消防防火服着用時の冷却装置による生理・心理反応への影響

○周 金枚(九州大学), 栢原 裕(九州大学), 金 泰圭(韓国縫製技術研究所)

Effects of Using Cooling Devices on Physiological and Psychological Responses
while Wearing Firefighting Protective Clothing

Chinmei CHOU (Kyushu University), Yutaka TOCHIHARA (Kyushu University),
Taegyoo KIM (Korea Sewing Technology Institute)

1. はじめに

消防隊員は火災現場等で消火活動や救助活動を行うときに、特に夏期においては身体の代謝による蓄熱に外界からの暑熱負担が加わり、過度の温熱負荷を受ける。防火服の防護機能性が向上した一方、消防隊員らの生体負担が増加する可能性が考えられる。いくつかの先行研究において、防火低透湿性の防火服着用によって生理的ストレスが引き起こされ、心拍数、皮膚温及び深部体温が上昇することが報告されている(Duncan *et al.* 1979, Bishop *et al.* 1994, Faff and Tutak 1989)。防火服着用時の暑熱負担の解消方法を検討することは、消防隊員が安全な消防活動を遂行するための重要な課題であると言える。

そこで、本研究では、消防防火服着用時の冷却装置の使用が生理・心理反応に及ぼす影響を検討することを目的とした。

2. 方法

1) 被験者及び環境条件：被験者は健康な大学生 8 名(平均年齢 25.9 ± 3.2 歳、平均体重： 62.5 ± 9.2 kg, BMI： 22.1 ± 2.8 kg/m²)であった。環境条件は、前室の室温は 25°C、相対湿度は 50~60%、本室の室温は 30°C、相対湿度は 50~60%に設定した。

2) 着衣条件：本実験の着衣条件は、防火服及び基本衣服であった〔以後 CON と称す〕。基本衣服としては T シャツ、ズボン(T 消防局の執務服)、トランクス、靴下、手袋、ブーツ、ベルト、ヘルメットを装着した。冷却装置としては、以下の 2 種類の冷却装置を用いた。

① -50°C の冷凍庫で凍らせたアイスパック(210 g/個)をメッシュベストに 5 個(胸に 2 個と背に 3 個)装着したもの(面積は 1310cm²)〔以後 ICE と称す〕。

② ベスト型の衣服に相変換物質(PCM: Phase Change Material, 84g/個)を 16 個(胸に 6 個と背に 10 個)装着したもので、固体の PCM が、体温によって融解し液体となるとときに発生する

融解熱(吸熱)により、周囲の熱を奪う。PCM は、5°C の冷蔵庫で冷却した PCM を用いた場合〔以後 PCM(5)と称す〕と、20°C で保存した PCM を用いた場合〔以後 PCM(20)と称す〕を比較した(面積は 1792cm²)。

3) 実験手順及び測定項目：被験者は、前室にて 10 分間安静を保持した後、本室に入室してもらい、防火服の下に異なる冷却装置を着用し、自転車エルゴメーターのサドル上で 10 分間の安静を保ち、30 分間の運動を行い、その後 10 分間同様に安静を保った。運動負荷は 55%V_{O2max} に設定した。主観申告は、本室に入室後の安静時の 1 分、5 分及び 8 分目、運動時の 1 分、5 分、15 分、25 分、28 分、及び回復時の 1 分、5 分、8 分に評価した(図 1)。

測定項目は、生理反応として、直腸温(T_{re})、皮膚温(T_{sk}) 7 点(前額、胸部、前腕部、手背部、大腿部、下腿部、足背部)、心拍数等の測定を行った。実験前後の体重測定(±1g 精度)から体重減少量を求めた。心理反応として、温冷感、温熱的不快感及び湿度感の申告を行った。

図 1 実験手順

3. 結果及び考察

図 2 に直腸温の経時的変化を示す。被験者 8 名の直腸温の平均値では、条件間及び時間の有意な交互作用($p < 0.001$)が認められた。運動の後半から冷却条件より CON の方が高くなる傾向にあった。

図 2 直腸温の経時的変化(n=8)

図 3 平均皮膚温の経時的変化(n=8)

平均皮膚温(図 3)は、入室した 5 分以降から実験終了時まで、PCM(20)が CON に比べ有意に低いことが認められた($p<0.05$)。また、回復期において、PCM(5)、PCM(20)は CON より平均値で約 $0.5\sim0.7^{\circ}\text{C}$ の増加の抑制が見られた($p<0.05$)。条件間の順は $\text{CON} \gg \text{ICE} \approx \text{PCM}(5) > \text{PCM}(20)$ であった。生理反応の T_{re} 、 T_{sk} の増加が冷却装置の着用により抑制される傾向が見られた。Bennett et al. (1995)は、身体へ接触する冷却の被覆面積が大きくなると生理的負担が低くなることを報告している。つまり、今回用いた冷却装置の PCM(5)、PCM(20)は ICE と比べて冷却の被覆面積がより多いことから、体内への蓄熱の増加が抑制されたと思われる。冷却材料に同じ PCM を用いている PCM(5)、PCM(20)の間には生理反応に有意な差は見られなかった。PCM(5)は冷蔵庫で 5°C に冷却したものであり、PCM(20)は 20°C に設定された箱で保存したものであった。PCM(20)が PCM(5)に比較して若干ではあるが T_{sk} は低い値を示したものの、 T_{re} においてはほぼ同じ値で推移した。つまり、高温での作業の場合は、その上に防火服等を着用使用した時、冷却装置は断熱した状態になるので、長時間にわたり効果を発揮することが出来、冷蔵庫(5°C)に保存しなくても、同じ効果が得られることが示された。

全身温冷感(図 4)は、冷却装置の着用により、CON の条件はすべての冷却条件より「やや暑い」側の申告が得られた。胸及び背中中の温冷感は、全身温冷感と同様にどの時点でも CON が他の条件より有意に暑い側の値を示した。温熱的不快感は、条件間に有意な差は認められなかった。本室に入室した後、冷却装置の着用により、CON は冷却条件に比べ高い値の申告が得られた。運動に伴い温熱的不快感は徐々に不快方向へ移行した。

図 4 全身温冷感の経時的変化(n=8)

4. まとめ

本実験の結果から冷却装置の着用により身体への生体負担軽減が示され、心理的には暑さ、不快感の軽減には効果があることが示された。特に、PCM の冷却材料を用いた PCM(5)、PCM(20)は着用者の負担軽減効果が示された。また、PCM は冷蔵庫(5°C)に保存しなくても、同程度の効果が得られた。つまり、暑熱負担の緩和効果には PCM(20)が最も効果的であると考えられる。

5. 謝辞

本研究は財団法人日本防災協会からの委託研究であり、重点研究「次世代防火服の試作着用評価に関する研究」の一環として行われた。ここに記して謝意を表する。

6. 引用文献

- 1) Duncan HW, Gardner GW, P Barnard RJP, Physiological responses of men working in fire fighting equipment in the heat. *Ergonomics*, 22(5),521-527,1979.
- 2) Bennett, BL, Hagan, RD, Huey, KA, Minson, C, Cain, D, Comparison of two cool vests on heat-strain reduction while wearing a firefighting ensemble. *Eur J Appl Physiol*, 70(4),32-328,1995.