



Title	暑熱環境が消火活動時の隊員の心身機能に及ぼす影響
Author(s)	橋本, 好弘; Hashimoto, Yoshihiro; 森谷, 絜 他
Description	©日本生気象学会 JOI JST.JSTAGE/seikisho/45.131
Citation	日本生気象学会雑誌, 45(4), 131-139
Issue Date	2009
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/43922">https://hdl.handle.net/2115/43922</a>
Type	journal article
File Information	45_131.rev.pdf



## 暑熱環境が消火活動時の隊員の心身機能に及ぼす影響

### Influences of a hot environment on physiological and psychological functions of firefighters engaged in firefighting activity

橋本好弘<sup>1,2</sup>, 森谷繁<sup>3</sup>, 大塚吉則<sup>4</sup>

Yoshihiro Hashimoto<sup>1,2</sup>, Kiyoshi Moriya<sup>3</sup>, Yoshinori Ohtsuka<sup>4</sup>

<sup>1</sup>北海道大学教育学部, <sup>2</sup>札幌市消防局, <sup>3</sup>天使大学大学院,

<sup>4</sup>北海道大学大学院教育学研究科

<sup>1</sup>*School of Education, Hokkaido University,* <sup>2</sup>*Sapporo Fire Bureau,* <sup>3</sup>*Graduate School of Nursing and Nutrition, Tenshi College,* <sup>4</sup>*Faculty of Education, Hokkaido University*

(受付 2008 年 4 月 25 日 / 受理 2008 年 10 月 13 日)

消防隊員の熱中症を予防するための基礎資料を得るために、夏季の外気温を想定した 3 種類の温熱条件 (35°C, 30°C, 25°C; 湿度 70%) 下で、消火活動模擬実験を行った。その実験では、消火活動装備品を装着した男性消防隊員 16 名が、自転車エルゴメータペダリング運動による模擬消火活動を実施した時の生理的反応と自覚的感觉を測定した。許容温度 (耳内温: 39.0°C) に上昇するまでの時間と発汗量は、35°C の温熱条件下では 20.0 分と 2.5 kg/h, 30°C で 26.6 分と 2.0 kg/h であった。25°C では、実験上限時間の 40 分経過時点で平均耳内温が 38.5°C, 発汗量が 1.7 kg/h であった。Borg スケールの RPE と温熱感覚には温熱条件による有意差 ( $p < 0.05$ ) が認められた。また、両値はそれぞれ耳内温と有意な ( $p < 0.001$ ) 正相関を示した。30°C 以上の環境下で長時間消火活動を行う場合は、着衣の見直し、身体冷却及び飲水や休憩等の対策を講じる必要があると考えられる。

キーワード: 消火活動, 耳内温, 発汗量, 自覚的運動強度, 温熱感覚

To investigate methods of preventing heat disorders among firefighters, experiments that simulated firefighting activity were performed under normal ambient conditions in summer (35°C, 30°C, 25°C; 70% relative humidity, respectively). In these experiments, 16 male firefighters pedaled a bicycle ergometer wearing firefighting equipment, and the physiological responses and subjective sensations were measured. At 35°C, the interval until the inner ear temperature elevated to 39°C was 20.0 minutes and the sweat production rate was 2.5 kg/h. At 30°C, these values were 26.6 minutes and 2.0 kg/h, respectively. However, at 25°C, the inner ear temperature had elevated to only 38.5°C after 40 minutes (the end point of the experiment) and the sweat production rate was 1.7 kg/h. RPE of the Borg scale and thermal sensation points differed significantly ( $p < 0.05$ ) among the three environmental conditions. Both values correlated with inner ear temperatures ( $p < 0.001$ , respectively). When firefighting activities are performed in an environment over 30°C, reexamination of clothes, measures such as body cooling, fluid intake, or activity breaks should be considered.

Key words: Firefighting activity, Inner ear temperature, Sweat production, RPE, Thermal sensation

## 1. 緒言

防火服を着装した消火活動は、最大心拍数が195~206拍/分 (Barnard *et al.*, 1975; Sothmann *et al.*, 1992) の激しい活動であるとともに、200°Cに達する酷暑環境下でも活動する (Baker *et al.*, 2000; Rossi, 2003) ことから、古くから隊員の熱中症対策に関する研究 (Duncan *et al.*, 1979; Sköldström, 1987; Faff *et al.*, 1989; 野尻ら, 1984; 手柴ら, 1992) が行われている。

建物の高气密化、椅子やテーブル等の建物内収容物が木材から石油化学製品に変わったことにより、火災時に発生する熱量が増加し、ニューヨークでは、1994年上半期には425名の消防士が消火活動中に火傷 (Prezant *et al.*, 1999) した。そのため、耐熱性に優れた防火服を導入 (National fire protection association, 2000) し、消防隊員の火傷が85%減少した (Prezant *et al.*, 1999) が、消火活動時の熱中症が課題となった (Prezant *et al.*, 2000)。欧州においても時期を同じくして、耐熱性に優れた防火服が導入 (European Standard EN469, 1995) され、同様の課題が発生した。日本でも、1999年に欧米規格を取り込む形で消防用防火服基準のISO11613が制定 (消防研究所, 2004) されたことから、以後各消防本部は従前よりも大幅に耐熱性に優れたISO規格適合の防火服を導入した。その結果、東京消防庁では、落下・飛来に次いで、熱中症による受傷が多く発生した (山田ら, 2003)。また、熱中症により訓練中の消防隊員が死亡する事故も発生している (埼玉県政ニュース, 2007)。

消防隊員の熱中症対策として、欧米では、防火服の改良 (Smith *et al.*, 1998; Ftaiti *et al.*, 2001; Rossi, 2003; McLellan *et al.*, 2004; Havenith *et al.*, 2004; Holmér *et al.*, 2006) や身体冷却 (Carter *et al.*, 1999; Selkirk *et al.*, 2004a) に関する研究が行われている。国内でも、消防研究センターと栃原を中心としたグループの防火服改良 (消防研究所, 2004)、物部ら (2002a, 200b) による身体冷却、中橋ら (2003, 2005) による実態調査の研究が行われているが、課題は未だ残されている。

消防隊員の熱中症対策として行われた生理的反応に関する研究は、高温の火災室と夏季の外気温を想定した暑熱環境に大別される。高温の

火災室で活動を行う消火活動シミュレーション研究では、10~17分の活動で消防隊員の生理負担が大きい (Malley *et al.*, 1999; Smith *et al.*, 1997・2005; Carter *et al.*, 1999) と報告されている。夏季の外気温に関する研究では、McLellan and Selkirk (2004b, 2006) と町田ら (2000) の2つの研究が見出せるが、両研究における体温上昇には大きな違いがある。暑熱環境下の対応能力は、人種・体力・年齢・被服・運動強度など様々な要因により異なる。また、防護服のような特殊な作業服を着装した場合の温熱負担データは不十分であると指摘されている (澤田, 2004)。

米国やカナダでは、消防隊員の熱中症予防のために、隊員に休憩・交替を与える必要性が指摘され (Carter *et al.*, 1999; Smith *et al.*, 2001; McLellan *et al.*, 2006; Baker *et al.*, 2000)、International Association of Fire Fighters (IAFF) でもその必要性を認めている (IAFF, 2008)。しかし、消防隊員自身は「体力の限界」という考えには否定的で、米国の多くの都市で消火活動中の休憩・交替は浸透していない (Dickinson, 2003) のが実情と推察される。日本でも同様の傾向である。

そこで、本研究では、暑熱環境下における消火活動中の隊員の熱中症を予防する基礎資料を得るために、外気温の違いが消火活動中の消防隊員の心身機能に及ぼす影響を評価し、効果的な対策を施す一助とすることを目的とした。

## 2. 方法

### 2-1. 被験者

被験者は、実験の主旨に賛同した北海道S市消防学校の研修生 (消防隊員) 16名を8名ずつA・Bの2群に分けた。

### 2-2. 暑熱環境

暑熱環境は、人工気候室 (エスペック社, TBR-3HAOPC) を使用して設定した。

熱中症は気温25.5°C以上から発生 (中井ら, 1992) しており、2000年から2004年のS市最高気温は35.9°C (気象庁, 統計情報) であることから、温熱条件は25°C・30°C・35°Cの3条件とした。また、同期間7・8月の平均相対湿度が76.2% (気象庁, 統計情報) であることから、相対湿度

条件は何れも70%とした。

A群が35℃と25℃の2条件, B群が30℃の1条件とし, A群の実験間隔は1週間以上とした。

### 2-3. 測定

赤外線式耳式体温計で計測される鼓膜及びその周辺の温度である耳内温は, 深部体温の指標(鎌田ら, 1999; 田下ら, 1999; 文珠川ら, 2006)となり, 多くの消火活動の熱中症対策研究で使用(Dickinson *et al.*, 2003; Clark *et al.*, 1998; Ftaiti *et al.*, 2001)されている。そこで, 赤外線式耳式体温計(テルモ社, M20)を使用して耳内温を5分毎に計測したが, 耳内温が38.7℃に達した以降は安全を考慮して1分毎の計測とした。耳内温の計測には, プローブ先端が鼓膜方向に向けて奥までしっかり挿入されていることに注意を払った。また, 2台の体温計で誤差が0.1℃以内になるまで繰り返し計測し, より高値を示した方を耳内温とした。心拍数は, ホルター心電計(GMS社, AC301)を用いて全RR間隔を測定し, 解析ソフト(諏訪トラスト社, TARAWA)により1分毎の値を求めた。体組成及び体重は, 体組成計(BIOSPACE社, Indody3.2)を用いて測定(体組成目量: 0.1%, 体重目量: 100g)し, 発汗量は実験前後の体重変化から算出した。最大酸素摂取量は, 20mシャトルランにより推定値を見積った(文部科学省, 1999)。運動負荷終了時のWet-Bulb Globe Temperature (WBGT)を暑熱環境計(京都電子工業, WBGT-113)により測定した。

### 2-4. タイムスケジュール

実験は, 2004年7月6日から7月15日の18時から20時30分の間実施した。被験者は夕食を17時頃に摂ってから実験に参加した。そのタイムスケジュールをFig.1に示す。被験者は, 空調を25℃に設定した室内で, 長ズボン・長袖の執務服を着装した状態で5分間安静にした。その後, 各暑熱条件に設定された人工気候室に入室し防火服上下・空気呼吸器・ヘルメット・

手袋の消火活動装備品を装着し, 入室10分後に模擬消火活動として自転車エルゴメータペダリング運動を実施した。

自転車エルゴメータは, 橋本ら(2008)やBarnard *et al.* (1975)の報告を元にして予備実験を行い次のとおりとした。出勤動作の負担として負荷量140KWの自転車エルゴメータペダリング運動2分間, 現場到着までの車内を想定して2分間休憩とした。火災現場到着直後の最も激しい活動負担として負荷量140KWを3分間, その後の活動負担として負荷量110KWを12分間実施した。以後, 実験終了まで休憩3分間と負荷量110KWの自転車エルゴメータペダリング運動12分間を繰り返し実施した。

実験終了は耳内温が39.0℃に達した時, 又は一般住宅の半焼火災では火勢制圧までが36分である(札幌市消防局, 2006)ことから, 実験上限時間を40分とした。但し, 被験者が体力の限界を感じた時はその時点で実験を終了した。

### 2-5. 自覚的感覚

自覚的運動強度では6~20に15区分化したBorgスケール(Borg, 1970)のRPE(7:非常に楽である, 9:かなり楽である, 11:楽である, 13:ややきつい, 15:きつい, 17:かなりきつい, 19:非常にきつい)を, 温熱感覚ではHensel(1981)の温熱指標を1~21に細分化したもの(2:非常に寒い, 4:かなり寒い, 6:寒い, 8:やや寒い, 10:何も感じない, 12:やや暖かい, 14:あたたかい, 16:あつい, 18:かなりあつい, 20:非常にあつい)を使用し, 運動負荷開始5分後から5分毎に測定した。

### 2-6. 統計

統計解析は解析ソフト(SPSS for windows 12.0J)を使用して, ピアソンとスピアマンの相関分析と一元配置分散分析を有意水準5%で実施した。データは平均値(±標準誤差, min-max)で表した。

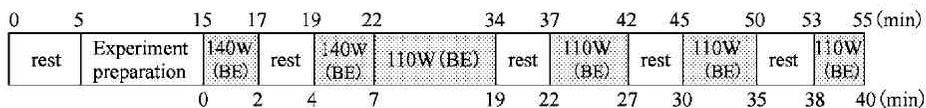


Fig.1. Time course of the experiment.

BE: Bicycle ergometer.

2-7. 倫理的配慮

S市消防局で実験計画が承認され、実験を行った。被験者には実験の趣旨を説明し、何時でも中止できることを伝え、健康に関するアンケートと同意書に記載してもらった。

本研究は、ヒトを対象とする医学研究の倫理原則であるヘルシンギ宣言に則って行われた。

3. 結果

3-1. 被験者の属性

平均年齢はA群が21.6(0.9)歳, B群が22.0(0.8)歳, 身長はA群が172.5(1.4)cm, B群が170.8(1.4)cm, 体重はA群が65.6(2.2)kg, B群が65.0(1.8)kg, BMIはA群が22.1(0.7)kg/m<sup>2</sup>, B群が22.3(0.5)kg/m<sup>2</sup>, 体脂肪率はA群が8.3(2.2)%, B群が10.7(0.7)%, 推定最大酸素摂取量はA群が49.0(1.7)ml/kg/分, B群が51.2(1.2)ml/kg/分であり, これら2群間に有意差はなかった。

3-2. WBGT

実験終了時のWBGTは, 気温35℃の温熱条件下で31.5℃, 気温30℃で27.8℃, 気温25℃では23.5℃であった。

3-3. 耳内温

耳内温の時系列変化を Fig.2 に示す。35℃の温熱条件下では, 被験者1名が運動負荷開始15分後に体力の限界となったため耳内温が38.6℃の時点で実験を終了した。この1名を除き許容温度(耳内温; 39.0℃)に達した時間は, 平均で20.0(0.9, 15-23)分であった。気温30℃では, 全ての被験者が許容温度になった時点で実験を終了しており, その時間は平均で26.6(2.5, 15-36)分であった。

気温25℃では, 全ての被験者が実験上限時間の40分で実験を終了し, その時の平均耳内温は38.5(0.1, 37.9-38.8)℃であった。また, 運動負荷開始からの経過時間と耳内温には3条件とも有意な正の相関(P<0.001)が認められた。

3-4. 心拍数

運動負荷開始から実験終了までの心拍数変化を Fig.3 に示す。最大心拍数の平均は, 気温35℃の温熱条件下が179.9(2.8, 170-189)拍/分, 気温30℃が174.5(3.6, 159-186)拍/分, 気温25℃では170.4(3.4, 159-185)拍/分であった。

温熱条件毎に実験継続時間が異なることから, 実験開始から最初の3分間休憩直前までの19分間の平均心拍数を比較すると, 35℃が156.9(3.6, 143-167)拍/分, 気温30℃が151.1(4.1, 128-162)拍/分, 気温25℃が141.8(3.3, 128-154)拍/分

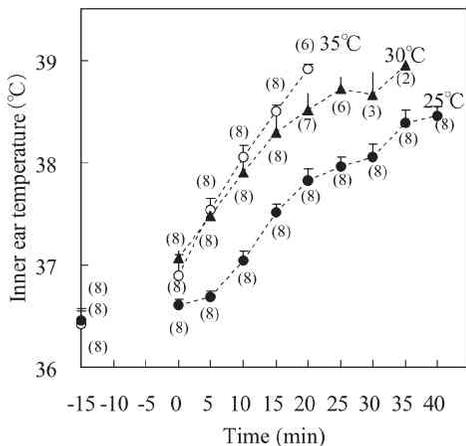


Fig.2. Changes in inner ear temperature from rest at 25°C(●), 30°C(▲) and 35°C(○) with 70 % relative humidity. Values are means (+SE), ( ): number of examinees.

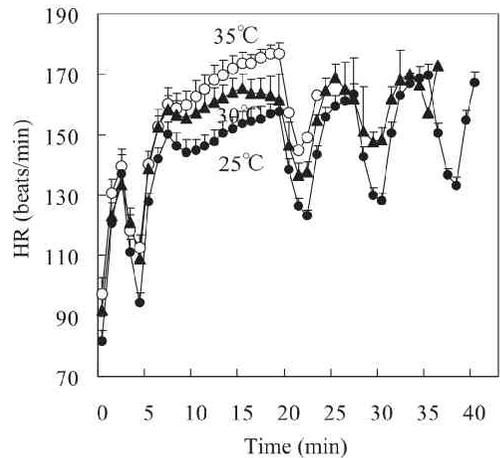


Fig.3. Changes in heart rate from rest at 25°C(●), 30°C(▲) and 35°C(○) with 70 % relative humidity. Values are means (+SE).

あった。この時間帯で温熱条件による比較をした結果、4分後と10分後以降に有意差 ( $P<0.05$ ) が認められた。

3-5. 発汗量

発汗量は、35℃の温熱条件下で 810 (67, 600-1,200) g, 30℃で 860 (65, 600-1,200) g, 25℃では 1,130 (65, 900-1,400) gであった。Table1 に体重及び時間あたりに換算した発汗量を示す。許容温度に達した時の体重当たりの発汗量は、35℃が 1.2%, 30℃が 1.3%であった。また、時間当たりの発汗量は温熱条件による有意差 ( $P<0.05$ ) が認められた。

Table 1. Sweat production rate.

	35℃	30℃	25℃
Sweat/weight (%)	1.2 (0.09)	1.3 (0.09)	1.7 (0.11)
Sweat/hour (kg/h)*	2.5 (0.24)	2.0 (0.22)	1.7 (0.10)

Values are means ( $\pm$ SE), \*:  $P<0.05$ .

3-6. RPE と温熱感覚

RPE と温熱感覚の変化を Table 2 に示す。RPE は運動開始 15 分後から、温熱感覚は実験開始 5 分後から、温熱条件による有意差が認められた。

3-7. 耳内温と RPE

耳内温と RPE の関係を Fig.4 に示す。耳内温と RPE は、各温熱条件とも有意な正の相関 (35℃:  $P<0.001$ , 30℃:  $P<0.01$ , 25℃:  $P<0.001$ ) が認められ、全体でも有意な正の相関 ( $P<0.001$ ) が認められた。また、相関式から 39℃の許容温度に達する時の RPE を算出すると 18.2 (「17:かなりきつい」, 「19:非常にきつい」の間の値)であった。

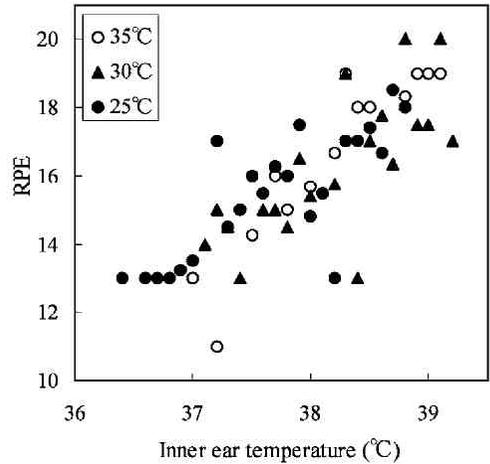


Fig.4. Relationship between inner ear temperature and rating of perceived exertion (RPE). Details of RPE are shown in text.

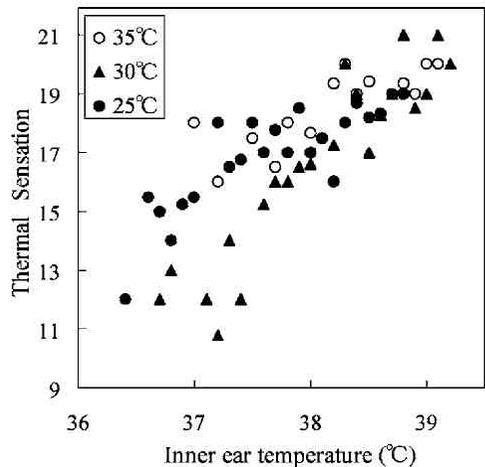


Fig.5. Relationship between inner ear temperature and thermal sensation. Details of thermal sensation are shown in text.

Table 2. Changes in rating of perceived exertion (RPE) and Thermal sensation.

Group	RPE				Thermal sensation			
	35℃	30℃	25℃		35℃	30℃	25℃	
5 min	14.1 (0.69)	14.4 (0.46)	12.9 (0.30)	NS	16.8 (0.37)	16.3 (0.16)	14.5 (0.76)	$p<0.05$
10 min	15.9 (0.69)	15.5 (0.65)	13.9 (0.35)	NS	18.8 (0.41)	17.5 (0.46)	15.8 (0.56)	$p<0.001$
15 min	18.4 (0.32)	17.0 (0.82)	15.4 (0.32)	$p<0.01$	19.4 (0.32)	18.9 (0.61)	17.0 (0.27)	$p<0.01$
20 min	19.0 (0.26)	17.1 (1.03)	15.5 (0.38)	$p<0.01$	19.7 (0.33)	18.9 (0.63)	17.0 (0.42)	$p<0.01$

Values are means ( $\pm$ SE). NS: not significant.

### 3-8. 耳内温と温熱感覚

3-7.同様に、耳内温と温熱感覚の関係を Fig.5 に示す。耳内温と温熱感覚は、各温熱条件とも有意な正の相関 (35°C:  $P<0.001$ , 30°C:  $P<0.001$ , 25°C:  $P<0.001$ ) が認められ、全体でも有意な正の相関 ( $P<0.001$ ) が認められた。また、この相関式から許容温度に達した時の温熱感覚を算出すると 19.6 (「20:非常にあつい」に近い値) であった。

## 4. 考察

本研究は、暑熱環境下における消火活動中の隊員の熱中症を予防するための基礎資料を得るために、外気温が隊員に及ぼす生理的反応と自覚的感覚の変化を評価することである。

深部体温が 40°C を超えると、熱中症により死亡する危険性が発生する (National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), 1986)。深部体温の許容温度として、WHO は 38.0°C 以下を推奨しており、限界でも 39.0°C としている。United States Army Research Institute for Environmental Medicine は 39.0°C を超えないために 38.5°C (NIOSH, 1986) としていることから、本研究では深部体温の指標として用いられている耳内温 39.0°C を許容温度とした。

許容温度に達する時間は、35°C (WBGT: 31.5°C) の温熱条件下で 20.0 分、30°C (WBGT: 27.8°C) で 26.6 分であった。25°C (WBGT: 23.5°C) では、実験上限時間の 40 分経過時点で平均耳内温が 38.5°C であった。この結果は、町田ら (2000) の結果と同様であったが、McLellan and Selkirk (2004b, 2006) よりも短時間であった。消防活動の負担は、災害状況・活動内容・体力・装備品・経験など様々な要因の影響を受ける。消防活動は、活動開始 5 分間が 92.6 並びに 93.6% heart rate reserve の負担 (橋本ら, 2008) である。本実験の運動負荷は、気温 35°C でも最大心拍数が 179.9 (2.8, 170-189) 拍/分であることから、実際の消火活動と比較して高い運動負荷量とは言えない。McLellan and Selkirk (2004b, 2006) の研究では、運動負荷により心拍数が漸増しているが、運動開始 30 分後でも最大心拍数が 150 拍/分以下となっている。彼らの報告と本研究にお

ける体温上昇の違いは、災害状況や活動内容の想定の違いが主要因と考えられる。

運動中の気温上昇が心拍数に与える影響として、Pandolf *et al.* (1975) は、気温 1°C の上昇に対して心拍数は 2~4 拍上昇すると報告しているが、防火服を着装した消防隊員でも同水準の増加がみられた。

本実験の発汗量については、短時間の最大発汗量 2,500~3,000 g/hr (関ら, 2001) に相当する水分損失がみられたが、体重の 2% 以上の損失は認められなかった。

RPE と温熱感覚の自覚的感覚では、温熱条件による有意差 ( $P<0.05$ ) が認められた。RPE は、運動時の心拍数 (Borg *et al.*, 2006)、深部体温 (Nybo *et al.*, 2001)、平均皮膚温 (Riebe *et al.*, 1997) と正の有意な相関、温熱感覚は平均皮膚温との相関 (梶原ら, 2007) が報告されている。これらの値は消火活動時における消防隊員の耳内温とも正の有意な相関があり、消防隊員の体温上昇指標として使用可能と考えられる。

消火活動時、防火服内は高温多湿となっていることから、防火服を着装した状態で休憩すると深部体温は 10 分間に 0.5~0.6°C 上昇する (Holmér *et al.*, 2006; Carter *et al.*, 1999; Eglin *et al.*, 2004)。体温上昇は、運動パフォーマンスの低下 (González, *et al.*, 1999; 近藤, 2005)、過失の増加 (Rossi, 2003; 庄司ら, 2003) をもたらすばかりか、熱ばて・方向感覚喪失・失神・心筋梗塞を導く (Selkirk *et al.*, 2004a; Fogarty *et al.*, 2004)。従って、消火活動を高体温の状態で実施することは、作業効率の低下や死傷事故発生の要因にもなる。

暑熱環境下の消火活動は、消防隊員の心身機能に対する影響が大きいことから、長時間に亘る活動を行う時には、防火服内に着装する執務服の見直し (Malley *et al.*, 1999; Prezant *et al.*, 2000; McLellan *et al.*, 2006)、冷却剤の着装、0.2% 程度塩分を含む水分の定期的な補給 (日本生気象学会, 2008)、休憩中の強制冷却 (McLellan *et al.*, 2006) 等の対策が必要である。

## 5. まとめ

模擬消火活動運動を行った時の許容温度(耳

内温: 39.0°C)までの時間と発汗量は、35°Cの温熱条件下の運動では20.0分と2.5 kg/h、30°Cで26.6分と2.0 kg/hであった。25°Cでは、実験上限時間の40分経過時点で平均耳内温が38.5°C、発汗量が1.7 kg/hであった。RPEと温熱感覚には温熱条件による有意差 ( $p < 0.05$ ) がみられた。これらの値は耳内温と有意な ( $p < 0.001$ ) 正相関を示した。30°C以上の環境下で長時間消火活動を行う場合は、防火衣内に着装する執務服の見直し、身体冷却及び飲水や休憩等の対策を講じることが必要であると考えられる。

## 謝辞

研究にご協力していただいた消防隊員の方々へ感謝する。また、本研究は平成15年から平成17年度の消防防災科学技術研究推進制度に採択委託された。

## 文献

- Baker, S. J., Grice, J., Roby, L. and Matthews, C. (2000): Cardiorespiratory and thermoregulatory response of working in fire-fighter protective clothing in a temperate environment. *Ergonomics*, 43: 1350-8.
- Barnard, R. J. and Duncan, H. W. (1975): Heart rate and ECG responses of fire fighters. *J. Occup. Med.*, 17: 247-50.
- Borg, G. (1970): Perceived exertion as an indicator of somatic stress. *Scand. J. Rehabil. Med.*, 2: 92-8.
- Borg, E. and Kaijser, L. (2006): A comparison between three rating scales for perceived exertion and two different work tests. *Scand. J. Med. Sci. Sports*, 16: 57-69.
- Carter, J. B., Banister, E. W. and Morrison, J. B. (1999): Effectiveness of rest pauses and cooling in alleviation of heat stress during simulated firefighting activity. *Ergonomics*, 42: 299-313.
- Clark, D. F., Smith, D. L., Petruzzello, S. J. and Bone, B. G. (1998): Heat stress in the training environment. *Fire Engineering*, 151: pp163-66.
- Dickinson, E. (2003): Ready for more: Rehab refuels & recharges battle-worn firefighters. *FireRescue Magazine*, February.
- Dickinson, E. T., Bevilacqua, J. J., Hill, J. D., Sites, F. D., Wurster, F. W. and Mechem, C. C. (2003): The utility of tympanic versus oral temperature measurements of fire-fighters in emergency incident rehabilitation operations. *Prehosp. Emerg. Care.*, 7: 363-7.
- Duncan, H. W., Gardner, G. W. and Barnard, R. J. (1979): Physiological responses of men working in fire fighting equipment in the heat. *Ergonomics*, 22: 521-7.
- Eglin, C. M., Coles, S. and Tipton, M. J. (2004): Physiological responses of fire-fighter instructors during training exercises. *Ergonomics*, 47: 483-94.
- European Standard EN469 (1995): Protective clothing for firefighters. Requirements and test methods for protective clothing for firefighting.
- Faff, J. and Tutak, T. (1989): Physiological responses to working with fire fighting equipment in the heat in relation to subjective fatigue. *Ergonomics*, 32: 629-38.
- Fogarty, A. L., Armstrong, K. A., Gordon, C. J., Groeller, H., Woods, B. F., Stocks, J. M. and Taylor, N.A.S. (2004): Cardiovascular and thermal consequences of protective clothing: a comparison of clothed and unclothed states. *Ergonomics*, 47: 1073-1086.
- Ftaiti, F., Dufloot, J.C., Nicol, C. and Grelot, L. (2001): Tympanic temperature and heart rate changes in firefighters during treadmill runs performed with different fireproof jackets. *Ergonomics*, 44: 502-12.
- 文珠川由美, 田邊晃久, 出口義昭 (2006): 新しい赤外線耳式体温計の有用性について. 月刊ナーシング, 26: 108-111.
- González, A. J., Teller, C., Andersen, S. L., Jensen, F. B., Hyldig, T. and Nielsen, B. (1999): Influence of body temperature on the development of fatigue during prolonged exercise in the heat. *J. Appl. Physiol.*, 86, 1032-1039.
- 橋本好弘, 森谷累, 大塚吉則 (2008): 寒冷環境下での消防活動が隊員に及ぼす作業負担. 日生気誌, 掲載予定.
- Havenith, G. and Heus, R. (2004): A test battery related to ergonomics of protective clothing. *Appl. Ergon.*, 35: 3-20.
- Hensel, H. (1981): Thermoreception and temperature regulation. *Monographs of the Physiological Society*, No. 38.
- Holmér, I., Kuklane, K. and Gao, C. (2006): Test of firefighter's turnout gear in hot and humid air exposure. *Int. J. Occup. Saf. Ergon.*, 12: 297-305.

- International Association of Fire Fighters (2008): Emergency Incident Rehabilitation. International Association of Fire Fighters, New York, 2008.
- 鎌田康宏, 官本奈穂子, 山陰道明, 辻口直紀, 並木昭義 (1999): 赤外線式耳式体温計の術中体温モニターとしての有用性. 麻酔, 48: 1121-1125.
- 気象庁: 統計情報. <http://www.data.kishou.go.jp>
- 近藤徳彦 (2005): 非温熱性要因が運動時の熱放散反応に及ぼす影響. 日生氣誌, 42: 39-53.
- Malley, K. S., Goldstein, A. M., Aldrich, T. K., Kelly, K. J., Weiden, M., Coplan, N., Karwa, M. L. and Prezant, D. J. (1999): Effects of fire fighting uniform (modern, modified modern, and traditional) design changes on exercise duration in New York City firefighters. *J. Occup. Environ. Med.*, 41: 1104-15.
- McLellan, T. M. and Selkirk, G. A. (2006): The management of heat stress for the firefighter: a review of work conducted on behalf of the Toronto Fire Service. *Ind. Health*, 44: 414-26.
- McLellan, T. M. and Selkirk, G. A. (2004): Heat stress while wearing long pants or shorts under firefighting protective clothing. *Ergonomics*, 47: 75-90.
- 町田広重, 伊藤昌夫, 正木豊, 山田羊一, 小原郎敬 (2000): 消防活動における熱中症予防対策. 東京消防庁消防科学研究所報, 37: 110-120.
- 文部科学省 (1999): 新体力テスト実施要領, 文部科学省.
- 物部博文, 村山雅己, 生野晴美, 塚田恭子, 中橋美智子 (2002a): 消防員装具のヒートストレス改善に関する研究, 冷却剤による体幹部冷却が人体に及ぼす影響についての検討. 日本生理人類学会誌, 7: 43-47.
- 物部博文, 村山雅己, 生野晴美, 中橋美智子 (2002b): 頭部冷却による消防員装具のヒートストレス改善. 日本生理人類学会誌, 7: 123-27.
- 中井誠一, 寄本明, 森本武利 (1992): 環境温度と運動時熱中症事故発生との関係. 体力科学, 41: 540-547.
- 中橋美智子, 村山雅己, 物部博文, 生野晴美 (2003): 火災シナリオによる消防員装具の着用時間と運動量. 日本生理人類学会誌, 8: 83-89.
- 中橋美智子, 村山雅己, 物部博文, 生野晴美 (2005): 林野火災時におけるヒートストレス. 横浜国立大学教育人間科学部紀要, 7: 9-22.
- National Fire Protection Association (NFPA) (2000): NFPA 1971. Standard on Protective Ensemble for Structural Fire Fighting 2000 Edition.
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) (1986): Occupational exposure to hot environments: criteria for a recommended standard. NIOSH (US Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control, April).
- 日本生気象学会 (2008): 日常生活における熱中症予防指針 Ver1. 日本生気象学会, 2008.
- 野尻忠弘, 丸山勝幸 (1984): 熱環境下における個人装備重量と消防隊員の生理変化について. 東京消防庁消防科学研究所報, 21: 125-132.
- Nybo, L. and Nielsen, B. (2001): Perceived exertion is associated with an altered brain activity during exercise with progressive hyperthermia. *J. Appl. Physiol.*, 91: 2017-23.
- Pandolf, K. B., Cafarelli, E., Noble, B. J. and Metz, K. F. (1975): Hyperthermia: effect on exercise prescription. *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, 56: 524-6.
- Prezant, D. J., Kelly, K. J., Malley, K. S., Karwa, M. L., McLaughlin, M. T., Hirschorn, R. and Brown, A. (1999): Impact of a modern firefighting protective uniform on the incidence and severity of burn injuries in New York City firefighters. *J. Occup. Environ. Med.*, 41: 469-79.
- Prezant, D. J., Freeman, K., Kelly, K. J., Malley, K. S., Karwa, M. L., McLaughlin, M. T., Hirschhorn, R. and Brown, A. (2000): Impact of a design modification in modern firefighting uniforms on burn prevention outcomes in New York City firefighters. *J. Occup. Environ. Med.*, 42: 827-34.
- Riebe, D., Maresh, C. M., Armstrong, L. E., Kenefick, R. W., Castellani, J.W., Echegaray, M. E., Clark, B. A. and Camaione, D.N. (1997): Effects of oral and intravenous rehydration on ratings of perceived exertion and thirst. *Med. Sci. Sports. Exerc.*, 29: 117-24.
- Rossi, R. (2003): Fire fighting and its influence on the body. *Ergonomics*, 46: 1017-33.
- 埼玉県政ニュース (2007): <http://saitamasaishin.blog111.fc2.com/blog-entry-1473.html>
- 札幌市消防局 (2006): 消防職員の勤務時における身体負荷に関する研究成果報告書. 札幌市消防局, 札幌, pp. 97- 98.
- 澤田晋一 (2004): 作業温熱条件と安全衛生 (熱中症) .

- 産衛誌, 46: 77-79.
- 関邦博, 坂本和義, 山崎昌廣 (2001): 人間の許容限界ハンドブック. 朝倉書店, pp.55-60.
- Selkirk, G. A., McLellan, T. M. and Wong, J. (2004a): Active versus passive cooling during work in warm environments while wearing firefighting protective clothing. *J. Occup. Environ. Hyg.*, 1: 521-31.
- Selkirk, G. A. and McLellan, T. M. (2004b): Physical work limits for Toronto firefighters in warm environments. *J. Occup. Environ. Hyg.* 1: 199-212.
- Sköldström, B. (1987): Physiological responses of fire fighters to workload and thermal stress. *Ergonomics*, 30: 1589-97.
- Smith, D. L., Petruzzello, S. J., Chludzinski, M. A., Reed, J. J. and Woods, J. A. (2001): Effect of strenuous live-fire fire fighting drills on hematological, blood chemistry and psychological measures. *J. Thermal Biology*, 26: 375-379.
- Smith, D. L., Petruzzello, S. J., Kramer, J. M. and Misner, J. E. (1997): The effects of different thermal environments on the physiological and psychological responses of firefighters to a training drill. *Ergonomics*, 40: 500-10.
- Smith, D. L., Petruzzello, S. J., Chludzinski, M. A., Reed, J. J. and Woods, J. A. (2005): Selected hormonal and immunological responses to strenuous live-fire fire-fighting drills. *Ergonomics*, 48:55-65.
- Smith, D. L. and Petruzzello, S. J. (1998): Selected physiological and psychological responses to live-fire drills in different configurations of firefighting gear. *Ergonomics*, 41: 1141-54.
- Sothmann, M. S., Saupe, K., Jasenof, D. and Blaney, J. (1992): Heart rate response of firefighters to actual emergencies. Implications for cardiorespiratory fitness. *J. Occup. Med.*, 34: 797-800.
- 消防研究所 (2004): 消防用防火服の快適性能, 機能性能の評価に関する研究報告書, 独立行政法人消防研究所, 東京, pp.13-194.
- 庄司卓郎, 江川義之, 輿水ヒカル (2003): 環境温度の違いが作業パフォーマンスに及ぼす影響. 産業安全研究所特別研究報告, 28: 49-61.
- 田下祐生子, 渡辺秀裕, 小林宏行 (1999): 成人の発熱症例における赤外線耳式体温計の有用性. 臨床体温, 17: 31-35.
- 手柴英喜, 桜井高清, 正木豊, 谷口真二 (1992): 高温環境下での身体冷却効果と年代別生理的変化に関する研究. 東京消防庁消防科学研究所報告, 29: 125-136.
- 栃原裕, 石田壽一, 伊藤裕之, 岩宮眞一郎, 大井尚行, 大中忠勝, 尾本章, 飛松省三, 村木里志, 安河内朗, 山下由己男 (2007): 人工環境デザインハンドブック. 丸善, pp.40-45.
- 山田羊一, 山口勝也, 深作友明, 落合博志, 飯田稔 (2003): ヒューマン・ファクターから見た消防活動と受傷危険に関する研究. 東京消防庁消防科学研究所報告, 40: 89-98.

---

\*Corresponding Author: Yoshihiro HASHIMOTO,

Sapporo Fire Bureau, shinkawa 4-16,kita-ku,sapporo, 001-0926, Japan

E-mail: yoshihiro.hashimoto@city.sapporo.jp

別刷請求先: 〒001-0926 札幌市北区新川 6 条 14 丁目 6-1 橋本好弘