

Evidências da precedência do balanço térmico sobre a estabilização da temperatura corporal interna

Maurício Silva Ferreira, Departamento de Engenharia Mecânica, FEI,
e-mail: mauricio.ferreira@fei.edu.br,

Paulo Eduardo Batista de Mello, Departamento de Engenharia Mecânica, FEI,
e-mail: pmello@fei.edu.br,

Cyro Albuquerque Neto, Departamento de Engenharia Mecânica, Escola Politécnica - USP,
e-mail: cyro.albuquerque@poli.usp.br, home page: <http://www.lete.poli.usp.br>

Jurandir Itizo Yanagihara, Departamento de Engenharia Mecânica, Escola Politécnica - USP,
e-mail: jiy@usp.br, home page: <http://www.lete.poli.usp.br>

Introdução

O sistema termorregulador do corpo humano é responsável pela manutenção da temperatura corporal dentro de limites estreitos. Neurônios sensíveis ao calor e frio estão presentes na pele e no hipotálamo. Os sinais provenientes destas estruturas são combinados e processados para desencadear as respostas fisiológicas cabíveis. Em modelos do sistema termorregulador, a temperatura da pele e uma temperatura interna são comparadas com um valor de referência e as respostas fisiológicas dependem do erro calculado. Webb (1995) defende a teoria alternativa de que na verdade o corpo humano busca satisfazer o balanço térmico, isto é, ajustar o calor perdido para o ambiente com o gerado internamente, e não manter a temperatura interna em um dado valor, esta seria uma consequência. O pesquisador reúne evidências espalhadas na literatura e apresenta resultados experimentais de sua autoria que suportam esta teoria. Em um dos experimentos realizados, indivíduos alternam momentos de exercício físico e descanso, e têm sua temperatura interna, metabolismo e calor perdido para o ambiente medidos. Os resultados mostram que o balanço térmico é atingido antes da estabilização da temperatura retal. Posteriormente, Tikuisis (2003) observou o mesmo fenômeno em experimentos por ele realizados, nos quais seres humanos são imersos em água fria. Diante do exposto, o objetivo do presente trabalho preliminar é verificar, a partir de resultados experimentais encontrados na literatura, se o balanço térmico precede a estabilização da temperatura corporal interna.

Metodologia

O procedimento adotado consiste em, primeiro, a partir de dados experimentais de temperatura interna, superficial e ambiente, umidade relativa e metabolismo encontrados na literatura, realizar um balanço de energia para um volume de controle que envolve o corpo humano. O balanço é dado por:

$$\frac{1}{A_s} \frac{dU}{dt} = M - E - C - R - Q \quad (1)$$

Sendo que A_s é a área superficial do corpo humano, U é sua energia interna, M é a taxa de produção de calor pelo metabolismo, E é a taxa de perda de calor por evaporação, C é a taxa de perda de calor por convecção, R é a taxa de perda de calor por radiação e Q a taxa de perda de calor pela respiração. Todos os termos do segundo membro desta equação estão expressos por unidade de área superficial da pele. A soma do calor transferido por convecção e radiação pode ser obtida a partir da relação:

$$C + R = h(T_{sk} - T_o) \quad (2)$$

Sendo que h é o coeficiente combinado de transferência de calor, T_{sk} é a temperatura média da superfície da pele e T_o é a temperatura operativa.

O calor transferido por evaporação pode ser determinado pela equação:

$$E = h_E(p_{sk} - p_\infty) \quad (3)$$

Sendo que p_{sk} é a pressão de saturação do vapor d'água na superfície da pele e p_∞ é a pressão parcial do vapor d'água no ar. O coeficiente de transferência de calor por evaporação, h_E , pode ser determinado a partir do coeficiente de transferência de calor por convecção, através da analogia entre transferência de calor e massa.

O calor transferido pela respiração pode ser calculado através da Equação 4. É composto por duas parcelas, uma devida ao aumento de umidade do ar expirado em relação ao inspirado e a outra à diferença de temperatura entre o ar inspirado e expirado.

$$Q = m\lambda(\omega_{ex} - \omega_\infty) + mc(T_{ex} - T_\infty) \quad (4)$$

Sendo que m é a ventilação pulmonar, λ é a entalpia de vaporização da água; ω_{ex} é a umidade absoluta do ar expirado; ω_∞ é a umidade absoluta do ar inspirado, c é o calor específico do ar, T_{ex} é a temperatura do ar expirado, T_∞ é a temperatura do ar inspirado. As

condições do ar inspirado são consideradas iguais às do ar ambiente. A ventilação pulmonar, a diferença de umidade e a temperatura do ar expirado podem ser calculadas através das equações apresentadas por Fanger (1967).

Na seqüência, os resultados do balanço em função do tempo são colocados em um gráfico juntamente com os dados de temperatura interna e é verificado qual das grandezas que primeiro estabiliza.

Resultados

A Equação (1) foi aplicada a parte dos resultados experimentais de Stolwijk e Hardy (1966). Os pesquisadores submeteram indivíduos aos ambientes apresentados na Tabela 1 e mediram a temperatura timpânica, retal e da pele em diversas regiões desses. Mediram, também, o metabolismo e o calor perdido por evaporação (inclui a parcela referente à respiração). Como este último foi medido, não há a necessidade de se utilizar a Equação 3 e apenas o último termo do segundo membro da Equação 4 precisa ser calculado. Além disso, com base em suas medições, os pesquisadores determinaram o coeficiente global de transferência de calor, que aparece na Equação 2.

Tabela 1 – Ambiente nas exposições transitórias

Início - Fim (min)	T_o (°C) / ϕ (%)					
	Caso 1		Caso 2		Caso 3	
0 - 60	28,5	40	28	37	28,1	43
60 - 180	37,5	33	42,5	28	47,8	27
180 - 240	28,5	41	28,1	33	28,3	44

Sendo que ϕ é a umidade relativa.

A região de interesse nas Figuras 1 à 3 é aquela que vai dos 60 min aos 180 min. Os intervalos de 60 min no início e fim do experimento são insuficientes para que ocorra a estabilização das temperaturas internas ou da energia interna. Na Figura 1 e 3 observa-se que a diferença entre o calor gerado pelo metabolismo e o calor perdido estabiliza, em um valor próximo de zero, enquanto as temperaturas retal e timpânica continuam aumentando. Os resultados apresentados na Figura 2 são inconclusivos, nem o balanço e nem as temperaturas estabilizaram durante o período, um intervalo de tempo maior seria necessário.

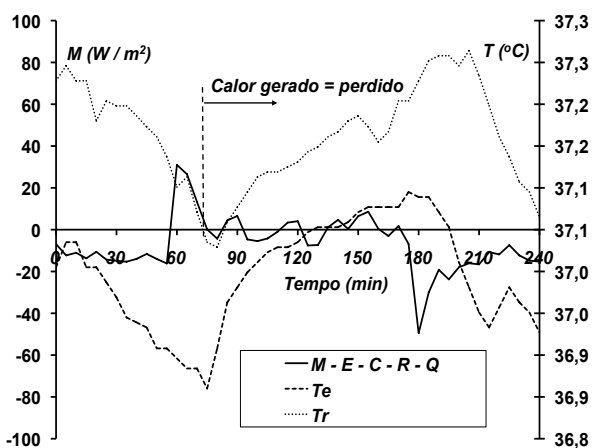


Figura 1: Temperatura retal (T_r), timpânica (T_e) e balanço ($M - E - C - R - Q$) – Caso 1.

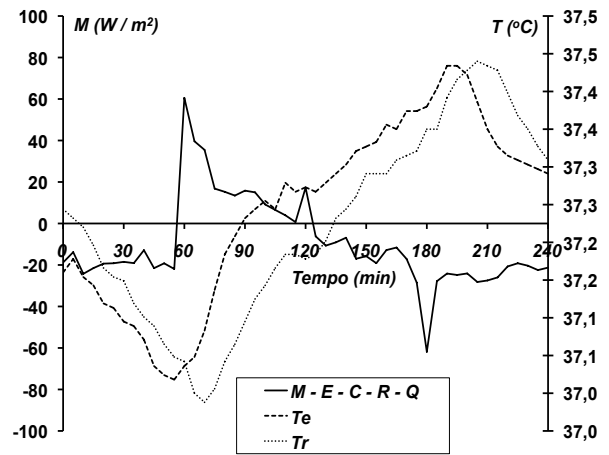


Figura 2: Temperatura retal (T_r), timpânica (T_e) e balanço ($M - E - C - R - Q$) – Caso 2.

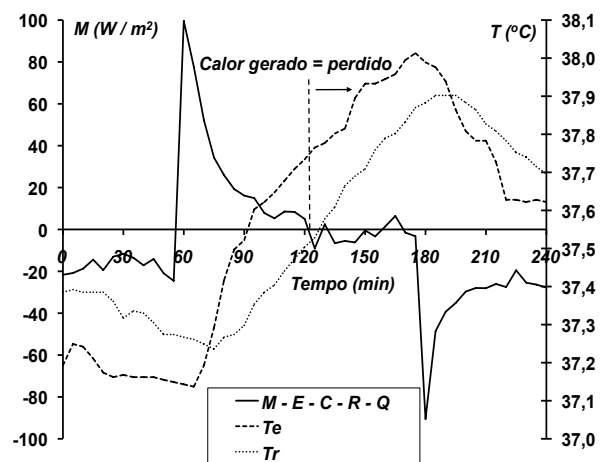


Figura 3: Temperatura retal (T_r), timpânica (T_e) e balanço ($M - E - C - R - Q$) – Caso 3.

Comentários finais

Observou-se em duas análises que o balanço térmico, isto é, o calor gerado menos o perdido, estabiliza antes da temperatura corporal interna, em consonância com outros resultados encontrados na literatura. Pretende-se aplicar esta mesma metodologia a outros resultados experimentais encontrados na literatura.

Referências bibliográficas

Fanger, P. O., Calculation of thermal comfort: introduction of a basic comfort equation. ASHRAE Transactions, v.73, n.2, p.III.4.1-20, 1967.

Stolwijk, J. A. J.; Hardy, J.D., Partitional Calorimetric Studies of Responses of Man to Thermal Transients, Journal of Applied Physiology, v. 21, p. 967-977, 1966.

Tikuisis, P., Heat Balance Precedes Stabilization of Body Temperatures during Cold Water Immersion, Journal of Applied Physiology, v. 95, p. 89-96, 2003.

Webb, P., The Physiology of Heat Regulation, American Journal of Physiology, v. 268, p. 838-850, 1995.