

年齢層の相違による暑熱環境の身体・認知機能への 影響に関する研究

三村 納都*, 笠見 優一*, 佐々木 航*, 持田 春人*

概 要

国家公務員法及び地方公務員法の改正による定年引上げを受け、60歳以上の職員が消防活動に従事することとなった。一般的に加齢に伴い、温度感受性や発汗機能が低下するといわれている。消防職員は熱中症リスクが高く、熱中症リスクの面で「高年齢職員が現場で安全に活動できるのか」が課題となるが、消防活動中の熱中症リスクに加齢が与える影響を研究した事例はない。

そこで、20～60歳代の消防職員41名に対し、暑熱環境(室温32℃、湿度60%、太陽近似光あり)において、防火衣完全着装(冷却ベスト有)で、消防活動と同強度の運動(踏み台昇降)を20分間実施し、運動時及び運動後の休憩30分間の深部体温、暑さ感覚、認知機能(Fire Visionテストの得点)、疲労(自律神経活動量)及び発汗量を年代別に比較し、加齢による熱中症リスクの差を明らかにした。

本研究の結果、加齢による熱中症リスク(深部体温、及び主観的な暑さ感覚)の差は確認できなかった。深部体温は、休憩を開始しても20分以上上昇を続け、深部体温が38.0℃以上となっても、主観的な暑さ感覚の上昇や認知機能の低下を起こすことはなく、自身の熱中症リスクを主観(暑さ感覚、認知機能、疲労)で判断することは困難であることが分かった。

1 はじめに

国家公務員法及び地方公務員法改正による定年引上げを受け、今後60歳以降の消防職員が現場で活動することが想定され、体力の面で「高年齢職員が現場で十分に活動できるのか」が課題となっている。当庁では、令和4年度に職員の体力レベルの調査や加齢の影響を考慮した消防版体力テストを考案した。

一方で、60歳以降の職員が現場で活動する場合、加齢に伴う熱中症リスクの増加が危惧される。一般的に加齢に伴い皮膚の温度感受性や発汗機能が低下する¹⁾。また、高齢者は自身の熱中症リスクが高まっても気づくことが出来ず、気づいた時には重症化してしまう事例が報告されている²⁾。消防職員は熱中症リスクが高く、災害現場においては、熱中症リスクの面で「高年齢職員が現場で安全に活動できるのか」が課題と

なる。しかし、消防活動中の熱中症リスクに加齢が与える影響を研究した事例はない。そこで本調査研究は、熱中症リスクの主観的指標と客観的指標を年代ごとに調査し、消防活動中の熱中症リスクに加齢が与える影響を明らかにすることを目的とする。

2 方法

(1) 概要

各種測定機器を装着した被験者に、暑熱条件下において消防活動と同程度の強度の運動を20分間実施後、30分間の休憩を設け、各測定項目を年代間で比較した。

なお、本研究は東京消防庁調査研究倫理審査会の承認を得て実施した。

(2) 測定期間

令和5年10月6日から同年12月12日

(3) 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）に属する消防職員のうち、本研究を実施するにあたり同意を得られた職員を被験者とした。男女の内訳は、男性 39 名、女性 2 名の計 41 名であった。年代の内訳及び年代ごとの平均年齢及び 20m シャトルラン回数（自己申告）を表 1 及び表 2 に示す。

表 1 人数の内訳

年代	男（人）	女（人）	計（人）
20	8	1	9
30	8	0	8
40	7	1	8
50	8	0	8
60	8	0	8
計（人）	39	2	41

表 2 年代ごとの平均年齢、シャトルラン回数

年代	年齢（歳）		シャトルラン（回）	
	平均	標準偏差	平均	標準偏差
20	28.11	0.78	88.22	15.41
30	33.75	2.76	90.88	9.73
40	43.75	2.96	71.63	15.76
50	52.37	2.44	71.75	15.17
60	63.37	1.30	70.38	20.10
全年代	43.87	13.08	78.80	17.37

(4) 場所

東京消防庁 幡ヶ谷庁舎 2 階 運動学実験室（恒温恒湿室）

(5) 環境条件

恒温恒湿室（三菱重工冷熱社製）にて、試験室（写真 1 参照）は室温 32℃、湿度 60%とした。これは、東京地方の 2020 年から 2022 年までの 7、8 月における最高気温の平均値である 31.2℃を参考とした。

湿度は、太陽近似光照射装置（反射型メタルハライドランプ）CMR360・L/BU-N・D-TYW（GS ユアサライトニング社製）が点灯可能範囲で、最も高湿度環境である 60%とした。運動時は、太陽近似光照射装置を用いて照射した。

前室は室温を 25℃、湿度 60%とした。これは夏日の閾値が 25℃であり、試験室との差異を室温のみにするため、試験室と同湿度とした。なお、試験室は壁一面から給気されており、被験者が運動する位置はほぼ無風である。



写真 1 試験室の状況

(6) 服装

ア～ウまでのとおりとする。

なお、防火衣着装及び離脱は、前室にて行い、着脱及び前室試験室の移動に、各 5 分間を設けた。

ア 試験前（前室）

執務服を着装した状態とする。

イ 運動中（恒温恒湿室）

執務服、冷却ベスト（背部及び両前胸部）、防火衣上下、防火帽、空気呼吸器を着装した状態（以下、「完全着装」という。）とした。

ウ 休憩中（前室）

防火衣、防火帽及び空気呼吸器を離脱し、執務服、冷却ベストを着装した状態とした。

(7) 運動条件

ア 運動

本研究では、運動能力の個人差による影響が小さいことから踏み台昇降運動を採用した。踏み台昇降運動には高さ 20 cm のステップ台を用い、被験者にはメトロノームの出す 100bpm のリズムに合わせた昇降動作を 20 分間、完全着装で実施させた。

イ 運動時間及び休憩時間

被験者は、運動後 30 分間の休憩を実施した。休憩時は、呼吸器、防火衣及び防火帽の離脱後、冷却ベストの交換を実施した。また、休憩時は 8.4ml/kg のスポーツドリンクを 10 分間隔で 3 回に分けて摂取する。運動開始後、20 分に満たない時間で運動中止基準に到達した場合は、即座に休憩に移行した。（図 1 参照）

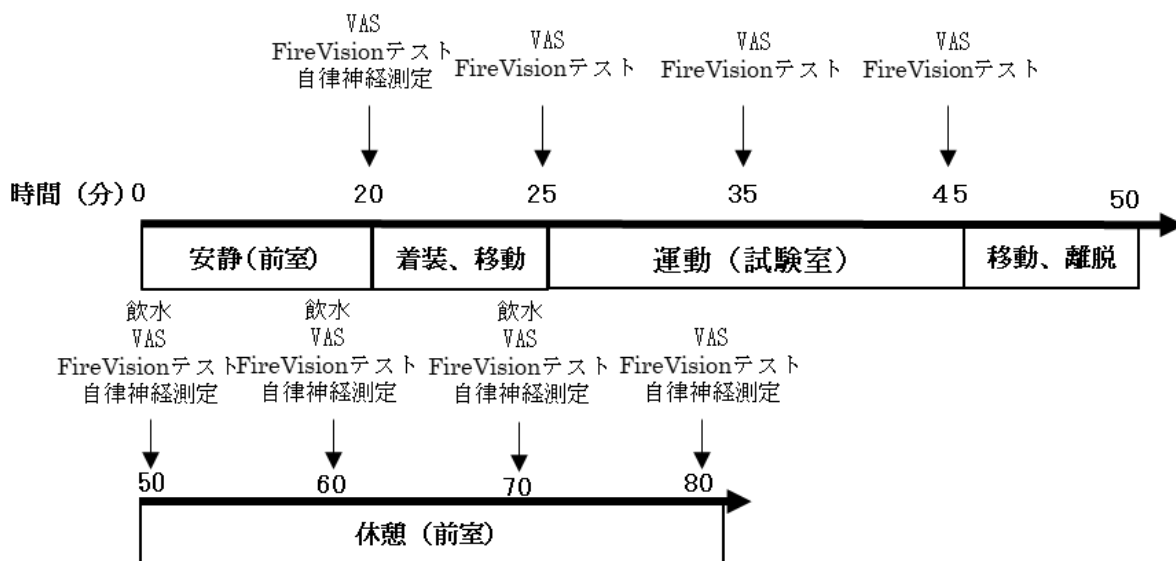


図1 実験プロトコル



写真2 運動中の様子(試験室)

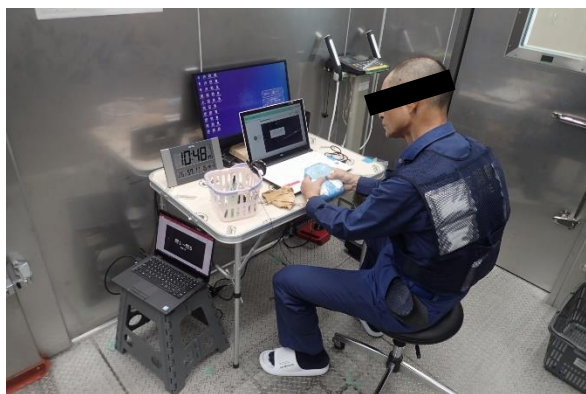


写真3 休憩中の様子(前室)

(8) 測定項目

ア 深部体温

深部体温は、深部体温測定センサ(CORE、greenTEG社製)を使用した(写真4)。バンドに測定センサを取り付け(写真5)、被験者の右前

胸部に装着した。深部体温データは、タブレット端末(Ipad、Apple社製)へBluetoothにより伝送され、測定者が随時観察し、記録した。

イ 外耳道温度

外耳道温度は高機能温度計(LT-2、グラム社製)を使用し、測定した。耳栓型センサ(LT-2 N-13、グラム社製)を被験者の右耳孔に挿入し、測定中、経時的に実施した。温度データは、ログのデジタル画面に表示され、その画面を測定者が随時観察し、記録した(写真6)。

ウ 主観的指標

主観的指標は、Visual Analogue Scale法(以下「VAS」という。)を用いて、暑さ、運動強度、疲労感、熱中症の前兆症状(頭痛、吐き気)について、記録した。

記録するタイミングは、①運動前(完全着前)、②運動開始時、③運動開始後10分、④運動終了時、⑤休憩開始時、⑥休憩開始後10分後、⑦休憩開始後20分後、⑧休憩終了とした。

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、測定時に被験者が感じた暑さ等の程度を直線上に印を記させるものである(図2)。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VAS値といい、主観的評価として用いた。

また、口頭にて自身の体温(現在の外耳道温度が何度であるか)をVASの測定時に同時に聴取した。なお、①運動前のタイミングでは、現在の前イが示す外耳道温度の値を、被験者に提示した。

【例】暑さについて

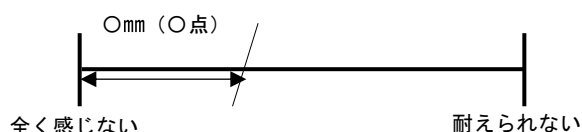


図2 Visual Analogue Scale 法

エ 心拍数

心拍数は心拍数計 RS800（ポラール社製）を使用し、測定した。測定器 H10（ポラール社製）を取り付けたバンドを被験者の胸部に装着し、測定は経時的に実施した。心拍数データは腕時計型受信機へ無線により伝送され、測定者が随時観察し、記録した。（写真7）

オ 自律神経系

自律神経測定センサ（VM302、株式会社疲労科学研究所）を用いて、交感神経と副交感神経のバランス（LF/HF）及び活動量（CCVTP）を測定した（写真8）。測定方法は、両示指をセンサに入れ安静にし、120 秒間測定を行った。測定のタイミングは、①運動前（完全着装前）、②休憩開始時、③休憩 10 分、④休憩 20 分、⑤休憩終了時とした。

カ 認知機能

認知機能は当庁の過去の研究³⁾を参考にした。敏捷性、視力（眼）、認知機能（脳）を測定する消防版瞬間視テスト（Fire Vision テスト）を用いて、測定した。

瞬間視力課題の問題例を図3に示す。測定方法は以下のとおり。

- ① 4 枚のうち、1 つだけ異なる画像が存在する画像を、ディスプレイ上に瞬間的に表示し、異なる画像の位置を口頭で申告する。
- ② ディスプレイ上に画像を映す時間は、0.1 秒、0.05 秒、0.03 秒、0.01 秒の順に各 5 問ずつ、2 秒おきに出題する。
- ③ 計 20 問のうちの正答数を評価する（20 点満点）。



図3 Fire Vision テスト（例題）

キ 推定発汗量

推定発汗量は研究開始前と研究終了後に体組成計（MC-780A-N、タニタ製）を用いて、裸体重を測定し、「測定開始前の体重－（測定終了後の体重－休息時の水分摂取量）」で算出した。（写真9）

(9) 運動中止基準

以下のア～エのいずれかの条件を満たした場合は、運動を中止することとした。

ア 被験者から運動継続が困難であると自己申告があった場合。

イ 測定者が、実施者の運動継続が困難であると中止を判断した場合。

ウ 外耳道温度が 39.0℃に到達した場合

エ 以下の(ア)から(ウ)の 3 項目のうち 2 つ以上が該当した場合

(ア) 外耳道温度が 38.0℃に到達した場合

(イ) 心拍数が以下の式で算出される値を超えた場合

$$206.9 - (0.67 \times \text{年齢})$$

(ウ) 運動強度の主観的指標の値が、80 mmを超えた場合

(10) 統計に基づく分析

各項目の平均値を比較するため、統計ソフト（エクセル統計）を使用した。分析に使用した統計検定法を表3に示す。なお、モークリーの球面性検定が有意であった場合は Greenhouse-Geisser により自由度を修正した。以下、表及び図中の n. s. は有意差なし、*は 5 %水準で有意を表し、**は 1 %水準で有意を表す。

表3 使用した統計検定法

測定項目	検定法
深部体温	
外耳道温度	
外耳道温度と 主観予測体温の差	二元配置分散分析 (対応あり・なし)
暑さ感覚 (VAS)	
疲労感 (VAS)	多重比較は Bonferroni 法
運動強度 (VAS)	
運動強度 (%HRR)	
CCVTP	
LF/HF	
認知機能 (FireVision テスト)	
推定発汗量	一元配置分散分析 (対応なし)



3 結果

各測定項目の測定結果について、各年代の前室時、運動開始時、運動 10 分時点、運動終了時、休憩開始時、休憩 10 分時点、休憩 20 分時点、休憩終了時点の測定値を示す。

自律神経 (CCVTP 及び LF/HF) は、前室、休憩開始、休憩 10 分、休憩 20 分、休憩終了時点の測定値を示す。

(1) 深部体温

測定中の深部体温を図 3、前室の数値を 0 とした変化量を図 4 に示す。時間要因と年代要因を考慮した二元配置分散分析を実施したところ、時間による主効果が $P < 0.01$ で有意であった。

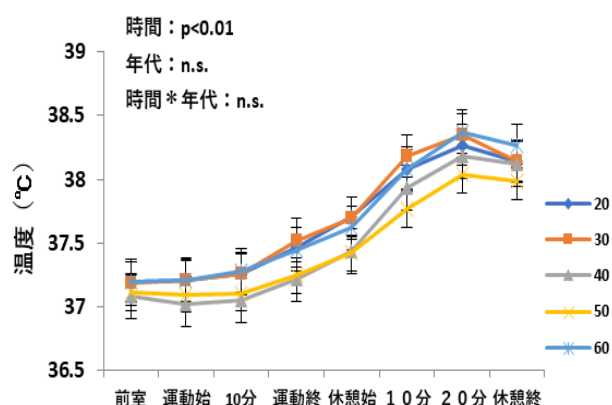


図3 深部体温

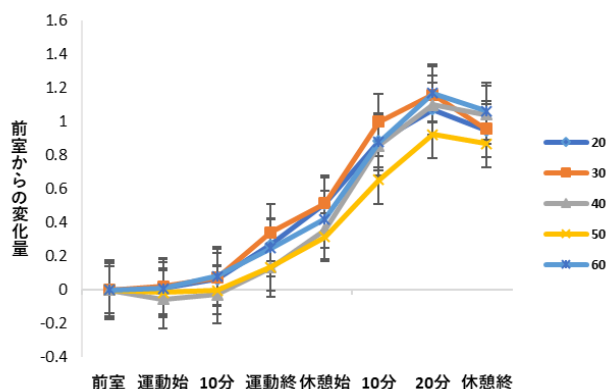


図4 深部体温の変化量

(2) 外耳道温度

測定中の外耳道温度を図 5 に、前室の数値を 0 とした変化量を図 6 に示す。時間要因と年代要因を考慮した二元配置分散分析を実施したところ、年代と時間による交互作用及び時間による主効果が $P < 0.01$ で有意であった。交互作用が有意であったため単純主効果の検定を実施したところ休憩 20 分及び休憩終了時で年代間に $P < 0.01$ で有意差が検出された。

また、Bonferroni 法による多重比較を実施し、休憩 20 分及び休憩終了時の年代間の数値を比較したところ表 4 のとおりとなった。

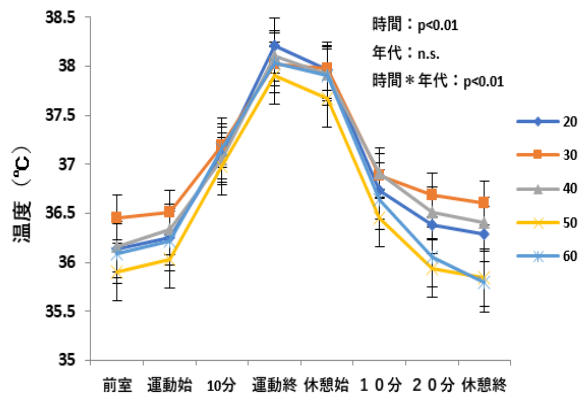


図 5 外耳道温度

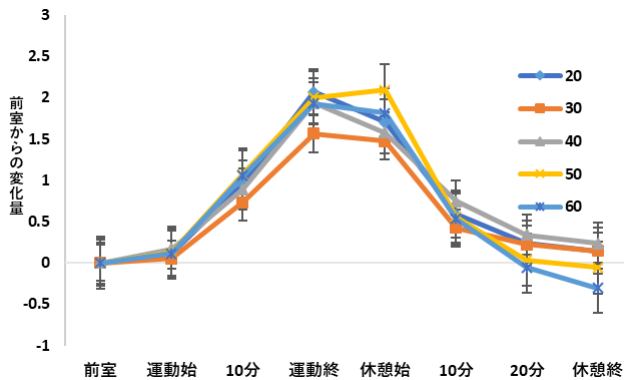


図 6 外耳道温度の変化量

(3) 外耳道温度と主観予測体温の差

測定中の外耳道温度と主観予測体温の差 (実測値－予測体温) を図 7 に示す。時間要因と年代要因を考慮した二元配置分散分析を実施したところ、時間による主効果が $P<0.01$ で有意であった。

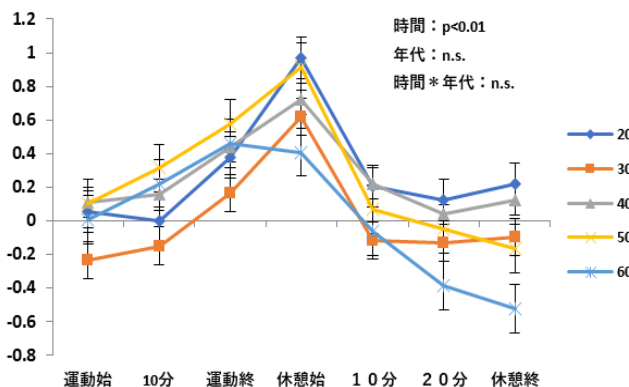


図 7 外耳道温度と主観予測体温の差

(4) 暑さ感覚 (VAS)

測定中の暑さ感覚 (VAS) を図 8 に示す。時間要因と年代要因を考慮した二元配置分散分析を実施したところ時間による主効果が $P<0.01$ で有意であった。

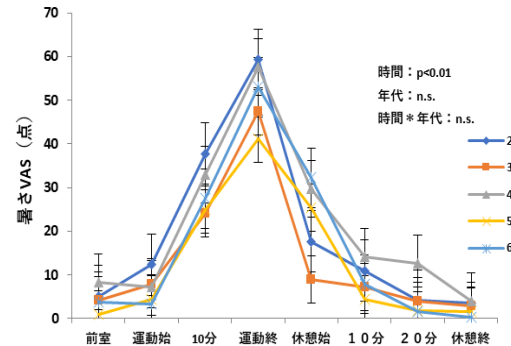


図 8 暑さ感覚 (VAS)

(5) 疲労感 (VAS)

測定中の疲労感を図 9 に示す。時間要因と年代要因を考慮した二元配置分散分析を実施したところ時間による主効果が $P<0.01$ で有意であった。

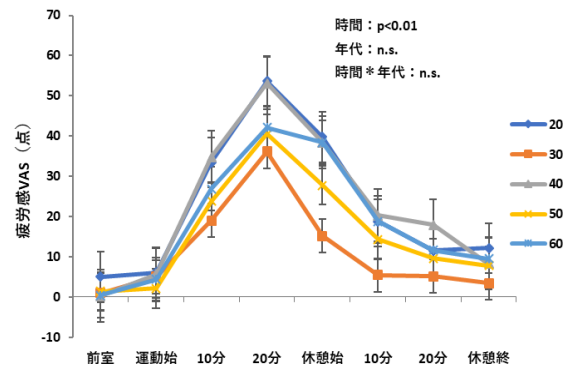


図 9 疲労感 (VAS)

(6) 主観的運動強度 (VAS)

測定中の主観的運動強度を図 10 に示す。時間要因と年代要因を考慮した二元配置分散分析を実施したところ時間による主効果が $P<0.01$ で有意であった。

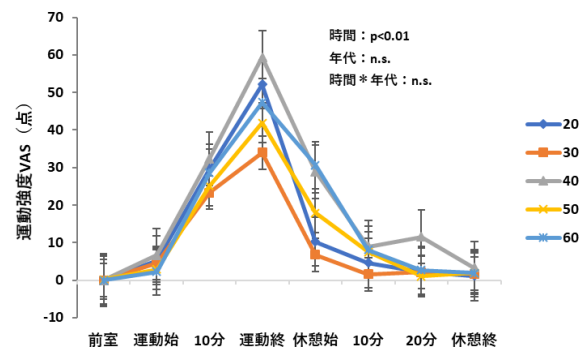


図 10 主観的運動強度 (VAS)

表 4 外耳動温度及び CCVTP の多重比較結果

測定時点	休憩20分	休憩終了	測定時点	休憩終了
外耳動温度			CCVTP	
全体	36.30 ± 0.50	36.18 ± 0.52	全体	2.89 ± 1.97
20代	36.37 ± 0.48	36.28 ± 0.48	20代	2.83 ± 0.82
30代	36.68 ± 0.34	36.60 ± 0.27	30代	4.20 ± 3.09
40代	36.50 ± 0.24	36.40 ± 0.22	40代	2.88 ± 1.50
50代	35.93 ± 0.43	35.84 ± 0.41	50代	3.12 ± 2.36
60代	36.05 ± 0.62	35.80 ± 0.67	60代	1.58 ± 0.82

注 1 数値は mean ± S. D. を示す 注 2 P < 0.05 : * P < 0.01 : **

(7) 運動強度 (%HRR)

%HRR は Karvonen らの式⁴⁾ $(HR_{WORK} - HR_{REST}) / (HR_{MAX} - HR_{REST}) \times 100$ で算出した。HR_{MAX} (最大心拍数) は $206.9 - (0.67 \times \text{年齢})$ で求め、安静時心拍数は前室時の心拍数とした。

測定中の%HRRを図11に示す。時間要因と年代要因を考慮した二元配置分散分析を実施したところ時間による主効果が P < 0.01 で有意であり、年代による主効果が P < 0.05 で有意であった。年代に対する多重比較を実施したところ60代が30代に比べて P < 0.05 で有意に高値となった。

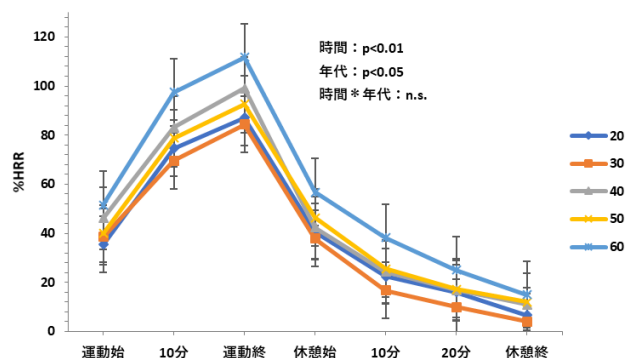


図 11 %HRR

(8) LF/HF

測定中の LF/HF を図 12 に示す。年代要因と時間要因を考慮した二元配置分散分析を実施したところ時間による主効果が P < 0.05 で有意であった。

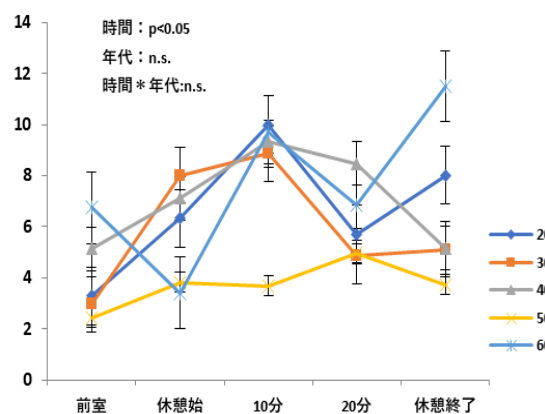


図 12 LF/HF

(9) CCVTP

測定中の CCVTP を図 13 に示す。時間要因と年代要因を考慮した二元配置分散分析を実施したところ時間による主効果が P < 0.01 で有意であった。

また、年代と時間による交互作用が P < 0.05 で有意であった。交互作用が有意であったため単純主効果の検定を実施したところ休憩終了時において年代間に P < 0.05 で有意差が検出された。また、Bonferroni 法による多重比較を実施し、休憩終了時の年代間の数値を比較したところ表 4 のとおりとなった。

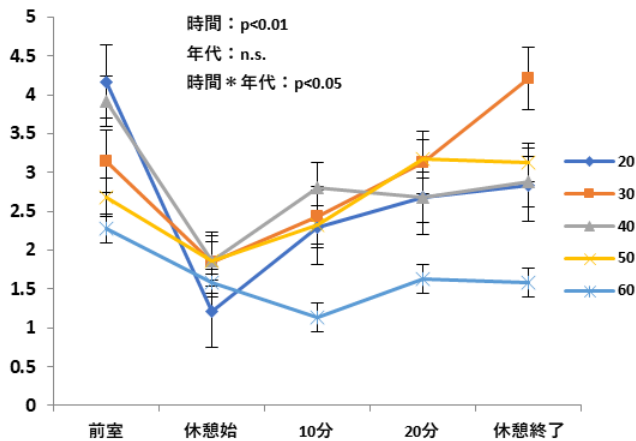


図 13 CCVTP

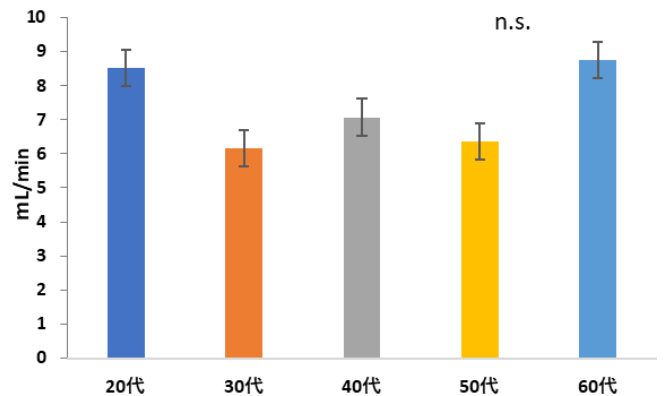


図 15 推定発汗量

(10) 認知機能 (Fire Vision テスト)

測定中の認知機能 (FireVision テスト) の結果を図 14 に示す。時間要因と年代要因を考慮した二元配置分散分析を実施したところ時間による主効果及び年代による主効果が $P < 0.01$ で有意であった。年代要因に対する多重比較を実施したところ 20 代及び 30 代が 60 代に比べて $P < 0.01$ で有意に高値であった。また、40 代が 60 代に比べて $P < 0.05$ で有意に高値であった。

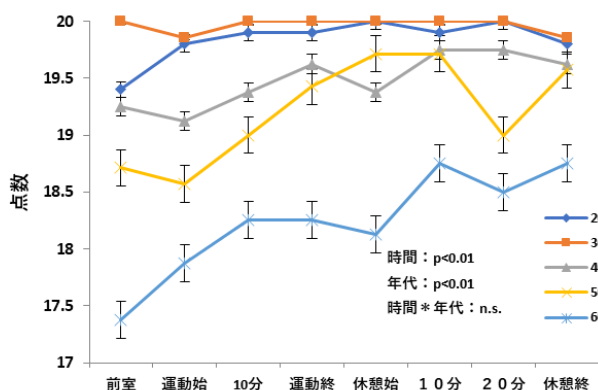


図 14 認知機能 (Fire Vision テスト)

(11) 推定発汗量 (mL/min)

年代ごとの実験開始から終了時までの 1 分間あたりの推定発汗量を図 15 に示す。一元配置分散分析にて分析したところ有意差は認められなかった。

4 考察

(1) 深部体温について

本研究において、深部体温は、被験者の侵襲を少なくするため、深部体温測定センサを右側胸部に装着し、測定した。

本研究の結果、深部体温の推移に年代間の差はなく、運動開始 10 分後に上昇傾向に転じた。休憩に移行し、防火衣を離脱しても、深部体温は上昇を続け、休憩 20 分時点で約 38.0°C まで上昇し、頭打ちとなって低下傾向に転じた。完全着装で消防活動と同強度運動を 20 分行うと、約 38.0°C まで上昇したことから、実際の現場でも 20 分以上消防活動を行った場合、米国産業衛生専門家会議が示す作業中止ライン⁵⁾である 38.5°C に到達する可能性が示唆された。

また、本研究の結果から、深部体温が 10 分以上の運動により、体温が上昇に転じた理由は、消防活動による産熱が、人体の恒常性を上回ったためと考える。

人間の体温は、暑熱環境や寒冷環境であっても通常 37°C 程度で保たれている。しかし、代謝による産熱が皮膚表面からの放熱等で処理できずに、質量のある人体内部に蓄熱する結果として深部体温が上昇する⁶⁾といわれており、本研究結果も完全着装での運動により、産熱が処理できずに人体内部に蓄熱した結果と考えられる。

本結果から、防火衣を離脱した状態でも 20 分以上は体温が上昇を続けることから、火災現場において、活動を再開するには、防火衣や防火帽を離脱した上で 30 分以上の休憩が必要であることが考えられる。

(2) 外耳動温度について

外耳動温度の推移は、各年代ともに運動開始から上昇し、運動終了時点で 38.0°C 程度まで上昇した。防火衣や防火帽を離脱して休憩に移行すると下降をはじめ、休憩 30 分後に概ね前室と

同じになった。本研究結果の外耳道温度の挙動は、運動開始と休憩開始時にそれぞれ急な挙動を取り、前(1)の深部体温とまったく異なるものとなった。その理由として、試験室内の環境温度や試験室の太陽光近似光照射装置の影響を受けたと考えられる。

本研究における運動は、室温 32℃、かつ太陽近似光を照射して実施し、運動時に着装した防火帽は、耳周りを覆う形態である。運動開始時には、試験室の環境温、太陽近似光の輻射熱及び運動による産熱が、耳周りに蓄熱することで急激に外耳道温度が上昇し、休憩開始時には、前室(25℃)に移動し、かつ防火帽を離脱することで、耳周りの蓄熱が放散したため、急激に下降したと考えられる。

一方で、年代間を比較すると統計学的な有意差が認められ、特に休憩 20 分時と休憩終了時で 50 代及び 60 代の外耳道温度が有意に低いという結果となった。また、20 代から 40 代は前室時よりも休憩 30 分時の外耳道温度が高値を示したものの、50 代及び 60 代は前室時よりも休憩終了時の外耳道温度が低値を示した。これは、発汗量は運動中では若年者で多く、運動後の休憩では高齢者で多くなるという報告⁷⁾⁸⁾を支持するものと考えられる。休憩中に発汗が多いことから汗の蒸発による放熱が 50 代及び 60 代に多く、外耳道付近の皮膚温を有効に下げたことで外耳道温度が大きく下がったと考えられる。

(3) 外耳道温度実測値と主観予測体温の差について

今回の研究では、前室で防火衣着装を始める前に外耳道温度測定器のロガーの画面を被験者に提示し、自身の安静時の外耳道温度を把握させたうえで、主観予測体温を答えさせた。

本研究結果から、外耳道温度実測値と主観予測体温の差には、年代間の差が認められず、むしろ個人差による影響が大きくなった。各年代ともに外耳道温度が 37℃を超えると主観で予測した体温が実測値に対して下回る傾向があり、過去の当庁の研究と同様の結果が得られた⁹⁾。

また、本研究結果から、外耳道温度が最も上昇した運動終了時点と防火衣を離脱した休憩開始時点で、主観予測体温を大きくアンダートリアージ(実際の体温より、自分の体温を低く予測)する傾向が見られた。本結果から、暑熱環境での火災出場においても、涼しい場所で休憩を始めた場合に、自身の体温を実際より低く見積もる可能性が示唆された。また、被験者の中には、体温は簡単には上昇しないと考えている者もあり、消防活動によって自身の体温がどのくらい上昇

するのか、実測値と主観で予測した値の差がどれくらいあるのか、各個人が把握することが望ましいと考えられる。

(4) 主観的な暑さ感覚 (VAS) について

本研究では、主観的な暑さ感覚について、VAS 法を用いて測定した。結果、主観的な暑さ感覚には、年代間の差は認められず、運動を開始すると経時的に、暑さ感覚は上昇し、休憩に移行すると急激に下降した。

本研究の暑さ感覚が上昇した理由は、環境温や太陽光近似光及び運動による産生熱が蓄熱したためと考えられる。また、休憩時は、防火衣を離脱したこと及び暑熱環境から離れたことにより、暑さ感覚が低下に転じたと考えられる。しかし、本研究結果で特筆すべきは、深部体温が、暑さ感覚と異なる挙動を描いていることである。

本研究結果では、暑さ感覚と深部体温の値を比較すると、深部体温は休憩中も上昇を続ける一方で、主観的な暑さ感覚は休憩開始時に下降に転じ、休憩約 20 分時点では深部体温と暑さ感覚が大きく乖離する結果となった。

火災現場において、涼しい場所で休憩を開始すると、すぐに暑さを感じなくなり、深部体温が下がるまでの十分な休憩を取得する前に消防活動を再開し、深部体温がさらに上昇して熱中症に至る危険性が考えられる。

(5) 疲労感 (VAS) について

今回の研究での疲労感 VAS 法を用いて測定した。主観的疲労感には年代間の差は認められず、運動時間が経過するにしたがって疲労感上昇し、休憩に移行すると下降した。一般的に高齢者は疲れが取れにくいといわれるが、各年代ともに休憩に移行することによって疲労感が軽減し、30 分間の休憩によって運動終了時の 3 分の 1 以下の疲労感となった。疲労感を軽減させてから消防活動を再開するためにも 30 分以上の休憩が必要なが示唆された。

(6) 主観的運動強度 (VAS) について

今回の研究での主観的運動強度は VAS 法を用いて測定した。結果、主観的運動強度に年代間の差は認められなかった。%HRR の増加に比例して主観的運動強度も増加しているが、高齢であればあるほど主観的運動強度は高いわけではなく、個人差の影響が大きいことが考えられる。60 代は %HRR が 100%を超えた運動終了時点であっても主観的運動強度は 50 点を超えておらず、60 代の消防職員は一般的な同年代の方に比べて非常に高い全身持久力を保持している可能性が示唆された。

(7) 運動強度 (%HRR) について

今回の研究では、安静時心拍数の個人差を考慮した運動強度を調査するため%HRRを用い、年齢を元に最大心拍数を求め、運動強度を算出した。

本研究結果では、60代の%HRRが他の年代に比べて高く、特に30代との間に有意差が得られた。その理由として、%HRRの算出式が高年齢であればあるほど、同一運動実施時には、高年齢者の運動強度が高くなったと考えられる。

また、60代の%HRRが、運動終了時に100%を超えるという結果になったが、これは年齢を基に算出した最大心拍数が個人の体力レベルに応じた最大心拍数ではないからであると考えられる。60代の消防職員は同年代の一般人に比べて体力があることは過去の研究³⁾から明らかになっており、年代のみを考慮して消防活動の運動強度を算出すると、年齢を重ねれば重ねるほど、消防活動は非常に高強度の運動であることが確認できた。

(8) LF/HF及びCCVTPについて

今回の研究では、体温調節に関する自律神経の状態を評価するために自律神経測定センサを用いて、LF/HF及びCCVTPを測定した。LF/HFは、交感神経(LF)と副交感神経(HF)の全体のバランスを表し、2.0未満が基準値とされている¹⁰⁾。CCVTPはTP(Total Power、LF+HF)のCCV(Coefficient of Component Variance)であり、自律神経の活動量を表しており、一般的に健康者で若い方が高く表示され、加齢や疲労によって低くなる⁹⁾。

今回の研究では、両測定項目ともに前室時から休憩終了時まで各時点において、年代間で有意差が認められた箇所もあったものの、各年代・各測定時点ではばらつきのある結果となった。本結果となった理由として、運動終了後の高心拍状態では、高周波(HF)を正確に測定できず、測定の正確性に欠けていたと考えられる。今後、運動時に自律神経を測定する場合、運動直後の高心拍状態での測定について、検討する必要がある。

(9) 認知機能(Fire Visionテスト)について

今回の研究では、認知機能を測定するためFire Visionテストを用いた。これは、加齢により衰えるといわれる視力と認知機能を測定するテストであり、過去の研究でも年代が上がるほど、得点が有意に低い結果が得られている³⁾。

本研究においても、各測定時点で60代の点数が最も低く、特に20代から40代の点数に対して有意に低い点数を示し、過去の研究³⁾を支持したものとなった。

また、本研究結果では、疲労や体温上昇により、各年代共通して点数が顕著に下がることなく、むしろ微増した。その理由としては、順応効果及び運動による脳の活性化が考えられる。

Fire Visionテストの内容は、各回とも異なる課題であったが、被験者が測定中全8回のテストを経験するにつれて、課題に順応した可能性は否定できない。また、中程度の運動強度で10から20分間の有酸素運動は適度に体温を上昇させ、前頭前皮質の活動を活性化し、認知機能を向上させる¹¹⁾と言われており、本研究においても踏み台昇降運動により、体温が上昇し、認知機能が向上したと考えられる。

一般的に、脳温が38.5℃をピークに最も認知機能が高まり、それ以上の脳温上昇は認知機能の低下をもたらすとされている¹²⁾。今回の研究では、認知機能の低下を招くほどの脳温上昇はなかったことが考えられるが、もし災害活動中に認知機能が低下する場合には、顕著な体温上昇をしている可能性があり、熱中症リスクが非常に高い状態であると考えられる。よって、自身の熱中症リスクを判断する際には、認知機能から判断することは危険であると考えられる。

(10) 推定発汗量について

今回の研究では、被験者ごとに運動時間が異なるため実験開始から実験終了までの1分間当たりの発汗量を求め年代ごとに比較した。本研究の結果、年代ごとの発汗量には、統計学的な有意差は認められなかった。その理由として、本研究の被験者の運動習慣によるものと考えられる。

一般的に、加齢によって発汗量が低下するといわれている。しかし、運動習慣のある高齢者が運動した際には、一致した見解は得られていない¹³⁾。

本研究における60代被験者のシャトルラン平均値は、約70回であり、国民平均¹⁴⁾と比較して高く、普段から運動習慣があると考えられる。そのため、加齢による発汗量の生理的な低下の影響を相殺したと考えられる。

また、本研究の結果では、真夏の火災現場と同様の環境、服装及び運動強度の条件下において、20分間運動した後の発汗量は、その後の休憩30分間にかいた汗の量も含め概ね600 mlであった。火災現場において、現場に到着してから引き揚げるまで、20分以上活動することは当然である。つまり、どのような現場でも600 mlの水分摂取を行うことが望ましい。

5 まとめ

(1) 消防活動における年代ごとの熱中症リスク

本研究において、真夏の火災現場を想定した環境、服装及び運動条件では、深部体温及び主観的な暑さ感覚に年代間の差は認められず、年代ごとの熱中症リスクの差はないといえる。

(2) 熱中症リスクの主観的評価

各年代ともに休憩中も深部体温が上昇し、38.0℃以上となった。また、深部体温が最高値となっているにも関わらず、主観的な暑さ感覚、認知機能はリンクしなかった。つまり、熱中症リスクを自身で判断する際には、主観で評価することは危険であるということが分かった。

よって、熱中症リスクを客観的に判断するためには、現在市場に流通しているウェアラブルデバイスのようなツールが必要であると考えられる。

(3) 休憩について

今回の研究結果から、運動後休憩を開始してからも、20分以上は深部体温が上昇した。よって、消防活動を安全に再開するためには、防火衣や防火帽を離脱した上で30分以上の休憩が必要であると考えられる。

6 今後の課題

(1) 自律神経の測定方法について

自律神経（疲労）の測定について、運動後の高心拍状態では、高周波（HF）を正確に測定できていないと推測される結果になったため、今後の研究では自律神経を測定する際の被験者の心拍状態から、測定タイミングを考慮する必要があると考えられる。

(2) Fire Vision テストについて

認知機能を測る Fire Vision テストについては、20代や30代の職員にとって易しすぎる難易度であるとともに複数回実施することで課題に対する順応効果が出てくる可能性が示唆されたため、難易度や出題内容の工夫が必要であると考えられる。

7 おわりに

本研究の実施にあたり、東京理科大学の柳田信也教授にはお忙しい中、多くの貴重な知見を賜り、深く感謝いたします。そして、本研究の趣旨に賛同し、調査にご協力いただいた職員の皆様に心より御礼申し上げます。

[参考文献]

- 1) 井上芳光：高齢者の体温調節の特徴、体力科学 64(1)、79-79、2015
- 2) NHK 健康 ch 重症化しやすい高齢者の熱中症 原因や症状、予防法と対策について 2021、7、21、https://www.nhk.or.jp/kenko/atc_386.html

[w.nhk.or.jp/kenko/atc_386.html](https://www.nhk.or.jp/kenko/atc_386.html)

- 3) 笠見優一ほか2名：高年齢職員の現場活動能力に関する研究、消防科学セーフティレポート第60号、令和5年
- 4) Karvonen, M. J., Kentala, E. and Mustala, O.: The effects of training on heart rate; a longitudinal study. *Ann. Med. Exp. Biol. Fenn.*, 35:307-15, 1957
- 5) ACGIH Heat Stress and Strain TLV@ACGIH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 2012
- 6) 村山雅己ほか2名：消防活動におけるヒートストレス対処に関する研究—衣服内温度モニターによるヒートストレス予測と警報指標値の設定—、東京学芸大学紀要総合教育科学系Ⅱ63、187-195、2012
- 7) Lind AR, Humphreys PW, Collins KJ, et al: Influence of age and daily duration of exposure on responses of men to work in heat. *J Appl Physiol* 28:50-56, 1970.
- 8) Lacrose J, Wright HE, Stapleton J, et al: Whole body heat loss is reduced in older males during short bouts of intermittent exercise. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 305 R619-R629, 2013
- 9) 小笠原儀彦ほか4名：暑熱条件下での主観的評価と客観的指標の関係性について、消防技術安全所報 51号、平成26年
- 10) 株式会社疲労科学研究所測定結果の見方 <https://www.fatigue.co.jp/mikata.htm>
- 11) 風間彬ほか2名：体温上昇が持続的運動時における認知機能に及ぼす影響、体力科学 61(5)459-467、2012
- 12) Schmit C, Hausswirth C, Le Meur Y, et al.: Cognitive functioning and heat strain performance responses and protective strategies. *Sports Med*, 47 1289-1302, 2017.
- 13) 井上芳光ほか：体温Ⅱ 体温調節システムとその適応、有限会社ナップ、2010
- 14) スポーツ庁：「令和3年度体力・運動能力調査」の概要、令和3年度体力・運動能力調査結果の概要及び報告書について、スポーツ庁、2022、https://www.mext.go.jp/sports/content/20221012-spt_kensport01-000025410_1.pdf、(参照 2023-03-17)

Study on the Effects of Hot Environments on Physical and Cognitive Functions in Different Age Groups

MIMURA Natsu*, KASAMI Yuuichi*, SASAKI Wataru*, MOCHIDA Haruto*

Abstract

Since the revised National Public Service Act and the Local Public Service Act raised the retirement age, the members aged 60 and over can now engage in firefighting activities. Temperature sensitivity and sweating functions tend to decline with age. Since firefighters are at the high risk of hyperthermia, the question is whether older personnel can safely perform firefighting. So far, however, there have been no studies of the effect of aging on the risk of hyperthermia in firefighting.

We conducted such a study with 41 firefighters in their twenties to sixties. They performed the exercise of the same intensity as in regular firefighting activities (step exercise) in full firefighting gear (including cooling vests) in a hot environment (room temperature of 32°C, humidity of 60 percent, with simulated sunlight) for 20 minutes. The following were then measured: core body temperature, subjective heat sensation, cognitive function (Fire Vision test scores), fatigue (autonomic nervous system activity), and sweat rate during the exercise and the 30-minute rest that followed were measured. The results of the different age group tests were compared to clarify the difference in the risk of hyperthermia due to aging.

The results of this study showed no differences in the risk of hyperthermia (core body temperature and subjective heat sensation) due to age. It was found out that core body temperature continued to rise for more than 20 minutes after the exercise was stopped, and that even when the body temperature reached 38°C or higher, the increase in subjective heat sensation or the decrease in cognitive function were not found, revealing the difficulty in judging one's risk of heatstroke based on subjective factors (subjective heat sensation, cognitive function, and fatigue).