

Influência da exposição ao frio extremo na temperatura interna corporal e na temperatura da pele

Influence of exposure to cold thermal environment on core and skin temperatures

Cardoso, João¹; Oliveira, Joaquim¹; Zlatar, Tomi²; Bustos, Denisse¹; Guedes, Joana¹; Santos Baptista, João¹

¹Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal

²Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco, Brasil

ABSTRACT

Exposure to extreme cold triggers in humans various of physiological responses, which is necessary to control is necessary when it comes to occupational exposure. The objective of the present study was to analyze the evolution of core temperature, mean skin temperature during exposure to extreme cold (-20 °C), with the usual protection for this type of exposure. From a total of 12 healthy individuals using a climatic chamber, intra-abdominal temperature and skin temperature were measured during and after the exposure period. The results demonstrate a decrease in core temperature and mean skin temperature at the initial moments of the test, from an increase to the end of exposure. The choice of individual protective equipment with the appropriate thermal insulation as well as the protection of the extremities is fundamental in order to guarantee the safety and the comfort of the exposed individuals. Further studies should be conducted using larger samples with a greater diversity of individual factors.

Keywords: Extreme cold exposure; frozen industry; core temperature; mean skin temperature; thermoregulation.

1. INTRODUÇÃO

Na indústria alimentar é frequente a utilização de sistemas de refrigeração e congelação com o intuito de conservar alimentos. De acordo com a tendência verificada nos últimos anos, é razoável prever-se um aumento significativo do consumo de bens alimentares que sofram este tipo de processo e, naturalmente, da expansão da indústria de congelados (Balduş et al., 2012). Os trabalhadores cuja a atividade profissional se encontra ligada a este tipo de indústria estão repetidamente expostos a temperaturas muito baixas e, como tal, a riscos que podem concretizar-se em danos sérios na sua saúde (Kim et al., 2007).

As diretrizes e recomendações existentes para a atividade não são específicas ou mesmo coerentes entre si quanto às tarefas, tempos de exposição e de repouso (Zlatar et al., 2017). A investigação levada a cabo nesta área revela-se cara e está, por isso, ao alcance de poucos. Tornam-se assim relevantes os estudos que analisam o nível de exposição ao frio extremo em ambiente controlado e as suas consequências na saúde humana, nomeadamente a evolução dos parâmetros fisiológicos durante a exposição a temperaturas severas, garantindo que os mesmos não atingem os limites definidos como críticos: 36 °C para a temperatura interna corporal (TIC) e 15 °C para a temperatura da pele (com foco nas extremidades das mãos, pés e face)(ISO 9886, 2004).

Assim, pretende-se analisar a evolução da temperatura interna corporal e da temperatura média da pele (incluindo a temperatura das duas extremidades das quais foram recolhidas medições) durante a exposição ao frio severo (-20 °C), em ambiente controlado, comparando os resultados obtidos com as diretrizes estabelecidas na ISO 9886:2004.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Metodologia

O ensaio experimental foi conduzido no Laboratório de Prevenção de Riscos Profissionais e Ambientais (PROA), da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. O estudo foi aprovado pelo Comité de Ética com o número de aprovação: 06/CEUP/2015. Foram realizados exames médicos para todos os participantes no Hospital São João, no Porto, com o objetivo de selecionar para o ensaio indivíduos saudáveis e não portadores de contraindicações médicas, nomeadamente doenças cardíacas, vasculares, respiratórias, gastrointestinais, intolerância ao frio e urticária ao frio, verificando também o histórico de doenças e medicamentos atualmente em uso. Os sujeitos foram informados de todos os detalhes dos procedimentos experimentais, a natureza e finalidade do ensaio, bem como dos possíveis desconfortos e riscos envolvidos. Todos assinaram o consentimento escrito antes da participação no ensaio. A duração do estudo foi de 3 horas divididas em 3 fases: antes da exposição (30 minutos sentados ± 18 °C); fase de exposição (60 minutos a -20 °C com protocolo de tarefas) e fase posterior à exposição (90 minutos sentados a ± 18 °C).

2.2 Materiais e equipamentos

Foi utilizada a câmara climática Fitoclimate 25000EC20, capaz de simular a exposição a temperaturas de -20 °C, vento 0,2 m/s e humidade relativa de 30%, estando equipada com sensores de CO₂ e O₂.

A pílula intrusiva destinada à medição da temperatura intra-abdominal utilizada registou, por meio de sensores térmicos, a TIC. Tanto as pílulas bem como o cinto peitoral (parte integrante do equipamento) foram aprovados pelo Comité de Ética da Universidade do Porto para o projeto. Os sensores iniciaram a transmissão um minuto após a ativação feita pelo comando externo, registando dados a cada 15 segundos para o monitor

EQ02 Life Monitor - Electronics Sensor Module (SEM), que transmitiu os dados via Bluetooth.

A temperatura da pele foi medida utilizando o equipamento BioPlux. Os 8 sensores de medição foram colocados segundo a ISO 9886:2004.

O vestuário de proteção utilizado foi umas calças, casaco com capuz, luvas e botas. Juntamente com a roupa do voluntário, o isolamento térmico do vestuário foi 5,12 clo (calculado com base na ISO 9920:2007).

2.3 Amostra

Os participantes foram 12 homens sem atividade profissional ligada a condições ambientais adversas, saudáveis, com idade média de $23,83 \pm 3,21$ (21 a 33) anos, altura média de $1,78 \pm 0,05$ (1,65 a 1,84) metros e peso médio de $78,15 \pm 8,53$ (62,90 a 86,15) kg.

2.4 Protocolo experimental

Um dia antes do ensaio foi entregue aos participantes a pílula que mede a TIC e dadas as indicações de como e quando a ingerir. O equipamento foi verificado e a câmara climática foi ajustada à temperatura do ar e humidade relativa desejadas.

Na câmara climática existiam quatro pontos principais: A) a mesa em que cada sessão começou e terminou, sobre a qual foram colocadas três caixas de papel (cada uma com peso de 5 kg); uma caixa com 12 papéis amassados e dois pares de garrafas de plástico com bolas de vidro dentro de cada uma (cada par pesando 0,8 kg); B) um armário com três prateleiras em diferentes alturas (prateleira nº1 - 10 cm, prateleira nº3 - 80 e prateleira nº5 - 150 cm do chão); C) um armário com duas prateleiras em diferentes alturas (prateleira nº2 - 45 e prateleira nº4 - 115 cm); e D) parte da câmara com o protocolo experimental para lembrar os voluntários sobre as tarefas que deviam realizar.

Os voluntários foram recebidos às 09:15 e foi imediatamente verificado o funcionamento da pílula medidora da TIC. Em seguida, apenas com roupa interior vestida, a altura e o peso foram medidos, colocados os sensores de medição da temperatura da pele do equipamento Bioplux e o cinto peitoral contendo o equipamento Equivital que permitiu a medição da TIC. Posteriormente, os participantes vestiram meias, calças, e duas camisolas (a última de manga comprida). O equipamento foi ligado e a gravação iniciou pelo menos 20 minutos antes da entrada na câmara climática. Em seguida, os voluntários sentaram-se, preencheram um questionário de estilo de vida geral e foi-lhes explicado o protocolo experimental com as tarefas a realizar no interior da câmara climática. Para além das roupas antes mencionadas, 5 minutos antes da entrada na câmara climática, os voluntários vestiram as calças e casaco de proteção do frio com capuz, botas e luvas, deixando descoberta apenas a parte dos olhos e nariz.

Dentro da câmara climática os voluntários seguiram o seguinte protocolo:

- Responder ao questionário de sensação térmica
- Caminhar e aquecer as mãos (sempre por fricção) durante 1 minuto

- Colocar 4 papéis em cada caixa e a seguir fecha-la
- Colocar as caixas individualmente na posição 1
- Descansar 1 minuto aquecendo as mãos
- Colocar as caixas individualmente da posição 1 para a 2 e assim sucessivamente até à posição 5 com pausas entre operações de 5 segundos
- Descansar 1 minuto enquanto se aquece as mãos
- Executar o jogo das garrafas e das bolas de vidro (agitar) 10 vezes.
- Descansar 1 minuto enquanto se aquece as mãos
- Colocar as caixas individualmente da posição 5 para 4 e assim sucessivamente até à posição 1 com pausas entre as operações de 5 segundos (aquecendo as mãos)
- Descansar 1 minuto aquecendo as mãos
- Colocar as caixas da posição 1 na mesa
- Abrir as caixas e retirar os papéis individualmente das caixas para a posição inicial
- Caminhar e aquecer as mãos durante 1 minuto

O protocolo teve duração de 20 minutos sendo repetido 3 vezes consecutivas com exceção da última, em que o procedimento foi terminado com o questionário de sensação térmica.

Após os 60 minutos de exposição os voluntários abandonaram a câmara climática e despiram a roupa de proteção do frio. Durante o tempo de recuperação os voluntários não ingeriram nenhum tipo de alimento ou bebida nem se deslocaram para ir a casa de banho, tendo permanecido sentados.

2.5 Tratamento de dados

Os dados obtidos foram processados por um algoritmo desenvolvido usando Pandas, uma biblioteca do Python 3.6 para análise de dados e estatística.

O algoritmo processou os dados dos arquivos em Excel obtidos do Equivital (efetuou 4 medições por minuto) e Bioplux (número de medições por minuto variável) e usou esses dados como parâmetros de entrada. Inicialmente, ele uniformizou os valores recebidos para uma frequência de minutos (escolheu-se fazê-lo minuto a minuto, calculando a média das medições) e exportou-os para um novo arquivo Excel com o nome "Resultados".

De seguida, apresentou informações analíticas gráficas em 2 gráficos gerados em formato png: um exibe valores de TIC e TMP (temperatura média da pele) e outro da TMP, temperatura da mão esquerda e temperatura da pele da testa

3. RESULTADOS

Na figura 1 encontram-se ilustrados os valores médios da TIC e TMP, enquanto na figura 2 a temperatura da mão e testa.

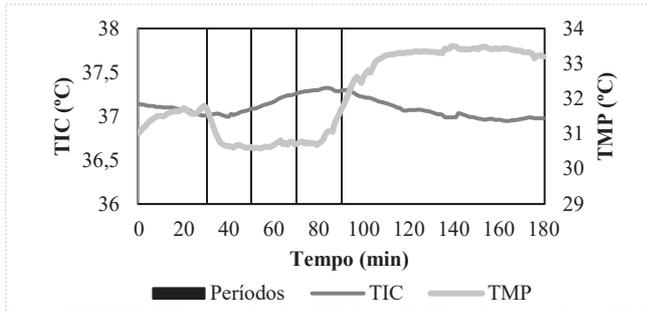


Fig. 1 - Evolução da TIC e da TMP

A TMP decresceu dos 31,74°C (imediatamente antes da exposição ao frio) até aos 30,58°C (após 24 minutos de exposição). Aumentou, posteriormente, até à saída da câmara climática (31,70°C). Após 1 minuto de repouso, a TMP atingiu o valor registado antes da exposição ao frio, continuando a crescer até ao término do ensaio.

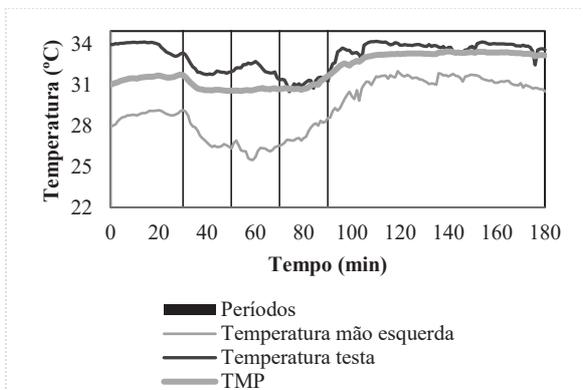


Fig. 2 - Evolução da TMP e das Temperaturas da Mão Esquerda e Testa

A temperatura da mão esquerda decresceu entre o momento antes da entrada da câmara (29,16°C) e o momento de saída da câmara (28,60°C), atingindo o mínimo (25,49°C) após 29 minutos de exposição ao frio. Após 3 minutos de repouso o valor da temperatura da mão esquerda voltou igualar o valor registado antes da exposição, aumentando ainda durante o período de repouso.

A temperatura da testa decresceu durante o período de exposição ao frio até ao valor mínimo 30,78°C após 54 minutos de exposição ao frio registando, posteriormente, um aumento até aos 31,28°C, altura em que o voluntário abandonou a câmara climática. A temperatura registada antes da exposição ao frio (33,40°C) foi atingida quatro minutos após a saída da câmara climática.

4. DISCUSSÃO

A ISO 9886:2004 considera a temperatura intra-abdominal independente da temperatura ambiente e, por isso, válida para a obtenção da TIC.

No presente estudo foi utilizada a temperatura intra-abdominal para a obtenção da TIC. Verificou-se a sua diminuição nos primeiros momentos de exposição, aumentando até à saída da câmara climática. Tal poderá ser explicado pelo trabalho efetuado no interior da câmara climática e conseqüente aumento da taxa metabólica

(Mäkinen et al., 2001; Kim et al., 2007) bem como pelo fenómeno da vasoconstrição, que leva ao aumento da concentração sanguínea junto dos órgãos vitais, de forma a garantir o seu funcionamento (Charkoudian, 2010). Comparativamente ao estudo levado a cabo por Kim et al. (2007), na sua investigação sobre respostas fisiológicas e performance no manuseamento manual de cargas com diferentes pesos (sem carga, 9kg e 18kg) em ambientes de frio extremo (a -25 °C durante períodos de 30 minutos), a TIC retal diminuiu 1,1 °C, 0,8 °C e 0,6 °C, respetivamente. A ativação dos músculos dos membros inferiores e a conseqüente produção de calor influencia a TIC quando esta é obtida através da temperatura retal, que aumenta quanto maior for a exigência do exercício, não sendo independente do ambiente.

O isolamento conferido pelo vestuário poderá também ter influenciado o aumento da TIC. Após o cálculo do índice de isolamento térmico do vestuário requerido para a tarefa, segundo a ISO 11079:2007, concluiu-se que um isolamento entre 3,0 e 3,4 clo seria o adequado (utilizou-se 5,12 clo). A variação da TIC dos voluntários durante a exposição ao frio não foi suficiente para atingir o limite mínimo referido na ISO 9886:2004, constando-se que, ao invés de se registar uma diminuição da TIC após a exposição (como a maioria da literatura indica), registou-se um aumento da mesma. Durante o período de repouso, em que os voluntários permaneceram sentados a temperatura confortável, a TIC diminuiu, sendo possível estabelecer-se uma relação entre o aumento da TIC e a exigência da atividade física durante a exposição.

Os voluntários tiveram de se despir para a colocação dos sensores de medição. Uma vez que grande parte da investigação foi levada a cabo no período de Inverno (embora a sala estivesse a uma temperatura confortável) é possível verificar uma descida da TMP na parte inicial do ensaio e um aumento momentos antes da entrada na câmara climática, altura em que os voluntários vestem o equipamento de proteção.

Durante a exposição ao frio a TMP decresceu durante os primeiros 24 minutos, aumentando até à saída da câmara climática. Kim et al. (2007), na sua investigação sobre respostas fisiológicas e performance no manuseamento manual de cargas em ambientes de frio extremo (-25°C durante e períodos de 30 minutos), obteve uma descida da TMP (medida em 12 pontos diferentes) entre os seus voluntários de aproximadamente 2 °C (com cargas de 9kg), diferente da diminuição média da TMP dos voluntários do presente estudo (1,16°C). Numa outra investigação realizada por Renberg et al. (2015), que pretendeu investigar o efeito real da exposição ao frio (5 °C e -15°C) na atividade muscular, a TMP decresceu 2,7 °C (em ambas as temperaturas de exposição). O decréscimo é substancialmente maior do que o obtido na presente investigação. As diferenças poderão residir no tempo de exposição maior (2 horas), no tipo de vestuário utilizado (não referido), no tipo de atividade efetuada ou nas características individuais dos voluntários. Foi notório, após a saída da câmara climática, o suor na testa e em partes corporais mais protegidas como o tronco, evidenciando que o excesso de isolamento poderá levar à

transpiração e vasodilatação, causando perdas de calor que podem revelar-se perigosas para a termorregulação dos trabalhadores durante a exposição ao frio (Pozos & Danzl, 2002). Mais uma vez, o excesso de equipamento poderá ter contribuído para as diferenças nos resultados comparativamente a outros estudos. O uso de equipamento em excesso revela-se, assim, desaconselhado e perigoso, particularmente em exposições mais prolongadas (Pozos & Danzl, 2002).

Relativamente ao tempo de recuperação da TMP, 1 minuto foi suficiente para que os valores iniciais fossem repostos.

No que concerne à temperatura da mão esquerda, durante a exposição ao frio, os voluntários terminaram com uma temperatura menor que a registada na temperatura de conforto. A temperatura mais baixa registada pelos voluntários foi 20,01 °C, nunca se aproximando dos 15 °C, limite mínimo definido pela ISO 9886:2004. Na investigação de Gao et al. (2015), com o objetivo de validar e comparar duas normas no que diz respeito à avaliação do conforto térmico para equipamento de proteção no frio a temperaturas de 3,4 °C e -30,6 °C e a taxas metabólicas de 2MET e 4MET, temperaturas de mãos de 15 °C foram atingidas quando os voluntários usaram luvas finas. Quando os voluntários usaram luvas adequadas ao trabalho no frio, a temperatura da mão esquerda não baixou dos 20 °C. Na investigação levada a cabo por Zlatar (2017), a exposição a ar frio (-25 °C) ou o contacto com objetos frios causou o decréscimo de 10 °C da temperatura da mão em apenas ±2 minutos, demonstrando que a temperatura das extremidades varia de forma frequente, rápida e abrupta, ressaltando a importância do uso de equipamento de proteção individual adequado às condições ambientais de trabalho. Neste contexto, e tendo em conta a comparação dos resultados de outras investigações com as do presente estudo, o arrefecimento local será o principal critério de limite.

Durante a fase de repouso, foram suficientes 3 minutos para que os as mãos dos voluntários retomassem os valores de temperatura registados antes da exposição ao frio.

A temperatura da pele da testa decresceu durante a exposição ao frio. Na investigação de Li et al. (2009), variações de -3,5±0,7 °C e -3,6±1,0 °C foram registadas quando os voluntários usavam proteção na cabeça (gorro) durante o período de exposição e de -8,8±2,1 °C e -8,7±1,5 °C quando os voluntários não usaram proteção na cabeça durante o período de exposição. Na presente investigação, os voluntários permaneceram na câmara climática com o carapuço colocado. Verificou-se que as variações de temperatura foram menores que as do estudo antes mencionado, uma vez que o carapuço oferece maior grau de proteção que o gorro. A superfície da testa é uma parte importante no processo de termorregulação, uma vez que regista taxas de sudação maiores que outras zonas do corpo (Nagashima et al., 2012). A ocorrência ocasional de suor na testa dos voluntários reitera a possibilidade de o isolamento do vestuário não ter sido o

adequado, dada a resposta fisiológica verificada e a necessidade de perda de calor por parte dos voluntários.

Os voluntários recuperaram a temperatura da pele da testa registada antes da exposição 4 minutos após a exposição. Os tempos de recuperação da temperatura das extremidades, neste caso a testa e a mão esquerda que, por sofrerem variações maiores, demoram também mais a retomar os valores iniciais, devem ser tidos como critério crítico na decisão dos tempos de pausa dos trabalhadores.

5. CONCLUSÕES

A exposição ao frio extremo implica várias respostas fisiológicas do corpo humano que devem ser estudadas com o objetivo de definir limites de exposição seguros.

No presente estudo, foi investigada a evolução da TIC e da TMP durante a exposição ao frio com proteção individual usual, bem como o tempo decorrido até ao regresso aos valores iniciais. Concluiu-se que, em situação de trabalho durante a exposição ao frio extremo, em indivíduos saudáveis, a TIC e a TMP decrescem nos primeiros momentos da exposição e que, com o aumento da taxa metabólica, aumentam até ao término da exposição. Foi necessário 1 minuto de repouso para a TMP retomar os valores iniciais. A TIC não necessitou de tempo de recuperação. Nenhum dos parâmetros atingiu valores próximos dos limites estabelecidos, sendo sempre obtidos valores em intervalos aceitáveis.

As temperaturas das extremidades variam de forma mais abrupta e num período de tempo mais curto comparativamente aos restantes parâmetros fisiológicos, podendo este ser considerado como critério crítico quando é utilizado EPI adequado à exposição.

O cálculo do isolamento do vestuário requerido é fundamental para a escolha do equipamento de proteção e, conseqüentemente, para a preservação da saúde dos indivíduos expostos ao frio.

6. REFERÊNCIAS

- Baldus, S., Kluth, K., & Strasser, H. (2012). Order-picking in deep cold - Physiological responses of younger and older females. Part 2: Body core temperature and skin surface temperature. *Work*, 41(SUPPL.1), 3010–3017. <http://doi.org/10.3233/WOR-2012-0557-3010>
- Charkoudian, N. (2010). Mechanisms and modifiers of reflex induced cutaneous vasodilation and vasoconstriction in humans. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 109(4), 1221–1228. <http://doi.org/10.1152/jappphysiol.00298.2010>
- Gao, C., Lin, L. Y., Halder, A., Kuklane, K., & Holmér, I. (2015). Validation of standard ASTM F2732 and comparison with ISO 11079 with respect to comfort temperature ratings for cold protective clothing. *Applied Ergonomics*, 46(Part A), 44–53. <http://doi.org/10.1016/j.apergo.2014.07.002>
- ISO 11079. (2007). Ergonomics of the thermal environment – Determination and interpretation of cold stress when using required clothing insulation (IREQ) and local cooling effects. *Euro Code SS-EN-1191-2*, (138227).
- ISO 9886: (2004). Ergonomics - evaluation of thermal strain by physiological measurements. *International Standards Organisation*.
- ISO 9920. (2007). Ergonomics of the thermal environment — Estimation of thermal insulation and water vapour resistance

- of a clothing ensemble. *ISO*. <http://doi.org/10.1007/s11367-011-0297-3>
- Kim, T. G., Tochihara, Y., Fujita, M., & Hashiguchi, N. (2007). Physiological responses and performance of loading work in a severely cold environment. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 37(9–10), 725–732. <http://doi.org/10.1016/j.ergon.2007.05.009>
- Li, Y., Alshaer, H., & Fernie, G. (2009). Blood pressure and thermal responses to repeated whole body cold exposure: Effect of winter clothing. *European Journal of Applied Physiology*, 107(6), 673–685. <http://doi.org/10.1007/s00421-009-1176-5>
- Mäkinen, T. T., Gavhed, D., Holmér, I., & Rintamäki, H. (2001). Effects of metabolic rate on thermal responses at different air velocities in -10 degrees C. *Comparative Biochemistry and Physiology. Part A, Molecular & Integrative Physiology*, 128(4), 759–768. [http://doi.org/10.1016/S1095-6433\(01\)00281-1](http://doi.org/10.1016/S1095-6433(01)00281-1)
- Nagashima, K., Tokizawa, K., Uchida, Y., Nakamura-Matsuda, M., & Lin, C.-H. (2012). Exercise and thermoregulation. *The Journal of Physical Fitness and Sports Medicine*, 1(1), 73–82. <http://doi.org/10.7600/jpfs.1.73>
- Pozos, R. S., & Danzl, D. F. (2002). Chapter 11 Human Physiological Responses to cold stress and Hypothermia. *Medical Aspects of Harsh Environments, Volume 1*, 351–382.
- Renberg, J., Stranna Tvetene, P., Wiggen, Ø., Roeleveld, K., Beekvelt, M., & Færevik, H. (2015). Muscle activity during simulated work in the cold. *Extreme Physiology & Medicine*, 4(Suppl 1), A113. <http://doi.org/10.1186/2046-7648-4-S1-A113>
- Zlatar, T. (2017). *Influence of Severe Cold Thermal Environment on Core and Skin Temperatures On Occupational Environment On Core And Skin*. FEUP.
- Zlatar, T., Pereira Cardoso, J., Oliveira, J., Torres Costa, J., Vaz, M., & Santos Baptista, J. (2017). Evaluation on legislation and standards for working in severe cold thermal environment. *International Symposium on Occupational Safety and Hygiene*.