

Influência do frio extremo na temperatura interna corporal, na pressão arterial sanguínea e frequência cardíaca

Influence of cold thermal environment on core temperature, blood pressure and heart rate

Oliveira F. Joaquim¹; Cardoso, João¹; 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

Severe cold exposure is a significant risk factor in the frozen food industry, influencing the health and safety of employees. The objective of this work is to verify the influence of the severe cold exposure, using personal protective equipment similar to those used in industry, on physiological parameters such as blood pressure, heart rate and core temperature. Twelve non-acclimatized male volunteers (mean \pm SD) were selected: age 24 ± 3.09 years and exposed for 60 minutes in a climatic chamber at -20°C with protective clothing. During the exhibition, they simulated activities usually developed in the frozen industry such as ordering boxes on shelves. Core temperature was recorded through intra-abdominal temperature using an Equivital Ingestible Tablet Sensor (telemetry thermometer). The results showed increases in systolic blood pressure and heart rate, moments after the end of severe cold exposure. On the other hand, diastolic blood pressure showed on average a decrease 6 mmHg. Core temperature, despite a decrease in the initial minutes of exposure, increased by an average of 0.28°C by the end of the trial. It was concluded that clothing and physical activity increase core temperature even in extreme cold situations. Therefore, consideration of these parameters should be the starting point for an adequate evaluation and management of risks of work in these circumstances.

Keywords: Exposição a frio; Temperatura interna corporal, Pressão arterial, Frequência cardíaca, Termorregulação.

1. INTRODUÇÃO

Em contexto ocupacional, a exposição ao frio poderá ocorrer em tarefas realizadas no ambiente exterior ou em espaços fechados. Nestes últimos, em tarefas que envolvam imersão em água a baixa temperatura ou no contacto com objetos, como é o caso das indústrias alimentares devido à necessidade de conservar os alimentos a temperaturas baixas (entre 0°C e 10°C para a refrigeração e -20°C ou menos para a congelação) (Mäkinen & Hassi, 2009). Nestas tarefas as sensações desagradáveis e desconforto térmico são constantes. O desconforto pode ser um fator de distração, o que reduz o desempenho de tarefas que requerem concentração e vigilância aumentando, desse modo, o risco de acidentes de trabalho e lesões (Mäkinen & Hassi, 2009).

A exposição continuada poderá resultar em lesões corporais e patologias tais como a hipotermia, o congelamento, o pé-de-imersão, as frieiras e a doença de Raynaud (Biem et al., 2003; Sutton, 2015).

De acordo alguns estudos experimentais com práticas de exposição ao frio severo (EFS) verifica-se a tendência geral de aumento da pressão arterial (PA) e a estimulação do sistema nervoso simpático (Li, Alshaer, & Fernie, 2009; Komulainen et al., 2004). Também a frequência cardíaca (FC) sofre flutuações constantes, determinadas pela ativação e/ou inibição simpática e parassimpática (Hainsworth, 1991). Para além disso, tanto a temperatura interna corporal (TIC) bem como a temperatura da pele tendem a diminuir em EFS, registando-se também um decréscimo na performance muscular e um aumento na fadiga (T Zlatar, Baptista, & Costa, 2015).

Existem organizações que fornecem diretrizes para o trabalho no frio. A International Standard Organization (ISO) fornece, através da ISO 15743:2008, recomendações

sobre a avaliação de risco e saúde em ambientes frios e medidas preventivas e organizacionais. Contudo, de forma muito genérica. Na ISO 9886:2004 encontram-se restrições aos limites fisiológicos relativos à TIC que deve ser mantida a, no mínimo, $36,00^{\circ}\text{C}$. As recomendações mais detalhadas encontradas são a regulamentação da Organização de Alimentação e Agricultura do Reino Unido (FAO) que fornece recomendações para o trabalho a temperaturas abaixo de $-20,00^{\circ}\text{C}$ (Johnston et al., 1994). Todavia, na sua maioria, as recomendações são efetuadas de forma geral, não contemplando aspetos fundamentais como, por exemplo, períodos de exposição e de repouso, atividade desempenhada ou um intervalo de temperaturas suficientemente abrangente. Tornam-se assim relevantes os estudos que analisam o nível de exposição ao frio severo em ambiente controlado e as suas consequências na saúde humana.

Com o objetivo de fornecer contributo científico sobre a temática, levou-se a cabo o estudo da evolução TIC durante a EFS e alteração do estado da pressão arterial (PA) e da FC após a exposição às mesmas condições.

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 Comitê de Ética. Foram realizados exames médicos a todos os participantes no Hospital São João, no Porto, com o objetivo de selecionar indivíduos saudáveis e não portadores de contraindicações médicas para o ensaio, nomeadamente doenças cardíacas, vasculares, respiratórias, gastrointestinais, intolerância ao frio, urticária fria, histórico de doenças e medicamentos

atualmente em uso. Os sujeitos foram informados de todos os detalhes dos procedimentos experimentais, bem como dos possíveis desconfortos e riscos envolvidos. Todos assinaram o consentimento escrito antes da participação no ensaio.

A duração do estudo foi de 180 minutos divididos em 3 fases: antes da EFS (30 minutos sentados a 18 °C); fase de EFS (60 minutos a -20 °C com atividades definidas num protocolo de tarefas) e fase posterior à EFS (90 minutos sentados a 18 °C).

2.2. *Materiais e equipamentos*

Foi utilizada a câmara climática Fitoclíma 25000EC20, capaz de simular a exposição a temperaturas de -20°C e humidade relativa de 0%, equipada com sensores de CO₂ e O₂.

A pílula intrusiva (de dimensões de 8,7 mm de diâmetro e 23 mm de comprimento, 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 transmite os dados via Bluetooth.

A PA e a FC foi medida pelo OMRON M10-IT Intellisense Monitor no braço superior esquerdo.

2.3. *Caracterização da amostra*

Os participantes foram 12 homens saudáveis com idade média de 24±3,09 anos, altura média de 178,19±7,83 cm, peso médio de 77,24±7,14 kg e índice massa corporal médio de 24,27±1,86 kg/m². Encontraram-se expostos a uma temperatura de -20 ° C, sem processo de aclimatização. A média da temperatura do ar nas condições de conforto foi de 18±1,13°C, a qual todos os participantes consideraram como agradável.

2.4. *Protocolo experimental*

Um dia antes do ensaio foi entregue aos participantes a pílula que controla a TIC e dadas as indicações de como e quando a ingerir. Na câmara climática existiam quatro pontos principais: i) a mesa em que cada sessão começou e terminou, sobre a qual foram colocadas três caixas de papel A4 padrão (cada uma pesando 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); ii) um armário com três prateleiras em diferentes alturas (prateleira nº1 - 10 cm, prateleira nº3 - 80 e prateleira nº5 - 150 cm do chão); iii) um armário com duas prateleiras em diferentes alturas (prateleira nº2 - 45 e prateleira nº4 - 115 cm); e iv) parte da câmara com o protocolo experimental para lembrar os voluntários sobre as tarefas que deviam realizar.

No dia do ensaio, 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 e foi

colocado 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) com isolamento total estimado de 0,67 clo baseado na EN 324:2004. Decorreram 30 minutos até a entrada na câmara climática. Os voluntários sentaram-se e preencheram um questionário de estilo de vida geral, onde os dados serão utilizados em estudos futuros e o protocolo experimental foi explicado. Dez minutos antes de entrarem na câmara climática, a PA foi medida por 3 vezes consecutivas com uma pausa entre as medições de 15 segundos, registando-se o valor médio da pressão arterial sistólica (PAS) e diastólica (PAD). 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 perfazendo um isolamento total de 5,12 clo.

Dentro da câmara climática os voluntários seguiram o seguinte protocolo:

1. Responder ao questionário de sensação térmica;
2. Caminhar e aquecer as mãos durante 1 minuto
3. Colocar 4 papéis em cada caixa e a seguir fecha-la
4. Colocar as caixas individualmente na posição 1
5. Descansar 1 minuto aquecendo as mãos
6. Colocar as caixas individualmente da posição 1 para a 2 e assim sucessivamente até à posição 5 com pausas entre operações de 5 segundos (aquecendo as mãos)
7. Descansar 1 minuto enquanto se aquece as mãos
8. Executar o jogo das garrafas e das bolas de vidro (agitar) 10 vezes.
9. Descansar 1 minuto enquanto se aquece as mãos
10. Colocar as caixas individualmente da posição 5 para a 4 e assim sucessivamente até à posição 1 com pausas entre as operações de 5 segundos (aquecendo as mãos)
11. Descansar 1 minuto aquecendo as mãos
12. Colocar as caixas da posição 1 na mesa
13. Abrir as caixas e retirar os papéis individualmente das caixas para a posição inicial
14. Caminhar e aquecer as mãos durante um 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 sensibilidade térmica. Decorridos os 60 minutos de exposição, os voluntários despem a roupa de proteção contra o frio, sendo registada a PA aos 5, 15, 30, 60 e 90 minutos do período de recuperação. Durante este tempo os voluntários não ingeriram nenhum tipo de alimento ou bebida nem se deslocaram para ir a casa de banho, tendo permanecido sentados.

2.5. *Isolamento térmico requerido e taxa metabólica:*

O índice de isolamento térmico do vestuário requerido (IREQ) foi determinado com base na ISO 11079:2007. A avaliação do metabolismo na EFS fez-se com base na ISO 8996:2004. Para a taxa metabólica média do protocolo (100W/m²) o IREQ obtido foi de 4,1 a 4,5 clo.

2.6. Tratamento de dados;

Os dados foram extraídos diretamente dos equipamentos e tratados com recurso ao Excel. Para a criação de gráficos, os dados obtidos foram processados por um algoritmo desenvolvido usando Pandas, uma biblioteca do Python 3.6 para análise de dados e estatística.

3. RESULTADOS

A tabela 1 apresenta os valores médios obtidos da PA e FC. O gráfico 1 ilustra a evolução da média da TIC, PA e FC ao longo do período do ensaio. O valor médio da TIC na entrada para a câmara climática foi de 37,01°C elevando-se em 0,28°C no término da EFS. Na PA verificou-se em média aumentos na PAS e diminuição da PAD após a EFS. No período de recuperação os valores médios da PAS voltam a descer e da PAD a elevar-se. Na FC verificou-se em média o aumento após a EFS.

4. DISCUSSÃO

O funcionamento adequado do corpo está dependente de uma TIC entre 36,50 a 38,50 °C (Moran et al. 2015). A Organização Internacional de Normalização estabelece um limiar inferior para a TIC de 36, 00°C (ISO 9886, 2004). Neste estudo, em nenhum momento se verificou temperaturas desenhadas deste intervalo.

No estudo realizado, o valor médio da TIC diminui nos primeiros momentos de exposição, todavia no final da EFS o valor obtido é superior ao inicial. Comparativamente com a literatura consultada os resultados são díspares, no entanto alguns fatores devem ser considerados.

Tabela 1 - Resultados da PAS, PAD e FC

Tempo (min)	PAS (mmHg)	PAD (mmHg)	FC (bpm)
20	117,1 ± 8,7	74,9 ± 8,7	66,7 ± 9,7
95	119,4 ± 14,7	68,9 ± 10,7	75,6 ± 7,6
105	116,7 ± 14,2	71,8 ± 9,3	74,1 ± 9,7
120	114,7 ± 12,3	69,8 ± 10,3	70,8 ± 8,4
150	107,8 ± 12,4	72,6 ± 8,5	69,6 ± 7,2
180	110,9 ± 12,3	72,3 ± 7,8	66,3 ± 11,1

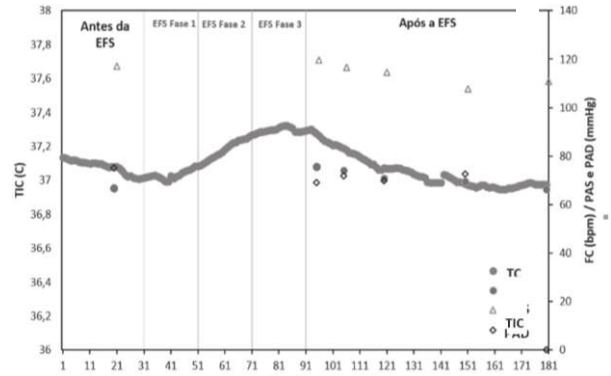


Gráfico 1. Evolução da TIC, PA e FC ao longo do ensaio.

Kluth et al. (2013), num estudo de 80 minutos de exposição a -24,00°C, de protocolo semelhante averiguou através da temperatura do tímpano, o decréscimo da TIC de 1,30°C nos sujeitos mais jovens e de 2,00°C nos mais velhos, quando comparadas com os valores iniciais (36,60°C e 36,90° respetivamente). Impacto semelhante na TIC (medida no reto) teve uma outra investigação com descidas de 0,11°C e 0,05°C na EFS quando confrontadas com as temperaturas iniciais de 37,55°C e 37,22°C (Daanen, 2009). Todavia o método de obtenção do valor da TIC é relevante, uma vez que apenas a temperatura intra-abdominal é considerada independente da temperatura ambiente para obtenção da TIC (ISO 9886:2004), situação não verificada nos estudos anteriormente citados.

O aumento da TIC no final da EFS pode igualmente ser explicado pelo trabalho efetuado dentro da câmara climática e pelo vestuário utilizado. Os humanos produzem calor internamente para regular a TIC, utilizando um balanço na produção, absorção e perda de calor. A homeostasia torna-se mais evidente durante a prática de exercício físico (Carvalho, 2010). As atividades de protocolo desempenhadas na EFS acarretam um incremento da taxa metabólica (Mäkinen et al., 2001; Kim et al., 2007) o que associado ao isolamento do vestuário utilizado de 5,12 clo face a 4,1 clo requerido, pode justificar a aumento registado na TIC. Aliás, apesar de não se atestarem aumentos, um número suficiente de resultados de estudos científicos (Boennemark et al., 1969; Forsthoft, 1983; Veghte & Clogston, 1961) mostram que quedas substanciais da TIC mesmo a temperaturas extremamente baixas podem ser evitadas através de um aumento do desempenho do trabalho e / ou através de um aumento adaptado no isolamento das roupas de proteção contra o frio. Assim, a diminuição da TIC nos primeiros 10 minutos de EFS deveu-se possivelmente ao impacto inicial adaptativo do corpo às novas condições de temperatura resultando numa reação de vasoconstrição periférica. Com o avançar do protocolo e consequentemente o aumento da atividade física, surge um incremento da produção de calor metabólico (Nisha Charkoudian, 2010). Na saída da EFS, com a paragem da atividade física (voluntários na posição sentada) e um isolamento do vestuário menor (0,67 clo) a TIC volta a baixar. No que respeita a PA em nenhum momento se verificou valores desenhados dos considerados padrão, PAS de ≤120 mmHg e PAD <80

mmHg (George, 2013). O valor médio da PAS aumentou logo após o final da EFS enquanto a PAD registou uma diminuição.

Numa investigação anterior, realizada por Kluth et al. (2011), onde foram medidos os valores de PA durante exposições repetidas ao frio extremo (80 min a -24,00°C, 100 min -24,00°C, 120 min -24,00°C, com pausas entre exposições de 20 min a 20,00°C), foi detetado o aumento de 15 mmHg e 6 mmHg da PAS e PAD, respetivamente, quando comparado com os valores registados em temperatura de conforto. No estudo de Li et al. (2009), onde foram testados vários níveis de equipamento para uma exposição repetida durante 15 minutos a -5,80°C, com velocidade do ar menor que 0,20 m/s e humidade relativa 25±6%, foram registados aumentos de 8,1 mmHg e 6,8mmHg da PAS e PAD, respetivamente, em indivíduos que utilizaram o equipamento completo com a cabeça protegida.

Os resultados da presente investigação diferem dos anteriormente confrontados, verificando-se apenas o aumento da PAS, todavia em menor escala. Segundo Pozos & Danzl (2002), a resposta fisiológica relacionada com o aumento da PA é verificada apenas quando a TIC decresce até aos 36,00°C, o que nunca aconteceu no presente estudo. Kluth et al. (2011), refere ainda que variações de ±10 mmHg que não estão relacionadas com o trabalho no frio são comuns. De facto e apesar de referenciado na generalidade das investigações realizadas, onde a EFS traduz-se num aumento da PA resultado da vasoconstrição periférica (Li et al. 2009; Komulainen et al. 2004), no presente estudo, esse cenário parece só ocorrer nos minutos iniciais, sendo que na saída da câmara climática sinais de sudação foram notados em alguns voluntários, o que reforça ainda mais valor obtido para o IREQ.

Na FC, considerando a exigência física do protocolo e adição do peso da roupa de proteção ao frio, o aumento era expectável. A alteração do estado de repouso (posição sentada) nas condições de conforto para movimento na EFS é provavelmente o fator mais decisivo para o aumento da FC e da TIC. Assim que se verifica a interrupção da EFS ocorre o fim da exigência física e a alteração parcial do vestuário dando-se uma queda na FC e da TIC, uma vez que o corpo não está em movimento e nem têm a necessidade de produzir calor adicional. Estas conclusões são suportados por um estudo de protocolo semelhante em condições de frio severo, onde se verificou aumentos da FC na ordem dos 8,0 bpm (Kluth et al. (2013)).

5. CONCLUSÕES

A exposição ao frio desencadeia várias reações fisiológicas que podem afetar a saúde, nomeadamente a nível de doenças cardiovasculares e queixas músculoesqueléticas. A exigência física do protocolo e o isolamento do vestuário levaram a aumentos da TIC no frio. Apesar de uma diminuição nos minutos iniciais de exposição, esta elevou-se em média 0,28°C. A PAS assinalou em média um aumento de 2,3 mmHg enquanto que a PAD diminuiu em média 6,0 mmHg. Os valores da FC no 1º momento de medição pós exposição foram superiores aos valores iniciais. Em nenhum momento do

ensaio foram encontrados valores da TIC ≤36°C. Conclui-se que vestuário e a atividade física aumentam a TIC mesmo em situações de frio extremo. Deste modo, a consideração destes parâmetros deve ser o ponto de partida para uma adequada avaliação e gestão de riscos de trabalhos nestas circunstâncias. A aplicação linear de tempos padrão de exposição/recuperação, sem contabilização de fatores pessoais e específicos do trabalho parece por si só desajustada.

6. REFERÊNCIAS

- Bagley, R. J., Judelson, A. D., Spiering, A. B., Beam, C. W., Bartolini, J. A., Washburn, V. B. Casa, J. D. (2011). Validity of field expedient devices to assess core temperature during exercise in the cold. *Aviation Space and Environmental Medicine*, 82(12), 1098–1103. <http://doi.org/10.3357/ASEM.3102.2011>
- Carvalho, T. De, Jornalista, A., & Arruda, R. De. (2010). Hidratação e Nutrição no Esporte Hydration and Nutrition in Sports, 16(2), 144–148.
- Comess KA, Fenster PE: Clinical implications of the blood pressure reponse to exercise. *Circulation* 68: 233-244, 1981.
- Daanen, H. a M. (2009). Manual performance deterioration in the cold estimated using the wind chill equivalent temperature. *Industrial Health*, 47(3), 262–270. <http://doi.org/10.2486/indhealth.47.262>
- George, H. M. (2013). Francisco Henrique Moura George, 1–14.
- Heindl, S., Struck, J., Wellhöner, P., Sayk, F., & Dodt, C. (2004). Effect of facial cooling and cold air inhalation on sympathetic nerve activity in men. *Respiratory Physiology and Neurobiology*, 142(1), 69–80. <http://doi.org/10.1016/j.resp.2004.05.004>
- ISO 15743. (2008). Strategy for risk assessment, management and working practice in cold environment. International Standards Organisation.
- ISO 9886. (2004). Ergonomics - Evaluation of thermal strain by physiological measurements. International Standards Organisation.
- Johnston, W.A.; Nicholson, F.J.; Roger, A.; Stroud, G. D. (1994). Freezing and Refrigerated Storage in Fisheries. FAO Fisheries Technical Paper - 340. Food and Agriculture Organization (FAO).
- 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>
- Kluth, K., Penzkofer, M., & Strasser. (2011). Age-Related Physiological Responses to Working in Deep Cold. *Wiley Periodicals*, 53, 417–24.e5. <http://doi.org/10.1016/j.jaac.2013.12.025>
- Komulainen, S., Oja, T., Rintamäki, H., Virokannas, H., & Keinänen-Kiukaanniemi, S. (2004). Blood pressure and thermal responses to whole body cold exposure in mildly hypertensive subjects. *Journal of Thermal Biology*, 29(7–8 SPEC. ISS.), 851–856. <http://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2004.08.065>
- Koszada-włodarczyk, W., & Makowiec-dąbrowska, T. (2006). physiological reaction to work in cold microclimate, 19(2), 123–131. <http://doi.org/10.2478/v10001-006-0020-y>
- 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. M., & Hassi, J. (2009). Health problems in cold work. *Industrial Health*, 47(3), 207–220.
- Moran, D. S., & Mendal, L. (2015). Methods and Current Insights, (February 2002), 878–885.
- Peng, R. C., Yan, W. R., Zhou, X. L., Zhang, N. L., Lin, W. H., & Zhang, Y. T. (2015). Time-frequency analysis of heart rate variability during the cold pressor test using a time-varying autoregressive model. *Physiol Meas*, 36(3), 441–452. <http://doi.org/10.1088/0967-3334/36/3/441>
- 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.
- 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*.