

新たな暑熱順化トレーニングに関する検証

朝日 翔*, 清水 祐二**, 清水 鉄也***

概要

職員個々の運動能力や実施環境に応じて負荷や種目を柔軟に選択でき、安全に実施できる暑熱順化トレーニングを考案し、その効果や暑熱順化トレーニング時の着衣による身体負荷について検証し、暑熱順化トレーニングの効果的な実施方法や安全に実施するための注意点等を提言することを目的とした。運動能力別に3群に分けた被験者に、ラン、サーキット及びそれらを組み合わせたミックスの3種類のいずれかのトレーニングを実施させ、暑熱順化の効果を評価した。また、温度環境別に防火衣や雨がいたう等を着用して運動した時の身体負荷を評価した。その結果、運動能力が中程度以下の群に暑熱順化の効果が認められ、暑熱順化トレーニング時の着衣負荷は25℃を超える環境で高くなることが分かった。

1 はじめに

消防隊員は、災害現場において常に熱中症や脱水を引き起こす高いリスクを負って活動している。その理由の最たるものとして、災害現場で着用する装備品が挙げられる。消防隊員は火災現場では防火衣、救急現場では感染防止衣など、様々な外的危険から身を守るために高い防護性能を有する装備品を着用して活動しているが、その反面熱抵抗も高く、身体からの放熱が妨げられてしまう。

当庁では熱中症の対策として、暑さに身体を慣らす「暑熱順化」の取組が行われており、一定の効果を示している。暑熱順化は、深部体温が1℃程度上昇する中強度の運動を7日間程度継続することにより、暑熱環境下での運動時に深部体温や心拍数の上昇抑制、発汗量の増加などの効果が得られる¹⁾。近年では、暑熱順化は競技スポーツのアスリートや労働者等に対して、積極的に取り入れられている²⁾³⁾。当庁においても、平成24年度に『消防隊員が行う暑熱順化トレーニングの具体的方策に関する検証』を実施し、防火衣を着用した状態で消防活動訓練やランニングを2日おきに7回行うことにより、暑熱順化が獲得できることを明らかにした⁴⁾。この検証結果を基に、平成25年から暑熱順化トレーニング方策が示され、令和2年に至るまでの7年間で災害現場や訓練における熱中症の発症件数は減少傾向を示した。

当庁の暑熱順化トレーニング方策は、防火衣を着用した状態での消防活動訓練と有酸素運動を実施することを基本としている。しかし、適切な運動強度が分からず高強度の暑熱順化トレーニングを行ったことで、過度な体温上昇

を招き、熱中症や脱水を引き起こしたと考えられる事例があった。また、暑熱順化トレーニングによる疲労により、その後の職務に悪影響を及ぼすという意見も挙がっている。

そこで本検証は、第1に、着衣負荷がなく、かつ個々の運動能力に応じて負荷を選択できる暑熱順化トレーニングを考案し、その効果を明らかにすることで、救急隊員や災害現場にあまり出場しない職員にとっても取り組みやすく、安全に実施できる暑熱順化方策を提案すること、第2に、暑熱順化トレーニングを実施する際の防火衣等の着衣負荷が身体に与える影響を明らかにし、暑熱順化トレーニング実施時における安全管理に資することを目的とした。

2 検証方法

実験1として3部制交替勤務のサイクルを想定したスケジュールで暑熱順化トレーニングを実施し、トレーニング期間の前後に暑熱環境における運動中の生理的、主観的指標を測定した。さらに実験2として、防火衣、雨がいたう及び執務服の着衣負荷について、暑熱環境における運動中の生理的、主観的指標を測定した。

(1) 実験1 暑熱順化トレーニング効果実験

運動能力別に3群に分けた被験者に全7回のトレーニングを負荷し、当該トレーニング期間の前後に暑熱負荷テストを実施し暑熱順化効果を評価した。

ア 被験者

東京消防庁職員健康管理規程による就業区分が「W1」

(通常勤務可)に属する消防技術安全所の男性消防吏員のうち、本検証を実施するにあたり検証の目的及び危険性を説明し、被験者となることの同意を得られた者 18 名 (平均値±標準偏差; 年齢 36.0±6.8 歳、身長 172.2±4.1cm、体重 72.3±7.3kg) を被験者とした。

イ 日程

令和 3 年 10 月 6 日 (水) から同年 11 月 30 日 (火) まで

ウ 場所

東京消防庁 消防技術安全所 2 階 運動学実験室

エ 暑熱順化トレーニング

カ 環境条件

温度と湿度を任意に設定できる恒温恒湿室(三菱重工冷熱社製)にて、試験室及び前室を室温 25℃、湿度 60%とした。暑熱順化トレーニングは本格的な夏期が来る前の 5、6 月に行っていることから、室温は東京の 2018 年から 2020 年までの 5、6 月の日中の気温の平均値 23.3℃⁵⁾ を参考に設定した。湿度は、東京の 2018 年から 2020 年までの 5、6 月の日中の WBG T 値の平均値が 21.3℃⁶⁾ であることから、室温が 25℃、無風及び日射なしで屋内 WBG T 値が 21.3℃となる時の湿度 63%⁷⁾ を参考とし設定した。

キ 着衣条件

Tシャツ、執務服ズボン、略帽(アポロキャップ型)及び運動靴を着用させた(写真 1)。



写真 1 着衣状況 (暑熱順化トレーニング)

ク 運動負荷

運動能力に応じて運動強度を 3 段階に分け、さらに運動負荷の種類は 3 種類とした。

当庁職員が毎年実施する新体力テストのうち、20mシャトルランの成績(折り返し数)を基に、被験者 18 名を運動能力の高い者から順に 6 名ずつ、高強度、中強度、低強度の 3 つの群に分けた。

運動負荷は、後に消防署所の立地や天候に応じて柔軟に選択できるように 3 種類(ラン、サーキット、ミックス)を設定し、それぞれの運動負荷は、予備実験を行い直腸温が 30 分間で 1℃上昇する程度の負荷とした。各強度群の 6 名を 3 種類の運動負荷に 2 名ずつ無作為に割り当てた。運動強度及び運動負荷の種類の割当てを図 1 に示す。トレーニングは概ね 2 日おき(最大 3 日おき)に 7 回実施した。

これは、当庁の 3 部制交替勤務のサイクルが概ね 2 日おきであることを模したためである。

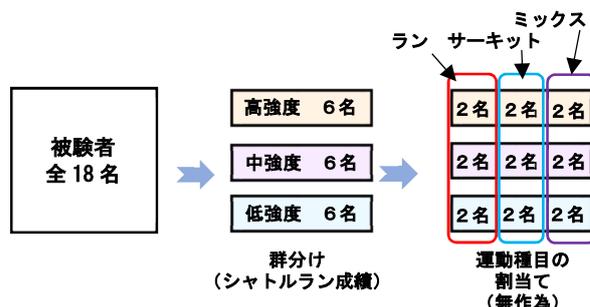


図 1 運動強度及び運動負荷の種類の割当て

a ラン

トレッドミル上での走行を実施した。速度は高強度が 10km/h、中強度が 9 km/h、低強度が 8 km/h とした。運動時間は 30 分間を 2 セットで合計 60 分間とし、セット間に 5 分間の休息及び自由飲水の時間を設けた(休息時間を含めると合計 65 分間となる)。

b サークット

6 種目の運動を順繰りに行うサーキットトレーニング及びなわとびを実施した。10 分間(サーキットトレーニング 6 分間及びなわとび 4 分間)を 1 サイクルとし、1 サイクルの内訳は 6 種目のサーキットトレーニングを 2 巡繰り返したのち、なわとびを 4 分間の間に所定のインターバルで実施した。運動時間は 3 サイクル(30 分間)を 2 セットで合計 60 分間の運動とし、セット間に 5 分間の休息及び自由飲水の時間を設けた。1 サイクル中における運動強度別の実施内訳を図 2 に、サーキットトレーニングの種目を表 1 に示す。

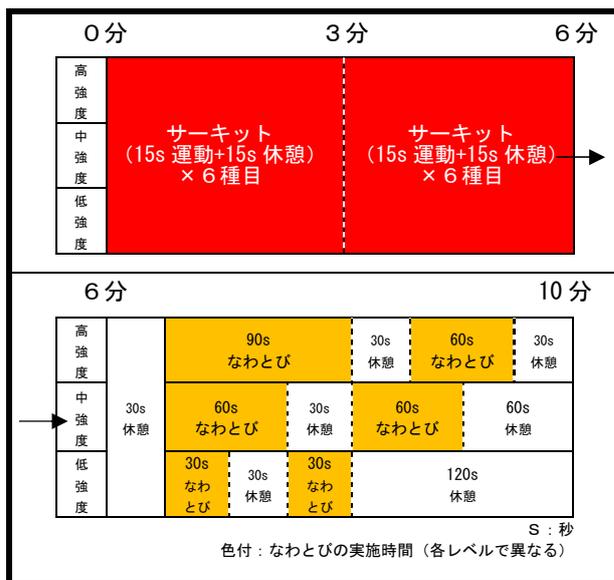


図 2 サークット 1 サイクルの内訳

表1 サークットトレーニングの種目

	種目名 (番号は実施順)		
①バーピー			
②ディップス			
③ジャンピングジャック			
④ハーフスクワット			
⑤マウンテンクライマー			
⑥バックエクステンション			

サーキットトレーニングの運動強度は、動作のフォームを乱さず、かつ会話が可能な範囲での最大努力とした。心拍数が上昇しやすい被験者には、運動中止基準である180

回/分に到達しないようにペースを調節させた。なわとびのペースは概ね120回/分以上とし、跳び方は両足跳びまたは駆け足跳びとした。

c ミックス

ランとサーキットを半分ずつ実施する群をミックス群とした。運動時間は、前aのランを30分間実施した後、5分間の休息及び自由飲水を挟み、前bのサーキットを3サイクル(30分間)実施した。

(e) 運動中止基準

- a 自己申告があった場合
- b 測定者が中止を判断した場合
- c 外耳道温度が39.0℃に到達した時点
- d 以下の2つの基準を満たした場合

外耳道温度が38.0℃に到達、心拍数が180bpmを超える

(f) 測定項目

運動中止基準となる温度及び心拍数の測定を目的とし、外耳道温度及び心拍数を測定した(測定方法はオ、(f)を参照)。また全ての検証終了後に質問調査を実施し「トレーニングを1時間実施した直後に出場指令が入った場合、活動できますか?」という問いに「できる」または「できない」で回答させた。

オ 暑熱負荷テスト

暑熱負荷テストは、暑熱順化トレーニングの実施期間前後に1回ずつとし、1回目は当該期間の初日から前6日以内に、2回目は当該期間の最終日から後5日以内に実施した。

(ア) 環境条件

温度と湿度を任意に設定できる恒温恒湿室にて、試験室を室温32℃、湿度60%とした。これは、東京の2018年から2020年までの7、8月の日最高気温の平均値31.2℃⁵⁾を参考にした。湿度は、東京の2018年から2020年までの7、8月の日中のWBGT値の平均値が27.6℃⁶⁾であり、室温が32℃、無風及び日射なしで屋内WBGT値が27.6℃となる時の湿度63%⁷⁾を参考とし設定した。

前室は室温を25℃、湿度を60%とした。これは、人体の熱収支を考慮した温度の快適域が夏季では22.8℃から26.1℃であること⁸⁾を参考にして設定した。また、試験室との差異を室温のみに限定するため、湿度は試験室と同湿度に設定した。なお、被験者が運動する範囲はほぼ無風であった。

(イ) 着衣条件

執務服の上から長靴(編上靴型)、防火衣、防火帽、災害現場用手袋を装着させた(写真2)。

(ウ) 運動負荷

恒温恒湿室の試験室にて、高さ20cmの踏み台を使用し速さ100bpmの昇降運動を40分間または運動中止基準に到達するまで実施させた(写真3)。



写真2 着衣状況（暑熱負荷テスト）



写真3 踏み台昇降運動の様子

(エ) 運動中止基準

- a 自己申告があった場合
- b 測定者が中止を判断した場合
- c 外耳道温度が 39.0℃に到達した時点
- d 以下の3つの基準のうち2つ以上を満たした場合
 外耳道温度が 38.0℃に到達、心拍数が 180bpm を超える、主観的指標（後述）の値が 80 を超える（被験者には一定値を超えた時点と説明）

(オ) 測定項目

測定項目及び測定方法を表2に示す。

表2 測定項目及び測定方法

項目	測定方法
運動時間	被験者が運動を完遂、もしくは運動中止基準に達するまでの時間を記録した。
心拍数	心拍センサー（H10：ポラール社製）及び受信デバイス（iPad pro：apple社製）を使用し、測定した。心拍センサーを被験者の胸部にバンドで装着し、実験中経時的に測定した。心拍数データは受信デバイスへ無線（Bluetooth）により伝送、記録され、試験室内で測定者が観察した。
推定発汗量	運動開始前と運動終了後に体組成計（innerScan DUAL：タニタ社製）で裸体重を測定し、運動前後の差により算出した。
酸素摂取量	呼気ガス分析器（MW-1100：KORR Medical Technologies社製）及び受信デバイスを使用し、測定した。呼気ガス分析器を被験者の頭部にバンドで装着し、実験中経時的に測定した。酸素摂取量データ

	は受信デバイスへ無線（Bluetooth）により伝送、記録させた。
直腸温度	高性能温度計（LT-2：グラム社製）を使用し、測定した。直腸温センサ（LT-2N-11：グラム社製）のプローブを被験者の肛門に約 10 cm挿入し、実験中経時的に測定した。データは高性能温度計のメモリに記録させた。
外耳道温度	運動中止基準となる温度の測定を目的とし、高性能温度計を使用して測定した。耳栓型温度センサ（LT-2N-13：グラム社製）のプローブを被験者の右耳孔に挿入し、実験中経時的に測定した。データは高性能温度計のメモリに記録させ、実験中、試験室内で測定者が観察した。
平均皮膚温度	高性能温度計を使用して測定し、Robertsらの3点法 ⁹⁾ にて式（1）により平均皮膚温度を算出した。皮膚温センサ（LT-2N-12：グラム社製）のプローブをサージカルテープ（1530-0：3M社製）で貼り付け、体表用断熱カバー（P252：日本光電工業社製）で覆い、さらに汎用医療補助用テープNo.75（ニチバン社製）で覆った。測定箇所は左胸部、左上腕部、左大腿部とし、実験中経時的に測定した。データは高性能温度計のメモリに記録させた。 平均皮膚温度（℃） $= 0.43 \times \text{皮膚温度（胸）} + 0.25 \times \text{皮膚温度（上腕）} + 0.32 \times \text{皮膚温度（大腿）} \quad (1)$
主観的指標	Visual Analogue Scale法（以下「VAS」という。）にて、熱的感觉及び運動強度を、運動開始から10分毎に測定した。 VASは記録用紙に水平100mmの直線が予め記されており、この直線の左端を「全く感じない」、右端を「耐えられない」とした場合、測定時に被験者が感じた各項目の程度を直線上に印で記させるものである（図3）。直線上に記された印の位置を左端からの距離（mm）で求め、この数値（0～100）を主観的指標の値とした。

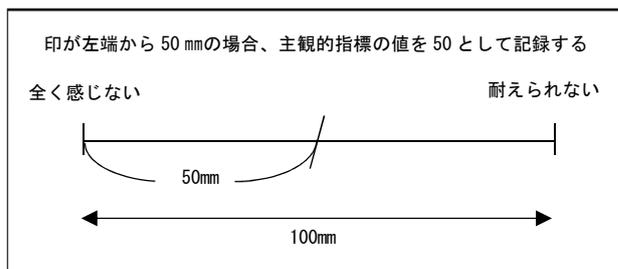


図3 VASの例

(カ) 運動習慣調査

1 回目の暑熱負荷テスト時に被験者の運動習慣等を調査した。調査内容を表 3 に示す。

表 3 運動習慣等の調査内容

項目	質問内容
運動習慣について	週 2 回以上、1 回につき 30 分以上の運動を 1 年以上行っていますか？（運動強度は、息が少しはずむ程度以上とします。） 1、行っている 2、行っていない
運動の種類について	（運動習慣について「行っている」と回答した場合）どんな運動をしていますか？（複数種類の運動をしている場合は、最も比重の大きい運動とします。） 1、有酸素運動 （例：ウォーキング、ランニング、サイクリング、水泳、登山、球技など） 2、無酸素運動 （例：筋力トレーニング、HIIT（高強度インターバルトレーニング）など）

(2) 実験 2 着衣負荷実験

被験者に対象の衣服を着用させ、暑熱環境を再現した試験室で一定の運動を負荷した。その後、試験室内にて着衣のまま待機させ、運動中及び待機中における経時的な生理的、主観的指標を測定した。各被験者は 3 種類の着衣条件及び 3 段階の環境条件の全 9 条件を順不同で検証した。試験室入室前には前室で待機させ、体温及び心拍数を安定させた。

ア 被験者

東京消防庁職員健康管理規程による就業区分が「W1」（通常勤務可）に属する消防技術安全所の男性消防吏員のうち、本検証を実施するにあたり検証の目的及び危険性を説明し、被験者となることの同意を得られた者 6 名（平均値±標準偏差；年齢 42.0±7.5 歳、身長 174.2±3.3cm、体重 71.9±6.9kg）を被験者とした。

イ 日程

令和 3 年 7 月 19 日（月）から同年 9 月 9 日（木）まで

ウ 場所

東京消防庁 消防技術安全所 2 階 運動学実験室

エ 環境条件

恒温恒湿室にて、試験室を室温 20℃、25℃及び 30℃とし、湿度は 60%とした。これは、前(1)、エ、(ア)の環境条件である気温 25℃、湿度 60%を基準とした上で、東京の 2018 年から 2020 年までの気温を参考とし⁵⁾、6 月に想定される気温域を基に 5℃刻みで設定した。

前室は室温を 20℃、湿度を 60%とした。これは、試験室の環境条件の最低室温が 20℃であるため、全条件で 20℃に統一した。また、試験室との差異を室温のみに限定するため、湿度は試験室と同湿度に設定した。なお、被験者が運動するトレッドミル上はほぼ無風であった。

オ 着衣条件

着衣条件は表 4 のとおりとした。なお、雨がいたう及び防火衣は執務服の上に着用することが通例であるため、本実験でも執務服の上に着用させた。表中の衣服重量は衣服そのものの重量を表している。

表 4 着衣条件

	執務服	雨がいたう	防火衣
上衣 外観			
ズボン 外観			
総重量 (付属品 含む)	1007 g (上衣、ズボン：A1)	658 g (上衣、ズボン：L)	3984 g (上衣：Lサイズ、ズボン：98-70)
透湿 防水層	なし	なし	あり
共通 着用品	略帽（アポロキャップ型）、運動靴		

カ 運動負荷

(ア) 運動負荷

トレッドミル（INTDX：LifeFitness 社製）上で時速 8 km の走行を 30 分間負荷した（写真 4）。また、30 分間の走行ののち、試験室内で着衣のまま座位にて 10 分間待機させた（写真 5）。なお、待機時は略帽を離脱した。



写真 4 運動の様子（着衣負荷実験）



写真 5 待機の様子

(イ) 運動中止基準

前(1)、オ、(㊦)と同じとした。

キ 測定項目

前(1)、オ、(㊦)と同じとした。

また、雨がいう及び防火衣条件では衣服内の温度及び湿度を測定した。衣服内の温度及び湿度は温湿度ロガーハイグロクロン (KN ラボラトリーズ社製) を使用し、プラスチックケースに入れ、安全ピンで衣服の裏地に固定し測定した。測定箇所は背部とし、実験中経時的に測定した。

(3) 分析について

統計検定法等の分析方法を表5に示す。統計ソフトはIBM SPSS Statistics Version21を使用した。なお、有意確率5%未満を有意差ありとし、2、(1)については有意確率10%未満を有意傾向ありとした。

表5 分析方法

項目	分析方法	
	実験1	実験2
運動能力	記述統計	—
運動習慣		
種目間の 負荷差	Welch の検定	
運動時間	記述統計	
心拍数	t 検定 (対応あり)	—
推定発汗量		
酸素摂取量	一要因分散分析 (対応あり)	
直腸温度*	二要因分散分析 (対応あり・あり) 多重比較は Bonferroni 法	—
平均皮膚 温度*		
衣服内の温 度及び湿度	二要因分散分析 (対応あり・あり) 多重比較は Bonferroni 法	
主観的指標	二要因分散分析 (対応あり・あり) 多重比較は Bonferroni 法	
質問調査	記述統計	—

*: 実験2では上昇値とした。

(4) 倫理的配慮について

全ての被験者に対して検証の目的、方法を説明するとともに、検証への参加の同意を書面にて得た。なお、本検証は東京消防庁技術改良検証倫理審査専門部会の承認のもと、安全面に十分に配慮し実施した。

3 結果

(1) 実験1 暑熱順化トレーニング効果実験

暑熱順化トレーニングは被験者全員が完遂し、中止基準に至った者や受傷者はいなかった。

結果に示す数値は、2、(1)、オの暑熱負荷テストで得られた各群被験者6名のデータとし、特に断りのない限り平均値±標準偏差とした。なお、暑熱負荷テストでは運動中止基準に到達したことにより40分間の運動を完遂しなかった被験者が多数いたため、全ての被験者が遂行した20分間の値を用いた(推定発汗量を除く)。

ア 運動能力

本検証を実施する前の各被験者のシャトルランの成績(折り返し数)は、高強度群は102回から126回、中強度群は84回から96回、低強度群は43回から70回であった。

イ 運動習慣

被験者の運動習慣調査結果を表6に示す。「週2回以上、1回につき30分以上の運動を1年以上行っていますか?」という問いに対し、高及び中強度群では「行っている」が4名と多く、「行っていない」が2名であった。低強度群では、「行っていない」が5名と多く、「行っている」が1名であった。

また、「行っている」と回答した者を対象とした「どんな運動をしていますか?」という問いに対し、高強度群では「有酸素運動」が3名と多く、「無酸素運動」が1名であった。中強度群では「無酸素運動」が3名と多く、「有酸素運動」が1名であった。低強度群では「有酸素運動」が1名であった。

表6 運動習慣

項目内容	高強度群	中強度群	低強度群
週2回以上、1回につき30分以上の運動を1年以上行っていますか?	行っている 4名	行っている 4名	行っている 1名
	行っていない 2名	行っていない 2名	行っていない 5名
どんな運動をしていますか?	有酸素運動 3名	有酸素運動 1名	有酸素運動 1名
	無酸素運動 1名	無酸素運動 3名	無酸素運動 —

ウ 種目間の負荷差

各トレーニング種目の運動負荷に差がないかを確認するため、被験者を種目毎に群分けした時のトレーニング前後の心拍数の変化率を比較した。結果を図4に示す。心拍数の変化率は、種目間に有意な差を認めなかった。

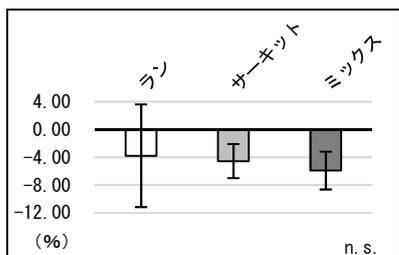


図4 心拍数の変化率（種目）

エ 運動時間

運動時間の比較を図5に示す。運動時間は、中強度群（トレーニング前 32.00±6.2分、トレーニング後 38.33±4.08分）及び低強度群（トレーニング前 28.00±6.36分、トレーニング後 32.67±3.88分）で有意に延びたことが分かった。なお、運動中止基準に到達した被験者の中止理由とその該当者数を表7に示す。

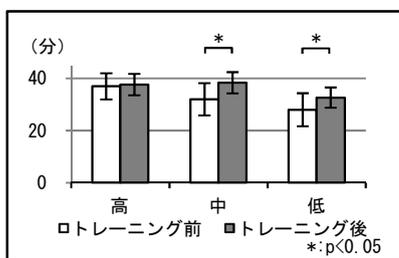


図5 運動時間

表7 中止理由

項目内容	高強度群		中強度群		低強度群	
	トレ前	トレ後	トレ前	トレ後	トレ前	トレ後
外耳道温度が39℃に到達	—	1名	2名	—	—	1名
外耳道温度が38℃に到達及び心拍数が180回/分に到達	2名	1名	3名	—	4名	4名
外耳道温度が38℃に到達及び主観的指標が一定値を超える	—	—	—	—	1名	—
外耳道温度が38℃に到達、心拍数が180回/分に到達及び主観的指標が一定値を超える	—	—	—	1名	—	—

オ 心拍数

心拍数について、運動20分時点の比較を図6に示す。心拍数は、低強度群（トレーニング前 165.16±15.7回/分、トレーニング後 154.87±19.55回/分）で有意に減少し、中強度群（トレーニング前 158.61±17.59回/分、トレ

ニング後 150.9±12.71回/分）で有意に減少する傾向がみられた。

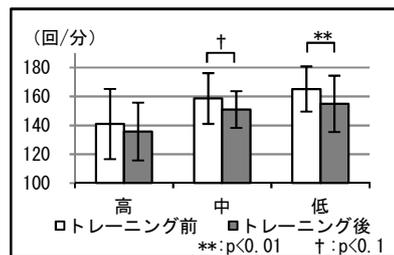


図6 心拍数

カ 推定発汗量

推定発汗量について、被験者ごとに運動時間が異なるため、1分あたりの推定発汗量を算出し、その比較を図7に示す。推定発汗量は、各群ともトレーニング前後に有意な差は認められなかった。

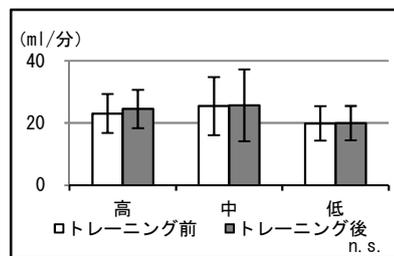


図7 1分あたりの推定発汗量

キ 酸素摂取量

酸素摂取量について、運動20分間の平均値の比較を図8に示す。酸素摂取量は、各群ともトレーニング前後に有意な差は認められなかった。

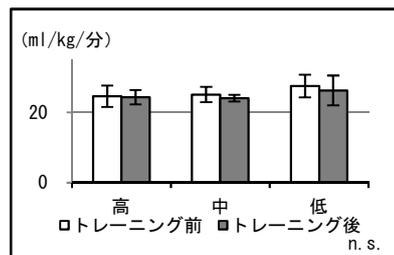


図8 酸素摂取量

ク 直腸温

直腸温について、運動開始から20分時点までの5分毎の推移の比較を図9から図11に示す。直腸温は中強度群において有意な差が認められた。なお、交互作用が認められたため、単純主効果の検定を行った。その結果、5分後（トレーニング前 37.50±0.18℃、トレーニング後 37.25±0.26℃）、10分後（トレーニング前 37.63±0.19℃、トレーニング後 37.36±0.26℃）、15分後（トレーニング前 37.80±0.21℃、トレーニング後 37.50±0.25℃）、20分後

(トレーニング前 $38.0 \pm 0.23^\circ\text{C}$ 、トレーニング後 $37.69 \pm 0.24^\circ\text{C}$)においてトレーニング後の方が有意に低いことが分かった。また、運動開始時(トレーニング前 $37.44 \pm 0.17^\circ\text{C}$ 、トレーニング後 $37.21 \pm 0.26^\circ\text{C}$)においてトレーニング後の方が有意に低い傾向がみられた。高強度群及び低強度群では有意な差は認められなかった。

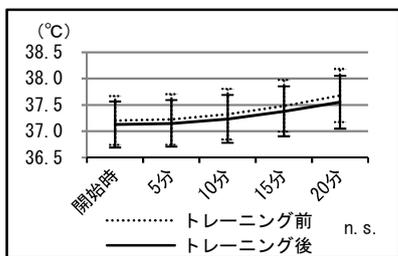


図9 直腸温 (高強度)

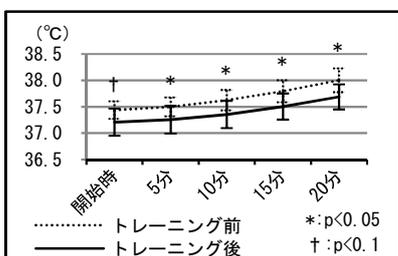


図10 直腸温 (中強度)

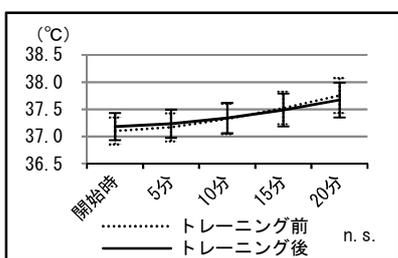


図11 直腸温 (低強度)

ケ 平均皮膚温度

平均皮膚温度について、運動開始から20分時点までの5分毎の推移の比較を図12から図14に示す。平均皮膚温度は中強度群においてトレーニング後の方が有意に低い傾向がみられた。

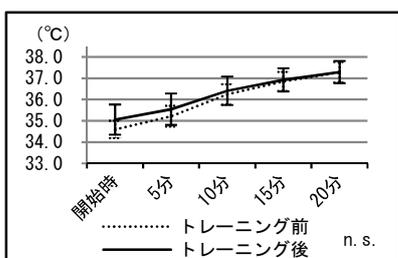


図12 平均皮膚温度 (高強度)

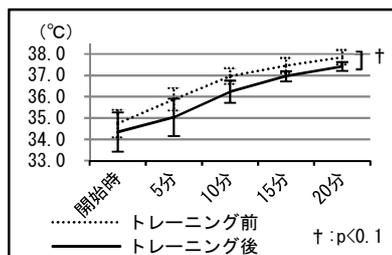


図13 平均皮膚温度 (中強度)

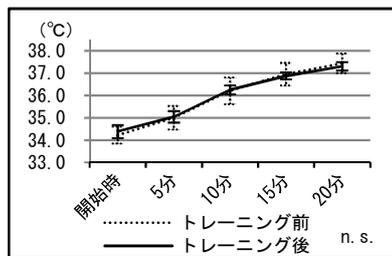


図14 平均皮膚温度 (低強度)

コ 主観的指標

主観的暑さ及び主観的運動強度について、運動開始時から20分までの10分毎の推移の比較を図15から図20に示す。いずれの項目においてもトレーニング前後で有意な差は認められなかった。

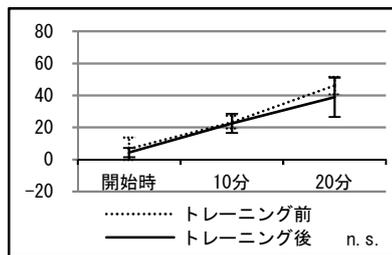


図15 暑さ (高強度)

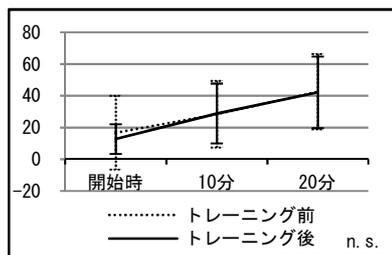


図16 暑さ (中強度)

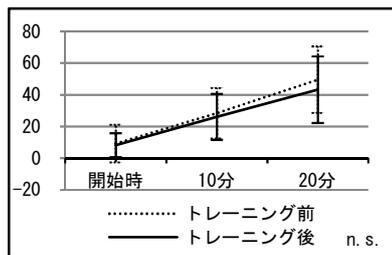


図17 暑さ (低強度)

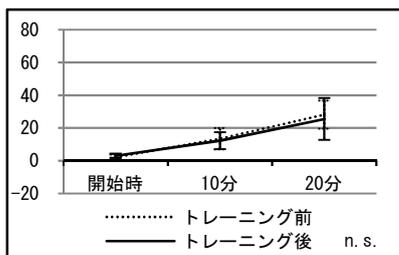


図 18 運動強度 (高強度)

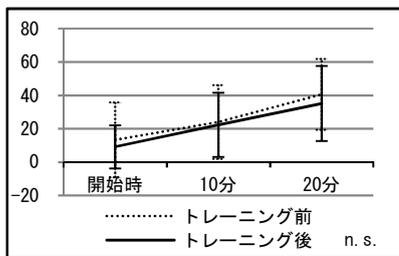


図 19 運動強度 (中強度)

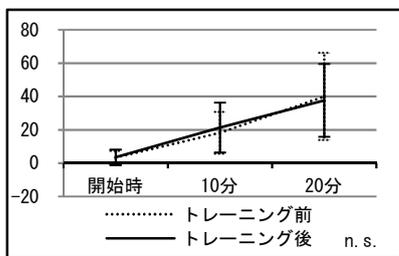


図 20 運動強度 (低強度)

サ 質問調査

検証終了時の質問調査について、人数を単純集計した。「トレーニングを1時間実施した直後に出場指令が入った場合、活動できますか?」という問いに対し、被験者18名中「できる」が17名と多く、「できない」が1名であった。

(2) 実験2 着衣負荷実験

結果に示す数値は被験者6名のもとし、平均値±標準偏差とした。

ア 運動時間

運動時間について、被験者6名全員が全ての条件で30分間の運動及び運動後10分間の待機を完遂した。

イ 心拍数

心拍数について、運動終了時の比較を図21に、待機終了時の比較を図22に示す。

運動終了時では、25℃及び30℃で防火衣が執務服及び雨がითより、雨がითが執務服より有意に高いことが分かった(25℃:執務服135.9±14.12回/分、雨がით147.04±12.39回/分、防火衣154.33±16.07回/分、30℃:執務服139.16±14.92回/分、雨がით153.02±13.66回/分、防火衣159.89±13.52回/分)。20℃では有意な差が認められなかった。

待機終了時では、25℃で防火衣が執務服より有意に高く、

30℃で防火衣が執務服及び雨がითより、雨がითが執務服より有意に高いことが分かった(25℃:執務服88.03±16.31回/分、防火衣106.72±16.64回/分、30℃:執務服95.77±15.66回/分、雨がით111.85±16.52回/分、防火衣119.25±13.77回/分)。20℃では有意な差が認められなかった。

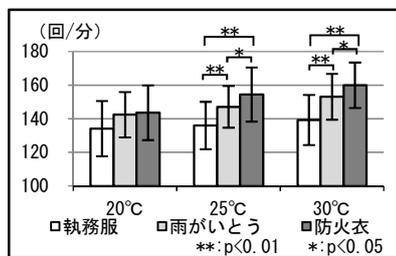


図 21 心拍数 (運動終了時)

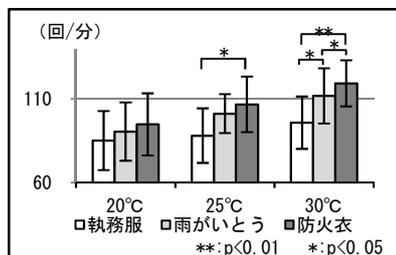


図 22 心拍数 (待機終了時)

ウ 推定発汗量

推定発汗量について、運動開始から待機終了までの40分間の実測値の比較を図23に示す。

20℃では防火衣及び雨がითが執務服より、25℃では防火衣が執務服より、30℃では雨がითが執務服よりそれぞれ有意に多いことが分かった(20℃:執務服375.0±93.54ml、雨がით525.0±103.68ml、防火衣741.67±245.8ml、25℃:執務服425.0±61.24ml、防火衣766.67±233.81ml、30℃:執務服583.33±103.28ml、雨がით883.33±306.05ml)。

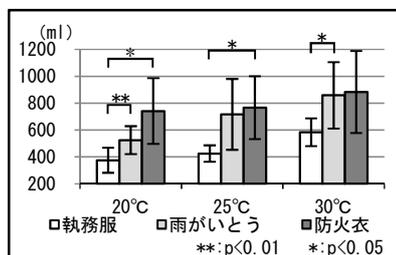


図 23 推定発汗量

エ 酸素摂取量

酸素摂取量について、運動30分間の平均値の比較を図24に示す。

20℃では防火衣が執務服及び雨がითより、25℃及び30℃では防火衣及び雨がითが執務服よりそれぞれ有

意に多いことが分かった (20°C: 執務服 27.98±2.4ml/kg/分、雨がいう 28.57±2.63 ml/kg/分、防火衣 31.08±2.09 ml/kg/分、25°C: 執務服 28.68±2.06ml/kg/分、雨がいう 31.85±2.91 ml/kg/分、防火衣 35.3±4.09 ml/kg/分、30°C: 執務服 33.15±3.65ml/kg/分、雨がいう 34.52±3.98 ml/kg/分、防火衣 36.82±4.34 ml/kg/分)。

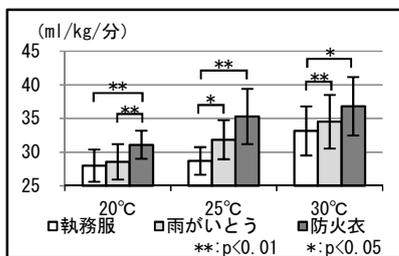


図 24 酸素摂取量

オ 直腸温

直腸温について、運動30分間の上昇値の比較を図25に、待機10分間の上昇値(待機開始時を0とした。)の比較を図26にそれぞれ示す。

運動中では、30°Cで防火衣が執務服より有意に高いことが分かった(執務服 0.84±0.28°C、防火衣 1.24±0.21°C)。

待機中では、25°Cで防火衣が執務服より、30°Cでは防火衣及び雨がいうが執務服よりそれぞれ有意に高いことが分かった(25°C: 執務服 0.01±0.15°C、防火衣 0.23±0.09°C、30°C: 執務服 0.09±0.03°C、雨がいう 0.28±0.02°C、防火衣 0.32±0.06°C)。

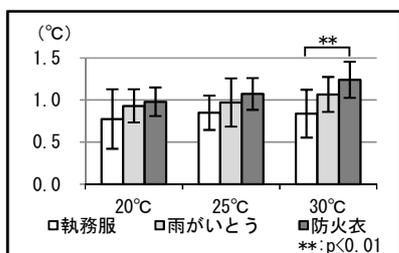


図 25 直腸温上昇値 (運動中)

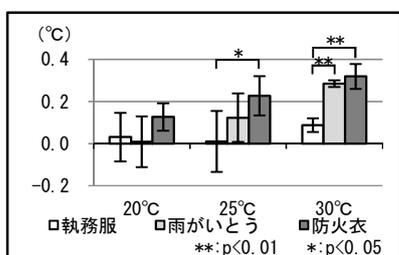


図 26 直腸温上昇値 (待機中)

カ 平均皮膚温度

平均皮膚温度について、運動30分間の上昇値の比較を図27に、待機10分間の上昇値(待機開始時を0とした。)

の比較を図28にそれぞれ示す。

運動中では、全ての温度条件で防火衣が執務服より有意に高いことが分かった (20°C: 執務服 1.76±0.53°C、防火衣 3.09±0.86°C、25°C: 執務服 2.29±0.62°C、防火衣 3.42±0.75°C、30°C: 執務服 2.78±0.84°C、防火衣 4.08±0.91°C)。なお、待機中では、平均皮膚温度に有意な差が認められなかった。

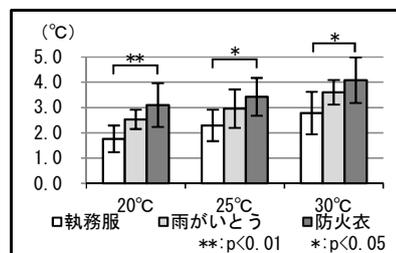


図 27 平均皮膚温度上昇値 (運動中)

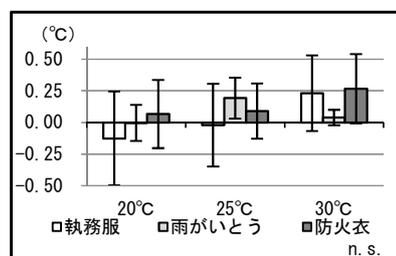


図 28 平均皮膚温度上昇値 (待機中)

キ 衣服内湿度

衣服内湿度について、運動中の推移を図29から図34に示す。

衣服内湿度は、20°C及び30°Cで有意な差が認められた。20°Cでは交互作用が認められたため、単純主効果の検定を行った。その結果、運動終了時において雨がいうが防火衣より高いことが分かった(雨がいう 88.38±3.36%、防火衣 84.53±4.53%)。30°Cでは雨がいうが防火衣より高いことが分かった。なお、衣服内湿度は全ての環境条件で有意な差が認められなかった。

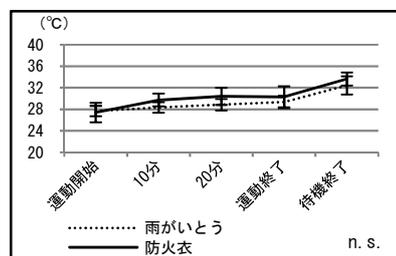


図 29 衣服内湿度 (20°C)

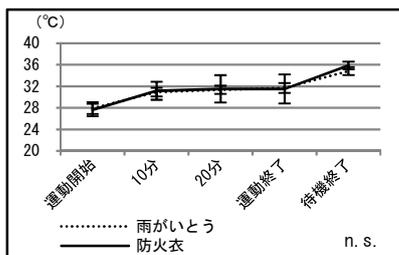


図 30 衣服内温度 (25°C)

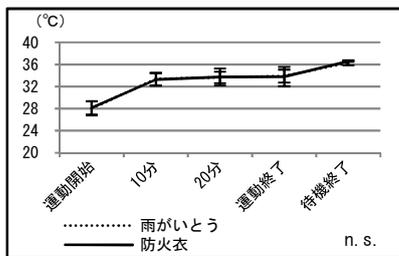


図 31 衣服内温度 (30°C)

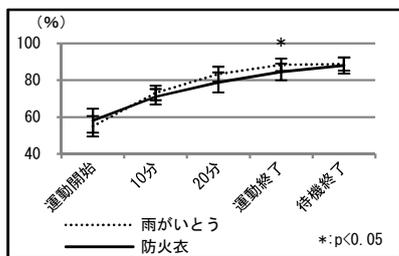


図 32 衣服内湿度 (20°C)

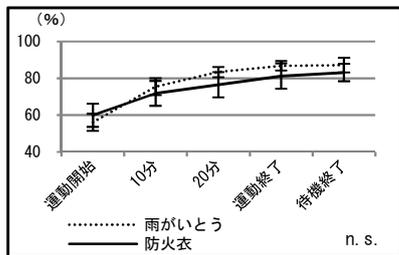


図 33 衣服内湿度 (25°C)

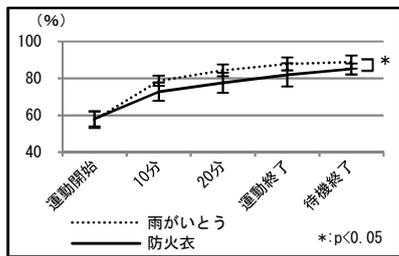


図 34 衣服内湿度 (30°C)

た。その結果、10 分後、20 分後及び終了時において防火衣が執務服より高いことが分かった (10 分後: 執務服 14.67±11.94、防火衣 25.0±9.44、20 分後: 執務服 26.33±12.97、防火衣 38.33±10.17、終了時: 執務服 34.83±14.84、防火衣 50.83±9.87)。30°Cでは雨がいとうが執務服より有意に高いことが分かった。

運動強度では全ての温度条件で有意な差が認められた。20°Cでは交互作用が認められたため、単純主効果の検定を行った。その結果、10 分後において防火衣が執務服より高いことが分かった (執務服 11.17±8.04、防火衣 15.5±9.29)。また 25°Cでも交互作用が認められたため、単純主効果の検定を行った。その結果、10 分後において防火衣が雨がいとうより、終了時において防火衣が執務服より高いことが分かった (10 分後: 雨がいとう 15.67±9.35、防火衣 22.5±10.73、終了時: 執務服 30.83±15.3、防火衣 41.83±12.54)。さらに 30°Cでも交互作用が認められたため、単純主効果の検定を行った。その結果、20 分後において防火衣が雨がいとうより高いことが分かった (雨がいとう 40.5±9.05、防火衣 46.5±14.38)。

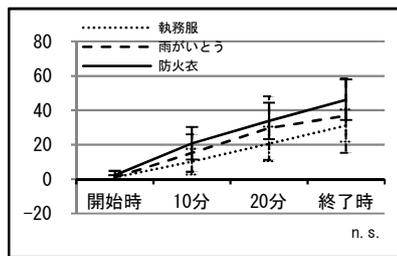


図 35 暑さ (20°C)

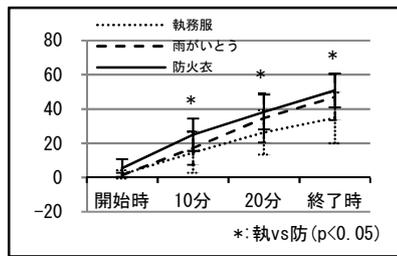


図 36 暑さ (25°C)

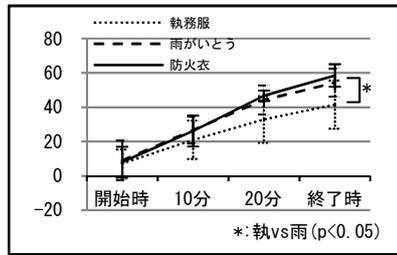


図 37 暑さ (30°C)

ク 主観的指標

運動中の主観的指標について、暑さを図 35 から図 37 に、運動強度を図 38 から図 40 にそれぞれ示す。

暑さでは 25°C及び 30°Cで有意な差が認められた。25°Cでは交互作用が認められたため、単純主効果の検定を行っ

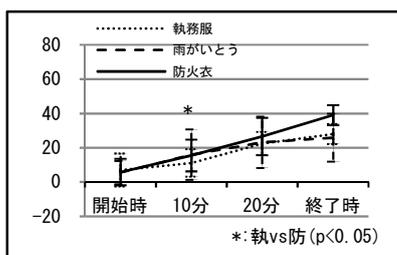


図 38 運動強度 (20°C)

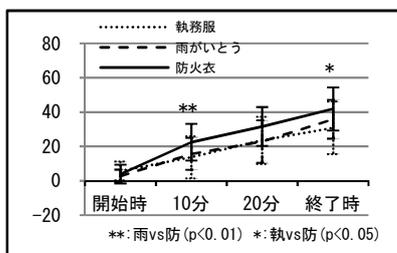


図 39 運動強度 (25°C)

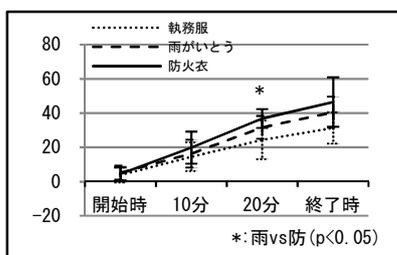


図 40 運動強度 (30°C)

4 考察

(1) 実験 1 暑熱順化トレーニング効果実験

ア 運動時間

運動時間について、中及び低強度群で有意に延長したことが分かった (図 5 参照)。運動中止基準は、実験での高い身体負荷が被験者の健康を害するおそれがあることから設定している。そのため、運動中止基準に到達するまでの時間が延びることは、消防活動時において良好なパフォーマンスが継続する時間が延びることに繋がる。運動中止基準に到達した被験者の中止要件は、「外耳道温度が 38°C に到達及び心拍数が 180 回/分に到達」が最も多かった。心拍数 (後述) について中及び低強度群において有意な差及び有意傾向が認められたため、心拍数の上昇抑制が運動中止基準に到達するまでの時間延長に繋がったと考えられる。一方高強度群では有意な差が認められなかった。これは高強度群の被験者 6 名のうち 4 名が、トレーニング前の暑熱負荷テストで運動を完遂したため、トレーニング前後で差が現れなかったと考えられる。

イ 心拍数

心拍数について、低強度群で有意な減少がみられ、中強度群で減少の有意傾向がみられた (図 6 参照)。心呼吸系体力の初期レベルはトレーニング効果の大きさに影響し、初期の体力レベルが低ければトレーニング効果は大きい

とされている¹⁰⁾。低強度群は体力レベルが相対的に低いため、心拍数に関するトレーニングの効果が強く出現したと考えられる。これに対し中強度群や高強度群は体力レベルが相対的に高いため、心拍数に関するトレーニング効果があまり出現しなかったと考えられる。

ウ 推定発汗量

推定発汗量について、各群とも有意な差は認められなかった (図 7 参照)。発汗機能は中枢機構と汗腺機構を介して調節されているが、暑熱暴露や運動により人工的に成立させる暑熱順化では中枢機構の変化が主体であり、汗腺活動の亢進は中枢機構の変化に比べて遅れて起こると考えられている¹¹⁾。そのため、汗腺活動が亢進し発汗機能が向上するためには、さらに時間をかけた暑熱順化が必要であったと考えられる。

エ 酸素摂取量

酸素摂取量について、各群とも有意な差は認められなかった (図 8 参照)。酸素摂取量は絶対的運動強度の生理的指標として用いられている¹²⁾。本実験では、同じく運動強度の指標となる心拍数で有意な差が認められたが、運動強度の心理的指標として測定した VAS では各群の運動強度に差は認められなかった。このことから本暑熱順化トレーニングは、酸素摂取量に影響を与えるほどのトレーニング量ではなかったと考えられる。

オ 直腸温及び平均皮膚温度

直腸温及び平均皮膚温度について、中強度群のみ有意な差、有意傾向がそれぞれ認められたが、低強度群と高強度群では有意な差が認められなかった (図 9 から図 14)。暑熱順化に要する日数は、普段強度の高いトレーニングを行っている者の方が少なく済むことが示唆されている¹³⁾。運動習慣が乏しい低強度群は心拍数の顕著な改善が見られたものの、直腸温及び平均皮膚温度に改善がみられるまでにはさらに時間をかけた暑熱順化が必要であると考えられる。一方高強度群では、日頃から有酸素系運動を行っている被験者が 6 名中 3 名おり、検証以前に暑熱耐性が形成されていた可能性がある。

カ 主観的指標

主観的な暑さ及び運動強度について、各群とも有意な差は認められなかった (図 15 から図 20 参照)。中強度群は直腸温の有意な低下が認められたが、主観的な暑さに影響を与えるほどではなかったと考えられる。また、主観的な運動強度は、酸素摂取量と同様に、有意な差が現れるほどのトレーニング量ではなかったと考えられる。

キ トレーニング後の活動の可否

検証終了後の質問調査によって、18 名中 17 名の被験者が本検証の暑熱順化トレーニング直後であっても消防活動が「できる」と回答しており、トレーニングの負荷は消防活動に支障がないと考えられる。本検証ではトレーニング時において防火衣を着用しないことによって著しい体温上昇を防ぎ、30 分間の運動後に休憩及び飲水のための時間を設け、ランでは運動レベル別に速度を指定し、サー

キットでは局所的な負荷が一部分に集中しないようにするなど、身体に過度な負荷が掛かりにくいように内容を組み立てた。なお、18名中1名の被験者は「できない」と回答したものの、トレーニングの回数を重ねるごとに身体負荷の軽減を感じたと申告していた。暑熱順化を短期で獲得するためには中程度以上の強度のトレーニングが必要であり¹⁾、それなりの身体負荷は避けられない。そのため、トレーニングは本格的な夏季直前に突然開始するのではなく、春先から段階的な負荷を身体に与え、徐々に慣らしていくことが活動安全のためにも重要であると考えられる。

(2) 実験2 着衣負荷実験

ア 運動時間

運動時間について、全ての被験者が30分間の運動及び10分間の待機を完遂した。着衣の総重量には違いがあり運動負荷も異なると考えられるが、30分間の走行運動及び10分間の待機では、運動時間に影響を与えるほど運動負荷に差がなかったと考えられる。

イ 心拍数

運動終了時の心拍数について、25℃及び30℃条件で各着衣条件間に有意な差が認められた(図21参照)。その要因として、運動強度と発汗量が影響していると考えられる。

心拍数は、運動強度の生理的指標として用いられている¹²⁾。運動条件は一律であるものの着衣の総重量において防火衣は執務服と比較し約4kg重く、防火衣と雨がいつもの差も約3kgあり、各着衣条件の運動強度には差があると考えられる。このことから、各着衣条件の運動強度の違いが心拍数に影響を与えたと考えられる。

また、運動中の心拍数の増加は体内水分量の不足も大きな要因とされており、運動中の体内水分量の減少は発汗によるものである¹⁴⁾。このことから、25℃及び30℃で着衣の総重量にあまり差がないにもかかわらず執務服と雨がいつもの心拍数に有意な差が認められたことは、両条件の推定発汗量(後述)の差が影響していると考えられる。一方20℃条件では推定発汗量に有意な差が認められているものの、心拍数には有意な差が認められていない。これは、20℃条件では各着衣条件の推定発汗量が心拍数の差に影響を与えるほどではなかったためでもあると考えられる。

ウ 推定発汗量

推定発汗量について、環境条件にもよるが、防火衣及び雨がいつもは執務服より有意に多いことが分かった(図23参照)。なお、環境温度の上昇にも関わらず有意な差が認められなかった場合もあったが、基本的には防火衣及び雨がいつもの着用は発汗量を増加させる方向に働くと考えられる。

エ 酸素摂取量

運動中の酸素摂取量について、全ての環境条件で有意な差が認められた(図24参照)。酸素摂取量は心拍数と同様に運動強度の生理的指標として用いられており¹²⁾、運動強度の違いが酸素摂取量にも影響を与えたと考えられる。

オ 直腸温

直腸温の上昇値について、運動中と待機中の両方で有意な差が認められた(図25及び図26参照)。運動中では30℃で防火衣が執務服より高いことが分かった。運動時の体温は、運動強度が高くなるほど上昇し、高い水準で維持される¹⁵⁾。心拍数及び酸素摂取量の結果から、防火衣は総重量が重いことにより運動強度が最も高く、直腸温の上昇値に影響を与えたと考えられる。加えて、運動時の体温には気温も影響することから¹⁵⁾、最も衣服内温度が高くなった30℃条件で特に直腸温が上昇したと考えられる。待機中の上昇値について、30℃の防火衣と雨がいつもは執務服より、25℃の防火衣が執務服より有意に高いことが分かった。防火衣及び雨がいつもは、全ての環境条件において衣服内温度が運動終了後に上昇しているため、着衣により身体からの熱放散が妨げられたと考えられる。運動終了後にもかかわらず直腸温が遅れて上昇したことから、運動後に着衣状態を続けることには注意が必要であると考えられる。

カ 平均皮膚温度

平均皮膚温度の上昇値について、運動中のみ全ての環境条件で、防火衣が執務服より有意に高いことが分かった(図27及び図28参照)。防火衣は熱抵抗が大きく、さらに着衣の重さが運動負荷を増加させ、運動による熱産生量も多いと推測されるため、皮膚温をより上昇させたと考えられる。

キ 衣服内温湿度

雨がいつも及び防火衣の衣服内温湿度について、防火衣の方が温度、湿度共に高いことが予想されたが、温度には有意な差が認められず、湿度は20℃及び30℃条件において雨がいつもの方が防火衣より有意に高いことが分かった(図29から図34参照)。湿度が高いことは汗の気化量を低下させ、体温の上昇を招く¹⁶⁾。雨がいつもの透湿性は低いと考えられるため、多量の発汗に対して透湿性能が追いつかなかったと考えられる。一方防火衣は、積層生地に透湿防水層を含んでおり、雨がいつもよりは衣服内に湿気がこもらない構造であったと考えられる。

なお、衣服内温度では有意な差が認められなかったが、運動終了時から待機終了時にかけて上昇がみられた。衣服内では温められた空気が動作に伴い、衣服外へ流出するふいご効果が起こることが知られている¹⁷⁾。運動中には走行に伴う腕振り動作や脚の動きにより衣服内の対流が促されていたが、待機中は動作がなくなり衣服内の空気が循環しづらくなったと考えられる。これにより、身体から放散された熱が衣服内にこもり、衣服内温度を上昇させたと推測できる。

ク 主観的指標

主観的指標について、ほとんどの条件で暑さ、運動強度共に有意な差が認められた(図35から図40参照)。暑さでは、25℃で防火衣が執務服より、30℃では雨がいつもは執務服よりそれぞれ高いことが分かった。暑さ感覚は皮膚濡れ率と高い正の相関関係があるとされている。皮膚濡れ

率は皮膚表面が汗で完全にびしょ濡れの場合に最大となる¹⁸⁾。暑さで有意な差が認められた条件では推定発汗量においても有意な差が認められており、推定発汗量の差が暑さに影響を与えたと考えられる。主観的な運動強度では、全ての環境条件で有意な差が認められた。いずれも防火衣とそれ以外の着衣の間の差であり、環境温度に関わらず着衣の総重量の違いが主観的な運動強度に影響を与えたと考えられる。

5 まとめ

本検証では、新たな暑熱順化トレーニングの効果及び着衣による身体負荷について検証した。その結果、次のような点が言える。

- (1) ラン、サーキット及びミックスの運動負荷に差はないため、状況に応じて運動の種類を選択することができる。
- (2) 強度別の暑熱順化トレーニングは安全に実施でき、出場にも支障がないと考えられる。
- (3) 中及び低強度群は暑熱順化の効果が認められた。高強度群は既に暑熱順化が獲得されていると考えられるため、日ごろのトレーニングを継続することが望ましい。
- (4) 防火衣や雨がいとうを着用しなくても暑熱順化は獲得できることが分かった。なお、25℃以上の環境で両者を着用してトレーニングを実施するのは負荷が大きいため、慎重に行うべきである。
- (5) 体力の低い者は暑熱順化に時間を要することから、春先から徐々に運動習慣を形成し、運動負荷に慣れることが望ましい。

6 謝辞

本検証にあたり、立教大学の安松幹展教授には多大なるご協力を賜りました。ここに感謝申し上げます。

[参考文献]

- 1) 中村大輔ほか3名：競技者のための暑熱対策ガイドブック、独立行政法人日本スポーツ振興センター国立スポーツ科学センター、p.13、2017
- 2) International Olympic Committee(IOC)：Beat The Heat during the Olympic Games Tokyo 2020、
<https://olympics.com/athlete365/games-time/beat-the-heat>、2019
- 3) 厚生労働省労働基準局安全衛生部労働衛生課：職場における熱中症予防対策マニュアル、<https://www.mhlw.go.jp/file/06-Seisaku-jouhou-11200000-Roudouki-junkyoku/manual.pdf>、2018
- 4) 久保善正ほか3名：消防隊員が行う暑熱順化トレーニングの具体的方策に関する検証、消防技術安全所報 No. 50、pp. 62-68、2013
- 5) 国土交通省・気象庁ホームページ、過去の気象データ、

<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>

- 6) 環境省・熱中症予防情報サイト、過去データ、
https://www.wbgt.env.go.jp/wbgt_data.php#record_data
- 7) 小野雅司、登内道彦：通常観測気象要素を用いた WBGT (湿球黒球温度) の推定、日本生気象学会雑誌、Vol. 50、No. 4、pp. 147-157、2014
- 8) 堀越哲美：人体熱収支と温熱環境指標、彼末一之監修 からだと温度の事典、朝倉書店、p.344、2010
- 9) 芳田哲也：環境変化に伴う生理的反応、森本武利監修 高温環境とスポーツ・運動、篠原出版新社、p.9、2007
- 10) ビクター・カッチほか2名 (田中喜代次ほか3名監訳)：カラー 運動生理学大事典 健康・スポーツ現場で役立つ理論と応用、西村書店、p.377、2017
- 11) 菅屋潤壹：暑熱順化、彼末一之監修 からだと温度の事典、朝倉書店、pp.56-57、2010
- 12) 山地啓司：こころとからだを知る心拍数、杏林書院、p.175、2013
- 13) 安松幹展：暑熱順化、長谷川博、中村大輔編 スポーツ現場における暑さ対策 スポーツの安全とパフォーマンス向上のために、ナッパ、p.81、2021
- 14) 山地啓司：こころとからだを知る心拍数、杏林書院、p.48、2013
- 15) 田中英登：運動時の体温、彼末一之監修 からだと温度の事典、朝倉書店、p.490、2010
- 16) 田中英登：運動時の体温、彼末一之監修 からだと温度の事典、朝倉書店、p.491、2010
- 17) 上田博之、井上芳光：素材布の通気性、衣服の開口部とゆとりが衣服換気及ぼす影響：身体部位差に着目して、デサントスポーツ科学、Vol. 28、pp.81-88、2007
- 18) 小柴朋子：皮膚濡れ率と暑熱感覚、彼末一之監修 からだと温度の事典、朝倉書店、pp.258-259、2010

Verification of New Heat Acclimatization Training

ASAHI Shou*, SHIMIZU Yuuji**, SHIMIZU Tetsuya***

Abstract

We designed safe-to-implement heat acclimatization training for the trainees to select loads and programs flexibly according to their exercise capacity and the environment. We examined the training's effects and the physical load caused by the clothing during the training. The purpose of the study is to make recommendations on effective training and reliable precautions for greater safety. The subjects, divided into three groups according to their athletic ability, were given three training categories: Run, Circuit, or Run & Circuit. Then we evaluated the effect of heat acclimatization. In addition, we evaluated the physical load of the subjects wearing a fire coat, a raintight cloak, etc. for each temperature environment. As a result, we found out that heat acclimatization was effective in the group with moderate or lower exercise capacity. We also realized that the clothing load during training could be heightened in the environments above 25° C.