

消防活動における効果的な暑熱順化の方策に関する検証

(暑熱順化トレーニングの具体的方策について)

山本 陽太*, 細谷 昌右*, 高井 啓安**, 山口 至孝*, 千葉 博*

概要

消防隊員が暑熱順化を行うにあたり、実用的かつ効率的な方法を示すために、身体を暑熱順化させるためのトレーニング(暑熱順化トレーニング)を2パターン実施し、その前後に夏場の環境を想定した運動負荷テスト(暑熱環境テスト)を行うことでその効果を相対的に判断した。

その結果、I群(消防活動訓練)では、小隊長及び小隊員の体温及び発汗量について、II群(業務用雨外とう着ランニング)では、心拍数において、暑熱順化の効果を表す傾向が示されたが、その水準は十分なものではなかった。このことは、それぞれの暑熱順化トレーニングにおける暑熱負荷強度及び運動負荷強度の不足が要因であると示唆するものであった。

1 はじめに

人間の体温は、様々な要因によってもたらされる熱産生と熱放散のバランスにより決定される仕組みになっている¹⁾。そのため、運動等により継続的に熱産生が行われるような状況下では、効率的に熱放散をしなければ体温の上昇抑えることができず、やがては熱中症を引き起こすことになってしまう。災害現場等において、防火衣、防火帽、長靴及び空気呼吸器(以下、「防火衣等」という。)を着装して活動する消防隊員は、皮肉にも自らの身体を守るために着装した防火衣等によって熱放散が妨げられ、熱中症のリスクを負うこととなる。このような背景から、これまでも消防活動中の熱中症予防に関して、効果的な水分補給や冷却材の活用などについての検証及び研究が実施されてきたが、自らの身体を暑熱環境に適応させる暑熱順化に関して、消防隊員を対象としたものは未だ十分な検証及び研究がなされていない。

近年の職場(建設作業を中心とする屋外作業)における熱中症の死亡災害の特徴をみると、屋外作業で作業開始から数日以内に発生する例が多く、初日に23%、二日目に21%、三日目に14%、四日目に9%と、1週間以内に発生した例が8割近くを占める。²⁾このことは、暑さへの順応が不十分だと熱中症の発症リスクが高まることを示しており、熱中症予防対策としての暑熱順化の必要性を訴えるものである。

そこで、我々はまず始めに、交替勤務制の消防隊員が、その勤務制度の中で身体を暑熱順化させることができるかについて平成21年に検証を行った。その結果、連続し

た5回以上の当番日に防火衣等着装状態で一定強度以上の運動を40分間実施すれば暑熱順化は形成される³⁾ことが明らかとなった。しかしながら、確実に効果を得るために、身体を暑熱順化させるための運動トレーニング(以下、「暑熱順化トレーニング」という。)として、強度を一定に保ち個人差が出にくい踏み台昇降運動を採用したため、消防隊員が行うことを考慮すると実用性に欠けるものであった。

そこで本検証では、実際に行われている訓練等が暑熱順化にどの程度効果をもたらすのかについて明らかにするとともに、夏場を迎える前の5月から6月の環境条件下で、消防隊員が実施する暑熱順化トレーニングとして実用的かつ効率的な方法を示すことを目的とした。

2 検証方法

本検証は先行研究に基づき、3部制交替勤務のサイクルの中で、7当番連続して暑熱順化トレーニングを行い、その前後に暑熱環境下における運動負荷テスト(以下、「暑熱環境テスト」という。)を行うことで、相対的に効果を測る方法を用いた。今回、2種類の暑熱順化トレーニングについて検証を実施することとし、消防活動訓練をI群、業務用雨外とう着ランニングをII群とした。(図1)

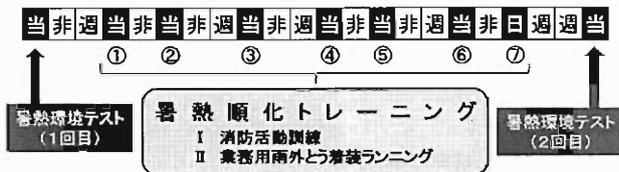


図1 検証スケジュール

(1) 被験者

I群被験者は、消防署に所属する3部制交替勤務の男性警防隊員30名とし、II群被験者は、消防技術安全所に所属する毎日勤務の男性消防吏員5名とした。身体特性については表1のとおりである。

表1 被験者の身体特性

実験群	被験者数(人)	年齢(歳)	体重(kg)
		平均値±標準偏差	平均値±標準偏差
I群	30	35.4±12.3	69.9±6.2
II群	5	38.6±6.0	62.6±3.9

(2) I群 (消防活動訓練)

ア 期間

平成22年5月11日から6月28日まで。

イ 暑熱順化トレーニング

各消防署において通常行われる消防活動訓練を暑熱順化トレーニングととらえ、各隊の判断により訓練を実施した。訓練内容を把握するため、1日の訓練回数、1回の訓練時間、防火衣等の着装状況及び活動内容についての調査も併せて実施した。

(3) II群 (業務用雨外とう着装ランニング)

ア 期間

平成22年11月12日から12月17日まで。

イ 暑熱順化トレーニング

消防署で基礎体力向上のために行われる訓練のうち、ランニングに注目し、業務用雨外とうを着装して暑熱負荷を加えた状態で行うランニングを暑熱順化トレーニングとした。

(f) 環境条件

東京地方の過去3年間(2008年から2010年まで)における5月及び6月の平均気温20℃及び平均湿度65%とし、条件を安定させるために環境制御室内で実施した。

(g) 動作

トレッドミルでのランニングとし、一般的に消防署で行うランニングを想定し、速度を時速7.5km、時間を40分間とした。

(h) 着衣条件

業務用雨外とう上下、執務服上下、長袖Tシャツとし、靴はランニングに適した運動靴とした。なお、業務用雨外とうは襟を立てたうえで、全てのボタンを留めることとした。

(d) 測定項目

心拍数は、Polar Team System (Polar社製)を用いて、電極と発信機が一体となったハートレートセンサを胸部に巻き、5秒毎に計測した。

体温は、感温部にサーモパイルを使用し、赤外線センサにより鼓膜温を計測する、オムロン耳式体温計MC-510(オムロンヘルスケア株式会社製)を用いて、10分毎に計測した。

発汗量は、体組成計インナースキャン50(TANITA社製)を用いて、暑熱順化トレーニングの開始前と終了後に体重を測定し、その差を暑熱順化トレーニング開始前の体重で除し、体重当たりの発汗量をパーセントで示した。なお、暑熱環境テスト中に摂取した水分は、暑熱順化トレーニング前の体重に加算した。

発汗量(%) = (開始前体重 + 摂取水分量 - 終了後体重) / 開始前体重 × 100

主観的運動強度は、運動中にどの程度きつと感じているか(知覚の強さ)を数で割り当てるために15段階に尺度化された表(Bolg scale)を用い、10分ごとに測定した。

衣服内温湿度は、ボタン型温湿度データロガー(KNラボラトリー社製)を用い、執務服と業務用雨外とうの間で、胸部の位置で1分毎に計測した。

(4) 暑熱環境テスト

暑熱順化トレーニング実施前と実施後の2回、夏季における消防活動を想定した暑熱環境テストを行い、相対的な比較からその効果を測った。

ア 環境条件

東京地方の過去3年間(2008年から2010年まで)における8月の平均最高気温31℃及び平均湿度70%とし、条件を安定させるために環境制御室内で実施した。

イ 動作

限られたスペースで同一負荷強度の運動が可能な踏み台昇降運動とした。建物火災における消防活動時の平均活動強度に相当する、毎分100回のテンポに設定し、メトロノームにより運動強度の統一を図った。

ウ 着衣条件

防火衣等完全着装とし、面体は使用しないこととした。

エ 飲水条件

10分毎に最大100mlまで水分摂取できることとし、摂取量は被験者の任意とした。飲料水は、塩分濃度0.1%、糖質3%の市販のスポーツドリンクとした。

オ 測定項目

2、(3)、イ、(x)と同様の5項目とした。

(5) 統計処理

暑熱環境テストにおける平均値の差の比較にはt検定を用い、統計上の有意水準を5%以下とした。

3 結果

(1) 暑熱順化トレーニング

ア I群

消防活動訓練についての調査によると、防火衣等完全

着装状態での1日の訓練回数は平均2回で、1回の訓練時間は平均28分であった。

イ II群 (図2)

平均心拍数は1回目と比較すると何れの回も減少しているが、3回目で最低値を示したのち、増加傾向となるなど、顕著な傾向はみられなかった。

平均体温は、1回目と比較すると何れの回も低下しているが、2回目で最低値を示したのち、上昇傾向となるなど、顕著な傾向はみられなかった。

平均発汗量は、暑熱順化トレーニングを重ねる毎に減少する傾向がみられた。

主観的運動強度は、暑熱順化トレーニングを重ねる毎に「ややきつい」の程度から「楽である」の程度に緩和される傾向がみられた。

衣服内温度は27.6℃から27.8℃で推移し、顕著な傾向はみられなかった。また、衣服内湿度は60%から80%近くまでの間で大きく変動し、顕著な傾向はみられなかった。

(2) 暑熱環境テスト

ア I群 (図3)

心拍数、主観的運動強度及び衣服内温湿度については、暑熱順化トレーニング前後の比較では、顕著な傾向はみられなかった。

体温については、暑熱順化トレーニング前後の比較で、やや上昇が抑制される傾向がみられた。

また、発汗量については、暑熱順化トレーニング前後の比較で、有意に増加した。

イ II群 (図4)

心拍数については、暑熱順化トレーニング前後の比較で、やや上昇が抑制される傾向がみられたが、その他の項目については、顕著な傾向はみられなかった。

ウ 暑熱環境テスト完遂状況 (表2)

暑熱環境テストの完遂者について、暑熱順化トレーニング前後で比較をすると、I群では2人増加、II群では1人が増加した。

表2 暑熱環境テストにおける完遂状況

	I群		II群	
	1回目	2回目	1回目	2回目
完遂者(人)	19	21	4	5
未完遂者(人)	11	9	1	0

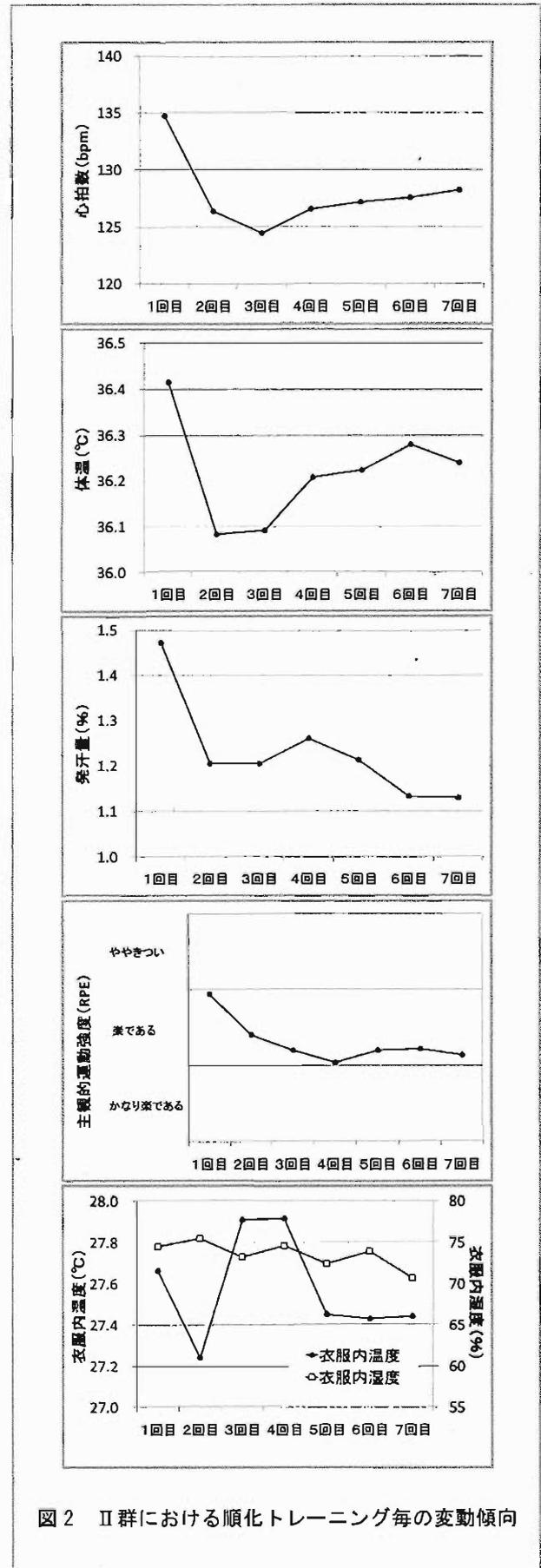


図2 II群における順化トレーニング毎の変動傾向

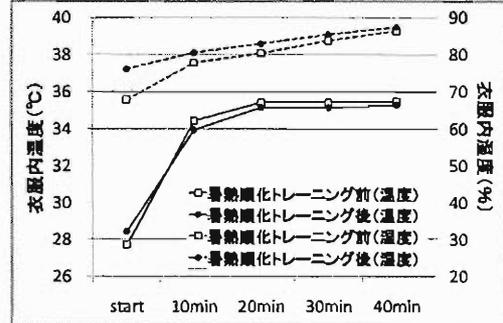
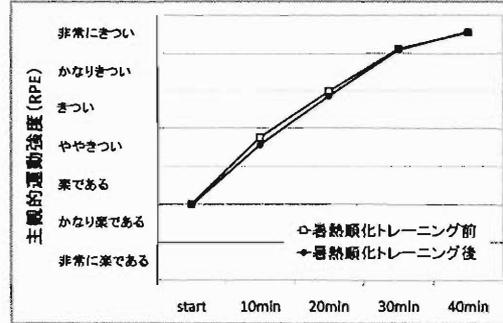
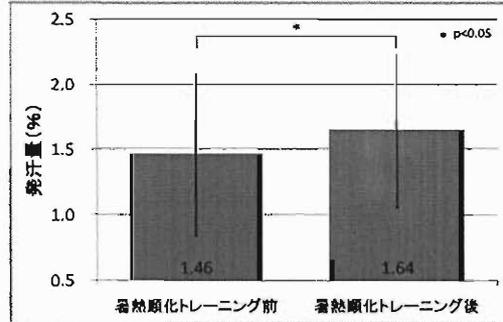
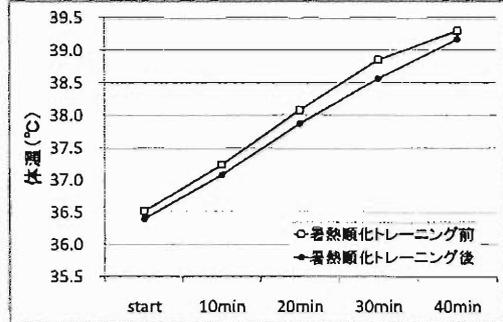
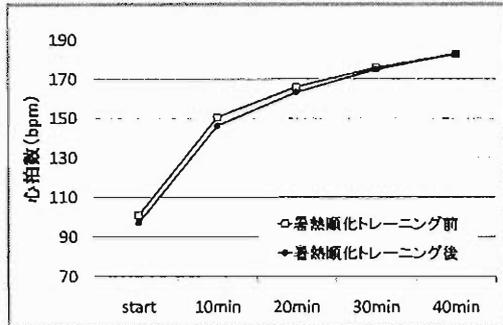


図3 I群における暑熱環境テスト時の変動傾向

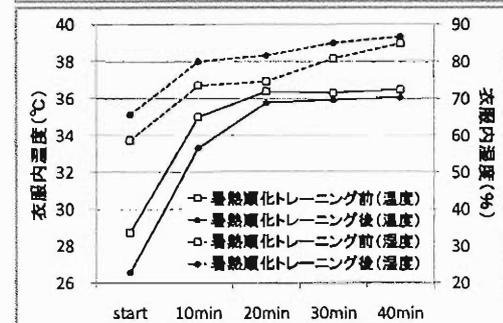
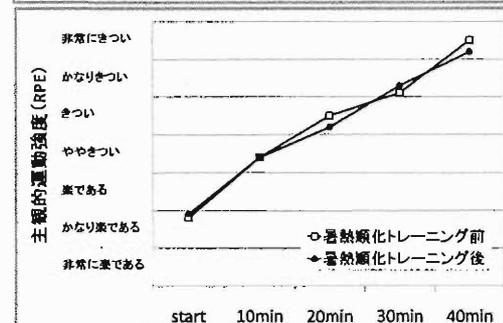
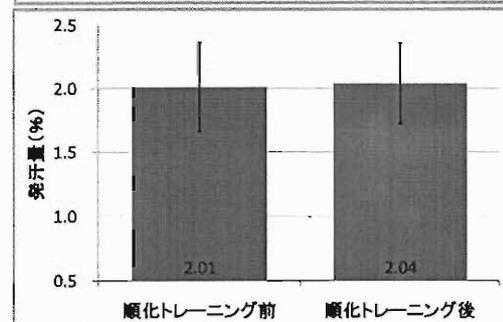
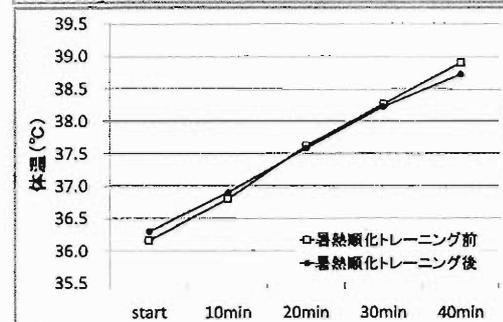
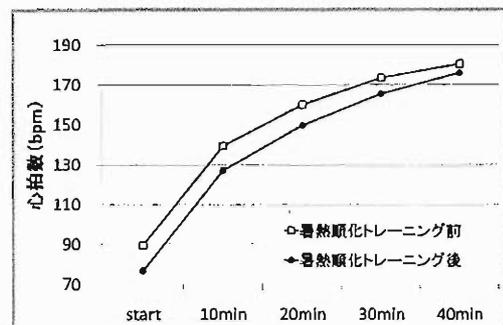


図4 II群における暑熱環境テスト時の変動傾向

4 考察

暑熱順化によって引き起こされる生物学的適応の大きさは、暑熱負荷の強度、時間および頻度に依存する⁴⁾とされており、その効果として現れる生理学的変化は、心拍数及び体温で上昇抑制、発汗量では増加の傾向を示すことがわかっている。

そこで、心拍数、体温及び発汗量について、40分間の数値を平均化し暑熱順化トレーニング前後で比較した(心拍数及び体温は図5、発汗量は図3及び図4で示したとおり)。またI群被験者については役割及び年齢ごとに分類し、心拍数、体温及び発汗量について同様の比較を行った(図6)。

(1) I群

図5により、心拍数及び体温における暑熱順化トレーニング前後の比較をみると、心拍数で減少し、体温で低下する傾向がみられ、それぞれ統計上の有意差が認められた。しかしながら、図4の主観的運動強度における暑熱順化トレーニング前後の比較からわかるように、その差は実感できる水準には達していない。

図6の年齢別分類における暑熱順化トレーニング前後の比較をみると、20代で発汗量の増加傾向、30代では心拍数の減少及び体温の低下傾向がみられ、それぞれに統計上の有意差が認められたが、年齢の増加とともに暑熱順化トレーニングの効果が表れにくくなっていることがわかる。このことは、一見、加齢が暑熱順化能力に影響を与えているようにみえるが、先行研究によると、身体が暑熱順化する能力は加齢によりさほど低下しない⁴⁾とされていることから、年齢の高い被験者が指揮活動を中心とする隊長職につき、年齢の若い被験者が隊員として運動強度の高い活動をしているという傾向が、平均化した数値に反映したものと考えられる。(表3参照)。

表3 年齢別分類と構成

分類	年齢 (平均値±標準偏差)	被験者数 (人)	年齢構成		
			中隊長	小隊長	隊員
20代	24.0±2.8	12	0	1	11
30代	33.4±3.0	7	0	3	4
40代	41.3±2.2	4	1	3	0
50代	55.0±1.7	7	2	5	0

役割別分類における暑熱順化トレーニング前後の比較では、小隊長で発汗量の増加傾向、隊員で体温の低下傾向がみられ、それぞれに統計上の有意差が認められたが、中隊長の体温及び発汗量においては一般的な暑熱順化における生理的变化と逆の傾向を示した。このことは、役割ごとに活動内容が異なり、運動強度に差が生じたことが、暑熱順化トレーニングの効果にも影響したと考えられ、指揮活動を中心とする中隊長の活動では運動強度が低く、暑熱順化トレーニングとしては適さなかったと考えられる。一方で、小隊長及び隊員の活動は平成21

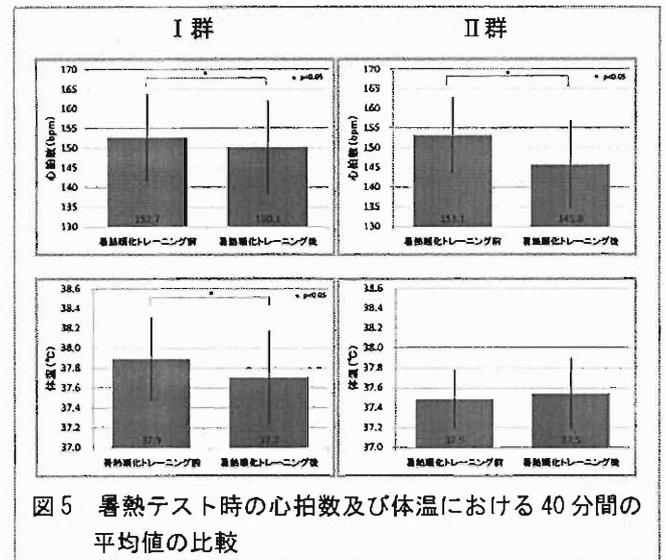


図5 暑熱テスト時の心拍数及び体温における40分間の平均値の比較

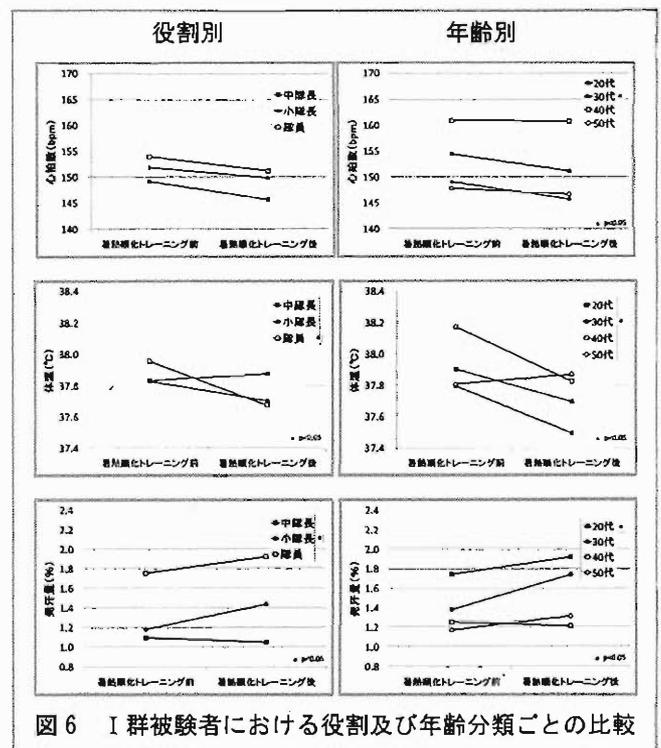


図6 I群被験者における役割及び年齢分類ごとの比較

年に実施した検証の結果と比較すると十分な水準とはいえないが、顕著な傾向が示されていることから、設定条件等を再考することで、効果的な暑熱順化トレーニングとなりうることが示唆された。

(2) II群

図5の暑熱環境テストにおける心拍数及び体温について考察すると、心拍数はI群被験者よりも大きく減少しているが、体温については暑熱順化トレーニングの効果があれば減少傾向を示すところであるが、ほとんど変化がみられない結果となった。先行研究によると、短期間に暑熱順化を形成するには、暑熱暴露や運動による一定程度の体温上昇が必要である¹⁾とされている。そこで、

図2のⅡ群における暑熱順化トレーニング時の体温を見ると、おおむね36.1℃から36.4℃で推移しており、運動により産生された熱は業務用雨外とうを着ていても放散されてしまうことがわかる。したがって、Ⅱ群の設定条件下における40分間のランニングは、有酸素運動として呼吸循環機能の向上をもたらし、心拍数の上昇を抑制する傾向を示したものの、暑熱暴露の要素あるいは運動における負荷強度の不足により、暑熱順化に必要な体温上昇を作り出せなかったことで、体温の上昇抑制傾向及び発汗量の増加傾向に代表される熱放散能力が向上しなかったと考えられる。

5 まとめ

5月から6月の平均的な環境条件下において、7回の連続した当番日に行う消防活動訓練を暑熱順化トレーニングとした場合、防火衣等を装着した状態で、1当番に2回（1回につき30分程度）訓練を行うだけでは、役割次第で暑熱順化の形成に差が生じてしまい、全員が一律に一定水準の暑熱順化形成に至らないことから、効率的な方法であるとは考えにくい。さらに、暑熱順化の形成がみられた被験者についても、その水準は、平成21年実施の検証結果には及ばず、熱中症の予防に十分な水準であるとは言い切れない。

また、同様の環境下及び回数において、業務用雨外とう（中には執務服及び長袖Tシャツを着る。）を着て時速7.5kmで行うランニングを暑熱順化トレーニングとした場合、心拍数の上昇抑制傾向は見られたものの、暑熱順化の形成という面では十分な効果をもたらすことができなかった。

以上のことから、夏場を迎える前の5月から6月の平均的な環境条件下で消防活動訓練やランニングを暑熱順化トレーニングとして暑熱順化を形成させるには、暑熱負荷、運動強度及び暑熱順化トレーニングの回数について見直す必要があるため、今回得られた知見を基に引き続き検証を重ね、目的の達成に繋げていきたい。

6 おわりに

本検証に際し、ご協力いただきました第三消防方面本部、世田谷消防署、玉川消防署及び成城消防署の皆様へ、心から感謝を申し上げます。

[参考文献]

- 1) 中井誠一ほか3名：高温環境とスポーツ・運動、篠原出版新社、p22、2007
- 2) 澤田晋一：近年の職場における熱中症の発生状況と国内外の予防対策の最新動向、労働の科学 66巻6号、p324-p329、2011
- 3) 山本陽太ほか5名：消防活動における効果的な暑熱順化に関する検証、消防技術安全所報 47号、p45-p52、2010

- 4) 平田耕造ほか2名：体温、ナップ、p146、2002
- 5) McArdle, W, D ほか2名：運動生理学、杏林書院、p456、2000

Study on the effective heat acclimatization method in firefighting

(Concrete measures for heat acclimatization training)

Yota YAMAMOTO*, Masasuke HOSOYA*, Hiroyasu TAKAI**, Yoshitaka YAMAGUTCHI*,
Hiroshi CHIBA*

Abstract

In order to provide a practical and effective method for firefighters to conduct heat acclimatization, two training patterns were conducted for adapting the body to heat (heat acclimatization training), with exercise tolerance tests simulating a summer environment (hot environment test) done before and after the training to make a relative judgment on their effectiveness. The results showed the effects of heat acclimatization in body temperature and precipitation amount of a company officer and his members in Group I (firefighting training), and in heart rate in Group II (running in a firefighter's rain coat), but their levels were not sufficient. Insufficient heat load intensity and exercise load intensity in each of the heat acclimatization training sessions could be the factors behind this result.