

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

Study on physical cooling effectiveness and physical response of two generations in the hot environment

手 柴 英 喜*
桜 井 高 清**
正 木 豊**
谷 口 真 二**

概 要

本実験は、熱障害の発生危険のある温度50°C、湿度55%の環境下で消防隊員15人（30歳代の10人、50歳代の5人）に時速3kmの歩行運動を一人2回行わせた。この歩行運動は、15分歩行、10分休息、15分歩行の順に、上半身を冷却する場合と、しない場合の2種について行い、その時の心拍数や体温などについて測定した。

この実験で得た生理的反応等の主な結果については、次のとおりである。

- 1 身体を冷却を行った場合、心拍数や体温の上昇はかなり抑制され、対象者は、実験工程の全てを完遂している。
- 2 身体を冷却は、「暑さ感」や「不快感」などにも良い効果を現している。
- 3 30歳代の者は、50歳代の者に比べ、高温環境に素早く反応し、体温の上昇を抑制している。

We carried out experiments that 15 healthy firefighters (two groups of 10 men aged from 30 to 39 and 5 men aged from 50 to 55) walk at a speed of 3km/hour, with room temperature of 50°C, relative humidity of 55 %.

We designated firefighters as group A and B. Group A is designed to be cooled their body, group B not to be cooled. The procedure of the experiments is 15 minutes exercise, 10 minutes rest, 15 minutes exercise and recovery.

The following results were obtained by measuring the physiological response (heart rate, body temperature).

- 1 In case of walking exercise in the environment, heart rate can be controlled by cooling the body. In case that firefighters' body is cooled, we carried out all experiments.
- 2 Cooling the body has an effect on the sense of hotness and uncomfortableness.
- 3 Physiological response of group A appeared earlier than group B, body temperature can be controlled not to rise.

1 はじめに

耐火構造建築物の火災は、一旦火災が発生すると、濃煙や熱気が建物内に滞留し、消防活動を困難にする状況がみられる。

当研究室では、高温環境下で長時間の消防活動を行う場合、水分やNaCl等の補給のみでは、強度

発汗や急激な体温の上昇を抑制することが難しいことと、職員の高年齢化が進んでいる現状に鑑み、今後の消防活動の安全と消防活動の効率に資するため、高温下での身体冷却実験を行った。

2 実験期間等

(1) 実験期間

平成3年9月24日から同年11月31日まで

(2) 実験場所

消防科学研究所第四研究室医学実験室

*第四研究室長 **第四研究室

(3) 実験対象者

麴町、赤坂、世田谷、新宿、野方、杉並及び狹窪消防署の警防隊員30歳代10人、50歳代5人の計15人を実験対象者（以下「対象者」という。）として実施した。

3 実験条件

(1) 装備条件

対象者は、防火衣（身体の冷却実験では、写真1の冷却装備付防火衣を着用する。）、長靴などの出火出場時の装備に加え、東消5型空気呼吸器（軽量8ℓボンベ）を着装した。

なお、冷却実験で使用した冷却装備付防火衣（普通防火衣の内側に冷却剤装着用ポケットを取付けたもの）の仕様については次のとおりである。

冷却剤収納ポケット

- 個数 防火衣の内側に4個取付けた
- 形状 縦25cm、横15cm
- 材質 芳香族ポリアミド繊維
- 重量 50g（1個）×4 200g

冷却剤

- 繊維性ゲルシートへ水を吸収させ、冷凍した。
- 吸水後の重量200g（1個）×4 800g



写真1 冷却装備付防火衣

また、実験種別は、次の2種で、実験1、2の順に実施した。

- 実験1：身体の冷却なし。（装備総重量約20kg）
- 実験2：身体の冷却あり。（装備総重量約21kg）

(2) 環境条件

写真2の熱環境実験室を用いて温度50℃、湿度55%で実施した。

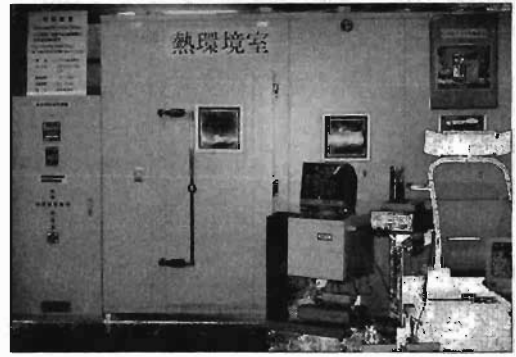


写真2 熱環境実験室

(3) 負荷条件

熱環境実験室のランニングマシーンを時速3km（筒先保持程度の作業負荷）で、対象者は、表1のタイムスケジュールに沿って、第一負荷工程及び第二負荷工程（以下それぞれ「第一工程」、「第二工程」という。）を実施した。

表1 タイムスケジュール

	第一工程； 高温負荷	休息； 常温	第二工程； 高温負荷	休息； 常温	
開始	15分	10分	15分	30分	終了
所要時間					

なお、実験状況については写真3のとおりである。



写真3 実験状況

(4) 水分の補給

10分間の休息時にスポーツ飲料水を300cc補給した。

4 調査項目

(1) 身体特性

対象者の身体特性（身長・体重・肺活量等）の測定を行った。

(2) 心拍数及び血圧

運動時測定用心拍・血圧計により、心拍数と血圧の測定を行った。

(3) 呼吸数及び空気消費量

呼気ガス分析器により、負荷中の呼吸数及び空気消費量の測定を行った。

(4) 体温

電子体温計により、実験前、各工程終了直後及び休息時の舌下温度の測定を行った。

(5) 発汗量

人体精密台秤により、実験前の体重に休息時に補給した水分重量を加えた重量と実験後の体重とを測定し、減量分をもって発汗量とした。

(6) アンケート調査

各工程の終了直前に「暑さ感」や「不快感」等について質問した。

5 結果

(1) 身体特性

対象者の身体特性は、表2（30歳代）、表3（50歳代）のとおりである。

(2) 心拍数

各実験工程終了時の平均心拍数は図1のとおりである。

30歳代実験1の安静時は71拍/分、第一工程終了時には136拍/分、第二工程終了時には164拍/分、30分の休息後には87拍/分に回復している。また、実験2の安静時は68拍/分、第一工程終了時には120拍/分、第二工程終了時には143拍/分、30分の休息後には76拍/分に回復して

表2 身体特性（30歳代）

対象者	年齢(歳)	身長(cm)	体重(kg)	ローレル指数	肺活量(cc)
A	35	177	78.3	141	2900
B	36	170	54.8	112	3500
C	37	166	64.8	142	4300
D	35	167	76.5	164	4200
E	34	168	55.9	118	4300
F	35	170	70.6	144	4200
G	35	164	75.7	172	3100
H	34	161	80.8	194	3600
I	35	165	60.0	134	3700
J	35	160	81.0	198	3900
平均	35.1	166.8	69.8	151.9	3770
XΣn	0.83	4.66	9.69	2.79	475.5

XΣn : 標準偏差

表3 身体特性（50歳代）

対象者	年齢(歳)	身長(cm)	体重(kg)	ローレル指数	肺活量(cc)
A	50	166	64.8	142	3000
B	52	169	70.0	145	3500
C	54	165	55.6	124	4000
D	53	170	63.0	128	3700
E	55	170	63.7	129	3400
平均	52.8	168	63.4	133.6	3520
XΣn	1.72	2.1	4.88	8.31	331.1

XΣn : 標準偏差

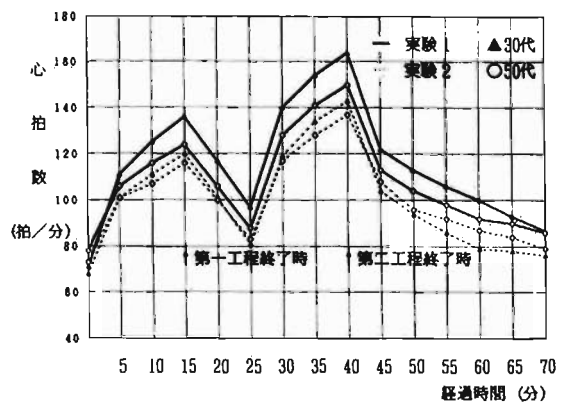


図1 心拍数の変化（拍/分）

50歳代実験1の安静時は78拍/分、第一工程終了時には124拍/分、第二工程終了時には150拍/分、30分の休息後には86拍/分に回復している。また、実験2の安静時は73拍/分、第一工程終了時には116拍/分、第二工程終了時には137拍/分、30分の休息後には79拍/分まで回復している。

本実験では安全を考慮し、30歳代にあっては180拍/分、50歳代にあっては160拍/分を心拍数が定常的に超えた時点で実験を中止することとした。

なお、実験の途中で中止した対象者（実験1のみ）の心拍数の変化は、表4のとおりである。

表4 中止者の心拍数（拍/分）

30歳代	安静時	第一工程終了時	第二工程途中
実験1	93	164	180
50歳代	安静時	第一工程終了時	第二工程途中
実験1	81	141	160

前述した心拍数の中止基準に、実験1の対象者は、30歳代が3人、50歳代が2人、計5人が達し、実験を途中で中止している。

(3) 血圧（収縮期血圧）

各対象者の平均血圧の状況は、図2に示すとおりである。

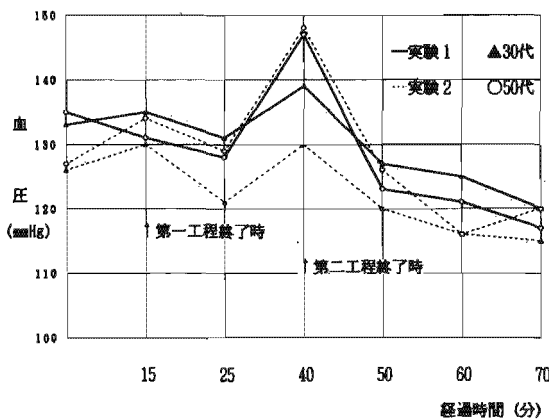


図2 血圧の変化（拍/分）

30歳代・実験1の安静時は133mmHg、第一工程終了時は135mmHg、第二工程終了時は139mmHg、実験2の安静時126mmHg、第一、二工程終了時はともに130mmHgとなっている。

50歳代・実験1の安静時は135mmHg、第一工程終了時は131mmHg、第二工程終了時は147mmHg、実験2の安静時127mmHg、第一工程終了時は134mmHg、第二工程終了時は148mmHgとなっている。

(4) 空気消費量

対象者の平均空気消費量は、表5に示すとおりである。

表5 空気消費量の変化（ℓ/分）

30歳代	第一工程終了時	第二工程終了時
実験1	26.7	30.3
X Σ n	4.1	5.9
実験2	24.1	27.8
X Σ n	4.6	5.4

50歳代	第一工程終了時	第二工程終了時
実験1	26.5	32.0
X Σ n	3.7	8.6
実験2	23.1	27.4
X Σ n	2.5	3.5

30歳代・実験1の第一工程終了時は26.7ℓ/分、第二工程終了時は30.3ℓ/分となっている。また、実験2の第一工程終了時は24.1ℓ/分、第二工程終了時は27.8ℓ/分となっている。

50歳代・実験1の第一工程終了時は26.5ℓ/分、第二工程終了時は32.0ℓ/分となっている。また、実験2の第一工程終了時は23.1ℓ/分、第二工程終了時は27.4ℓ/分となっている。

(5) 呼吸数

平均呼吸数は、表6のとおりである。

表 6 呼吸数の変化 (回/分)

30歳代	第一工程終了時	第二工程終了時
実験 1	20	23
X Σ n	5.1	5.8
実験 2	20	22
X Σ n	5.1	6.0

50歳代	第一工程終了時	第二工程終了時
実験 1	23	28
X Σ n	2.9	4.6
実験 2	22	25
X Σ n	2.4	2.2

30歳代・実験 1 の第一工程終了時は20回/分、第二工程終了時は23回/分となっている。また、実験 2 の第一工程終了時は20回/分、第二工程終了時は22回/分となっている。

50歳代・実験 1 の第一工程終了時は23回/分、第二工程終了時は28回/分となっている。また、実験 2 の第一工程終了時は22回/分、第二工程終了時は25回/分となっている。

(6) 体温(口腔内温度)

実験経過による対象者の平均体温は、図 3 に示すとおりである。

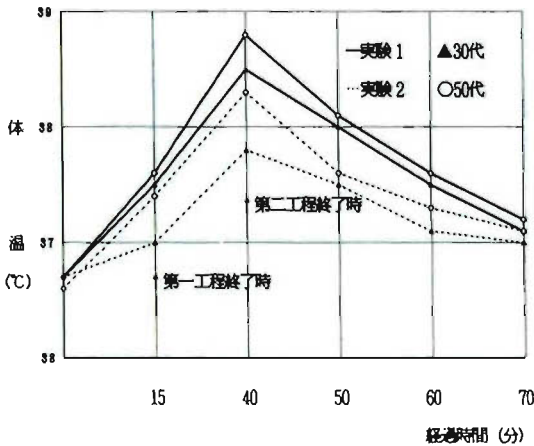


図 3 体温の変化 (°C)

30歳代・実験 1 の安静時は36.7°C、第一工程終了直後は37.5°C、第二工程終了直後は38.5°C、30分の休息後は37.1°Cになっている。また、実

験 2 の安静時は36.7°C、第一工程終了直後は37.0°C、第二工程終了直後は37.8°C、30分の休息後は37.0°Cになっている。

50歳代・実験 1 の安静時は36.7°C、第一工程終了直後は37.6°C、第二工程終了直後は38.8°C、30分の休息後は37.2°Cになっている。また、実験 2 の安静時は36.6°C、第一工程終了直後は37.4°C、第二工程終了直後は38.3°C、30分の休息後は37.1°Cになっている。

なお、サーモグラフィー(赤外線熱画像)で見た第二工程終了時の被験者の背中体表面の温度分布については、写真 4、5 のとおりである。

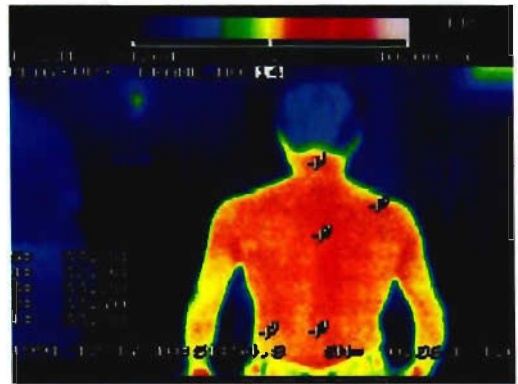


写真 4 冷却なし

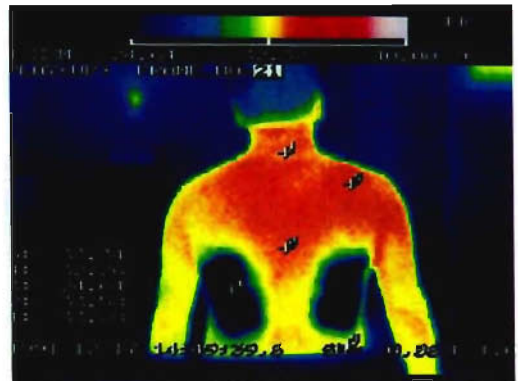


写真 5 冷却あり

冷却をしていない被験者の背中面は、約33°Cの体表面温度を示しているが、冷却を行った被験者の冷却箇所は24°C以下、その周辺は約32°Cとなっており、かなり冷却されている状況が認められる。

(7) 発汗量

第二工程を終了した対象者の平均発汗量は表7に示すとおりである。

表7 発汗量の変化 (cc)

30歳代		50歳代	
実験1	1006	実験1	592
XΣn	323.3	XΣn	93.1
実験2	676	実験2	428
XΣn	268.1	XΣn	133.6

30歳代の発汗量は、全工程終了時、実験1は1006ccであったが、実験2では330cc少ない676ccとなっている。

50歳代の発汗量は、全工程終了時、実験1は592ccであったが、実験2では164cc少ない428ccとなっている。

(8) 自覚感

実験工程の全てを完遂した対象者（実験1は30歳代7人及び50歳代3人の計10人、実験2は全員が完遂した。）に各実験工程終了直前に、「暑さ感」や「不快感」等についてアンケートした結果は次のとおりである。

ア 暑さ感について

「暑さ感」については、表8に示すとおりである。

表8 暑さ感 (人)

30歳代	第一工程		第二工程	
	実験1	実験2	実験1	実験2
かなり暑い	1 (10)	0	3 (43)	0
暑い	4 (40)	5 (50)	4 (57)	8 (80)
やや暑い	4 (40)	4 (40)	0	2 (20)
普通	1 (10)	1 (10)	0	0
対象者数	10(100)	10(100)	7 (100)	10(100)

50歳代	第一工程		第二工程	
	実験1	実験2	実験1	実験2
かなり暑い	0	0	1 (33)	0
暑い	4 (80)	0	1 (33)	0
やや暑い	1 (20)	4 (80)	1 (33)	5 (100)
普通	0	1 (20)	0	0
対象者数	5 (100)	5 (100)	3 (99)	5 (100)

() 内は%を示す。

30歳代の第一工程の「かなり暑い」は実験1が1人、実験2が0、「暑い」は実験1が4人、実験2が5人となっている。また、第二工程の「かなり暑い」は実験1が3人、実験2が0、「暑い」は実験1が4人、実験2が8人となっている。

50歳代の第一工程の「かなり暑い」は実験1、2ともに0、「暑い」は実験1が4人、実験2が0となっている。また、第二工程の「かなり暑い」は実験1が1人、実験2が0、「暑い」は実験1が1人、実験2が0となっている。

イ 不快感について

「不快感」については、表9に示すとおりである。

表9 不快感 (人)

30歳代	第一工程		第二工程	
	実験1	実験2	実験1	実験2
かなり不快	1 (10)	0	2 (29)	0
不快	4 (40)	2 (20)	4 (57)	8 (80)
やや不快	4 (40)	6 (60)	0	1 (10)
普通	1 (10)	2 (20)	1 (14)	1 (10)
対象者数	10(100)	10(100)	7 (100)	10(100)

50歳代	第一工程		第二工程	
	実験1	実験2	実験1	実験2
かなり不快	0	0	0	0
不快	0	0	2 (67)	0
やや不快	4 (80)	2 (40)	1 (33)	4 (80)
普通	1 (20)	3 (60)	0	1 (20)
対象者数	5 (100)	5 (100)	3 (100)	5 (100)

() 内は%を示す。

30歳代の第一工程の「かなり不快」は実験1が1人、実験2が0、「不快」は実験1が4人、実験2は2人、また、第二工程の「かなり不快」は実験1が2人、実験2は0、「不快」は実験1が4人、実験2は8人となっている。

50歳代の第一工程の「かなり不快」と「不快」は、実験1、2ともに0、また、第二工程の「かなり不快」は、実験1、2ともに0であるが、「不快」は実験1が2人、実験2は0となっている。

ウ 苦しさ感について

歩行運動の「苦しさ感」については、表10に示すとおりである。

表10 苦しさ感 (人)

30歳代	第一工程		第二工程	
	実験1	実験2	実験1	実験2
かなり苦しい	0	0	0	0
苦しい	1 (10)	0	2 (29)	2 (20)
やや苦しい	4 (40)	4 (40)	4 (57)	5 (50)
普通	5 (50)	6 (60)	1 (14)	3 (30)
対象者数	10(100)	10(100)	7 (100)	10(100)

50歳代	第一工程		第二工程	
	実験1	実験2	実験1	実験2
かなり苦しい	0	0	0	0
苦しい	0	0	1 (33)	0
やや苦しい	2 (40)	1 (20)	1 (33)	2 (40)
普通	3 (60)	4 (80)	1 (33)	3 (60)
対象者数	5 (100)	5 (100)	3 (99)	5 (100)

()内は%を示す。

30歳代の第一工程の「かなり苦しい」は実験1, 2ともに0, 「苦しい」は実験1が1人, 実験2は0, また, 第二工程の「かなり苦しい」は実験1が0, 実験2は0, 「苦しい」は実験1, 2ともに2人となっている。

50歳代の第一工程の「かなり苦しい」と「苦しい」は実験1, 2ともに0, また, 第二工程の「かなり苦しい」は実験1, 2ともに0, 「苦しい」は実験1が1人, 実験2が2人となっている。

エ 装備の重量感について

装備の「重量感」については, 表11に示すとおりである。

30歳代の第一工程の「とても重い」は, 実験1, 2ともに0, 「重い」は実験1, 2ともに1人となっている。また, 第二工程の「とても重い」は, 実験1, 2ともに0, 「重い」は実験1が4人, 実験2が2人となっている。

50歳代の第一工程の「とても重い」は, 実験1, 2ともに0, 「重い」は実験1が1人, 実験2が0となっている。また, 第二工程の「とても重い」は, 実験1, 2ともに0, 「重い」は, 実験1, 2ともに1人となっている。

オ 歩行運動中の意識障害について

歩行運動中の「意識障害」については, 表12に示すとおりである。

表11 重量感 (人)

30歳代	第一工程		第二工程	
	実験1	実験2	実験1	実験2
とても重い	0	0	0	0
重い	1 (10)	1 (10)	4 (57)	2 (20)
やや重い	5 (50)	3 (30)	2 (29)	6 (60)
普通	4 (40)	6 (60)	1 (14)	2 (20)
対象者数	10(100)	10(100)	7 (100)	10(100)

50歳代	第一工程		第二工程	
	実験1	実験2	実験1	実験2
とても重い	0	0	0	0
重い	1 (20)	0	1 (33)	1 (20)
やや重い	3 (60)	3 (60)	2 (67)	4 (80)
普通	1 (20)	2 (40)	0	0
対象者数	5 (100)	5 (100)	3 (100)	5 (100)

()内は%を示す。

表12 意識障害 (人)

30歳代	第一工程		第二工程	
	実験1	実験2	実験1	実験2
かなりボーッ	0	0	0	0
ボーッ	0	0	1 (14)	0
ややボーッ	0	0	1 (14)	3 (30)
普通	10(100)	10(100)	5 (72)	7 (70)
対象者数	10(100)	10(100)	7 (100)	10(100)

50歳代	第一工程		第二工程	
	実験1	実験2	実験1	実験2
かなりボーッ	0	0	0	0
ボーッ	0	0	0	0
ややボーッ	2 (40)	0	0	1 (20)
普通	3 (60)	5 (100)	3 (100)	4 (80)
対象者数	5 (100)	5 (100)	3 (100)	5 (100)

()内は%を示す。

30歳代の第一、二工程の「かなりポーッとした」は実験1, 2ともに0, 第一工程の「ポーッとした」は実験1, 2ともに0, 第二工程の「ポーッとした」は実験1が1人, 実験2が0となっている。

50歳代の全工程の「かなりポーッとした」と「ポーッとした」は, 実験1, 2ともに0, 第一工程の「ややポーッとした」は, 実験1が2人実験2が0, 第二工程の「ややポーッとした」は, 実験1が0, 実験2が1人となっている。

カ 疲労感について

「疲労感」については, 表13のとおりである。

表13 疲労感 (人)

30歳代	第一工程		第二工程	
	実験1	実験2	実験1	実験2
実験種別				
とても疲れた	0	0	0	0
疲れた	0	0	2 (29)	1 (10)
やや疲れた	3 (30)	1 (10)	4 (57)	4 (40)
普通	7 (70)	9 (90)	1 (14)	5 (50)
対象者数	10(100)	10(100)	7(100)	10(100)

50歳代	第一工程		第二工程	
	実験1	実験2	実験1	実験2
実験種別				
とても疲れた	0	0	0	0
疲れた	0	0	0	0
やや疲れた	1 (20)	1 (20)	2 (67)	3 (60)
普通	4 (80)	4 (80)	1 (33)	2 (40)
対象者数	5(100)	5(100)	3(100)	5(100)

() 内は%を示す。

30歳代の第一、二工程の「とても疲れた」は, 実験1, 2ともに0, 第一工程の「疲れた」は, 実験1, 2ともに0, 第二工程では実験1が2人, 実験2が1人となっている。

50歳代の第一、二工程の「とても疲れた」と「疲れた」は, 実験1, 2ともに0, 第一工程の「やや疲れた」は, 実験1, 2ともに1人, 第二工程の「やや疲れた」は実験1が2人, 実験2が3人となっている。

キ 冷却感について

実験2のみに質問した「冷却感」については, 表14のとおりである。

表14 冷却感 (人)

30歳代	第一工程	第二工程
	実験 2	
実験種別		
とても良い	0	0
良い	7 (70)	4 (40)
普通	3 (30)	5 (50)
悪い	0	1 (10)
対象者数	10(100)	10(100)

50歳代	第一工程	第二工程
	実験 2	
実験種別		
とても良い	0	0
良い	5 (100)	3 (60)
普通	0	2 (40)
悪い	0	0
対象者数	5(100)	5(100)

() 内は%を示す。

30歳代の第一工程の「とても良い」は0, 「良い」は7人となっている。また, 第二工程の「とても良い」は0, 「良い」は4人となっている。

50歳代の第一工程の「とても良い」は0, 「良い」は5人となっている。また, 第二工程の「とても良い」は0, 「良い」は3人となっている。

ク 冷却用防火衣の密着感について

「密着感」については, 表15のとおりである。

表15 密着感 (人)

30歳代	第一工程	第二工程
	実験 2	
実験種別		
ピッタリ	1 (10)	1 (10)
普通	9 (90)	9 (90)
悪い	0	0
対象者数	10(100)	10(100)

50歳代	第一工程	第二工程
	実験 2	
実験種別		
ピッタリ	1 (20)	0
普通	3 (60)	4 (80)
悪い	1 (20)	1 (20)
対象者数	5(100)	5(100)

() 内は%を示す。

30歳代は、第一、二工程とも同一であり、「ピッタリ」は1人、「普通」は9人となっている。

50歳代の第一工程の「ピッタリ」は1人、「普通」3人、「悪い」1人となっている。また、第二工程の「ピッタリ」は0、「普通」4人、「悪い」1人となっている。この中で「悪い」と回答した者は、「心臓部分に当たっている冷却剤が冷えすぎるため」と悪い理由について述べている。

6 考 察

(1) 心拍数

実験1の安静時の心拍数が実験2に比べて高いのは、対象者にとって実験1は初めての体験であったため緊張し、心拍数の上昇になって現れたものと考えられる。

冷却効果についてみると、第二工程終了時、実験1に比べ実験2は、21拍(30歳代)、13拍(50歳代)低くなっている。また、心拍数の中止基準に達し、実験を途中で中止した者は、第二工程終了時の実験1に見られ、30歳代3人、50歳代2人となっている。

心拍数は、身体的負担の指標として一般に用いられており、身体が高温に暴露されると体表面の血管が拡張し、内臓を通る血量、心臓に戻る血量及び心臓から押し出される血量が減るため、血圧は下がり、心拍数は増加する。また、180拍/分に達すると、虚脱をおこす臨界点に達するといわれており¹²⁾、身体冷却により心拍数の上昇は、かなり抑制されている。

次に、年代別でみると、第二工程終了時、実験1の30歳代は、50歳代に比べ14拍高いにもかかわらず、30分間の休息で50歳代のレベルまで達しており、回復が早いといえる。

(2) 血圧

実験1の安静時の血圧が実験2と比べてやや高いのは、前述の心拍数と同様緊張が影響したものと考えられる。

冷却効果についてみると、第二工程終了時の実験2に9mmHg(30歳代)の低下がみられるが、50歳代にはほとんどみられない。

高温環境下では、前(1)心拍数で述べたとおり、体表面の血管が拡張するため、血圧は、心拍数

のような激しい上昇はみられず、また、運動強度も血圧を急激に上昇させるような強度ではなかった。したがって、冷却による影響も少ないものであった。

年代別にみると、第二工程終了時、50歳代の者は30歳代の者に比べ、実験1は8mmHg、実験2は18mmHg高くなっており、昭和57年に第四研究室で行った実験(以下「昭和57年の実験結果」という。)温度50°C、湿度70%の高温環境下で、自転車エルゴメータを用い300kg/分の5分間駆動負荷の結果も、30歳代196mmHgに対し、50歳代は203mmHgとやや高く、本実験と同様、50歳代の方が高い傾向が見られる³⁾。したがって、同負荷でも50歳代の方が身体的には厳しいと考えられる。

(3) 空気消費量

冷却効果についてみると、第二工程終了時、実験2は実験1に比べて2.5ℓ/分(30歳代)、4.6ℓ/分(50歳代)少なくなっており、冷却により負担が軽減されている。

高温環境下での安静時には、ほとんど呼吸に変化はないが、体温が上がり続けるときには、空気消費量が増す。体温1°Cの上昇当たり空気消費量が1~1.2ℓ/分増加し、これは主として1回当りの空気消費量の増加に基づくのであって、呼吸数の増加はわずかである⁴⁾。また、安静時の空気消費量は約8ℓ/分といわれているが、激しい作業をする場合に呼吸数が30~40回/分、呼吸量が100ℓ/分を超えることがある。これらから本実験の運動強度についてみると、ピーク時でも30ℓ/分程度にとどまっており、普通程度の運動強度であったと考えられる。

次に、年代別でみると、第二工程終了時、実験1の30歳代30.3ℓ/分に対し50歳代は32.0ℓ/分と多くなっているが実験2では見られず、年代による差は、身体的負担が厳しくなると顕著になると考えられる。

(4) 呼吸数

冷却効果についてみると、第二工程終了時、実験1に比べ実験2は、1回(30歳代)、3回(50歳代)少なくなっており、冷却効果が若干現れている。

高温環境下では、体温調節を行うため、発汗による水分蒸発の増加とともに、呼吸数の増加

による呼気水分蒸発を盛んにするといわれているが、本実験では、呼気水分蒸発を盛んにするには至っていない⁶⁾。また、前記(3)の空気消費量で述べたとおり、運動強度からみても厳しいレベルに至っていないと考えられる。したがって、冷却の効果も小さい。

次に、年代別の呼吸数についてみると、第二工程終了時、実験1の30歳代23回/分に対し、50歳代28回/分となっており、前述の血圧で述べた昭和57年の実験結果で、呼吸数が30歳代27回/分、50歳代29回/分で見られるように、50歳代は、同負荷であっても身体的負担は厳しくなると考えられる。

(5) 体温 (口腔内温度)

冷却効果についてみると、第二工程終了時、実験1に比べ実験2は、 0.7°C (30歳代)、 0.4°C (50歳代)低く、冷却効果を上げている。

外気温が皮膚温度より高くなると、ふく射熱の方向が逆転して外から体内に熱が入るので体温調節における蒸発の役割は一層重要であり、この時湿度が高いと蒸発が妨げられて熱が体内に蓄積する⁶⁾。高温環境下で身体を冷却することは、かなり効果を上げると考えられる。

次に年代別でみると、第二工程終了時、実験1、2ともに30歳代に比べ、50歳代の方が体温が高く、後述する発汗量差による影響と考えられる。

(6) 発汗量

冷却効果についてみると、第二工程終了時、実験1に比べ実験2は330cc(30歳代)、164cc(50歳代)少なくなっており、冷却により体温の上昇が抑制され、発汗量を少なくしたのと考えられる。発汗量が4ℓ以上になると、組織水分が血液水分を補うことが不可能となり血液の濃縮が急激に増し、色々な影響がでてくることが予想される⁷⁾。

また、発汗は同時にNaClも失うこととなる。(汗の中には0.3~0.4%のNaClが含まれている。)このため、適切な水分とNaClの補給を行わない場合、熱痙攣などの熱中症の発症危険が高まってくる。また、年代別でみると、第二工程終了時、実験1の30歳代は1006cc、50歳代は592ccの発汗量となっており、50歳代は、身体的機能の低下によると考えられる。

(7) 自覚感

ア 熱環境室での暑さ

実験工程の経過とともに、暑さを感じる者が増加し、第二工程の実験1の30歳代では、43%が「かなり暑い」、57%が「暑い」と感じている。しかし、実験2では、80%が「暑い」、20%が「やや暑い」と感じており、冷却の有無により暑さ感に大きな差がみられる。

第二工程の途中で、防火衣の内側の湿度を測定すると約90%となっており、流れ出る汗で飽和状態であったといえる。防火衣は、外側がアルミコーティングしてあるため、その生地を通して体表面から出る汗の蒸発ができず、厳しい暑さを感じたと考えられる。

また、年代別では、第二工程、実験1の30歳代は、全員「暑い」との回答に対し、50歳代は「暑い」66%にとどまっており、前述の体温では50歳代の方が体温は高いが、暑さ感は低く感じている者が多い。

イ 不快感

第二工程、実験1の30歳代は、29%が「かなり不快」と感じているのに対し、実験2は0となっており、身体のコールドは、不快感の軽減に効果を上げている。

また、年代別では、30歳代の実験1の第二工程終了直前、86%が「不快」と感じているのに対し、50歳代は67%にとどまっており、50歳代の方が不快感を訴える者が少なくなっている。

ウ 苦しさ

第二工程、実験1、2の30歳代の「かなり苦しい」は両実験とも0であるが、「苦しい」の回答は実験2の20%に比べ、実験1が29%とやや多く、実験1の方が苦しさを訴える者が多い。

また、年代別では、50歳代の方が低く現れており、前述の「暑さ」、「不快」などと同様の結果となっている。

エ 重量感

第二工程、30歳代の実験1は「重い」が57%、実験2は20%となっており、実験2の方が装備総重量が約1kg重いかかわらず、実験1に比べ低い重量感であるのは、前述したとおり「暑さ感」や、「不快感」の軽減が重

重感に影響を及ぼしたと考えられる。

年代別では、30歳代の者の中に全く重量負担がないと感じた者が若干みられるが、50歳代には全くみられない。したがって、50歳代の方が重量感を強く感じている者がやや多くなっている。

オ 意識障害

第二工程、30歳代の実験1で「ボーッとした」は1人のみであり、「ややボーッとした」が各工程・各実験に若干みられる程度である。

本実験では、負荷時間が短く、負荷強度も普通程度（筒先保持程度の負荷強度）であったため、意識障害を及ぼす程にはいたっていないと考えられる。

カ 疲労感

各実験、年代とも、実験工程の経過にしたがって、疲労感を訴えている者が多くなっているが、第二工程、30歳代の実験1は「疲れた」29%に比べ、実験2は10%にとどまっております。やや疲労感が少ない傾向がみられる。また、年代別では、50歳代に比べ30歳代の方が疲労を強く訴える傾向がみられる。第二工程の実験1で30歳代が「疲れた」29%に対し、50歳代は0となっており、50歳代の方が疲れを訴える者が少ない。

キ 冷却感

30歳代の第一工程では、70%以上の者が「良い」と感じているが、第二工程終了直前では40%に減っている。このように、冷却効果が減ったのは、冷却箇所が体表面の同一箇所となったため、一定時間の経過により感覚的にぶくなり、冷たさを感じなくなることや、冷却剤の冷却能力の低下によることが考えられる。

ク 密着感

各年代ともほとんどの者が、「普通」であると感じており、冷却用のポケットを装着したことによる違和感は少なかったといえる。また、冷却剤の溶け方からみると、背中中の冷却剤はほとんど溶解しているが、胸部はまだ半溶解状態となっており、呼吸器と重なる背中部は密着が強いが、胸部については身体との密着がやや弱くなっている状況がうかがえる。

7 まとめ

(1) 身体の冷却効果について

高温環境下での活動は、ふく射熱や落下物などから身体を防護するため着用した防火衣が、活動により発生した体熱を外部に放散できず、身体のうつ熱状態を促進させ、熱中症の発症危険を高めているといえる。

身体の冷却は、心拍数や体温の上昇を抑制するとともに、発汗量も減少させている。また、意識面においても、暑さ感や不快感の軽減に加えて、重量感も軽減している。

このようなことから、高温環境下において活動する消防隊員の身体的負担の軽減と熱中症の予防に効果が認められる。

(2) 年代別の生理変化

50歳代の者は30歳代の者と比べ、心拍数の回復は遅れている。また、体温は30歳代より高くなっているが、体温の上昇を抑える発汗は、少なくなっている。このことは、循環機能などが30歳代に比して低下しているためと考えられる。

したがって、同様の条件下での活動においては、高齢者の方が身体的負担が厳しくなっていることがうかがえる。

しかし、「暑さ感」や「不快感」の意識面では、50歳代の者は30歳代の者に比べ訴えが低くなっている。

製鉄所の3交替制勤務者20～29歳18人、45～59歳20人を対象とした調査では、中高年労働者の労働負担は、若年労働者のそれに比較して大きいですが、疲労感やストレス感の自己評価値は中、高年齢の方が若年群より低くなる⁸⁾⁹⁾。これは加齢に伴う生理学的身体機能の低下により、刺激・反応系の閾値が上昇するためである¹⁰⁾。このため、身体的負担が厳しくなっていることを勘案し普段の体力管理や現場での安全管理に配慮が必要である。

(3) 高温環境に対する今後の課題

本研究は、身体を外側から強制的に冷却することにより、消防活動の安全と効率を高める研究を行ったが、今後は、効果的な冷却部位や効果的な冷却剤、冷却能力の向上などについて、さらに研究を進める予定である。

※ ローレル指数とは、肥満判定のために一般に使用されており、体格指数160以上を肥満と判定している。

$$\text{ローレル指数} = \frac{\text{体重(kg)}}{(\text{身長cm})^3} \times 10^7$$

※ 熱中症を発症した実験事例¹¹⁾

温度50°C、湿度45%の高温下で、椅座安静にしている実験で70分後、熱中症を発症して卒倒した。その時の体温(直腸温度)は40°Cを超え、呼吸数50回/分、心拍数200回/分、血圧の低下を見た。

参考文献

- 1) 三浦豊彦「労働の衛生学」大修館書店1976年
- 2) 渡辺巖一「基礎環境衛生学」朝倉書店1973年
- 3) 消防科学研究所報20号 1983年
- 4) 中山昭雄「温熱生理学」理工学社 1981年
- 5) 児玉敏夫他「スポーツ医学入門」南山堂1972年
- 6) 朝比奈一男・中川巧哉「運動生理学」大修館書店1975年
- 7) 三浦豊彦「労働の衛生学」大修館書店 1976年
- 8) 須藤綾子「産業医学33巻」日本産業衛生学会 1991年
- 9) 大島正光「疲労の研究」東京同文書院 1974年
- 10) 鈴木庄亮・青木繁伸「TH Iハンドブック」篠原出版 1989年
- 11) 三浦豊彦「労働の衛生学」大修館書店 1976年