

ANÁLISE TERMOGRÁFICA DE CORREDORES DURANTE TESTE INCREMENTAL EM ESTEIRA

ENEBI 2018

Tatiane Lie Igarashi, Departamento de Engenharia Mecânica, Centro Universitário da FEI, tatiigarashi@hotmail.com

Tiago Lazzaretti Fernandes, Instituto de Ortopedia e Traumatologia, Hospital das Clínicas, Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo, tiago.lazzaretti@hc.fm.usp.br

Arnaldo José Hernandez, Instituto de Ortopedia e Traumatologia, Hospital das Clínicas, Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo, ajhernandez@uol.com.br

Carlos Eduardo Keutenedjian Mady, Departamento de Energia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, cekmady@fem.unicamp.br

Cyro Albuquerque Neto, Departamento de Engenharia Mecânica, Centro Universitário da FEI, cyroan@fei.edu.br

Resumo. *Este trabalho tem como objetivo analisar a variação da distribuição da temperatura da pele em corredores durante um teste de corrida em esteira. Os testes foram realizados com 4 atletas de alto desempenho, que foram submetidos ao exercício de corrida, com variação incremental da velocidade até a exaustão. A temperatura da pele foi medida em todos os membros do corpo ao longo do teste a partir de vídeos feitos com uma câmera termográfica. Um sistema de calorimetria indireta foi usado para obter dados da respiração e do metabolismo. Os resultados mostram que a temperatura apresenta uma tendência decrescente em quase todos os membros, conforme a velocidade e o metabolismo aumentam. Conclui-se que o corpo tem uma alta capacidade de transferir o calor interno para o ambiente, mesmo em situações próximas da exaustão.*

Palavras chave: *termografia, temperatura da pele, teste funcional, termorregulação*

1. INTRODUÇÃO

O sistema termorregulatório faz com que o corpo humano consiga manter sua temperatura em níveis adequados para seu funcionamento em diversas condições ambientais, atividades físicas, ou doenças. A regulação é ativada por sensores que estão distribuídos pelo corpo, que podem estar localizados na superfície de pele ou em regiões mais profundas. Durante o exercício físico, ocorre aumento do metabolismo, do fluxo sanguíneo nos músculos ativos, e também do fluxo sanguíneo da pele, que junto com o aumento da sudorese ajuda a intensificar a transferência de energia com o ambiente, mantendo a temperatura interna em uma faixa adequada.

A sensação do conforto térmico pode estar diretamente relacionada com o desempenho dos atletas. Quando o corpo apresenta uma temperatura muito elevada, começa a apresentar sintomas como fraqueza, náuseas, entre outros, a fim de alertar o indivíduo que está prestes a entrar em um estado irreversível, pois com essa temperatura as células e proteínas começam a se deteriorar. Este aumento da temperatura interna pode ocorrer quando o exercício é muito intenso e a produção de calor é maior do que o corpo consegue dissipar; a tendência é que o atleta diminua a intensidade do exercício, tenha mal-estar, ou se continuar o corpo pode entrar em colapso.

Toda interação desses sistemas em resposta ao estímulo do exercício pode se manifestar de forma a redistribuir o mapa de temperatura do corpo. Entender como o corpo se comporta quando submetido à determinado estímulo em diferentes ambientes ou níveis de atividade física tem sido o foco de muitas pesquisas que tem como intuito entender os conceitos fisiológicos e fenômenos envolvidos.

O uso da termografia para análise da temperatura do corpo humano tem se tornado cada vez mais comum. Entre os principais motivos para a utilização dessa técnica estão o baixo custo e a possibilidade de analisar grandes áreas simultaneamente e sem que haja muita interferência, além de ser um método não invasivo que não causa desconforto para o indivíduo.

Com o avanço das câmeras térmicas, começaram a surgir diversos estudos sobre a variação da temperatura da pele, incluindo alguns aplicados ao exercício físico. Hildebrandt et al. (2010) analisaram imagens termográficas da região dos joelhos de atletas de esqui e constataram que as lesões podem apresentar um padrão hipertérmico regional. Torii et al. (1992) realizaram um teste em bicicleta ergométrica em uma câmara climática em diferentes épocas do ano e constataram

que o padrão da distribuição da temperatura indifere das estações. Zontak et al. (1998) verificaram a temperatura da mão em uma bicicleta ergométrica com carga incremental e com a carga constante. Eles constataram que, para a carga gradual, a temperatura apresentou uma queda constante, e para a carga constante, a temperatura diminuiu nos primeiros minutos do exercício e depois aumentou, não ultrapassando o valor da temperatura inicial. Merla et al. (2010) também analisaram o exercício com carga incremental, porém de corrida, e constataram que a temperatura média da pele e de alguns membros de interesse (tronco, coxa e antebraço dianteiro) diminuíram ao longo do exercício. Akimov e Sonkin (2011) mediram a temperatura da região frontal do crânio e compararam com a concentração de lactato no sangue, em uma bicicleta ergométrica com carga gradual. Em uma parte dos atletas a temperatura apresentou inicialmente uma queda e depois aumentou, aproximadamente quando ocorre o limiar do lactato, enquanto nos outros atletas a temperatura apresentou uma queda constante até o final do exercício.

O presente trabalho tem como principal objetivo estudar o comportamento da temperatura da pele de todos os membros do corpo durante um teste de corrida incremental, que é usado para a avaliação física de atletas, dando continuidade a uma série de testes com o objetivo de realizar a análise térmica e do desempenho do corpo humano (Mady et al., 2013; Fernandes et al., 2015).

2. METODOLOGIA

Os testes foram realizados no Laboratório de Estudos do Movimento no Hospital da Clinicas (São Paulo - SP). O projeto foi aprovado pelo comitê de ética em pesquisa do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (CAAE 77158517.0.0000.0068). O período de aquisição foi entre os meses de junho e agosto de 2016. Nos testes a temperatura média do ar foi de $19,5 \pm 1,1$ °C (média $\pm$ desvio padrão), a umidade relativa $62 \pm 10\%$, e a pressão barométrica 688 mmHg. O procedimento foi realizado com 4 corredores de elite do sexo masculino, com treinamento regular e participações em competições esportivas. Os atletas tinham $30,3 \pm 5,7$ anos (média $\pm$ desvio padrão), massa de $62,2 \pm 4,6$ kg, altura $1,70 \pm 0,05$ m, e $\dot{V}O_2$ máximo $63,6 \pm 8,5$ ml/(min.kg).

A corrida foi feita em uma esteira com velocidade controlada (h/p/cosmos), com o seguinte protocolo: aquecimento por 4 minutos, iniciando em 4,8 km/h e incremento de 1,2 km/h a cada 1 minuto; depois corrida iniciando em 9,6 km/h com incremento de 1,2 km/h a cada 4 minutos; início da recuperação quando o atleta sinaliza que atingiu a exaustão; por último recuperação andando a 6 km/h por 1 minuto, 5 km/h por 1 minuto, e 4 km/h por 2 minutos.

Os dados para o cálculo do consumo de O_2 , produção de CO_2 e ventilação pulmonar foram medidos com o analisador metabólico CPX/Ultima (Medgraphics). Antes de cada teste o equipamento foi calibrado com uma seringa de 3 L para vazão, e com cilindros contendo frações de O_2 e CO_2 conhecidas. Os dados médios obtidos durante o último minuto de cada velocidade foram usados para análise. Durante o exercício o batimento cardíaco foi monitorado com o equipamento Ergo13.

As filmagens foram realizadas com a câmera térmica durante o último minuto de corrida em cada velocidade para aquisição da temperatura superficial da pele (FLIR Câmera modelo E60). A Figura 1 mostra um exemplo de imagem térmica obtida em um dos testes. O cálculo da temperatura média da pele foi baseado na proposta de Houdas e Ring (1982), com correção das regiões de acordo com Choi et al. (1997). Assim foram selecionados 9 pontos do corpo, cada um representativo de uma região.

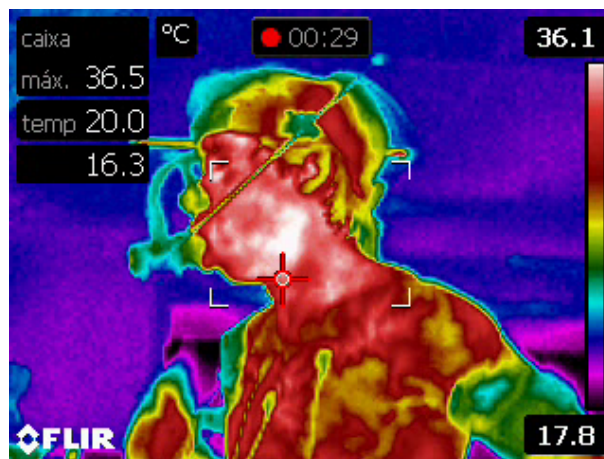


Figura 1: Fotografia térmica durante um teste.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 mostra o metabolismo e a temperatura média da pele. Durante a corrida, o metabolismo tem um aumento quase linear com a velocidade. A variação entre os indivíduos é pequena, como mostra a estreita faixa ao longo dos valores médios, com desvio padrão médio entre as velocidades de 20,8 W/m². A temperatura da pele tem uma variação pequena também entre os indivíduos, com desvio padrão médio de 1,42 °C. A temperatura diminui 2,9 °C desde o início do teste a 31,0 °C até a velocidade de 13,2 km/h. Após este momento, a temperatura sobe um pouco tendendo a uma estabilização.

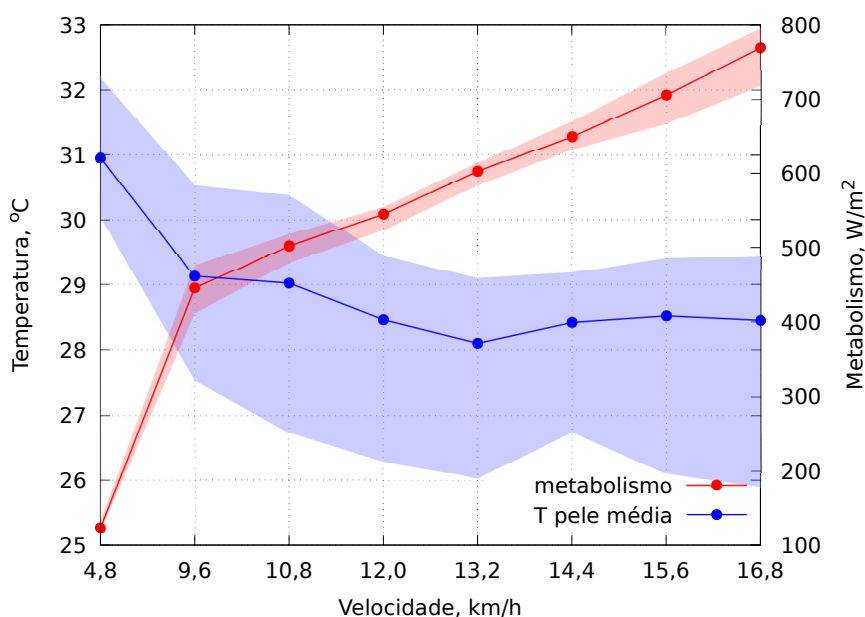


Figura 2: Metabolismo e temperatura média da pele. Os pontos indicam os valores médios dos atletas em cada velocidade, e as faixas coloridas indicam os valores mínimos e máximos. O primeiro ponto foi medido no início do aquecimento, e os outros foram medidos no minuto final de corrida naquela velocidade.

As variações de temperatura da pele de alguns dos membros estão na Figura 3. Os membros mais centrais, como a cabeça e o tronco, têm temperaturas maiores, enquanto as temperaturas são menores para membros mais periféricos do corpo. A circulação sanguínea é um dos principais mecanismos do sistema termorregulador. Na parte central o sangue tem temperatura mais elevada, em uma faixa adequada para o funcionamento dos órgãos. O sangue arterial perde calor conforme se direciona para as extremidades, para o ambiente e para o sangue venoso que está retornando.

No início do teste, a temperatura diminui para todos os casos. O tórax anterior e a mão chegam em um patamar e depois aumentam um pouco até o final do teste. Já a temperatura do antebraço e da canela continuam diminuindo até o final.

Com o aumento da velocidade a transferência de calor total aumenta, mesmo com a diminuição da temperatura da pele. A transferência ocorre pela convecção, radiação, respiração e, principalmente, pela evaporação do suor. Algumas regiões do corpo chegam a ficar saturadas, limitando o efeito da evaporação, que também é influenciada pelo movimento do corpo, se intensificando a cada velocidade. A convecção também aumenta com o movimento. Já a radiação tem uma pequena redução, devido à diminuição da diferença de temperatura com as superfícies vizinhas. A transferência de energia pela respiração aumenta principalmente pelo aumento da ventilação pulmonar ao longo do teste.

Os membros que se movimentam são os que têm a transferência de calor mais intensificada. Esses membros também têm um aumento significativo do metabolismo, mas mesmo assim a intensificação da transferência de calor é suficiente para manter a temperatura diminuindo. As variações de temperatura são pequenas para este tipo de exercício, mostrando que o sistema termorregulador mantém a temperatura da pele sem grandes variações, ao contrário do que ocorre quando o corpo está em ambientes quentes ou frio.

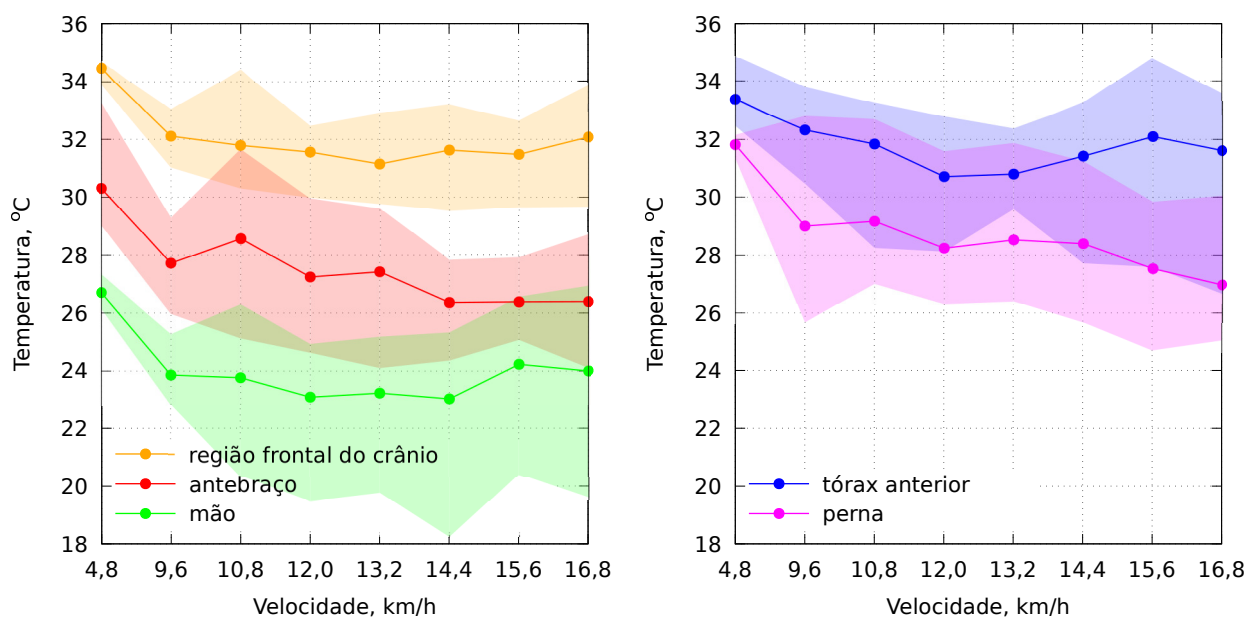


Figura 3: Temperatura da pele de alguns membros do corpo. Os pontos indicam os valores médios dos atletas em cada velocidade, e as faixas coloridas indicam os valores mínimos e máximos. O primeiro ponto foi medido no início do aquecimento, e os outros foram medidos no minuto final de corrida naquela velocidade.

Os resultados obtidos são similares aos obtidos em outros testes incrementais. A diminuição da temperatura durante a corrida em teste incremental foi observada por Merla et al. (2010). Nos testes de Zontak et al. (1998) em bicicleta ergométrica, a temperatura da mão diminuiu ao longo de todo o teste, enquanto no presente trabalho a temperatura da mão diminuiu mas teve um aumento no final. Akimov e Sonkin (2011) observaram que a temperatura da região frontal do crânio em bicicleta ergométrica diminuiu no início do teste, e no final teve aumento para alguns indivíduos e manutenção da queda para outros. No presente trabalho a temperatura diminuiu no início, e teve um pequeno aumento no final do teste.

4. CONCLUSÃO

Neste trabalho foram obtidas as temperaturas da pele dos membros de 4 atletas ao longo de um teste de corrida incremental, usando uma câmera termográfica e um sistema de calorimetria indireta para medição do metabolismo. As principais conclusões foram:

- a temperatura média da pele diminui no início do teste, e aumenta após a velocidade de 13,2 km/h;
- a variação entre os atletas é pequena, com desvio padrão de 1,4 °C;
- o corpo mantém a temperatura da pele com poucas variações ao longo do teste.

5. REFERÊNCIAS

- AKIMOV, E. B.; SONKIN, V. D. Skin temperature and lactate threshold during muscle work in sportsmen. **Fiziologiya Cheloveka**, v. 37, p. 120-128, 2011.
- CHOI, J. K.; MIKI, K.; SAGAWA, S.; SHIRAKI, K. Evaluation of mean skin temperature formulas by infrared thermography. **International Journal of Biometeorology**, v. 41, p. 68-75, 1997.
- FERNANDES, T. L.; NUNES, R. S. S.; ABAD, C. C. C.; SILVA, A. C. B.; SOUZA, L. S.; SILVA, P. R. S.; ALBUQUERQUE, C.; IRIGOYEN, M. C.; HERNANDEZ, A. J. Post-analysis methods for lactate threshold depend on training intensity and aerobic capacity in runners. An experimental laboratory study. **São Paulo Medical Journal**, v. 134, p. 193-198, 2015.
- HILDEBRANDT, C.; RASCHNER, C.; AMMER, K. An overview of recent application of medical infrared thermography in sports medicine in Austria. **Sensors**, v. 10, p. 4700-4715, 2010.
- HOUDAS, Y.; RING E. J. J. Human body temperature, **Plenum Press**, New York, 1982.
- MADY, C. E. K.; ALBUQUERQUE, C.; FERNANDES, T. L.; HERNANDEZ, A. J.; YANAGIHARA, J. I.; SALDIVA, P.; OLIVEIRA JR., S. Exergy performance of human body under physical activities. **Energy**, v. 62, p. 370-378,

2013.

MERLA, A.; MATTEI, P. A.; DONATO, L. DI; ROMANI, G. L. Thermal imaging of cutaneous temperature modifications in runners during graded exercise. **Annals of Biomedical Engineering**, v. 38, p. 158-163, 2010.

TORII, M.; YAMASAKI, M.; SASAKI, T.; NAKAYAMA, H. Fall in skin temperature of exercising man. **British Journal of Sports Medicine**, v. 26, p. 29-32, 1992.

ZONTAK, A.; SIDEMAN, S.; VERBITSKY, O.; BEYAR, R. Dynamic thermography: Analysis of hand temperature during exercise. **Annals of Biomedical Engineering**, v. 26, p. 988-993, 1998.

6. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.