

熱環境下における消防隊員の年代別 生理変化の研究について

The Physiological Responses of Fire Fighters in Their Twenties
Thirties Forties and Fifties under Hot Environment

野 尻 忠 弘*
高 屋 敷 勤 六*
中 嶋 秀 幸**

The physiological responses of ergometer exercise were recorded for 40 firefighters divided in the age groups 20 to 25, 30 to 35, 40 to 45, and 50 to 55.

The following results were obtained by estimating the physiological responses (heart beat, respiration rate, blood pressure, volume of sweat, air consumption and oxygen consumption) under hot environment during the 5 minutes exercise.

- (1) Heart beat, blood pressure and air consumption were increased in the older firefighters.
- (2) Respiration rate and oxygen consumption were not increased in the older firefighters.
- (3) Heart beat, blood pressure, volume of sweat and air consumption were increased under hot environment.

1. はじめに

東京消防庁職員の年齢構成をみると、いわゆる団塊の世代といわれる30～34歳の職員が全体の25%も占め10年後には40歳以上の職員が50%を越え、15年後には60%台にも達することが予想され、職員の高齢化が急速に進むといわれている¹⁾。

これらを踏まえ、熱環境下における消防隊員の年代別生理変化を調査研究し、災害現場での安全管理及び労務管理を図る資料を得るために本研究を実施したものである。

2. 測定対象者

健康な交替制勤務員で20代(平均23歳)10人、30代(平均32歳)11人、40代(平均43歳)12人、50代(平均53歳)7人の計40人で、その身体的特徴は表1のとおりである。

3. 実験概要

(1) 実験条件

防火衣、東消5型空気呼吸器を着装した出火出場時の服装(以下「全装備」という。)で、常温と熱環境(温度50℃、湿度70%)を設定した。1回目の実験は全装備で常温環境(温度25℃前後、湿度40～60%)、2回目は全装備で熱環境室(容積8m³、間接ガス加温、直接電熱加温、水蒸気送入、強制循環方式)により実施した。

(2) 負荷内容

自転車エルゴメータを用い、毎分あたり仕事量300kgm/分(例えば30kgの重量物を1分かけて10m運ぶのに必要な仕事量)の負荷を与えた。

この負荷は、消防活動では全装備で屋内検索程度である(以下「負荷」という。)

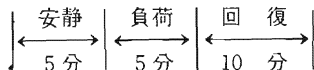
(3) タイムスケジュール

常温、熱環境とも安静5分、負荷5分、回

表1 測定対象者の身体的特徴

測定対象	測定項目	平均	身長 (cm)	体重 (kg)	胸囲 (cm)	握力 (kg)	肺活量 (cc)	体前屈 (cm)
20歳代 (10人)	平均	23	168.4	62.0	88.3	47.5	3869.0	13.3
	S, D	2	4.7	3.5	3.1	4.5	327.9	4.7
30歳代 (11人)	平均	32	167.8	68.6	91.8	49.4	3454.1	10.5
	S, D	2	3.8	9.4	5.2	4.9	771.2	7.5
40歳代 (12人)	平均	43	166.6	67.8	94.0	44.8	3283.3	6.9
	S, D	3	4.5	10.0	6.2	7.5	444.4	7.3
50歳代 (7人)	平均	53	162.9	61.9	91.1	43.8	3157.1	6.3
	S, D	2	6.1	6.3	4.0	7.4	571.5	6.5

復10分計20分間とし熱環境でも回復は常温環境で行った。



4. 測定項目

(1) 心拍数

多用途医用監視装置による、毎分あたりの心拍数。

(2) 血圧

連続自動血圧計による、最高血圧と最低血圧。

(3) 呼吸数

エレクトロメタボラーによる、毎分あたりの呼吸数。

(4) 空気消費量

エレクトロメタボラーによる、毎分あたりの空気消費量。

(5) 酸素消費量

エレクトロメタボラーによる、呼気中の酸素濃度(%)を測定し毎分あたりの酸素消費量を算出。

(6) 発汗量

人体精密台秤(実感量2g)による、実験

直前と直後の体重差。

(7) 体温

婦人体温計による、実験直前と直後の舌下温。

(8) 尿分析

試験紙法による、実験直前と直後の尿中のPH値、糖、潜血、蛋白、ウロビリノーゲン、ケトンの定性分析。

(9) 心電図

実験直前と直後の四肢誘導と胸部誘導の12誘導。

5. 結果

(1) 心拍数について(図1, 図2)

常温において、各年代の安静時心拍数は毎分あたり60拍から90拍であったが、負荷をあたえると、心拍数の最高値は20代139拍、30代138拍、40代154拍、50代143拍となった。回復は20代がもっとも早く、以下年代が増すほど遅くなり、50代が一番遅い回復を示した。

熱環境において、各年代の安静時心拍数は時間経過とともに増えるが、70拍から100拍の範囲であり、負荷をあたえると心拍数の最高値は20代164拍、30代154拍、40代166拍、50代164拍となり常温より各年代とも心拍数は

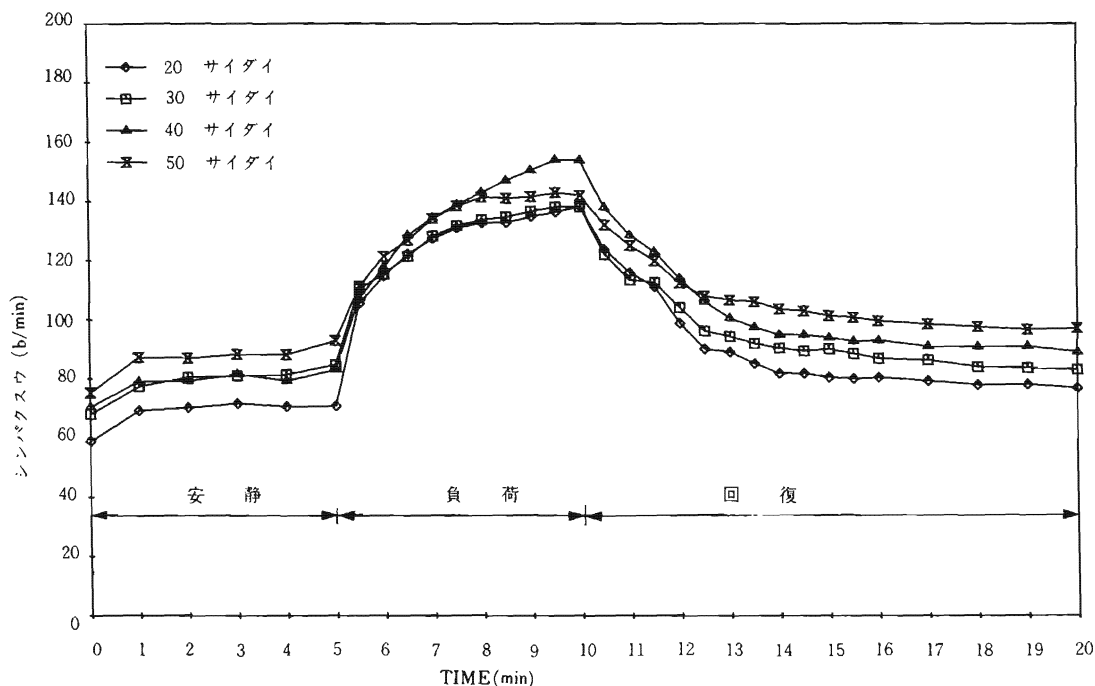


図1 心拍数の変化(常温)

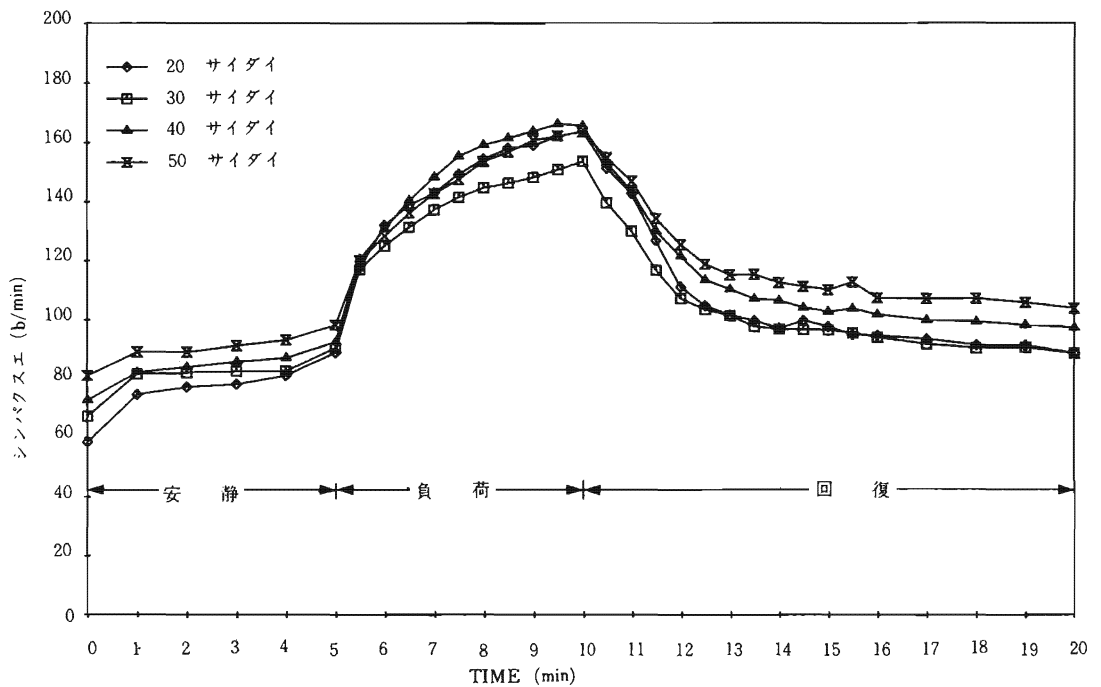


図2 心拍数の変化 (熱環境)

10拍から20数拍増えている。回復は常温と同様に20代が早く以下年代が増すほどに遅くなり50代がもっとも遅い。

血圧が126mmHgから146mmHg、最低血圧が83mmHgから105mmHgであったが、負荷があたえられると最高血圧の最高値は20代166mmHg、30代188mmHg、40代195mmHg、50代198mmHgであった。

(2) 血圧について (図3, 図4)

常温において、各年代の安静時血圧は最高

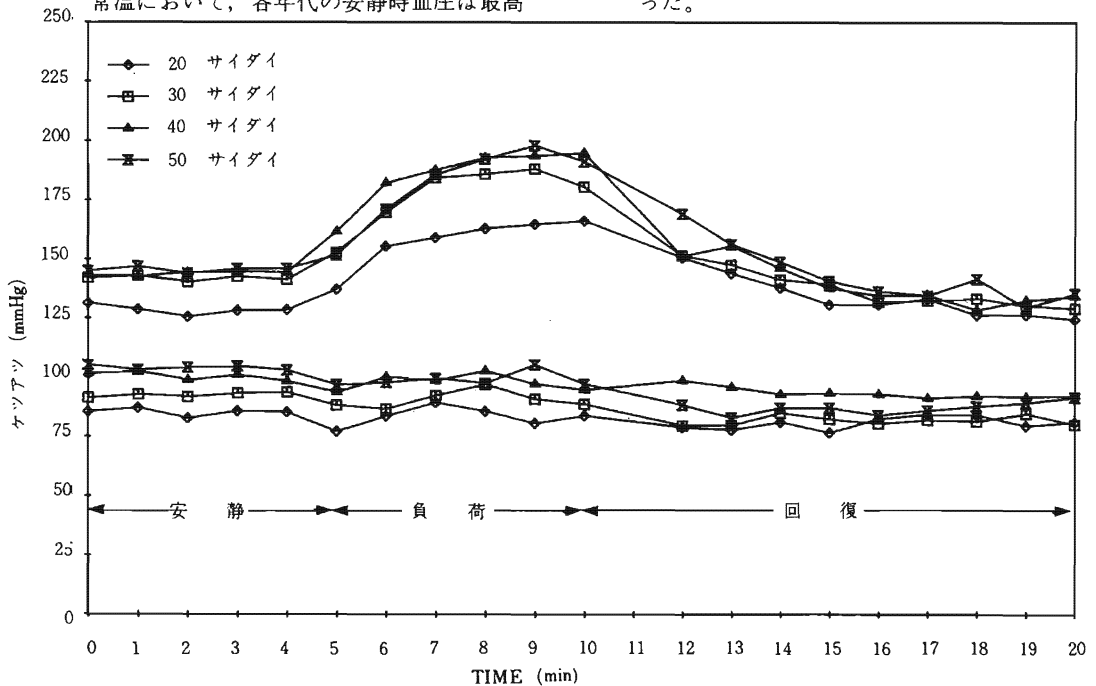


図3 血圧の変化 (常温)

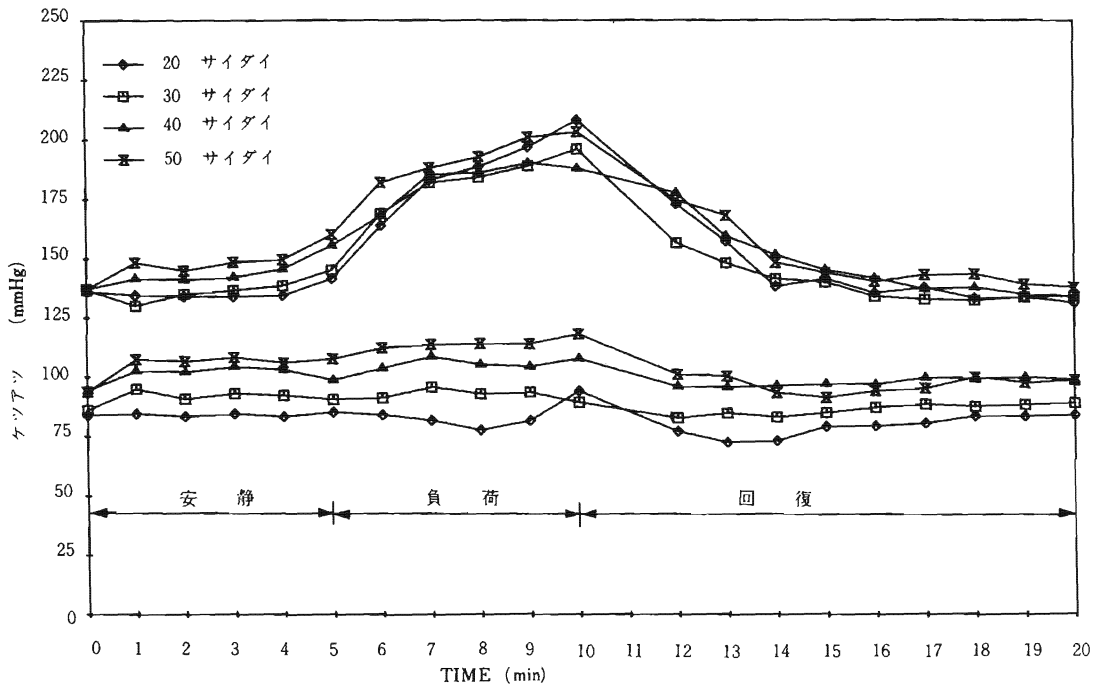


図4 血圧の変化 (熱環境)

一方最低血圧はあまり変化しなかった。回復では各年代とも急激に最高血圧は減少した。熱環境において、各年代の安静時血圧は最高、最低とも常温とあまり変らなかった。負荷をあたえると最高血圧の最高値は20代 208

mmHg, 30代196mmHg, 40代191mmHg, 50代 203 mmHgと常温とほとんど変らなかった。回復では各年代とも最高血圧は減少した。

(3) 呼吸数について (図5, 図6)

常温において、各年代の安静時毎分あたり

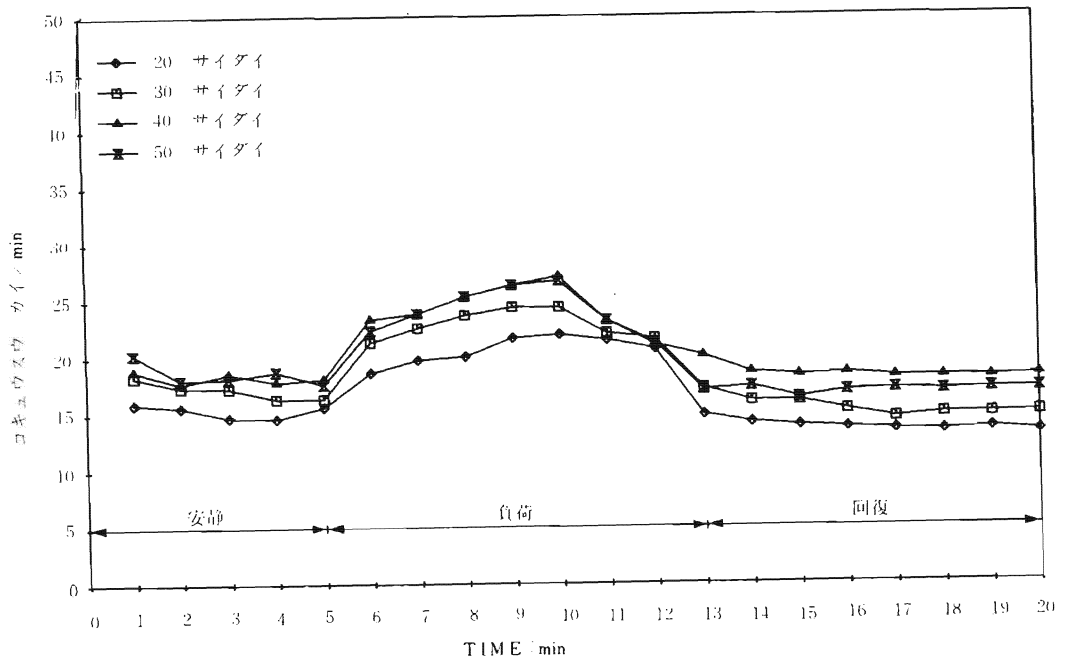


図5 呼吸数の変化 (常温)

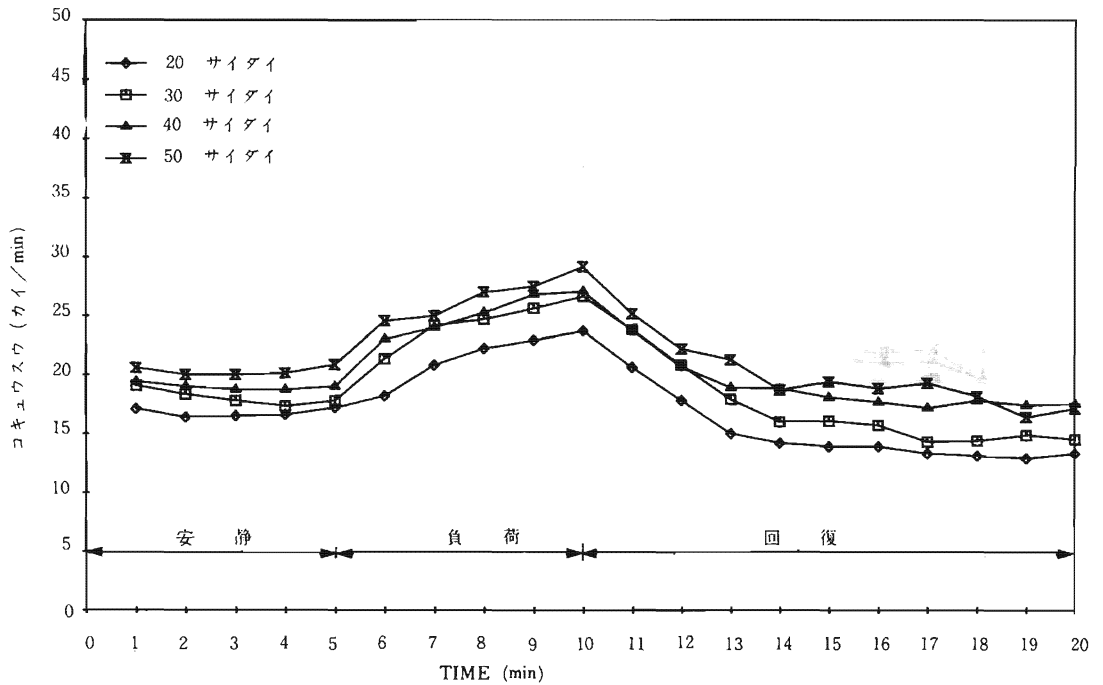


図6 呼吸数の変化 (熱環境)

呼吸数は16回から20回であったが、負荷時の最高値は20代22回、30代24回、40代27回、50代27回となった。

回復は20代、30代が早く、40代、50代が比較的遅かった。

熱環境において、各年代の安静時呼吸数は17回から21回となったが負荷をあたえると増加し、呼吸数の最高値は20代24回、30代27回、40代27回、50代29回となった。回復は常温と同様に20代、30代が早く、40代、50代が比較

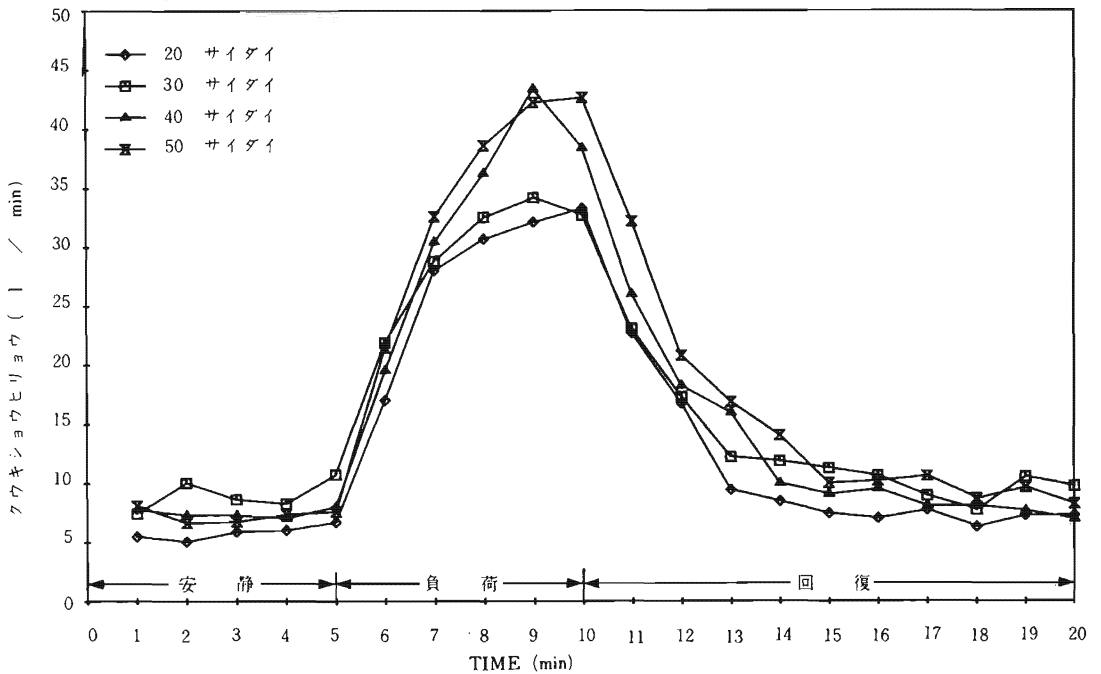


図7 空気消費量の変化 (常温)

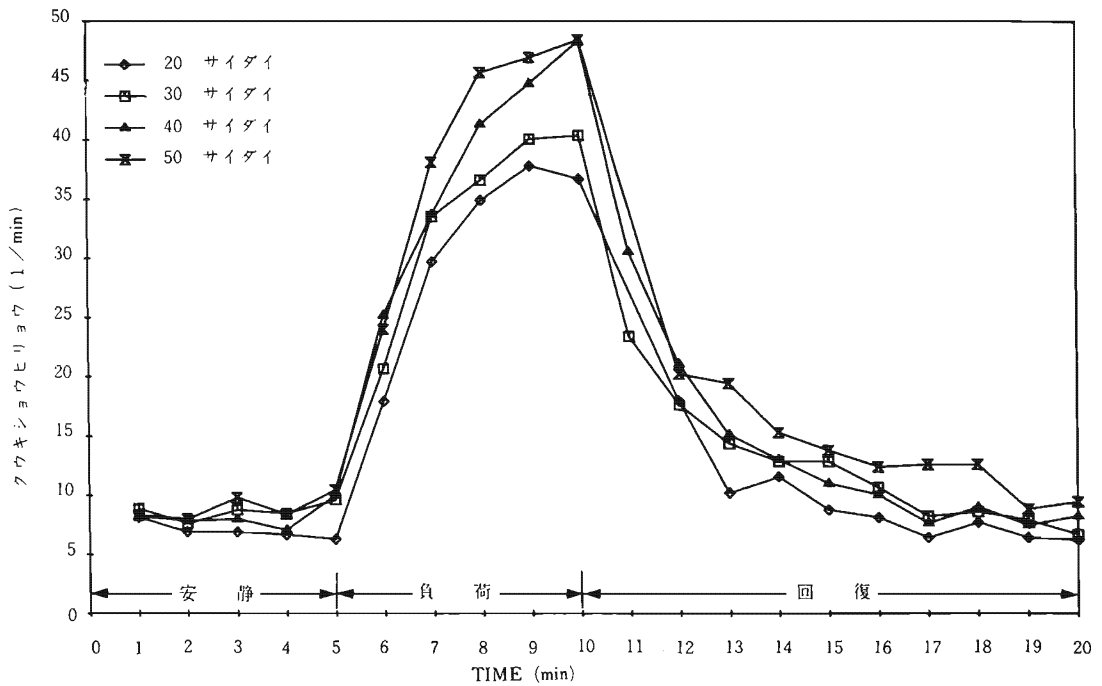


図8 空気消費量の変化(熱環境)

的遅かった。

(4) 空気消費量について(図7, 図8)

常温において、各年代の安静時毎分あたり空気消費量は5 lから11 lであったが負荷をあたえると空気消費量の最高値は20代34 l、

30代35 l、40代44 l、50代43 lで20代、30代に対して40代、50代では毎分あたりで約10 lも多く消費している。

回復では各年代とも急激に空気消費量が減少した。

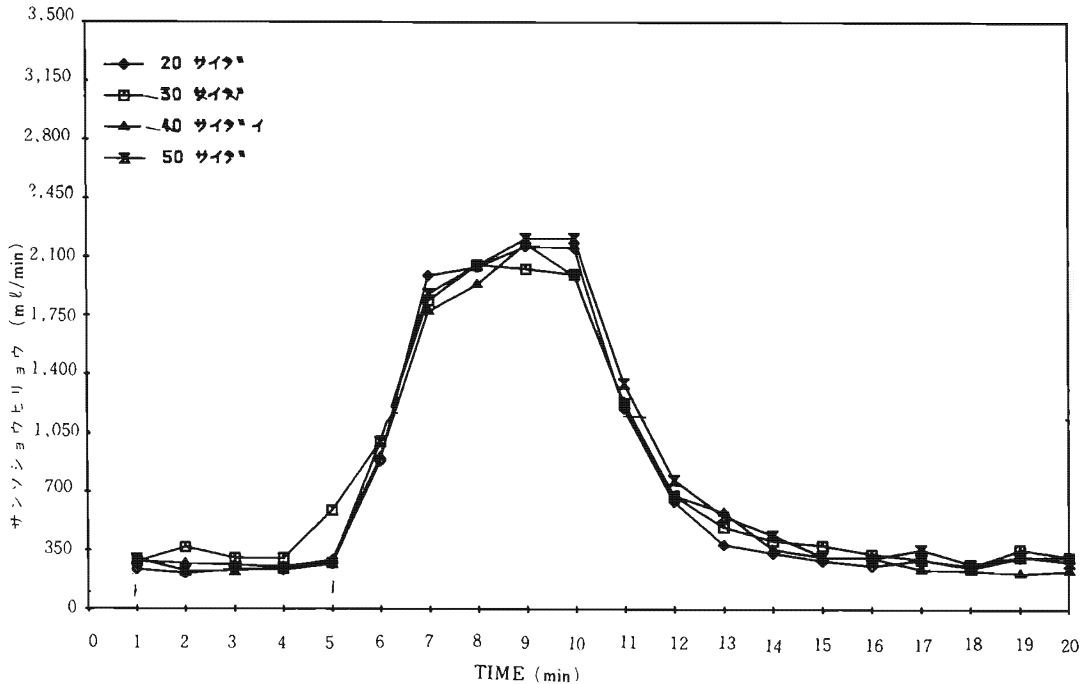


図9 酸素消費量の変化(常温)

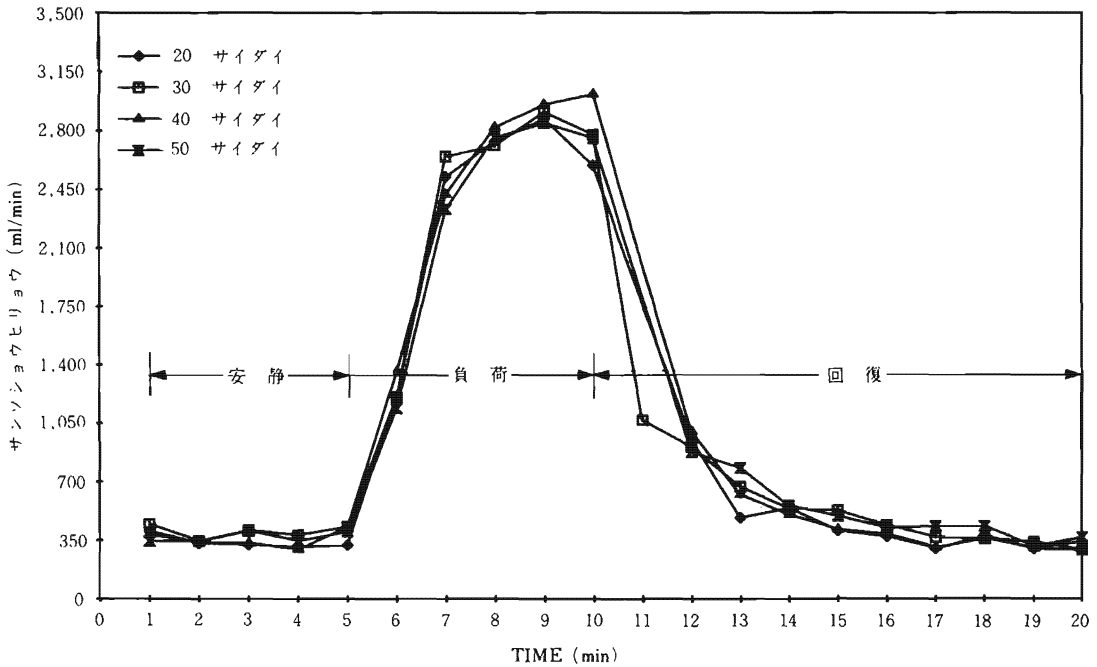


図10酸素消費量の変化(熱環境)

熱環境において、各年代の安静時毎分あたり空気消費量の最高値は20代38ℓ、30代41ℓ、40代49ℓ、50代49ℓで、常温と同じように20代、30代よりも、40代、50代のほうが毎分あたり約10ℓ多く消費している。

回復では各年代とも急激に空気消費量が減少した。

(5) 酸素消費量について(図9, 図10)

常温において、各年代の安静時毎分あたり

酸素消費量は220mlから300mlであったが負荷をあたえると酸素消費量の最高値は20代2160ml、30代2050ml、40代2180ml、50代2220mlであった。回復では各年代とも急激に酸素消費量が減少した。

(6) 発汗量と尿量について(図11)

実験前後の体重を精密(実感量2gr)に測定し、そのときの体重減少を発汗量とした。

常温における発汗量は20代111gr、30代234gr、40代153gr、50代151grでこれは30代>40代>50代>20代の順であった。

熱環境においては、20代248gr、30代273gr、40代196gr、50代207grでこれは30代>20代>50代>40代の順であった。

(7) 尿分析について(表2, 表3)

尿中の糖、潜血、ケトンはず常温(25℃).熱環境(50℃)とも実験前後で検出されなかった。

表2 尿分析(尿蛋白陽性出現率 %)

条件 \ 年代	20	30	40	50
25℃	1.0	9	5.0	4.3
50℃	6.0	1.8	8.3	4.3

(各条件別に実験前の尿蛋白テストが陰性で実験後に陽性になった率 %)

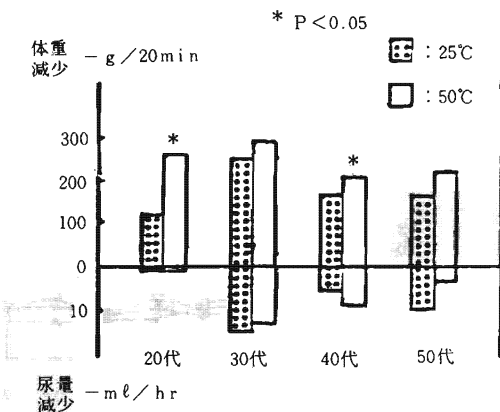


図11 各年代群の体重減少と尿量減少

表3 尿分析 (Na/K比: $\frac{\text{実験前Na/K}}{\text{実験後Na/K}}$)

条件	年代	20	30	40	50
25℃		0.72	0.74	0.66	0.74
50℃		0.67	0.49	0.64	0.98

尿中のpH(水素イオン濃度指数)は一般的に弱酸性の6付近であるが²⁾、常温、熱環境とも実験後はさらに酸性になったもの約30%、変化なかったもの約70%であった。

6. 考 察

(1) 心拍、血圧について

熱環境では各年代とも心拍数は毎分あたり160拍から170拍で、常温の140拍から150拍にくらべて約20拍も増加し、最高血圧は各年代とも高くなる傾向を示した。

一般的に長く熱環境にいれば、負荷時の最高血圧は徐々に下るといわれている³⁾、しかし今回は熱環境にいる時間が安静5分、負荷5分と比較的短いと考えられる。

熱環境で活動している場合、心拍数が毎分あたり160拍に達すると耐えがたい苦悶を生

じ、180拍に達すると判断力や決断力が鈍くなり、体力も限界に至り、その時はすでに熱虚脱をおこす限界点であるといわれている⁴⁾。

一般に、体力を練成する効果的運動をするには心拍数は各年代別に20代130拍から160拍、30代125拍から155拍、40代120拍から145拍、50代115拍から140拍であるといわれている⁵⁾。

今回の熱環境では、全装備で軽くかけ足程度の負荷が各年代とも心拍数からみると限界に近く、とくに50代の隊員にとってはかなりの負担であったと考えられる。

(2) 心拍数の増加率と回復率について(図12, 図13)

心拍数増加率は常温のとき20代、30代、40代そして50代と年代が増すほど上昇が鈍くなっている。今回負荷は各年代とも全く同じであるにかかわらず20代がもっとも早く負荷に対応して増加し、50代の増加率が一番遅いことがわかった。図12で40代が30代より増加率が高くなっているが例数を多くすれば各年代順になると考えられる。

また、熱環境において、心拍数増加率は常温とほぼ同じで、20代が50代の1.8倍にも増

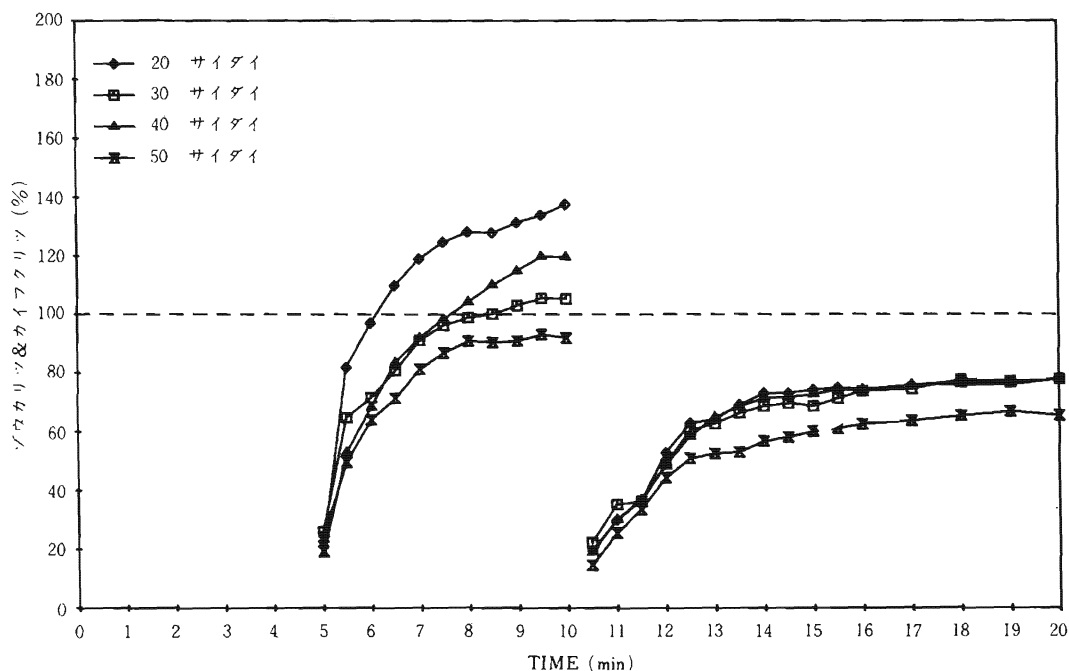


図12 心拍数の増加率と回復率(常温)

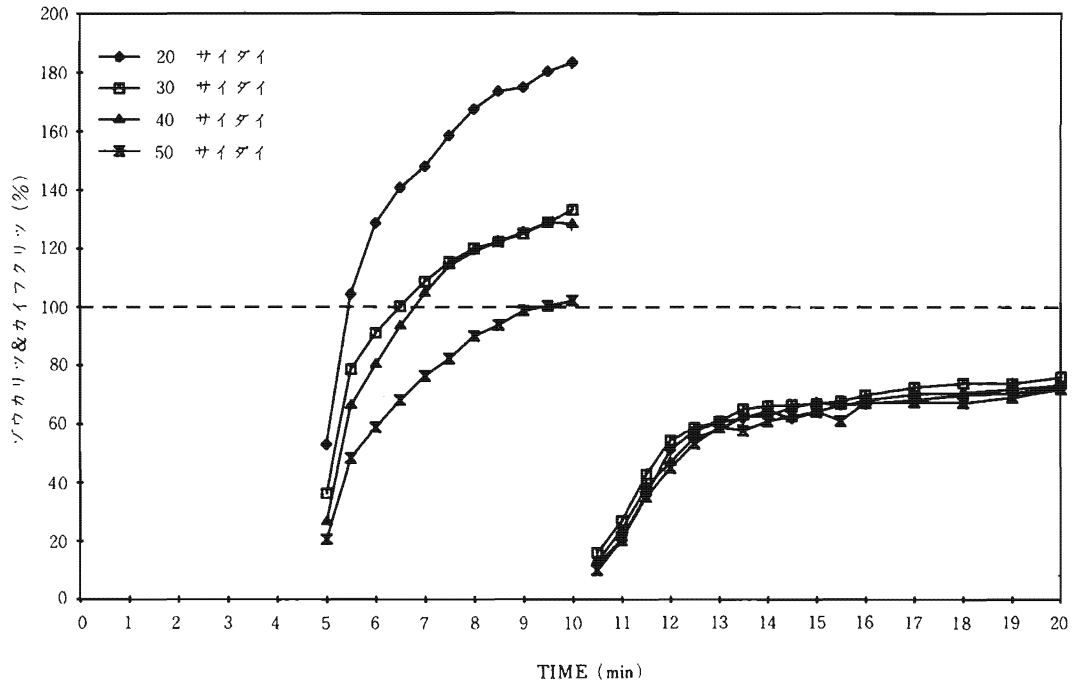


図13 心拍数の増加率と回復率（熱環境）

加し30代と40代が同じで50代が一番増加率の上昇が鈍くなっている。このことから年代が若いほど負荷にすばやく反応し体の準備を整えていることがわかる。

心拍数回復率は常温、熱環境とも各年代において大差なかったが、常温のときの50代の回復が遅い。

(3) 年齢と耐熱限界について

熱環境が隊員に及ぼす生理的影響は作業強度の強弱、着衣量、年齢、肥満の程度、体力、慣れ等があるといわれるため⁶⁾、年齢が40代、50代で肥満ぎみの隊員は常日頃から適度な運動などで体力を練成してないと消防活動などのとき生理的負担が大きく、耐えるのに苦労が多くなる。とくに50代になればますます体力がおとろえて耐熱限界は低下すると考えられる。

(4) 空気消費量について

各年代とも熱環境では常温の空気消費量より多く消費している、この傾向は年代が増すほど著しい。

熱環境では負荷の強さと時間によるが常温の1.5倍から2倍も多く空気を消費するといわれ^{7),8)}、今回の実験でも同じ傾向がみられ

る。熱環境、常温とも年代が増すほど多く空気を消費しているが、これは断熱膨張を利用し周囲気温より低い空気を吸気することにより体熱の放熱を円滑に行っているためと考えられる。したがって、同一の作業条件でこのような呼吸方法だと空気ポンベの使用時間はかなり短くなる。

(5) 酸素消費量について

酸素消費量は常温、熱環境とも各年代の差異はみられずほぼ同じであった。これは負荷の強さが同じであり消費カロリーがほぼ等しいため体の内部で必要とする酸素量が各年代とも同じであるからである。

表4

各環境温度における安静時毎分酸素消費量

温度 °C	酸素消費量 ml/分
0	330
10	290
20	240
30	250
40	255
50	260

今回の実験において常温より熱環境では酸素消費量は高くなった。これは表4の傾向と同じであった⁹⁾。

(6) 発汗量について

人間の体温調節のおもなものは呼気による水分蒸発と皮膚からの発汗作用であるが、発汗量が多いほど新陳代謝が盛んになって身体にとって負担になる。同じ条件で熱環境に裸でいるのと通気性のない防火衣を着装しているときの発汗量は裸でいるときのほうが少ない¹⁰⁾。

7. ま と め

- (1) 心拍数は常温、熱環境とも各年代順に増加し、50代がもっとも多い。また、負荷直後からの回復も50代が一番遅い。

熱環境において、心拍数の年代別差は常温より顕著になる。

- (2) 最高血圧は常温、熱環境とも各年代順に高くなり50代がもっとも高い。

熱環境において、50代の最高血圧は200mmHgをこえた。

- (3) 呼吸数は常温、熱環境とも各年代順に多くなる傾向がみられるがわずかである。
- (4) 空気消費量は常温、熱環境とも各年代順に多くなり、熱環境ではさらに消費量が増加する。
- (5) 酸素消費量は常温、熱環境とも年代による差はなく、ほぼ同じである。熱環境では各年代とも約30%も多く消費する。
- (6) 発汗量は常温、熱環境とも年代順の差はみられなかったが、30代がいずれも多い。
- (7) 尿は実験直後酸性になり、蛋白、ウロビリノーゲンが認められる。

8. 謝 辞

本実験を実施するにあたりご協力いただいた東京医科歯科大学医学部衛生学教室助教授医学博士高野健人、医師本橋豊、文部教官宮崎良文の三氏及び、麻布、赤坂、渋谷、新宿、中野の各消防署の皆様へ深く感謝いたします。

9. 参 考 文 献

- (1) 東京消防 昭和57年5月号(健康管理のあり方 P24)
- (2) 佐藤徳郎、浦田群平、福山富太郎：生化学入門(40) 續文堂(昭和39年)
- (3) 斉藤一、三浦豊彦編：日本の高温労働(P47) 労働科学研究所(昭和48年)
- (4) 渡辺巖一：基礎環境衛生学(P43) 朝倉書店(昭和48年)
- (5) 健康づくり振興財団の資料
- (6) O.G.エドホルム著、佐々木隆訳：暑さ寒さと人間(P34) 朝倉書店(1980年)
- (7) 消防科学研究所報 19号(P93)(昭和57年)
- (8) 東京消防 昭和57年4月号(科学の目 P80)
- (9) 沼尻幸吉：活動のエネルギー代謝(P32) 労働科学研究所(昭和49年)
- (10) 東京消防 昭和57年8月号(科学の目 P102)