandes AA, Pimenta EM, Moreira DG, Sillero-Quintana M, Marins JCB, Morandi RF, et al. Skin temperature changes of under-20 soccer players after two consecutive matches. *Sport Sci Health.* 2017;13(3):635-43.

- 10.Lahiri BB, Bagavathiappan S, Jayakumar T, Philip J. Medical applications of infrared thermography: A review. *Infrared Phys Technol.* 2012;55(4):221-35.
- 11.Marins JCB, Fernández Cuevas I, Arnaiz-Lastras J, Fernandes AA, Quintana MS. Applications of infrared thermography in sports. A review. *Rev Int Med Cienc Act Fís Deporte.* 2015;15(60):805-24.
- 12.Moreira DG, Costello JT, Brito CJ, Adamczyk JG, Ammer K, Bach AJE, et al. Thermographic imaging in sports and exercise medicine: A Delphi study and consensus statement on the measurement of human skin temperature. *JTherm Biol.* 2017;69:155-62.
- 13.Nédélec M, McCall A, Carling C, Legall F, Berthoin S, Dupont G. Recovery in soccer: part I - post-match fatigue and time course of recovery. *Sports Med.* 2012;42(12):997-1015.
- 14.Burke LM, van Loon LJC, Hawley JA. Postexercise muscle glycogen resynthesis in humans. *J Appl Physiol (1985).* 2017;122(5):1055-67.
- 15.Hargreaves M, Spriet LL. Skeletal muscle energy metabolism during exercise. *Nat Metab.* 2020;2(9):817-28.
- 16.Ribeiro AS, Avelar A, Schoenfeld BJ, Ritti Dias RM, Altimari LR, Cyrino ES. Resistance training promotes increase in intracellular hydration in men and women. *Eur J Sport Sci.* 2014;14(6):578-85.
- 17.Ribeiro AS, Avelar A, Dos Santos L, Silva AM, Gobbo LA, Schoenfeld BJ, et al. Hypertrophy-type resistance training improves phase angle in young adult men and women. *Int J Sports Med.* 2017;38(1):35-40.
- 18.Lucertini F, Gervasi M, D'Amen G, Sisti D, Rocchi MBL, Stocchi V, et al. Effect of water-based recovery on blood lactate removal after high-intensity exercise. *PLoS One.* 2017;12(9):e0184240.
- 19.McGlory C, Devries MC, Phillips SM. Skeletal muscle and resistance exercise training; the role of protein synthesis in recovery and remodeling. *J Appl Physiol (1985).* 2017;122(3):541-8.
- 20.Peake JM, Neubauer O, Della Gatta PA, Nosaka K. Muscle damage and inflammation during recovery from exercise. *J Appl Physiol (1985).* 2017;122(3):559-70.
- 21.Scott A, Khan KM, Roberts CR, Cook JL, Duronio V. What do we mean by the term "inflammation"? A contemporary basic science update for sports medicine. *Br J Sports Med.* 2004;38(3):372-80.
- 22.Paulsen G, Mikkelsen UR, Raastad T, Peake JM. Leucocytes, cytokines and satellite cells: what role do they play in muscle damage and regeneration following eccentric exercise? *Exercise immunology review.* 2012;18:42-97.
- 23.Rubio-Arias J, Ávila-Gandía V, López-Román FJ, Soto-Méndez F, Alcaraz PE, Ramos-Campo DJ. Muscle damage and inflammation biomarkers after two ultra-endurance mountain races of different distances: 54 km vs 111 km. *Physiol Behav.* 2019;205:51-7.
- 24.Ema R, Nosaka K, Kawashima R, Kanda A, Ikeda K, Akagi R. Muscle length influence on rectus femoris damage and protective effect in knee extensor eccentric exercise. *Scand J Med Sci Sports.* 2021;31(3):597-609.
- 25.Barcellos LAM, Gonçalves WA, Oliveira MPE, Guimarães JB, Queiroz-Junior CM, de Resende CB, et al. Effect of physical training on exercise-induced inflammation and performance in mice. *Front Cell Dev Biol.* 2021;9:625680.

26. Del Coso J, Hiam D, Houweling P, Pérez LM, Eynon N, Lucía A. More than a 'speed gene': ACTN3 R577X genotype, trainability, muscle damage, and the risk for injuries. *Eur J Appl Physiol.* 2019;119(1):49-60.
27. Nieman DC, Luo B, Dréau D, Henson DA, Shanely RA, Dew D, et al. Immune and inflammation responses to a 3-day period of intensified running versus cycling. *Brain Behav Immun.* 2014;39:180-5.
28. Owens DJ, Twist C, Cobley JN, Howatson G, Close GL. Exercise-induced muscle damage: what is it, what causes it and what are the nutritional solutions? *Eur J Sport Sci.* 2019;19(1):71-85.
29. Beaton LJ, Tarnopolsky MA, Phillips SM. Variability in estimating eccentric contraction-induced muscle damage and inflammation in humans. *Can J Appl Physiol.* 2002;27(5):516-26.
30. Damas F, Libardi CA, Ugrinowitsch C. The development of skeletal muscle hypertrophy through resistance training: the role of muscle damage and muscle protein synthesis. *Eur J Appl Physiol.* 2018;118(3):485-500.
31. Hyldahl RD, Hubal MJ. Lengthening our perspective: morphological, cellular, and molecular responses to eccentric exercise. *Muscle Nerve.* 2014;49(2):155-70.
32. Damas F, Nosaka K, Libardi CA, Chen TC, Ugrinowitsch C. Susceptibility to exercise-induced muscle damage: a cluster analysis with a large sample. *Int J Sports Med.* 2016;37(8):633-40.
33. Neves EB, Vilaça-Alves J, Moreira TR, Lemos RJCA, Reis VM. The thermal response of biceps brachii to strength training. *Gazz Med Ital.* 2016;175(10):391.
34. Uchôa P, Matos F, Neves EB, Saavedra F, Rosa C, Reis VM, et al. Evaluation of two different resistance training volumes on the skin surface temperature of the elbow flexors assessed by thermography. *Infrared Phys Technol.* 2018;93:178-83.
35. Chazaud B. Inflammation during skeletal muscle regeneration and tissue remodeling: application to exercise-induced muscle damage management. *Immun Cell Biol.* 2016;94(2):140-5.
36. Chazaud B. Inflammation and skeletal muscle regeneration: leave it to the macrophages! *Trends Immunol.* 2020;41(6):481-92.
37. Bishop PA, Jones E, Woods AK. Recovery from training: a brief review. *J Strength Cond Res.* 2008;22(3).
38. Kellmann M. Preventing overtraining in athletes in high-intensity sports and stress/recovery monitoring. *Scand J Med Sci Sports.* 2010;20 Suppl 2:95-102.
39. Fatouros IG, Jamurtas AZ. Insights into the molecular etiology of exercise-induced inflammation: opportunities for optimizing performance. *J Inflamm Res.* 2016;9:175-86.
40. Silva FOC, Macedo DV. Exercício físico, processo inflamatório e adaptação: uma visão geral. *Rev Bras Cineantropom Desempenho Hum.* 2011;13(4):320-8.
41. Chen B, Shan T. The role of satellite and other functional cell types in muscle repair and regeneration. *J Muscle Res Cell Motil.* 2019;40(1):1-8.
42. Perandini LA, Chimin P, Lutkemeyer DDS, Câmara NOS. Chronic inflammation in skeletal muscle impairs satellite cells function during regeneration: can physical exercise restore the satellite cell niche?. *FEBS J.* 2018;285(11):1973-84.

43. Ziemkiewicz N, Hilliard G, Pullen NA, Garg K. The role of innate and adaptive immune cells in skeletal muscle regeneration. *IntJMol Sci*. 2021;22(6).
44. Oishi Y, Manabe I. Macrophages in inflammation, repair and regeneration. *Int Immunol*. 2018;30(11):511-28.
45. Juban G, Chazaud B. Metabolic regulation of macrophages during tissue repair: insights from skeletal muscle regeneration. *FEBS letters*. 2017;591(19):3007-21.
46. Duarte W, Rodrigues Junior JL, Paula LV, Chagas MH, Andrade AGP, Veneroso CE, et al. C-reactive protein and skin temperature of the lower limbs of Brazilian elite soccer players like load markers following three consecutive games. *JTherm Biol*. 2022;105:103188.
47. Matta L, Rhea M, Maior AS. Physiological evaluation post-match as implications to prevent injury in elite soccer players. *Arch Med Deporte*. 2019;36(4):220-6.
48. Bandeira F, Moura MAMd, Souza MAd, Nohama P, Neves EB. Pode a termografia auxiliar no diagnóstico de lesões musculares em atletas de futebol? *Rev Bras Med Esporte*. 2012;18(4):246-51.
49. Abt G, Boreham C, Davison G, Jackson R, Nevill A, Wallace E, et al. Power, precision, and sample size estimation in sport and exercise science research. *J Sports Sci*. 2020;38(17):1933-5.
50. Fernández-Cuevas I, Bouzas Marins JC, Arnáiz Lastras J, Gómez Carmona PM, Piñonosa Cano S, García-Concepción MÁ, et al. Classification of factors influencing the use of infrared thermography in humans: A review. *Infrared Phys Technol*. 2015;71:28-55.
51. Rojas-Valverde D, Gutiérrez-Vargas R, Sánchez-Ureña B, Gutiérrez-Vargas JC, Priego-Quesada JI. Relationship between skin temperature variation and muscle damage markers after a marathon performed in a hot environmental condition. *Life (Basel)*. 2021;11(8):725.
52. Barboza JAM, Ferreira JJA, Cerqueira MS, Maciel DG, Barros ACM, Leite EC, et al. Can skin temperature be altered after different magnitudes of eccentric exercise-induced muscle damage? *Res QExerc Sport*. 2021:1-8.
53. Ferreira-Júnior JB, Chaves SFN, Pinheiro MHA, Rezende VHS, Freitas EDS, Marins JCB, et al. Is skin temperature associated with muscle recovery status following a single bout of leg press? *Physiol Meas*. 2021;42(3).
54. Pérez-Guarner A, Priego-Quesada JI, Oficial-Casado F, Cibrián Ortiz de Anda RM, Carpes FP, Palmer RS. Association between physiological stress and skin temperature response after a half marathon. *Physiol Meas*. 2019;40(3):034009.
55. da Silva W, Machado A S, Souza MA, Kunzler MR, Priego-Quesada JI, Carpes FP. Can exercise-induced muscle damage be related to changes in skin temperature? *Physiol Meas*. 2018;39(10):104007.