

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

山本 陽太*, 三野 正浩**, 高井 啓安*, 山口 至孝*,
下畑 行盛***, 千葉 博*

概 要

消防隊員が効果的に行うことができる暑熱順化の方法を示すため、暑熱順化トレーニング及び暑熱環境テストを実施した。

その結果、3部制交替勤務の消防隊員は、防火衣等完全着装による40分以上の暑熱順化トレーニングを、梅雨入り前の4月から5月にかけて、連続した5回以上の当番日に行うことで、暑熱順化の効果が得られることがわかった。また、暑熱順化の効果を維持するためには、暑熱順化後、最低1当番おきに暑熱順化トレーニングを行うことが望ましいとの結果が得られた。

1 はじめに

暑熱環境下においても防火衣の着装を余議なくされる消防活動では、着衣の影響により身体表面の露出面積が極めて少なくなるため、活動時の体温調節のための熱放散が著しく阻害されると考えられる。このため、消防活動時には隊員の熱ストレスが大きくなり、熱中症を誘発する危険性が高くなると考えられる。

そこで、過去に消防隊員の熱中症予防に関する検証を行った結果、効率的な水分補給、冷却剤の活用及び休息時における防火衣等の離脱などの有効性が明らかになったが、暑熱環境に身体を順応させることで熱によるストレスを軽減させることができるとされている暑熱順化については、消防隊員に向けた具体的な方法が現在まで検証されていない。しかし、厚生労働省が平成21年6月19日に策定した新ガイドライン「職場における熱中症の予防について」によると、熱への順化の有無が熱中症の発生リスクに大きく影響するとされていることから、暑熱順化は熱中症予防対策として効果的な手段のひとつであると考えられる。

本検証では、夏場環境前(梅雨入り前の4月から5月にかけて)に防火衣等を着装して実施する消防活動を模した40分程度の運動(以下、「暑熱順化トレーニング」という。)が、夏季に多発している熱中症(図1)の未然防止に有効であるかどうかを明らかにし、消防隊員が効果的に行うことができる暑熱順化の方法を示すことを目的とした。

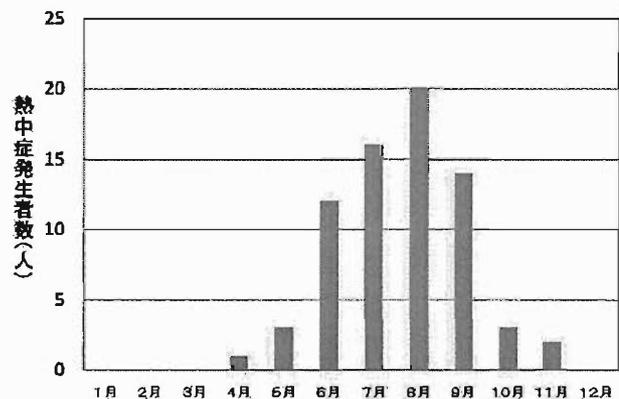


図1 当庁管内の消防活動及び訓練、演習時における熱中症の月別発生者数(平成9年～平成21年累計、救助課統計資料をもとに作成)

2 検証方法

(1) 被験者

消防技術安全所に所属する健康な男性消防吏員5名とした。被験者の身体特性は表1のとおりである。

なお、最大酸素摂取量は環境温度25℃、相対湿度60%に設定した実験室内において、トレッドミルを用いた東大式protocol(猪飼, 1971)にて測定を実施した。

表1 被験者の身体特性

年齢(歳)	身長(cm)	体重(kg)	最大酸素摂取量(ml/kg/min)
38.8±9.4	172.2±9.9	65.6±7.0	57.5±8.0

※数値: mean±SD

(2) 期間

平成 21 年 9 月 29 日から 10 月 30 日までとした。

(3) 暑熱順化トレーニング

ア 日程

3 部制勤務の当番日に合わせて、暑熱順化トレーニングを 7 回（2 1 日サイクルの毎当番）実施した。

尚、2 回目及び 6 回目は都合により、実施時刻が午後となったが、その他の 5 回は午前に実施した。

イ 動作

踏み台昇降運動とした。（踏み台の高さ：20cm）

ウ 時間

消防活動訓練の活動時間及び当庁管内における建物火災の覚知から鎮圧までの平均活動時間を想定し、40 分間とした。

エ 運動強度

建物火災における消防活動時の平均活動強度を想定し、60～70%HRmax の強度になるように、メトロノームで踏み台昇降運動のテンポを統一（100 回/分）した。

オ 環境条件

東京地方の過去 3 年間（2006 年から 2008 年）における 4 月及び 5 月の平均気温及び平均湿度（20℃、65%）とした。また、実験時の環境条件を統一させるため、環境制御室内で実施した。

カ 着衣条件

普通火災出場時の完全着装状態とした。（面体は除く。）

キ 飲水条件

水分摂取はなしとした。

ク 測定項目

ア) 主観的運動強度

15 段階に尺度化された表（Borg 提唱）を使用し、10 分毎に測定した。

イ) 心拍数

センサを内蔵したベルトを胸部に巻き、5 秒毎に測定した。

ウ) 体温

赤外線式の鼓膜温度計を使用し、10 分毎に鼓膜温を測定した。

エ) 発汗量

暑熱順化トレーニング前後の体重を計測し、その差を発汗量として算出した。

オ) 衣服内温湿度

ボタンサイズの温湿度記録計を執務服と防火衣の間、胸部の位置に貼付し、1 分毎に測定した。

(4) 暑熱環境テスト及び消防用暑熱環境テスト

暑熱順化トレーニングの効果を判定するため、トレーニング開始前後に各テストを実施した。なお、暑熱環境テストに加えて消防用暑熱環境テストを実施したのは、防火衣を着装することで、熱放散の効力が制限されても身体を暑熱順化させることができるのかを検証するためである。

ア 動作

暑熱順化トレーニング時と同様、踏み台昇降運動とした。

イ 時間

ア) 暑熱環境テスト

先行研究に基づき、暑熱環境テストに適した時間（60 分間）とした。

イ) 消防用暑熱環境テスト

暑熱順化トレーニング時と同様、40 分間とした。

ウ 強度

暑熱順化トレーニング時と同様のテンポ（100 回/分）とした。

エ 環境条件

ア) 暑熱環境テスト

先行研究に基づき、暑熱環境テストに適した環境（環境温度 37℃、相対湿度 60%）とした。

イ) 消防用暑熱環境テスト

東京地方の過去 3 年間（2006 年から 2008 年）における 8 月の平均最高気温及び平均湿度（33℃、70%）とした。なお、これらは WBGT 値（温熱指数）に換算すると 32℃となり、運動中止ゾーンとされている 31℃以上に該当する。

オ 着衣条件

ア) 暑熱環境テスト

運動しやすい服装（T シャツ、ランニングパンツ、運動靴等）とした。

イ) 消防用暑熱環境テスト

普通火災出場時の完全着装状態とした。（面体は除く。）

カ 飲水条件

ア) 暑熱環境テスト

水分摂取はなしとした。

イ) 消防用暑熱環境テスト

被験者の安全管理に配慮し、塩分濃度 0.1%、糖質 3% のドリンクを 10 分毎に摂取した。飲水量は各被験者が摂取したい量とした。

なお、この場合の発汗量は、（暑熱順化トレーニング前の体重＋飲水量）－（暑熱順化トレーニング後の体重）の式を用いて算出した。

キ 測定項目

ア) 暑熱環境テスト

前(3)、クに示した測定項目から、衣服内温湿度を除いた 4 項目とした。

イ) 消防用暑熱環境テスト

前(3)、クと同様、5 項目とした。

(5) 統計処理

暑熱順化トレーニングにおける平均値の差の比較には一元配置分散分析を用い、事後検定として Scheffe 法を採用した。また、暑熱環境テスト及び消防用暑熱環境テストの平均値の差の比較には t 検定を用いた。

なお、統計上の有意水準は 5% 以下とした。

3 結果

(1) 主観的運動強度

ア 暑熱順化トレーニング (図2)

トレーニング回数が増加するにつれ、主観的運動強度は「ややきつい」程度から「楽である」程度に緩和される傾向がみられたが、各トレーニング回数における主観的運動強度に有意差は認められなかった。

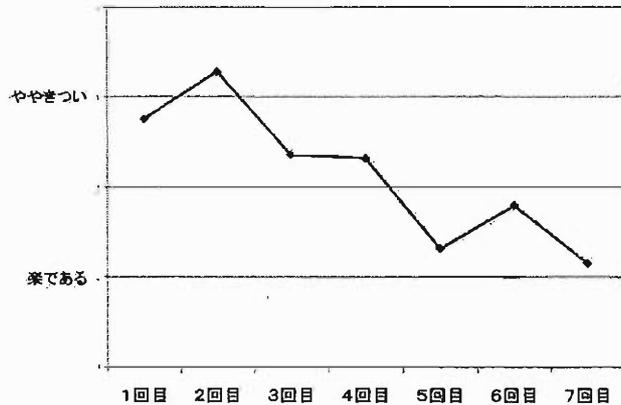


図2 7回の暑熱順化トレーニングにおける主観的運動強度の変動傾向

イ 暑熱環境テスト (図3)

暑熱順化トレーニング後の主観的運動強度は、暑熱順化トレーニング前と比較して緩和される傾向がみられ、テスト開始50分後及び60分後における暑熱順化トレーニング後の主観的運動強度は、暑熱順化トレーニング前と比較して有意に低くなった。

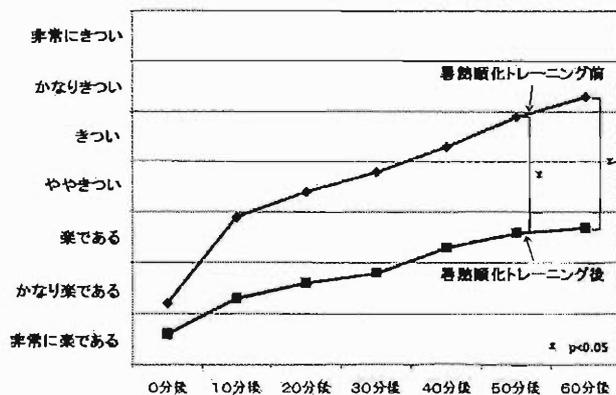


図3 暑熱順化トレーニング前後の暑熱環境テストにおける主観的運動強度の変動傾向

ウ 消防用暑熱環境テスト (図4)

暑熱順化トレーニング後の主観的運動強度は、暑熱順化トレーニング前と比較して緩和される傾向がみられたが、両者に有意差は認められなかった。

なお、暑熱順化トレーニング前における消防用暑熱環境テストにおいては、5名の被験者のうち2名がテスト開始20分後に、残り3名のうち2名が30分後に体力に限界を感じたため測定を中止した。したがって、テスト

開始20分後までは5名、20～30分後までは3名の平均値とし、30～40分後までは1名の数値を示した。

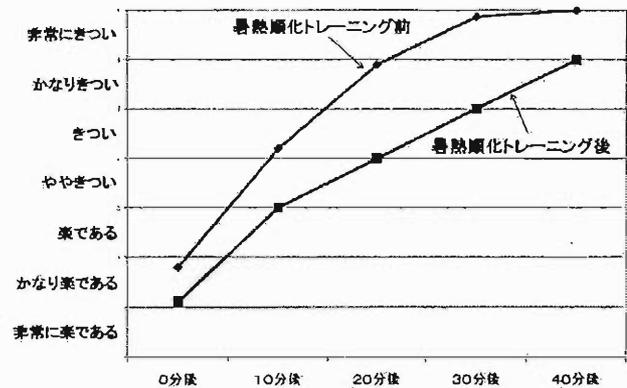


図4 暑熱順化トレーニング前後の消防用暑熱環境テストにおける主観的運動強度の変動傾向

(2) 心拍数

ア 暑熱順化トレーニング (図5)

トレーニング回数が増加するにつれ、心拍数は140回/分程度から130回/分程度に低下する傾向がみられた。

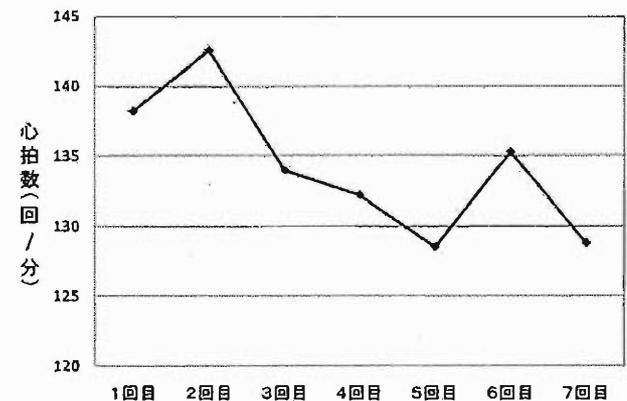


図5 7回の暑熱順化トレーニングにおける心拍数の変動傾向

イ 暑熱環境テスト (図6)

暑熱順化トレーニング後の心拍数は、暑熱順化トレーニング前と比較して低下する傾向がみられ、両者における60分間の心拍数の平均値に有意差が認められた。

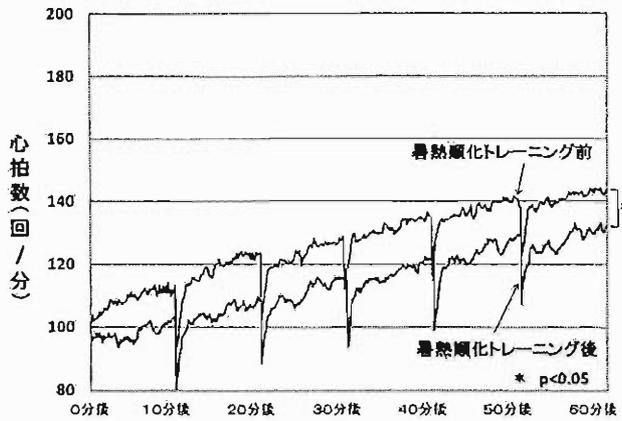


図6 暑熱順化トレーニング前後の暑熱環境テストにおける心拍数の変動傾向

ウ 消防用暑熱環境テスト (図7)

暑熱順化トレーニング後の心拍数は、暑熱順化トレーニング前と比較して低下する傾向がみられ、両者における40分間の心拍数の平均値に有意差が認められた。

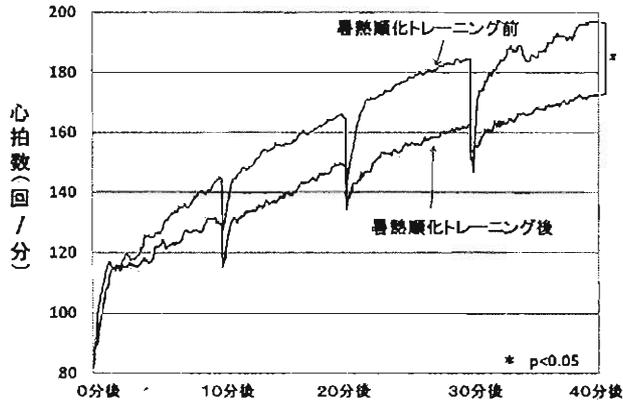


図7 暑熱順化トレーニング前後の消防用暑熱環境テストにおける心拍数の変動傾向

(3) 体温

ア 暑熱順化トレーニング (図8)

トレーニング回数が増加するにつれ、体温(鼓膜温)は37°C程度から36.4°C程度に低下する傾向がみられたが、各トレーニング回数における体温に有意差は認められなかった。

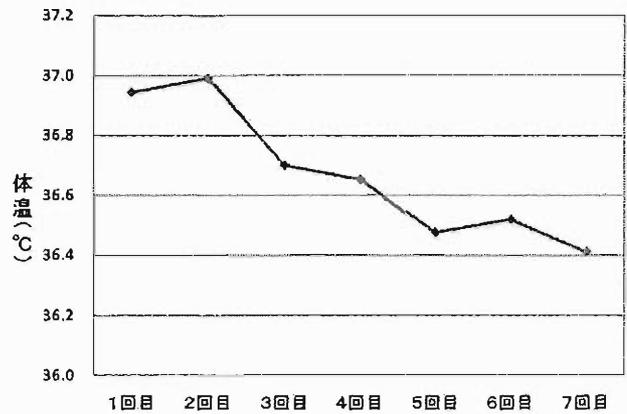


図8 7日間の暑熱順化トレーニングにおける体温の変動傾向

イ 暑熱環境テスト (図9)

暑熱順化トレーニング後の体温は、暑熱順化トレーニング前と比較して低下する傾向がみられたが、両者に有意差は認められなかった。

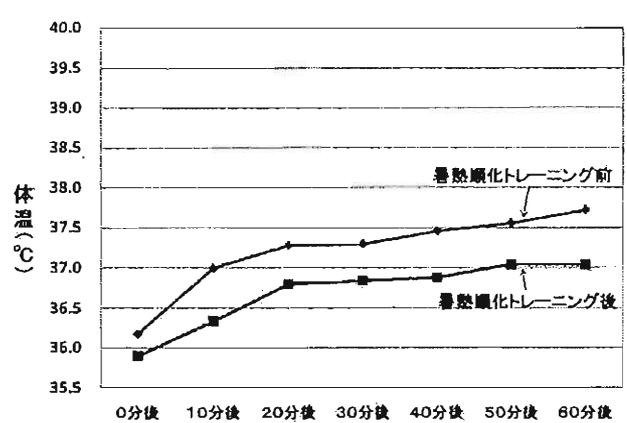


図9 暑熱順化トレーニング前後の暑熱環境テストにおける体温の変動傾向

ウ 消防用暑熱環境テスト (図10)

暑熱順化トレーニング後の体温は、暑熱順化トレーニング前と比較して低下する傾向がみられたが、両者に有意差は認められなかった。

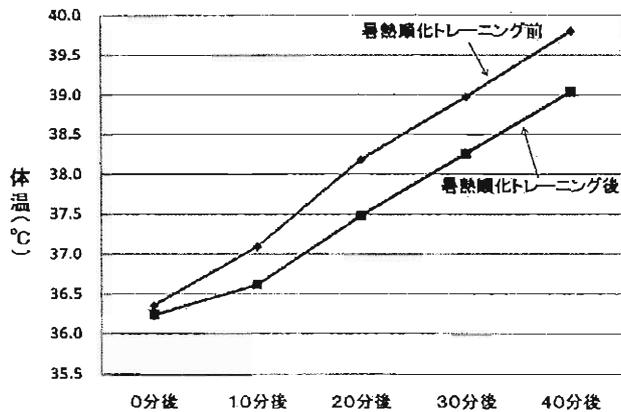


図 10 暑熱順化トレーニング前後の消防用暑熱環境テストにおける体温の変動傾向

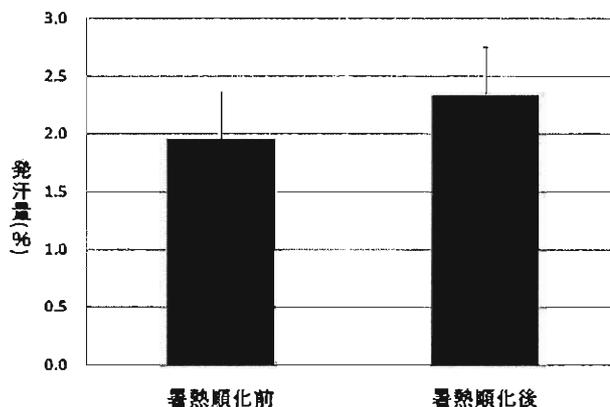


図 12 暑熱順化トレーニング前後の暑熱環境テストにおける発汗量の変化

(4) 発汗量

ア 暑熱順化トレーニング (図 11)

発汗量は各回目とも 1.5% から 2.0% 程度に値しており、トレーニングによる発汗量の増加及び減少の傾向はみられなかった。また、各トレーニング回数における発汗量に有意差は認められなかった。

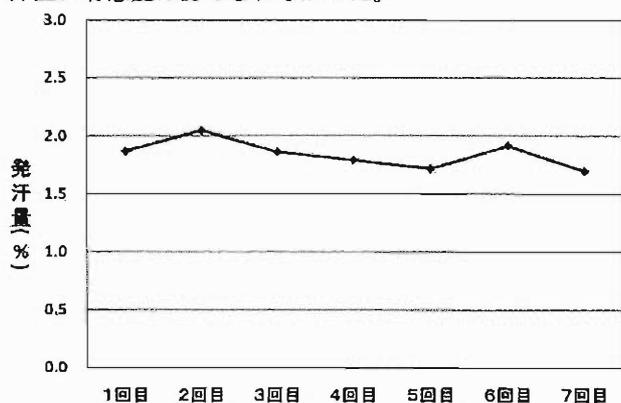


図 11 7 回の暑熱順化トレーニングにおける発汗量の変動傾向

イ 暑熱環境テスト (図 12)

暑熱順化トレーニング後の発汗量は、暑熱順化トレーニング前と比較して増加する傾向がみられたが、両者に有意差は認められなかった。

ウ 消防用暑熱環境テスト (図 13)

暑熱順化トレーニング後の発汗量は、暑熱順化トレーニング前と比較して増加する傾向がみられたが、両者に有意差は認められなかった。

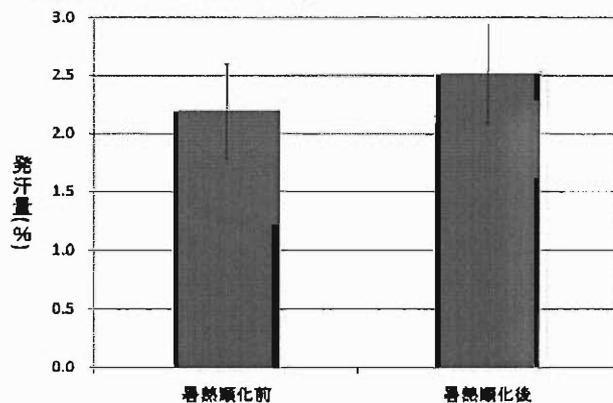


図 13 暑熱順化トレーニング前後の消防用暑熱環境テストにおける発汗量の変化

(5) 衣服内温湿度

ア 暑熱順化トレーニング (図 14)

衣服内温度は各回目とも 31°C から 33°C 程度、衣服内湿度は 65% から 70% 程度に値しており、トレーニングによる衣服内温湿度の上昇及び下降の傾向はみられなかった。また、各トレーニング回数における衣服内温湿度に有意差は認められなかった。

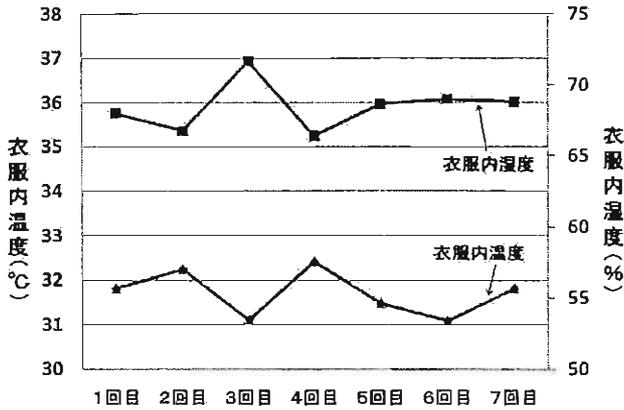


図 1 4 7 日間の暑熱順化トレーニングにおける衣服内温湿度の変動傾向

イ 消防用暑熱環境テスト (図 1 5)

暑熱順化トレーニング後の衣服内温湿度は、暑熱順化トレーニング前と比較して上昇及び下降する傾向はみられず、両者に有意差は認められなかった。

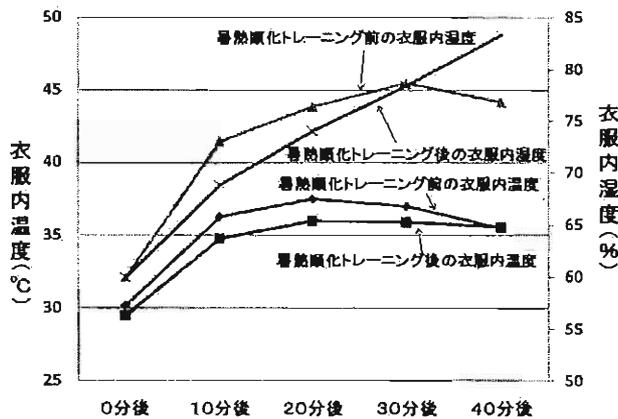


図 1 5 暑熱順化トレーニング前後の消防用暑熱環境テストにおける衣服内温湿度の変動傾向

4 考察

(1) 暑熱順化トレーニングの効果について

本検証の暑熱順化トレーニングは、実際に暑熱環境下において実施するものではなく、比較的涼しい環境下において、防火衣等を着装することにより熱放散を阻害して、身体に熱ストレスを与えるものであることから、一般的な暑熱順化の方法とは異なっている。しかし、この方法により、暑熱環境テスト及び消防用暑熱環境テストにおいて、主観的運動強度の緩和、心拍数及び鼓膜温(深部体温)の低下傾向がみられ、暑熱順化による生理学的反応と合致している¹⁾ことが確認された。

また、暑熱順化トレーニング前の消防用暑熱環境テストでは、体力に限界を感じて測定を中止した被験者がいたが、暑熱順化トレーニング後の消防用暑熱環境テストでは、全被験者が最後まで測定を実施することができ、運動継続時間が延長した。これは、深部体温の上昇が抑

制され疲労困憊になるまでの温度(先行研究では食道温: 40.5°C²⁾とされている。)が延長されたためであると推測される。

以上のことから、防火衣等完全着装で実施する暑熱順化トレーニングは、熱中症予防に効果的であり、暑熱順化の方法として有効な手段のひとつであるといえる。

(2) 暑熱順化の形成に必要な回数(日数)について

本検証の暑熱順化トレーニングは、3部制勤務の当番日に合わせて7回実施した。主観的運動強度、心拍数及び体温に関しては、暑熱順化トレーニング1回目から5回目にかけて平均値が低下、すなわち疲労が軽減する傾向がみられたが、5回目から7回目にかけては大きな変化はみられなかった。

暑熱順化は暑熱環境下で毎日運動を行うと、4~5日間で約8割形成される³⁾ことと、3日に1回の暑熱順化トレーニングは毎日行うものと比較して、心拍数や直腸温(深部体温)の低下に差がない⁴⁾ことを考慮すると、本検証の暑熱順化がほぼ3日に1回のトレーニングにより5日間で形成されたことは先行研究と一致する。

しかしながら、1週間に1回の暑熱下トレーニングでは、暑熱順化は生じない⁴⁾ことから、暑熱順化トレーニングは連続した5回以上の当番日に実施する必要があると推察される。

(3) 消防隊員用の暑熱順化の方法について

獲得された暑熱順化がどの程度で消失するのかを明らかにした先行研究⁵⁾によると、2週間後には直腸温(深部体温)変化からみると約40%、心拍数と発汗量の変化からでは約80%の消失がみられること、さらに順化後1週間以内であれば1日で再順化できることを報告している。

以上のことから、3部制勤務の消防隊員が行う効果的な暑熱順化の方法は、梅雨入り前の4月から5月にかけて、防火衣等完全着装による40分以上の暑熱順化トレーニングを連続した5回以上の当番日に行い、暑熱順化後は最低1当番おきに行う必要があることが示唆された。

(4) 暑熱順化トレーニングの実施時間帯について

本検証における全7回の暑熱順化トレーニングは、計画時点では全て午前中に実施することとなっていたが、都合によりやむを得ず2回目と6回目の暑熱順化トレーニングを午後実施した。そのため、暑熱順化トレーニングにおける測定値については、参考値として分析をした。

これは、概日リズム(Circadian rhythm)と呼ばれる、概ね1日(24時間)周期で変動する生理現象が引き起こす様々な変化が、実験データに影響を及ぼしたと考えられるためである。このことから、検証実験における実験時間等に対する配慮は、今後の課題となった。

(5) 夏季における消防活動時の生理負担と熱中症予防対策について

暑熱順化トレーニング後の消防用暑熱環境テストでは、暑熱順化が形成されていたものの、主観的にはかなりき

強い強度で、体温は最終的に 39℃を超える結果となり、精神的及び肉体的に非常に高い負荷がかかっていた。また、消防用暑熱環境テスト終了後（40 分後）の衣服内温湿度はおおよそ 36℃、80%に達しており、防火衣等が熱放散の大きな障害となっていることが確認された。

高温高湿環境で運動を続けると、熱放散量が減少することにより発汗量が次第に減少し⁶⁾、皮膚からの熱放散経路が断たれてしまい、無効な水分損失（無効発汗）により危険な脱水状態と過熱状態になる¹⁾。また、防火衣のような身体露出面積の少ない衣服を着装すると、身体の表面から蒸発性冷却が 50%減少し、さらに空気呼吸器の着装により代謝熱が発生する¹⁾。つまり、熱放散を阻害し代謝熱を与える防火衣等を着装して行う夏季の消防活動は、隊員に多大な熱ストレスを与えると考えられる。

したがって、夏季の消防活動時における熱中症予防対策として、あらかじめ暑熱順化を形成しておくことと、発汗による血液量の減少に伴う体温の上昇を抑制するために、積極的な水分摂取に努めること⁷⁾のほかに、防火衣等を容易に離脱できる救護所を設置することも必要不可欠であると考えられる。

米国では、救護所に入るタイミングや現場に戻れるバイタルの基準などを明記した消防士のための休憩及び救護システム（通称、「リハブシステム（Emergency Incident Rehabilitation）」という。）が導入されているほか、厚生労働省の新ガイドラインにも暑熱暴露を制限するためのガイドラインが明記されていることから、当庁においてもリハブシステム等の導入を検討するなど、熱中症予防対策の体制を構築していくことが今後の課題であるといえる。

5 まとめ

消防隊員が効果的に行うことができる暑熱順化の方法及び熱中症予防対策に関する本検証から得られた知見は、下記に示す 3 項目である。

- (1) 夏場環境前の比較的涼しい環境下においても、防火衣等完全着装で暑熱順化トレーニングを行うことは、夏季の消防活動時における隊員の熱中症予防に効果的である。
- (2) 3 部制勤務の消防隊員が行う効果的な暑熱順化の方法は、梅雨入り前の 4 月から 5 月にかけて、防火衣等完全着装による 40 分以上の暑熱順化トレーニングを、連続した 5 回以上の当番日に行い、暑熱順化後は最低 1 当番おきに行うことである。
- (3) 夏季の消防活動は隊員に多大な熱ストレスを与えることから、現在当庁において励行されている熱中症予防対策のほかに、活動する隊員を監視するリハブシステムのようなガイドラインを構築するなど、隊員の安全管理体制に配慮していく必要がある。

6 おわりに

今回は暑熱順化トレーニングとして、熱環境室内での踏み台昇降運動を行ったが、消防署における効果的な暑熱順化の方法を考えると、日頃行われる消防活動訓練等を暑熱順化トレーニングに相当するものとして実施していくことが望ましいといえる。

[参考文献]

- 1) McArdle, W.D. 著：運動生理学, 杏林書院, 2000
- 2) 竹宮隆著：運動とストレス科学, 杏林書院, 2003
- 3) ホームページ：熱中症を防ごう, 財団法人日本体育協会 (<http://www.japan-sports.or.jp>)
- 4) 平田耕造著：体温, ナップ, 2002
- 5) Williams CG, et al. : Rate of loss of acclimatization in summer and winter. *J Appl Physiol*, 22:21-26, 1967
- 6) 石川利寛著：健康・体力のための運動生理学, 杏林書院, 2001
- 7) 消防技術安全所報第 45 号：消防活動時における水分摂取が熱中症予防に及ぼす効果の検証, 2008 年

Verification Concerning the Measures for Effective Acclimation to Heat in Firefighting Operations

Yota YAMAMOTO*, Masahiro MINO**, Hiroyasu TAKAI*, Yoshitaka YAMAGUCHI*,
Yukimori SHIMOHATA***, Hiroshi CHIBA*

Abstract

In order to help firefighters to acclimate to heat effectively, we gave them heat acclimation training and a hot environment test. The major findings from this verification are as follows:

1. It was found effective for firefighters to receive training in full protective clothing even in a rather cool, pre-summer environment. This training will prevent them from suffering heat strokes in summer-time operations.
2. For firefighter working on 3 shifts, it is desirable to start the acclimation training in April through May prior to the start of the rainy season. They will conduct 40-minute training on each of five or more consecutive on-duty days. After they have got acclimated to heat, it is desirable to conduct training at least every other on-duty day.