

COMPORTAMENTO DA TEMPERATURA DA PELE NO EXERCÍCIO POR MEIO DA TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA: UMA REVISÃO INTEGRATIVA

Felipe Augusto Mattos Dias¹ João Carlos Bouzas Marins^{1,3} Alisson Gomes da Silva^{1,2} Simone Gomes Vieira¹ Carlos José Nogueira^{2,4}

Resumo: O objetivo foi realizar uma análise crítica sobre os principais aspectos metodológicos empregados nas pesquisas sobre a resposta da temperatura da pele por termografia infravermelha, bem com seu comportamento durante diferentes formas de exercício, além de descrever as alterações que ocorrem no decorrer do processo de recuperação de até uma hora. Foi realizada uma busca sistemática nas bases de dados MEDLINE/Pubmed, Scielo e Science Direct, utilizando os termos “thermography” and “exercise”, no período de janeiro de 2012 a outubro de 2021, sendo incluídos apenas estudos realizados em laboratório. Os principais resultados indicam que a maior parte dos estudos são realizados com homens, adultos, com número amostral restrito. A região de membros inferiores é a mais estudada. O treinamento de força compreendeu 54% dos estudos. Durante exercício progressivo, existe uma clara tendência de redução da temperatura, enquanto no exercício de carga contínua isso somente ocorre nos momentos iniciais. Como conclusão, têm-se uma carência de estudos com mulheres e grupos com faixas etárias extremas, e os procedimentos de análise de imagens não são uniformes entre os estudos. A resposta da temperatura da pele é diferente em função do tipo de exercício realizado (progressivo ou constante), bem como da região exercitada.

Palavras-chave: termografia; temperatura cutânea; termorregulação

Afiliação

¹ Laboratório de Performance Humana – Departamento de Educação Física – Universidade Federal de Viçosa; ² Força Aérea Brasileira, Escola Preparatória de Cadetes do Ar - EPCAR, Barbacena, Brasil; ³ Programa de Pós-Graduação em Educação Física da Universidade Federal de Viçosa, Brasil; ⁴ Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Enfermagem e Biociências da Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro - UNIRIO - Rio de Janeiro, Brasil

BEHAVIOUR OF SKIN TEMPERATURE IN EXERCISE VIA INFRARED THERMOGRAPHY: AN INTEGRATIVE REVIEW

Abstract: The objective was critically to analyze the main methodological aspects employed in research studies investigating the response of skin temperature to exercise measured via thermography, as well as to describe the behaviour of during and until 1 h after different modes of exercise. A systematic search was performed in the MEDLINE/Pubmed, Scielo, and Science Direct databases using the keywords thermography AND exercise, between January 2012 to October 2021. Only laboratory studies were included. The main results indicate that most studies were performed with male adults, with small sample size. Lower limbs represent the body region more studied. Regarding exercise mode, strength training abridged 54% of studies. During progressive exercise there is clearly a skin temperature reduction, and during continuous exercise of constant load the decrease occur at initial moments of exercise. In conclusion, there is a lack of studies analyzing female and broader age groups, and procedures for analyzing images are not uniform across studies. The skin temperature response to exercise is different according with the mode of exercise performed (constant or progressive load) and exercised body region.

Key words: thermography; skin temperature; body temperature regulation

Introdução

A temperatura interna humana é mantida em uma faixa de normalidade entre 36,1 °C e 37,8 °C. Alguns fatores como desequilíbrio hidroeletrólítico, variações térmicas ambientais e exercício físico podem desestabilizar esse estado, causando perturbações no meio interno^{1,2}. Durante a prática de exercício, por exemplo, ocorre a conversão de energia química em energia cinética, o que resulta em um aumento da produção de calor metabólico. Para evitar elevações perigosas na temperatura interna, o excesso de calor metabólico produzido pelos músculos ativos precisa ser dissipado para o ambiente externo, o que ocorre por meio dos mecanismos físicos de convecção, condução, evaporação ou radiação³.

Existem vários métodos que permitem um maior entendimento dos mecanismos envolvidos nas respostas termorregulativas, como a leitura da temperatura interna retal, esofágica ou gástrica, por termosensores fixados junto à pele, pela temperatura timpânica, oral, e mais recentemente a termografia infravermelha (TI). A TI gera imagens térmicas (termogramas) com base no calor corporal irradiado em uma faixa do espectro eletromagnético imperceptível a olho humano⁴. Com isso, é possível quantificar a temperatura irradiada da pele (TIP) com alta sensibilidade e precisão. Assim, a TI é uma forma interessante de registro pois permite monitorar, não invasivamente e sem contato, os ajustes termorregulativos em repouso, antes, durante e após o exercício, permitindo uma análise geral ou local em diferentes regiões corporais de interesse (RCI).

Um número considerável de estudos estabeleceu o perfil termográfico em condição de repouso em adultos⁵, em jogadores de futebol⁶⁻⁸ e em populações específicas⁹. Esses trabalhos são importantes pois auxiliam a estabelecer o padrão de normalidade térmica de RCI. É sabido, por exemplo, que a TIP é maior nas regiões mais centrais em comparação às periféricas¹⁰. Outra possibilidade interessante compreende a análise das respostas termorregulativas na transição do repouso para o exercício, e posteriormente na fase de volta à calma e ao longo da recuperação. A TI permite compreender melhor a resposta da pele, que desempenha um papel crucial nos ajustes térmicos corporais, seja pela vasoconstrição ou vasodilatação, regulando a troca de calor.

Estudos que analisaram a resposta térmica ao exercício mostraram variações importantes em relação à condição de repouso. O comportamento da TIP parece ser diferente em função da forma de exercício, se é realizado com carga crescente¹¹⁻¹⁴ ou contínua (steady state)¹⁵⁻¹⁷, ou ainda dependendo da região corporal exercitada^{18,19}, indicando assim como são complexos os ajustes vasculares junto à pele.

Em 2012, um trabalho de revisão sobre este tema³ identificou 8 estudos que analisaram a resposta da TIP à exercícios realizados em esteira ou cicloergômetro. Levando em consideração que a TI evoluiu nos últimos anos e se tornou mais acessível, um maior número de trabalhos foram publicados com diferentes formas de exercício e com desenhos experimentais variados, o que oferece uma oportunidade interessante de análise. Assim, este estudo de revisão permitirá uma atualização sobre o tema, ampliando a base de conhecimento sobre as evidências científicas recentes. O objetivo deste estudo foi realizar uma análise crítica sobre os principais aspectos metodológicos empregados nas pesquisas sobre a resposta da temperatura da pele avaliada por TI, bem como analisar o comportamento térmico durante diferentes formas de exercício, e no decorrer do processo de recuperação de até uma hora.

Materiais e Métodos

A presente revisão seguiu as recomendações estabelecidas pelo PRISMA 2020²⁰ e se baseou nas instruções metodológicas de Souza et al.²¹ para a elaboração de revisão integrativa. Assim, estabeleceu-se a seguinte questão norteadora: Como a TIP, avaliada por termografia, se comporta durante e no período de recuperação de até 1 hora em indivíduos saudáveis submetidos a diferentes tipos de exercício?

A revisão cumpriu criteriosamente as seguintes etapas: formulação da questão norteadora; seleção dos estudos tendo como base o ano de publicação e idioma; seleção dos estudos por seus títulos e resumos, seleção pelo texto na íntegra; e posteriormente, extração dos dados dos estudos incluídos; avaliação e interpretação dos resultados e, por fim, apresentação da revisão do conhecimento produzido.

Durante todo o período entre janeiro de 2018 e outubro de 2021, realizou-se uma busca sistemática na literatura por estudos que abordaram a utilização da TI em condição de exercício. As buscas foram realizadas nas bases de dados MEDLINE/Pubmed, Scielo e Science Direct. Foram utilizados os descritores selecionados nos Descritores em Ciências da Saúde (DeCS) e do Medical Subject Headings (MeSH): “thermography” and “exercise”, incluindo apenas os estudos publicados no período de janeiro de 2012 a outubro de 2021 e que utilizaram amostra composta por humanos. Além disso, foram consultadas as referências bibliográficas citadas em cada um dos trabalhos selecionados com o intuito de encontrar outros estudos que pudessem se enquadrar nos critérios de elegibilidade.

O processo de busca foi executado por dois pesquisadores devidamente treinados e familiarizados com o tema e com as plataformas de busca. Ambos realizaram as buscas de

forma independente. Cada avaliador criou um quadro contendo todos os trabalhos encontrados durante a pesquisa. Ao final do processo, os dois cruzaram as informações obtidas com intuito de verificar a conformidade entre as pesquisas. Qualquer divergência foi resolvida por um terceiro revisor.

Todos os trabalhos passaram por um processo de análise no qual, inicialmente, foram verificados o título e o resumo para confirmar se obedeciam aos critérios de elegibilidade. Em casos em que a primeira análise não foi esclarecedora, realizou-se a leitura da metodologia do trabalho. Por fim, os artigos selecionados foram lidos e analisados para extração dos resultados. Para a etapa de extração dos dados, foi utilizado um formulário eletrônico elaborado pelos próprios autores. Os revisores, de forma independente, conduziram a extração de dados com relação às características metodológicas dos estudos, intervenções e resultados. As diferenças foram resolvidas por consenso. Os seguintes dados dos estudos foram inicialmente verificados: amostra, tamanho amostral, sexo, idade, câmara térmica utilizada, RCI analisada, momentos de registro da temperatura, protocolo de exercício e principais resultados de cada estudo com relação à resposta térmica ao exercício.

Critérios de elegibilidade

Foram incluídos estudos controlados (randomizados e não randomizados), transversais, longitudinais de curta duração e estudos de caso publicados na íntegra em inglês, espanhol ou português que utilizaram a TI como ferramenta de análise da TIP em situações de exercício e/ou durante o período de até 1 hora de recuperação após o término do exercício; estudos que descreveram na metodologia as condições ambientais de coleta de dados entre 18°C e 25°C e umidade relativa entre 40% e 70% conforme proposta de Fernández-Cuevas et al.²² por serem ideais para o registro de imagens termográficas; estudos que realizaram a coleta em ambiente de laboratório, sem interferência de condições climáticas externas; e utilizaram uma amostra composta apenas por humanos saudáveis (sem restrição de faixa etária).

A Figura 1 mostra um fluxograma do processo de busca e seleção dos artigos conforme modelo PRISMA²⁰.



PRISMA 2009 Flow Diagram

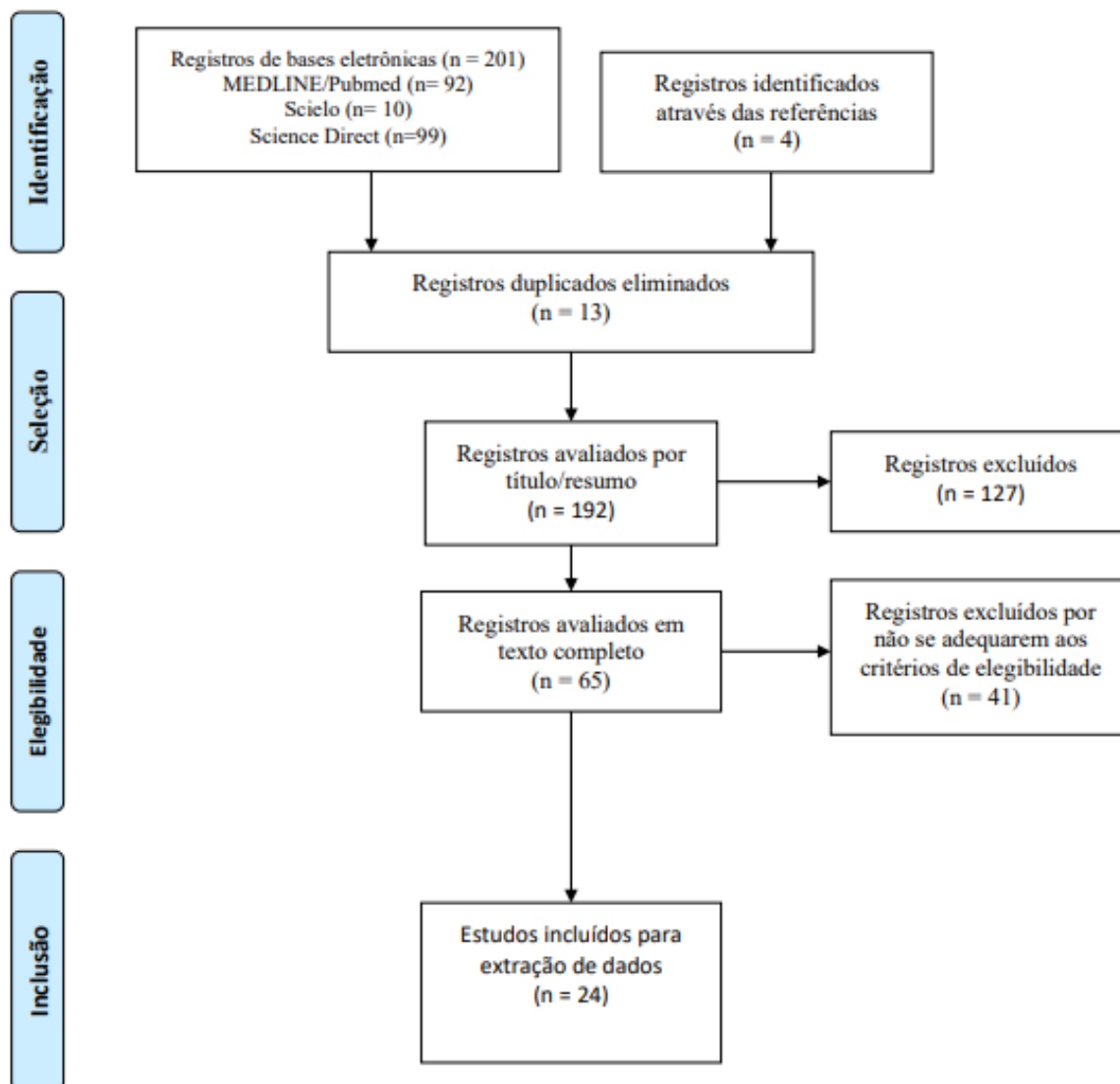


Figura 1 – Fluxograma do processo de seleção dos trabalhos encontrados.

Avaliação do nível de evidência

Para avaliação do nível de evidência, foi utilizado o sistema de classificação proposto por Melnyk e Fineout-Overholt²³, composto por sete níveis, sendo: nível I - evidências oriundas de revisões sistemáticas ou metanálise de relevantes ensaios clínicos; nível II - evidências derivadas de pelo menos um ensaio clínico randomizado controlado bem delineado; nível III - ensaios clínicos bem delineados, sem randomização; nível IV - estudos de coorte e de caso-controle bem delineados; nível V - revisão sistemática de estudos descritivos e qualitativo; nível VI - evidências derivadas de um único estudo descritivo ou qualitativo; e nível VII - opinião de

autoridades ou relatório de comitês de especialistas.

Resultados

O quadro 1 apresenta a distribuição das 24 publicações analisadas ao longo dos dez anos de monitoramento, segundo os critérios de inclusão adotados. Foi observado uma maior concentração de publicações nos anos de 2018 e 2016 envolvendo a aplicação da TIR. Já o quadro 2 apresenta os dados resumidos dos estudos.

Quadro 1 – Distribuição do número de publicações de termografia e exercício em ambiente de laboratório, segundo os critérios de análise.

ANO	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Número de publicações	0	3	1	3	7	2	4	3	0	1

Figura 2 – Dados resumidos dos estudos incluídos.

Referência	Tipo de Estudo	Nível de Evidência Científica	Amostra	N	Sexo	IDADE	Câmera	RCI	Momento	Protocolo de exercício	Resultados
Shakhih et al., [32], 2021	Transversal Correlacional	III	Homens saudáveis	20	M	21 ± 1,53	7640 P-Series	Panturrilha	Durante	Flexão plantar	↑ Tp do PA durante o exercício, independente da carga; Maiores mudanças de Tp ao realizar o exercício com maior carga. ↑ Tp diretamente correlacionado com fadiga avaliada por eletromiografia
Hadzic et al., [27], 2019	Estudo de caso	VI	Corredor amador	1	M	23	Flir 425	Quadríceps	Antes, durante e depois do teste	Contração concêntrica (Dinamômetro)	↑ Tp do QA durante o exercício. ↑ Tp após o exercício Tp e FM= Relação diretamente proporcional.
Moreira-Marconi et al., [18], 2019	Transversal	III	Fisioterapeutas, médicos e Biólogos	19	M/F	37 ± 4,2	Flir E-40	Isquiotibiais, joelho posterior, panturrilha e calcanhar	Antes e Durante	Aqachamento 3x1min/90s intervalo	↓ Tp durante o exercício
Sampaio et al., [11], 2019	Ensaio Controlado não randomizado	III	Ciclistas recreativos	32	M	30,5 ± 7,0	Flir T420	Quadríceps e isquiotibiais	Antes e depois do teste e com 10 de recuperação	Ciclismo 3 min AQ (105 W) seguido de TPM (↑ de 35 W a cada 3 min)	↓ Tp do BF após o exercício ↑ Tp após 10 min de recuperação Tp > após 10 min de recuperação, quando comparando os dois momentos pós exercício ↑ %G < Tp
Araújo et al., [30], 2018	Transversal	III	Universitários	27	M/F	23,6 ± 3,9	Flir TG-165	Coxas e pernas	Antes e depois do teste	Saltos verticais contínuos laterais sobre uma barreira de 40 cm 3x1min/ 2 min intervalo ativo	↓ Tp gastrocêmios, quadríceps e isquiotibiais em H pós sessão; ↓ Tp gastrocêmios e tibial anterior em M pós sessão.
Silva et al., [37], 2018	Transversal (Correlacional)	III	Indivíduos não treinados	20	M	24 ± 5	Flir E-60	Pernas	Antes, depois do teste e com 24h de recuperação **	Flexão plantar bilateral utilizando o peso corporal 3x RM/ 75%, 50% RM	↑ Tp tibial anterior; ↓ Tp gastrocêmios; Tp e respostas da CK= Não se correlacionam
Uchôa et al., [19], 2018	Transversal	III	Indivíduos Fisicamente ativos	17	M	21,3 ± 0,7	Fluke Tir 32	Braços	Antes, depois do teste e com 24h, 48h e 72h de recuperação **	Rosca Bíceps Drop set 3x 80%, 60%, 40% RM/ 90s intervalo 6x 80%, 60%, 40% RM/ 90s intervalo	Tp pré > Tp pós; Tp após o teste possui o < valor comparado a outros momentos; VT > induz ↑ resposta muscular.

Referência	Tipo de Estudo	Nível de Evidência Científica	Amostra	N	Sexo	IDADE	Câmera	RCI	Momento	Protocolo de exercício	Resultados
Weigert et al., [33], 2018	Transversal	III	Universitários saudáveis	38	M	24,2 ± 3,4	FlirA35	Bíceps Braquial	Antes e depois (30 min de recuperação/ 1 termograma por minuto)	Rosca Bíceps unilateral 3x10/1min intervalo 50% 1RM	↓ Tp durante o exercício O > valor de Tp foi obtido no 5º min de recuperação; ↓ Tp entre o 5º e o 30º min de recuperação;
Formenti et al., [35], 2016	Transversal	III	Universitários	13	M	24,5 ± 2,0	Avio Tvs 700	Quadríceps	Antes e durante	AQ: 5 min caminhada em esteira e 2 min de agachamento sem carga PP: Agachamento 50% RM até a exaustão	↑ gradual Tp após o início do exercício, atingindo seu valor máximo em 320 segundos
Silva et al., [15], 2017	Transversal	III	Universitários	18	M	21,6 ± 2,4	Flir T420	Peitoral, dorsal superior, bíceps braquial e quadríceps	Antes; depois do teste e com 10, 20 e 30 minutos pós-exercício.	Remoergômetro Teste 2000m Exercício moderado 45min	PEI: ↓ Tp após os exercícios e retornou à condição basal apenas no exercício moderado no 10º min. DS: ↓ Tp após os exercícios e se restabeleceu mais rapidamente no exercício moderado (10 min) comparado ao T2000m (30 min). BB: a resposta da TP foi similar entre os exercícios. ↑ Tp 10 min pós-exercício, o qual foi sustentado por toda a recuperação. Q: ↓ Tp após o exercício e retornou ao valor de repouso com 10 min nas 2 condições.
Balci et al., [12], 2015	Transversal	III	Ciclistas Profissionais	11	M	22,2 ± 3,7	Testo 875-1	Peito, costas, braços e cabeça	Durante	Ciclismo Teste máximo Teste submáximo (60% VO _{2máx})	↑ gradual Tp do core EM e SB. ↑ gradual Tp do PE, atingindo seu valor máximo no 8º minuto. ↓ Tp dos braços e da cabeça no EM e ↑ ou manutenção no SB.

Referência	Tipo de Estudo	Nível de Evidência Científica	Amostra	N	Sexo	IDADE	Câmera	RCI	Momento	Protocolo de exercício	Resultados
Fernandes et al., [16], 2016	Transversal (Comparativo)	III	Universitários	12	M	22,4 ± 3,3	Flir T420	Fronte, face, peito, abdômen, costas, pescoço, mãos, antebraços, braços, coxas e pernas	Antes, durante os intervalos e a cada 5 min durante um período de recuperação de 60 min	Teste em esteira 12 blocos de 5 min de exercício com 1 min intervalo entre eles.	↓ Tp MI e MA após 5 min de exercício; ↓ Tp AB, AT, B, FA, FT, CS, PS, PE após 10 min de exercício ↓ Tp da vista anterior do AB, AT e B pós-exercício; ↓ Tp da vista anterior do FA, LO, MA, PE, PS e TB, após 10 a 15 min de recuperação; ↓ Tp da vista anterior do CS e AT posterior, após 20 a 25 min de recuperação; ↑ Tp gradualmente no decorrer do período de recuperação, atingindo valores próximos ap baseline.
Formenti et al., [36], 2016	Transversal	III	Universitários	13	M	24,5 ± 2,0	Avio Tvs 700	Quadríceps	Antes e depois do teste	Agachamento até a exaustão 50% 1 RM: BV (5 s C e 5 s E versus AV (1 s C e 1 s E)	↓ Tp foi mais lenta durante o exercício de baixa velocidade ↓ Tp após o início do exercício, atingindo seu menor valor em 170 segundos, porém não atingiu o baseline; ↑ gradual Tp após 170 segundos, atingindo o baseline
Ludwig et al., [24], 2016	Transversal (Comparativo)	III	Ciclistas profissionais	7	M	20,3 ± 1,8	Avio Tvs 700	Quadríceps	Antes, após aquecimento, depois do teste, e com 3 e 6 min de recuperação.	Ciclismo 10 min AQ (100 W) seguido de TPM (↑ de 25 W a cada min)	↓ Tp observada no término do teste, seguida de um ↑ da Tp, retomando ao valor de repouso com 3 min de recuperação.
Neves et al., [28], 2016	Estudo Longitudinal de Curta Duração	III	Universitárias	31	F	21,3 ± 1,8	Fluke Tir- 32	Braços e coxas	Antes, durante e depois do teste, a cada 30s até o 6º min de recuperação, a cada min do 6º ao 11º min de recuperação, a cada 5 min do 11º ao 50º min de recuperação,	Rosca Bíceps e agachamento 4x 10 (70 e 85% de 10RM)/ 30s intervalo	↓ Tp do BB e Q durante o exercício; ↓ Tp do BB e Q após o exercício ↑ Tp a partir dos 15' da fase de recuperação; Resposta térmica similar com 70 e 85% de 10 RM; Tp e FC= Correlação negativa.

Referência	Tipo de Estudo	Nível de Evidência Científica	Amostra	N	Sexo	IDADE	Câmera	RCI	Momento	Protocolo de exercício	Resultados
Priego-Quesada et al., [25], 2016	Transversal (Comparativo)	III	Ciclistas profissionais	14	M	29,9 ± 8,3	Flir E-60	Deltoide, peito, abdômen, costas, coxas, joelhos, pernas, tornozelos	Antes e depois	Ciclismo 45 min 35% da PO_{MAX} 45 min 50% da PO_{MAX}	↑ Tp Core com a >carga de trabalho; ↓ Tp das outras regiões analisadas >carga de trabalho.
Sanz-López et al., [17], 2016	Ensaio Controlado Randomizado	II	Homens ativos e saudáveis	20	M	22,8 ± 4,2	Flir E-60	Tendões patelar e Tendões de Aquiles	Antes e depois do teste	Corrida contínua 60 min 80% FC_{MAX}	↑ Tp após a corrida.
Neves et al., [34], 2015	Estudo Longitudinal de Curta Duração	III	Universitários	13	M	24,9 ± 2,7	Fluke Tir- 32	Bíceps braquial	Antes, depois do teste e com 24h, 48h, 72h e 96h de recuperação **	Rosca Bíceps e Martelo Bíceps BI SET 5x 8RB+8MB/90s intervalo 70% 1RM	↓ Tp após o teste ↑ Tp no período de recuperação; Tp e ESM= correlacionam-se no período de recuperação.
Priego Quesada et al., [26], 2015	Transversal	III	Ciclistas profissionais	14	M	28,9 ± 8,3	Flir E-60	Tórax, abdômen, parte posterior do pescoço, escápulas, coxas e pernas	Antes e depois do teste e com 10 de recuperação	Ciclismo 45 min Intensidade SB (50% PO_{MAX})	↓ Tp imediatamente após o exercício; ↑ Tp gradualmente durante a recuperação, no entanto apresentou valores < que o baseline.
Priego Quesada et al., [45], 2015	Transversal (Comparativo)	III	Fisicamente ativos	10	M	25,5 ± 4,0	Flir E60	Coxa e pernas	Antes e depois do teste	Ciclismo Teste máximo	↑ Tp do VL e RT pós exercício
Fernández-Cuevas et al., [31], 2014	Transversal (Comparativo)	III	Universitários	15	M	21,4 ± 2,6	Flir 335	Peito, costas, antebraços, braços, coxas, abdômen e pernas	Antes e depois do teste e uma vez por hora até a 8ª hora de recuperação **	Treinamento de força AQ: 5min bicicleta + 5 min alongamento PP: 4X 10/ 90s intervalo Exercícios: SU, PC, EP e LP Treinamento aeróbio AQ: 5min PP: 45 min corrida contínua moderada (60-75%FC)	↓ Tp do CS, DE posterior, IB e PE, após o TF ↓ Tp do DE anterior após o TA ↑ Tp do TB após o TA ↑ Tp CO e JO após o TA.

Referência	Tipo de Estudo	Nível de Evidência Científica	Amostra	N	Sexo	IDADE	Câmera	RCI	Momento	Protocolo de exercício	Resultados
Abate et al., [13], 2013	Transversal (Comparativo)	III	Indivíduos treinados e não treinados	40	M	26 ± 5,3	Flir SC300	Peito e bíceps	Antes e durante	Ciclismo Progressivo (60 rpm) 0-5 min: 100 W 5-10 min: 130 W 10-15 min: 160 W	↓ Tp dos sujeitos treinados na terceira etapa do exercício.
Bertucci et al., [14], 2013	Relato de caso (Descritivo)	VI	Ciclistas profissionais	2	M	16	Cedip HD560M	Coxas e pernas	Antes, durante e depois do teste	Ciclismo 4 min AQ (100 W) seguido de TPM (↑ de 40 W a cada 4 min)	↓ Tp com o aumento da intensidade. O atleta com maior nível de eficiência obteve maior redução % na TP. O ciclista melhor condicionado apresentou > ↑ Tp pós o exercício.
Formenti et al., [29], 2013	Transversal (Comparativo)	III	Universitárias treinadas (atletas de nado sincronizado) e sedentárias	14	F	19,3 ± 0,6	Avio Tvs 700	Gastrocêmios	Antes, durante e depois (por 7 min)	2 min de flexão plantar bilateral	↑ Tp durante o exercício mais rápido e mais pronunciado nos indivíduos treinados. Na recuperação, a Tp alcançou o pico entre o 2° e 3° min, e começou ↓ lentamente, mas permaneceu elevada em relação ao valor de repouso. ↑ Tp foi > na recuperação para as mulheres treinadas

Legenda da figura: AB: Abdômen; AN: Ativação neuromuscular; AQ: Aquecimento; AT: Antebraços; AV: Alta velocidade; B: Braços; BB: Bíceps braquial; BF: Bíceps femoral; BV: Baixa velocidade; C: Concêntrica; CO: Cotovelos; CS: Costas; CX: Coxas; DE: Deltoides; DIR: Direito; DL: Deltoide; lateral; DS: Dorsal superior; E: Excêntrica; EE: Eretores espinais; EM: Exercício máximo; EP: Extensão de pernas; ESM: Espessura muscular; ESQ: Esquerdo; FA: Face; FM: Fadiga muscular; FR: Frequência; FT: Fronte; H: Homens; IB: Isquiotibiais; JO: Joelho; LO: Lombar; LP: Leg Press; M: Mulheres; MA: Mãos; MB: Martelo Bíceps; MI: Membros inferiores; MS: Membros superiores; PC: Polia cruzada; PE: Peitoral; PO_{MÁX}: Potência máxima; PP: Parte principal; PR: Pernas; PS: Pescoço; Q: Quadríceps; RB: Rosca Bíceps; RM: Repetição máxima; RO: Romboides; RT- Reto femoral; SB- Exercício submáximo; SU- Supino; TA- Treinamento aeróbio; TB- Tríceps braquial; TPM- Teste progressivo máximo; TF- Treinamento de força; Tp: Temperatura da pele; VL: Vasto lateral; VT: Volume de treino; ↑: Acréscimo; ↓: Decréscimo; %G: Percentual de gordura corporal.

** Para estes estudos, não foram analisados os dados referentes às coletas realizadas após 60 minutos de recuperação.

Foram incluídos um total de 18 estudos transversais^{12,13,15,16,18,19,24-26,29-33,35-37,45}, 2 ensaios clínicos controlados randomizado¹⁷ e não randomizado¹¹, 2 estudos longitudinais de curta duração^{28,34} e 2 estudos de caso^{14,27}. Quanto ao nível de evidência científica dos estudos incluídos, 21 artigos^{11-13,15,16,18,19,24-26,28-37,45} (87,5%) foram classificados como Nível III, 1 estudo¹⁷ (4,2%) como Nível II e 2 (8,3%) Nível VI^{14,27}.

Quanto ao perfil da amostra, apenas 5 estudos utilizaram uma amostra composta por atletas profissionais^{12,14,24-26}, sendo ainda a população de universitários empregada em 11 trabalhos, sujeitos com prática de atividade física regular de forma recreativa em 7 trabalhos, e 1 estudo com homens jovens saudáveis sem indicação de nível de atividade física.

O tamanho amostral variou desde um único sujeito, em um estudo de caso²⁷, até o trabalho de Abate et al.¹³ que avaliou 40 sujeitos. Quanto ao fator sexo, 83,3% dos trabalhos foram realizados com participantes homens, enquanto dois estudos avaliaram apenas mulheres^{28,29}, e dois incluíram voluntários de ambos os sexos^{18,30}. Já se tratando da faixa etária, em grande parte dos estudos a amostra foi composta por participantes adultos ou de meia-idade, sendo o estudo de Bertucci et al.¹⁴ com o grupo etário mais jovem (16 anos), e o de Moreira-Marconi et al.¹⁸ com os participantes de maior idade (45 anos).

Com relação ao equipamento, as câmeras da marca Flir® foram as mais utilizadas, em destaque o modelo E60 (320 x 240 pixels), presente em 5 trabalhos. Além disso, outros utilizados com mais frequência foram os modelos TIR da marca FLUKE®, presente em 3 publicações.

Quanto às RCI, grande parte dos trabalhos avaliaram membros inferiores^{11,14-18,24 22,34}, em destaque a região da coxa. No entanto, alguns estudos também analisaram os membros superiores^{12,15,16,19,25,26,28,31,33,34,37}, em maioria as regiões do peitoral, braços e costas.

Quanto ao momento de análise, um total de 8 trabalhos realizou a coleta em apenas dois momentos, antes e imediatamente após o exercício. Em alguns casos, realizou mais de uma coleta após a realização da atividade, ao longo da fase de recuperação, com imagens realizadas nos minutos seguintes, de acordo com um intervalo pré-estabelecido, ou 30 a 60 minutos após o exercício. Um total de 10 estudos monitorou a temperatura durante o exercício.

A forma de exercício mais empregada foi o resistido, correspondendo a um total de 12 (50%) estudos, seguidos dos exercícios de ciclismo estacionário com 8 (33,3%) trabalhos. Já o de menor frequência foi o remo, com 1 estudo (4,2%). Ao analisar o tipo de protocolo empregado nos exercícios cíclicos, 8 estudos aplicaram cargas progressivas até a exaustão voluntária, como uma prova de esforço de VO_{2max} , com uma duração relativamente curta. Por

outro lado, 5 optaram por um trabalho submáximo ao longo de, no mínimo, 45 minutos^{12,15,25,26}, chegando ao máximo de 60 minutos no trabalho de Sanz-López et al.¹⁷.

Já nos protocolos de exercício resistido, a dinâmica compreendeu protocolos isocinéticos²⁷, pliométricos³⁰ e convencionais, variando em protocolos de intensidade constante^{18,28,29,31,33-36} ou variável^{19,37}. Também foi utilizado um protocolo de baixa intensidade e séries com longa duração (3 min) para se estudar a relação entre fadiga e resposta térmica³².

Quanto à resposta térmica ao exercício, os principais resultados mostraram ajustes termorregulativos distintos em resposta aos diferentes tipos de exercício. Houve redução de TIP nos momentos iniciais do exercício, independente se ele era de carga constante ou progressiva até a exaustão. Nos exercícios progressivos, a redução de TIP foi potencializada com o aumento da intensidade, ao passo que, em exercícios contínuos de maior duração, ocorreu aumento de temperatura com o prolongamento do exercício em algumas RCI. Com relação aos protocolos de exercício resistido convencional, foi observada redução de TIP durante o exercício. Já nos exercícios resistidos aplicados de maneira contínua, sem intervalo de recuperação durante o esforço, foram observados aumentos de TIP, assim como no protocolo de exercício realizado com 3 séries de 3 min. Durante o período de recuperação de todos os tipos de exercício, a TIP se restabeleceu gradativamente, podendo ou não retornar aos valores basais. A resposta da TIP durante o exercício, bem como na sua recuperação, foi influenciada pelo nível de condicionamento, composição corporal, e diferiu entre RCI ativas e inativas.

Discussão

Os pontos de análise apresentados a seguir corresponderão aos principais aspectos metodológicos empregados nos estudos de TI relacionados ao exercício físico, referentes às características dos grupos amostrais, aspectos técnicos da coleta de imagens, tipos de protocolos de exercício adotados, bem como os principais resultados observados sobre o comportamento da TIP no exercício.

Características dos grupos amostrais

Ao analisar os grupos amostrais, observamos que o perfil de amostra investigada é bem variado. Essa diversidade de características amostral é interessante pois as respostas térmicas podem variar segundo o nível de condicionamento físico, ao se comparar grupos de treinados e não treinados, ou uma população de atletas frente a uma população comum. Alguns autores justificam que essa diferença ocorre pelo fato de indivíduos treinados possuírem um maior fluxo

sanguíneo cutâneo³⁶. Além disso, as alterações fisiológicas ocasionadas pelo processo de treinamento, como o aumento da massa muscular, da densidade dos capilares e da velocidade da condução nervosa, também surgem como uma possível explicação para essa diferença¹³. Assim, uma resposta crônica decorrente do treinamento físico interfere na resposta termorregulativa durante o exercício.

Quanto ao tamanho amostral, dentre os 24 estudos analisados, um total de 428 indivíduos foram avaliados, sendo o tamanho amostral médio de 17,5 sujeitos. De maneira geral, os estudos envolvendo a TI possuem tamanho amostral usualmente inferior à 20 avaliados. Como consequência gera uma vulnerabilidade estatística, reduzindo a confiabilidade dos resultados e limitando a extrapolação dos resultados para população. Contudo, isso ocorre em função da dificuldade técnica, homogeneização da amostra, disponibilidade de tempo dos avaliados tendo em vista o tempo de coleta de dados, entre outros fatores, que dificultam estudos com um “n” superior aos 30 participantes.

Um aspecto interessante corresponde ao sexo dos voluntários nos estudos avaliados. Dentre os 24 estudos, 21 (87,5%) possuem amostra composta por avaliados do sexo masculino, e apenas 3 (12,5%) contou com a participação de avaliados do sexo feminino^{18,28,29}. Uma das possíveis justificativas para essa discrepância são os aspectos relacionados ao ciclo menstrual. As constantes variações de secreções hormonais, destacando-se a progesterona e o estrógeno³⁹, modificam a temperatura interna das mulheres no decorrer do ciclo menstrual, ocasionando oscilações de até 1°C dependendo do período³⁹, apresentando seu limite máximo após a fase de ovulação⁴⁰. Embora a literatura não traga evidências de como isso afeta a TIP, é esperado que essa variação ocorra. Assim, o ciclo menstrual é um dos fatores que influencia tremendamente as respostas térmicas, sendo um dos aspectos que melhor justifica a escassez de estudos envolvendo mulheres, pois agrega mais um fator a ser controlado no desenho do estudo. Apesar das dificuldades metodológicas, é extremamente importante conhecer as respostas termorregulativas das mulheres durante o exercício em especial nas diferentes fases do ciclo menstrual.

A idade média dos avaliados foi 24 anos, tendo os valores mínimos de 16 anos¹⁴ e máxima 45 anos¹⁸. A densidade de conhecimento acerca dos ajustes termorregulatórios trazem evidências de que o fator etário influencia o sistema termorregulatório⁴¹. No envelhecimento, ocorre uma degeneração nervosa periférica e central e atrofia do hipotálamo, o que altera a velocidade das respostas adaptativas de perda ou retenção de calor corporal, além de alterações na densidade de capilares, especialmente em diabéticos, na morfologia muscular e até mesmo

um declínio da taxa metabólica⁴². Por outro lado, crianças não possuem o sistema nervoso totalmente maduro tanto periférico como o central, além de uma proporção de superfície corporal diferente do adulto, influenciando a resposta termorregulativa. É necessário ampliar os estudos com grupos etários com faixas mais extremas como crianças e idosos, pois possuem respostas termorregulativas específicas, diferente de sujeitos adultos^{43,44}.

Aspectos técnicos da coleta de imagens

Quanto aos aspectos metodológicos, um dos principais fatores analisados foi a câmera termográfica utilizada. Atualmente, os termovisores evoluíram e facilitaram o seu manuseio e transporte, oferecendo imagens com maior qualidade e detalhamento, além de apresentarem maior sensibilidade térmica e precisão nos resultados. Conforme as recomendações estabelecidas no consenso publicado por Moreira et al.⁴¹ os termovisores utilizados em coletas envolvendo seres humanos devem conter uma resolução mínima de 320x240 pixels, caso contrário os resultados podem ser influenciados. Dos 24 estudos analisados, apenas 2 (8,3%) não seguiram esta recomendação e utilizaram equipamentos com resoluções inferiores^{18, 30}, o que pode prejudicar a capacidade de análise qualitativa e quantitativa da imagem.

Com relação às RCI avaliadas, nota-se a escassez de estudos que avaliassem a TIP de regiões articulares. Apenas 4 trabalhos (16,6%) incluídos nesta revisão avaliaram a temperatura de RCI articulares^{17,18,25,34}, demonstrando uma lacuna existente na literatura acerca do tema e a necessidade de estudos futuros. As articulações possuem uma importante função motriz, por suas características de vascularização devem apresentar respostas térmicas específicas e que devem ser estudadas.

Quanto ao momento de coleta dos termogramas, todos estudos realizaram a avaliação termográfica em dois ou mais momentos. Em 8 (33,3%) trabalhos foram realizadas 2 coletas, sendo que em 4 estudos os autores coletaram antes e durante os protocolos de exercício^{13,18,32,35} e 5 coletaram antes e logo após o estímulo^{17,25,30,36,45}. Além disso, outros 15 trabalhos (65,3%) realizaram 3 ou mais coletas, podendo-os dividir em dois subgrupos. O primeiro subgrupo constituído por 2 (8,3%) trabalhos que realizaram coletas antes, durante e logo após o fim da sessão^{14, 27}. Já o segundo subgrupo contempla 12 (50%) estudos, os quais analisaram o período de recuperação pós-exercício com uma^{11,26,37} ou mais coletas^{15,16,19,24,28,29,31,33,34}. Para uma compreensão total das respostas térmicas ao exercício é importante registrar a TIR pré-exercício, durante o exercício em intervalos regulares entre 10 e 20 minutos caso o protocolo seja contínuo, imediatamente finalizada a atividade, bem como durante a fase de recuperação

na primeira hora e após 24 horas.

Tipos de protocolo de exercício

Com relação aos protocolos de exercício, 13 trabalhos avaliaram exercícios resistidos, dos quais 8 foram com foco em membros inferiores^{18,27,29,30,32,35-37}, 3 em membros superiores^{19,33,34} e apenas 2 analisaram ambas as regiões corporais^{28,31}. Diferentes metodologias de treinamento foram observadas, destacando-se os protocolos tradicionais que realizaram repetições dinâmicas até a exaustão utilizado^{35,36}, e os de realização de repetições dinâmicas sem alcançar a falha concêntrica^{18,28,29,33}. A duração dos estímulos variou entre 3³³ e 4 séries com 10 repetições²⁸ utilizando 50% e 70-85% de 1RM, respectivamente, ou até mesmo séries com 1¹⁸, 2²⁷ ou 3 minutos³² de estímulo apenas com o peso corporal e/ou baixa carga. Outras dinâmicas de treinamento de força foram utilizadas como o treinamento pliométrico³⁰, isocinético²⁷, bem como metodologias avançadas como *Drop-set*^{19,29} e *Bi-set*³⁴. A diversidade de estruturação de um treinamento de força proporciona um campo amplo de investigação nesta temática.

Por outro lado, 11 (45,8%) trabalhos utilizaram protocolos aeróbicos, sendo 2 realizados em esteiras^{16,17}, 8 em cicloergômetros^{11-14,24-26,45} e 1 em remoergômetro¹⁵. Dentre esses estudos, 4 (16,6%) investigaram protocolos de carga progressiva, submetendo o avaliado até seu limite máximo^{11,14,24,45}, e 7 estudos optaram por protocolos de intensidade submáxima^{12,13,15-17,25,26}, com volume médio de 53 minutos, sendo 45^{12,15,25,26} e 60 minutos^{16,17} o tempo mínimo e máximo, respectivamente.

Alguns autores analisaram as respostas térmicas da pele em diferentes situações, comparando as respostas durante treinamento aeróbio aos ajustes ocasionados pelo treinamento resistido³⁴, ou comparando diferentes intensidades^{12,15,25,36} ou volumes¹⁹.

Comportamento da TIP no exercício e na recuperação

Quanto ao comportamento da TIP durante o exercício e na fase de recuperação de até uma hora, os resultados foram distintos em função do tipo de exercício e forma de execução. Um comportamento comumente observado^{12,14,16,18,28,33,36} foi a redução da TIP em diversas RCI nos momentos iniciais do exercício, independentemente se realizado com carga progressiva ou constante. Este comportamento é atribuído ao aumento da estimulação das respostas vasoconstritoras cutâneas que são controlados pelo sistema nervoso simpático, possivelmente moduladas pela ação dos transmissores noradrenérgicos, como o neuropeptídeo Y e a

noradrenalina¹⁶. Estas respostas fisiológicas ocasionam uma redistribuição do fluxo sanguíneo cutâneo e de outras regiões inativas para as RCI ativas, aumentando o aporte sanguíneo na musculatura esquelética ativa¹³. Nos exercícios cíclicos progressivos, a redução da TIP foi gradual ao aumento da carga de trabalho^{12,14,24}. Além disso, a evaporação do suor também reduz a TIP, possibilitando uma transferência de calor interno para o ambiente e o resfriamento da temperatura cutânea¹².

Essa resposta termorregulatória pode ocorrer de forma distinta entre indivíduos com diferentes níveis de condicionamento físico. Abate et al.¹³ observaram que os indivíduos treinados, comparados a destreinados, apresentaram uma redução da TIP do tronco durante um aquecimento progressivo de 15 minutos em cicloergômetro, em função de sua melhor capacidade de redirecionamento de fluxo sanguíneo para os músculos ativos. Similarmente, Priego-Quesada et al.⁴⁵ sugeriram que sujeitos com maior nível de condicionamento físico sustentam uma carga de trabalho por mais tempo, por recrutarem unidades motoras de maior tamanho, o que poderia ser usado para produzir mais potência durante o exercício, levando a um menor aumento da temperatura cutânea em comparação a indivíduos com menor condicionamento. Logo, o fator “nível de condicionamento” parece ter uma influência na resposta térmica, sendo extremamente importante ter este aspecto bem descrito na metodologia dos estudos, sendo inclusive recomendado a composição da amostra com níveis semelhantes de $VO_{2máx}$.

Em protocolo de corrida intervalada submáxima (60% $VO_{2máx}$) com duração de 60 minutos, foi observado comportamento térmico diferente em função da RCI ser ativa ou inativa¹⁶. Os autores reportaram declínios de temperatura mais significativos no 5º minuto de exercício na RCI das mãos, e em seguida no abdômen, antebraços, braços, costas, face, fronte, lombar e peitoral, no 10º minuto. No entanto, a TIP se manteve estável nas coxas e pernas. Estes resultados mostram que a TIP apresenta padrões variáveis devido a ação vasoconstritora e a redistribuição do fluxo sanguíneo cutâneo para as regiões ativas, permitindo e facilitando a dissipação do calor para o meio externo⁴⁶.

Balci et al.¹² observaram uma resposta oposta a partir do 8º minuto de exercício aeróbio contínuo realizado em um cicloergômetro, verificando um aumento de TIP nas regiões do core e do braço. Os autores explicam que durante a execução do exercício dinâmico, o fluxo sanguíneo da superfície corporal é restrito devido ao aumento do estímulo vasoconstritor simpático cutâneo. Essa redução continua até que a temperatura interna atinja um valor limite de aproximadamente 37,2 °C; posteriormente, torna-se predominante o sistema de

vasodilatação, deste modo o fluxo sanguíneo cutâneo aumenta rapidamente, objetivando dissipar o calor excessivo.

Nos exercícios resistidos, alguns autores reportaram um aumento gradual na TIP durante o exercício^{27,29,35}. Hadzic et al.²⁷ e Formenti et al.²⁹ encontraram um aumento de aproximadamente 1 °C da TIP no quadríceps e gastrocnêmios, respectivamente. Segundo os autores, uma possível explicação para esses resultados seria o aumento da temperatura muscular desencadeado pelo aumento da utilização do glicogênio muscular durante a realização do exercício²⁷. Além disso, o aumento de temperatura no estudo de Hadzic et al.²⁷ foi inversamente associado à potência produzida durante o exercício, sugerindo que a TI poderia ser usada para detectar fadiga aguda. Similarmente, Shakhiih et al.³² mostraram que o aumento de TIP durante 3 séries de 3 min de exercício de flexão plantar foi diretamente associado à fadiga avaliada por eletromiografia.

As respostas térmicas ao exercício resistido também parecem ser influenciadas pelo nível de condicionamento. Formenti et al.²⁹ reportaram respostas diversificadas entre mulheres treinadas e sedentárias ao submeterem-nas a 2 minutos de flexão plantar com peso corporal. Os autores encontraram uma menor redução de TIP no início do exercício, seguida de aumentos mais pronunciados no decorrer do esforço nas participantes treinadas vs. sedentárias, atribuídos à melhor capacidade de vasodilatação periférica para dissipar calor.

Os estudos realizados por Neves et al.²⁸ e Moreira-Marconi et al.¹⁸ encontraram resultados distintos quando comparados aos achados dos outros estudos^{27,35}. Neves et al.²⁸ observaram redução de TIP no quadríceps e no bíceps braquial em mulheres destreinadas durante a realização de exercícios de agachamento e rosca bíceps, divididos em 4 séries com 10 repetições (70-85% 1RM) e 45 s de intervalo. Os autores atribuem o resultado ao fato de a amostra ter sido composta por mulheres, tendo em vista que elas possuem maior conteúdo de gordura subcutânea (vs. homens), que age como uma barreira térmica. Já Moreira-Marconi et al.¹⁸ submeteram os participantes de ambos os sexos a 3 sets de 1 min de agachamento com peso corporal, com 90 s de intervalo, em uma plataforma vibratória, e encontraram uma redução de TIP, atribuída à vasoconstrição cutânea. O comportamento da TIP nos estudos de Moreira-Marconi et al.¹⁸ e Neves et al.²⁸ pode ter sido influenciado pelo tempo de duração e pela dinâmica do protocolo. Ambos os autores realizaram um protocolo com maior tempo de duração, em que os avaliados foram submetidos ao determinado número/tempo de estímulo intercalado por um período de recuperação entre cada série. Em contrapartida, Hadzic et al.²⁷, e Formenti et al.^{27,35} adotaram protocolos de exercícios resistidos contínuos, sem intervalo de

recuperação entre os estímulos.

Nos estudos que monitoraram a TIP durante a fase de recuperação, os resultados obtidos variaram em decorrência do tipo de estímulo executado e sua forma de realização. Após a realização de protocolos de exercício cíclico máximo com incremento de carga^{11,14,24,45} ou *all-out*¹⁵, foi observado um declínio inicial de temperatura nos primeiros minutos de recuperação seguido por um aumento gradual com o passar do tempo. Durante a realização de exercício máximos, os grandes grupamentos musculares utilizados necessitam de um expressivo aporte sanguíneo, o que implica em predominância de estímulo adrenérgico vasoconstritor associado à diminuição da TIP¹³. Contudo, após o término do exercício e a redução da sudorese, a vasodilatação periférica e a hipertermia das regiões ativas persistem, justificando assim o restabelecimento da TIP durante o período de recuperação¹⁵.

O nível técnico de execução do movimento é um fator que pode impactar a resposta da TIP. Por exemplo, Silva et al.¹⁵ observaram, em homens fisicamente ativos, que a TIP no bíceps braquial aumentou até 30 min após um teste de 2000 m (*all-out*) e após uma sessão de 45 min de exercício moderado em remoergômetro. O aumento térmico observado na recuperação pode ser devido ao fato de os participantes não serem remadores e, portanto, não possuírem um padrão técnico de movimento refinado. Logo, é provável que os braços tenham sido demasiado solicitados durante o exercício, resultando nos aumentos de TIP no período de recuperação, os quais não foram observados no quadríceps, dorsal superior e peitoral.

Os estudos divergem quanto ao tempo de restabelecimento da TIP. Dos estudos que adotaram protocolo de exercício cíclico máximo, apenas Silva et al.¹⁵ e Ludwig et al.²⁴ observaram um restabelecimento da temperatura aos níveis basais após o exercício. O primeiro observou o retorno da TIP ao *baseline*, no quadríceps e dorsal superior, após 10 minutos de recuperação de exercício de remo; já Ludwig et al.²⁴ observaram a mesma resposta após o 3º minuto de recuperação. Ademais, há evidências de que uma maior intensidade de exercício demande maior tempo para a restauração da TIP¹⁵. O comportamento da TIP durante a fase de recuperação pode ser influenciado pela composição corporal. Sampaio et al.¹¹ mostraram que indivíduos com maior %G apresentaram menor temperatura pós-exercício e aumentos inferiores durante a recuperação quando comparados aos avaliados com menor %G. Este resultado ocorre devido a gordura subcutânea atuar como uma barreira térmica. Assim, a gordura corporal parece ser um fator influenciador.

Ao analisarmos as respostas obtidas nos demais estudos que monitoraram a TIP após exercícios cíclicos de longa duração, entre 45 e 72 minutos, com intensidade moderada,

observa-se uma divergência de resultados. Dos 6 estudos que se enquadram neste grupo de exercício, 4 observaram diminuição de TIP ao fim do exercício, sucedida por aumento gradual na recuperação^{15,16,26,31}. Os estudos de Silva et al.¹⁵ e Fernandes et al.¹⁶ destacam que as alterações na distribuição do calor cutâneo são heterogêneas, com o aparecimento de pontos hipertérmicos na superfície corporal; este comportamento foi observado em condições de exercício prioritariamente aeróbicos de intensidade constante. Estas regiões de calor caracterizam a presença de vasos perfurantes, estruturas que transportam o calor metabólico produzido durante o exercício para a superfície corporal. Por outro lado, Priego-Quesada et al.²⁵ e Sanz-López et al.¹⁷ encontraram incremento contínuo de TIP nas regiões ativas após a realização de um protocolo de exercício aeróbio cíclico submáximo e o mesmo comportamento foi mantido durante o período de recuperação de até 10 minutos²⁵. Uma explicação para estes resultados é a redução da atividade vasoconstritora e o aumento da atividade vasodilatadora, ocasionada pela ação do óxido nítrico e de outras substâncias como a acetilcolina, VIP e a substância P¹⁶. Assim, resultando em um aumento do fluxo sanguíneo cutâneo, possibilitando o aumento da dissipação de calor para o meio ambiente e permitindo o restabelecimento da temperatura corporal³¹.

Além disso, o trabalho de Priego-Quesada et al.²⁵ apresentou dados de TIP heterogêneos. Os autores explicam que uma possível justificativa para estes resultados pode estar relacionada à associação dos efeitos de ativação neuromuscular com as taxas de suor que ocorrem em cada RCI. Assim, as regiões mais próximas das musculaturas com maior ativação neuromuscular durante o exercício podem apresentar maior TIP em função do aumento da produção de calor local. Já a TIP das regiões localizadas no tronco declina levemente como consequência da maior taxa de suor nessa área.

Com relação à resposta térmica na recuperação de exercícios de força, os estudos sinalizam para um declínio na TIP após o término do exercício, seguido de um auge durante a fase de recuperação, retornando^{28,36} ou não aos valores obtidos na fase pré-exercício^{19,29-31,33,34,37}. A elevação gradual da TIP durante a fase de recuperação é explicada pelo aumento do fluxo sanguíneo cutâneo, objetivando aprimorar as trocas de calor para o meio externo e restabelecer a homeostase térmica corporal³¹. As respostas da TIP após o exercício de força também são influenciadas pela composição corporal; devido à baixa condutividade térmica da camada de gordura subcutânea, os mecanismos de condução e evaporação são afetados³³. Consequentemente, as respostas termorregulatórias pós-exercício são mais lentas em indivíduos com maior percentual de gordura.

Considerando a classificação do nível de evidência científica da maioria dos estudos analisados como nível III e a inclusão de apenas um estudo como nível II¹⁷, atribuímos um nível moderado de confiança para as evidências da presente revisão. As evidências sinalizam uma diversidade de respostas térmicas obtidas durante o exercício, bem como no decorrer do período de recuperação. Essas respostas parecem ser relacionadas ao protocolo de exercício, dependendo da dinâmica execução e da carga de treinamento adotada. Durante a realização de exercícios progressivos máximos e/ou de curta duração, a TIP tende a reduzir, retomando a valores próximos dos basais ao longo do período de recuperação. Por outro lado, quando o exercício é realizado de forma submáxima de forma constante, as respostas térmicas apresentam um perfil diferente; ocorre uma redução de TIP na fase inicial do exercício (mesma situação do exercício com carga progressiva), porém, posteriormente, há um aumento dos valores de temperatura das RCI ativas e redução nas regiões inativas durante os protocolos com intensidade constante e/ou com média e longa duração. Na maioria das vezes, a TIP retorna ao *baseline* no decorrer do período de recuperação de até 1 hora. No entanto, os estudos mostram que esses resultados podem ser influenciados pelo nível de aptidão física dos avaliados, como também pelo seu gênero e composição corporal.

Este estudo de revisão estabeleceu como fator de inclusão trabalhos de investigação realizados em ambiente de laboratório, com as condições controladas. Assim, no exercício realizado no meio externo, com influência das condições ambientais de radiação solar, vento, chuva, pode impactar tremendamente os resultados aqui descritos, exigindo assim linhas de estudos altamente desafiadores para uma total compreensão deste fenômeno. Estudos futuros devem comparar as respostas térmicas em indivíduos de diferentes sexos, idades, exercícios realizados em condições ambientais extremas e as respostas térmicas decorrentes da prática de modalidades desportivas devem ser implementadas.

Conclusão

Existe moderada evidência para determinar que durante a realização de um protocolo de exercício aeróbio cíclico com característica progressiva ou *all-out* e/ou um protocolo de exercícios resistidos ocorre a redução da TIP, porém ocorre o aumento gradual da temperatura durante a recuperação, retornando aos valores basais. Já em exercícios cíclicos contínuos ou intervalados de intensidade submáxima, a redução inicial de temperatura pode ser seguida de incrementos de TIP durante a fase de exercício e redução gradual durante o período de recuperação, aproximando-se do *baseline*. Foram poucos os estudos que verificaram uma

retomada da temperatura aos valores de *baseline* após a fase de recuperação de até uma hora, sinalizando que este período de recuperação é insuficiente para a restauração da TIP, e consequentemente, da homeostase corporal.

A resposta da TIP durante o exercício e seu comportamento na fase de recuperação é influenciado pelo protocolo de exercício realizado, por fatores internos como o nível de condicionamento físico, gênero e a composição corporal dos avaliados, bem como por fatores externos, como o nível de experiência com o protocolo de exercício adotado.

Agradecimentos

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG)

Referências

1. Shibasaki M, Wilson TE, Crandall CG. Neural control and mechanisms of eccrine sweating during heat stress and exercise. *J Appl Physiol.* 2006; 100: 1692-1701. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01124.2005>
2. Schlader ZJ, Stannard SR, Mündel T. Human thermoregulatory behavior during rest and exercise - A prospective review. *Physiol Behav.* 2010; 99: 269-75. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2009.12.003>
3. Fernandes AA, Amorim PRS, Gomes TNP, Silleteo-Quintana M, Fernández Cuevas I, Silva RG, et al. Avaliação da temperatura da pele durante o exercício através da termografia infravermelha: uma revisão sistemática. *Rev Andal Med Deporte.* 2012; 5: 113-17.
4. Marins JCB, Fernández-Cuevas I, Arnaiz-Lastras J, Fernandes AA, Sillero-Quintana M. Applications of infrared thermography in sports. A review. *Rev Int Med Cienc Act Fis Deporte.* 2015; 15: 805-24.
5. Marins JCB, Fernandes AA, Cano SP, Moreira DG, Silva FS, Costa CMA, et al. Thermal body patterns for healthy Brazilian adults (male and female). *J Therm Biol.* 2014; 42: 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2014.02.020>
6. Côgo WT, Nogueira PHR, Silva AG, Marins JCB. Perfil térmico de membros inferiores de jogadores de futebol de categoria de base. *Rev Bras Futebol.* 2017; 10: 4-24.
7. Stroppa GM, Silva AG, Moreira DG, Cerqueira MS, Fernandes AA, Marins JCB. Análise da temperatura da pele em joelhos de jogadoras de futebol profissional. *Rev Bras Futebol.* 2017; 8: 36-42.

8. Marins JCB, Fernandes AA, Moreira DG, Silva FS, Costa CMA, Pimenta EM, et al. Thermographic profile of soccer players' lower limbs. *Rev Andal Med Deporte*. 2014; 7: 1-6. [https://doi.org/10.1016/S1888-7546\(14\)70053-X](https://doi.org/10.1016/S1888-7546(14)70053-X)
9. Kolosovas-Machuca ES, González FJ. Distribution of skin temperature in Mexican children. *Skin Res Technol*. 2011; 17: 221-6. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0846.2011.00501.x>
10. Costa CMA, Sillero-Quintana M, Cano SP, Moreira DG, Brito DG, Fernandes AA, et al. Daily oscillations of skin temperature in military personnel using thermography. *J R Army Med. Corps*. 2016; 162: 335-42. <https://doi.org/10.1136/jramc-2015-000462>
11. Sampaio LT, Jesus K, Medeiros AIA, Cavalcanti V. Body fat percentage and lower limbs temperature in recreational cyclists during an incremental test. *R. Bras Ci e Mov*. 2019; 27: 150-57. <https://doi.org/10.31501/rbcm.v27i3.9922>
12. Balci GA, Basaran T, Colakoglu M. Analysing visual pattern of skin temperature during submaximal and maximal exercises. *Infrared Phys Technol*. 2016; 74: 57-62. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2015.12.002>
13. Abate M, Di Carlo L, Di Donato L, Romani GL, Merla A. Comparison of cutaneous termic response to a standardised warm up in trained and untrained individuals. *J Sports Med Phys Fit*. 2013; 53: 209-15
14. Bertucci W, Arfaoui A, Janson L, Polidori G. Relationship between the gross efficiency and muscular skin temperature of lower limb in cycling: A preliminary study. *Comput Methods Biomech Biomed Eng*. 2013; 16: 114-15. <https://doi.org/10.1080/10255842.2013.815902>
15. Silva AG, Albuquerque MR, Brito CJ, Oliveira SAF, Stroppa GM, Sillero-Quintana M, et al. Resposta térmica da pele ao exercício em remoergômetro de alta versus moderada intensidade em homens fisicamente ativos. *Rev Port Ciênc Desporto*. 2017; 17: 125-37. <https://doi.org/10.5628/rpcd.17.s4a.125>
16. Fernandes AA, Amorim PRS, Brito CJ, Sillero-Quintana M, Marins JCB. Regional skin temperature response to moderate aerobic exercise measured by infrared thermography. *Asian J Sports Med*. 2016; 7: 1-8. <https://doi.org/10.5812/asjasm.29243>
17. Sanz-López F, Martínez-Amat A, Hita-Contreras F, Valero-Campo C, Berzosa, C. Thermographic assessment of eccentric overload training within three days of a running session. *J. Strength Cond Res*. 2016; 30: 504-11.
18. Moreira-Marconi EI, Fernandes MCM, Souza PL, et al. Evaluation of the temperature of posterior lower limbs skin during the whole body vibration measured by infrared thermography: Cross-sectional study analysis using linear mixed effect model. *Plos One*. 2019; 4: 1-13.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0212512>

19. 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. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2018.07.038>
20. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ (Clinical research ed.)*. 2021; 372. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
21. Souza MT, Silva MD, Carvalho R. Revisão integrativa: o que é e como fazer. *Einstein (São Paulo)*. 2010; 8: 102-106. <https://doi.org/10.1590/S1679-45082010RW1134>
22. Fernández-Cuevas I, Marins JCB, Lastras JA, Carmona PMG, Cano SP, García-Concepción MA, et al. Classification of factors influencing the use of infrared thermography in humans: A review. *Infrared Phys Technol.* 2015; 71: 28-55. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2015.02.007>
23. Melnyk BM, Fineout-Overholt E. Making the case for evidence-based practice. In: Melnyk BM, Fineout-Overholt E. *Evidence-based practice in nursing & healthcare. A guide to best practice*. Philadelphia: Lippincot Williams & Wilkins; 2005. p. 3-24
24. Ludwig N, Trecroci A, Gargano M, Formenti D, Bosio A, Rampinini E, et al. Thermography for skin temperature evaluation during dynamic exercise: a case study on an incremental maximal test in elite male cyclists. *Appl Opt.* 2016; 55: D126. <https://doi.org/10.1364/ao.55.00d126>
25. Priego-Quesada JI, Martínez N, Palmer RS, Psikuta A, Annaheim S, Rossi RM, et al. Effects of the cycling workload on core and local skin temperatures. *Exp Therm Fluid Sci.* 2016; 77: 91-9. <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2016.04.008>
26. Priego-Quesada JI, Guillamón NM, Anda RMCO, Psikuta A, Annaheim S, Rossi RM, et al. Effect of perspiration on skin temperature measurements by infrared thermography and contact thermometry during aerobic cycling. *Infrared Phys Technol.* 2015; 72: 68-76. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2015.07.008>
27. Hadžić V, Širok B, Malneršič A, Čoh M. Can infrared thermography be used to monitor fatigue during exercise? A case study. *J. Sport Health Sci.* 2019; 8: 89-92. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2015.08.002>
28. Neves EB, Cunha RM, Rosa C, Antunes NS, Felisberto IMV, Vilaça-Alves J, et al. Correlation between skin temperature and heart rate during exercise and recovery, and the influence of body position in these variables in untrained women. *Infrared Phys Technol.* 2016;

75: 70-6. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2015.12.018>

29. Formenti D, et al. Thermal imaging of exercise-associated skin temperature changes in trained and untrained female subjects. *Biomed Eng.* 2013; 41: 863-71. <https://doi.org/10.1007/s10439-012-0718-x>

30. Araújo V, et al. Análise termográfica dos membros inferiores de jovens ativos após uma sessão aguda de treinamento pliométrico. *RBPFX.* 2018; 12: 56-62.

31. Fernández-Cuevas I, Sillero-Quintana M, Garcia-Concepcion MA, Serrano JR, Gomez-Carmona P, Marins JCB. Monitoring skin thermal response to training with infrared thermography. *NSA;* 2014; 29; 1: 57-71.

32. Shakhil MFM, Ridzuan N, Wahab AA, Zainuddin NF, Delestri LFU, Rosslan AS, et al. Non-obstructive monitoring of muscle fatigue for low intensity dynamic exercise with infrared thermography technique. *Med Biol Eng Comput.* 2021; 59: 1447-59. <https://doi.org/10.1007/s11517-021-02387-x>

33. Weigert M, Nitzsche N, Kunert F, Lösch C, Schulz H. The influence of body composition on exercise-associated skin temperature changes after resistance training. *J Therm Biol.* 2018; 75: 112-19. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2018.05.009>

34. Neves EB, Moreira TR, Lemos R, Vilaça-Alves J, Rosa C, Reis VM. Utilizando a temperatura da pele e a espessura do músculo para avaliar a resposta ao treinamento de força. *Rev Bras Med Esporte.* 2015; 21: 350-54. <https://doi.org/10.1590/1517-869220152105151293>

35. Formenti D, Ludwig N, Gargano M, Gondola M, Dellerma N, Cauma A, et al. Skin temperature evaluation by infrared thermography: Comparison of two image analysis methods during the non steady state induced by physical exercise. *Infrared Phys Technol.* 2017; 81: 32-40. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2016.12.009>

36. Formenti D, Ludwig N, Trecroci A, Gargano M, Michielon G, Cauma A, et al. Dynamics of thermographic skin temperature response during squat exercise at two different speeds. *J Therm Biol.* 2016; 59: 58-63. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2016.04.013>

37. Silva W, Machado AS, 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: 104007. doi: 10.1088/1361-6579/aae6df

38. Fritzsche RG, Coyle EF. Cutaneous blood flow during exercise is higher in endurance-trained humans. *J Appl Physiol.* 2000; 88: 738-44.

39. Barron ML, Fehring RJ. Is it useful to couples seeking pregnancy? *MCN Am J Matern Child Nurs.* 2005; 30: 290-96.

40. Campbell I. Body temperature and its regulation. *Anaesth Intensive Care Med.* 2011; 12: 240-44. <https://doi.org/10.1016/j.mpaic.2018.06.003>
41. Moreira DG. Thermographic imaging in sports and exercise medicine: A Delphi study and consensus statement on the measurement of human skin temperature. *J Therm Biol.* 2017; 69: 155-62. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2017.07.006>
42. 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. *J Therm Biol.* 2010; 35: 379-85. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2010.08.001>
43. Gomes LHLS, Carneiro-Júnior MA, Marins JCB. Respostas termorregulatórias de crianças no exercício em ambiente de calor. *Rev Paul Pediatr.* 2013; 31: 104-10. <https://doi.org/10.1590/S0103-05822013000100017>
44. Marins JCB. Acción termorreguladora en el calor durante el reposo y ejercicio en personas mayores. *Scientia (Granada)*, 1999; 4: 89-99.
45. Priego Quesada JI, Carpes FP, Bini RR, Palmer RS, Pérez-Soriano P, Anda RMCO. Relationship between skin temperature and muscle activation during incremental cycle exercise. *J Therm Biol.* 2015; 45: 28-35. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2014.12.005>
46. Johnson JM. Exercise in a hot environment: the skin circulation. *Scandinavian J Sci Med Sport.* 2010; 20: 29-39. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01206.x>