

消防活動時における緊急反応の制御 に関する心理生理学的研究(第1報)

—空気呼吸器装面時と 素面時における生理変化の比較—

小 貫 武 彦*
川 田 丈 昭**
野 尻 忠 弘**
遠 藤 昇**
永 田 陽 一***
鈴 木 裕**

1 はじめに

都市災害の複雑多様化に伴って、災害活動時には呼吸保護具が必要不可欠のものとなっており、当庁における空気呼吸器の配置数と空気充てん量は図1に示すように近年ますます増加する傾向にある¹⁾。

空気呼吸器の現況

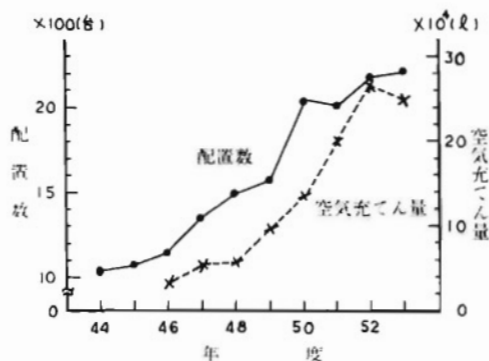


図1 空気呼吸器の現況

消防活動や消防訓練において、空気呼吸器などの呼吸保護具がより安全に、より楽に、より長く使用できることが我々消防関係者の願いである。

このため

- ①教育訓練の充実強化
- ②通気抵抗の軽減

*第4研究室長、**第4研究室 ***武蔵野消防署

③ボンベ重量の軽減

④より高圧充てんできるボンベの導入

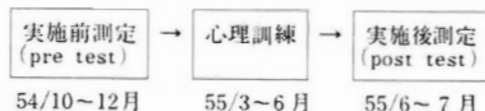
⑤生理、心理的影響

などについての調査研究が各方面でなされている。

第4研究室では、空気呼吸器使用時における生理変化の研究を行ってきたが、心理面についての研究を加え研究内容をより充実させるため筑波大学臨床心理学教室と共同研究を行うこととした。

この共同研究の目的は、心理訓練(自律訓練法²⁾)を実施することにより緊急時における消防隊員の心理、生理がどのように変わるかを調べ、精神の安定、空気消費量の減少など消防活動の効果的推進に役立てようとするものである。

本研究は次のスケジュールで実施しており、



本稿作成時には実施後測定が完了していないことから実施前測定における生理変化のデータにより空気呼吸器(東消5型空気呼吸器K型)の面体をつけた場合(装面)と、面体をつけない場合(素面)のちがいについてまとめた。

なお、心理訓練が消防活動効果に及ぼす影響等については第2報以降に報告する。

2 実験方法

(1) 測定対象者

自律訓練を実施するグループとして向島消防署立花出張所の消防隊員16人、訓練を実施しない対照グループとして墨田出張所の16人を測定対象者とした。

この自律訓練法は、昭和55年3月から6月中旬までの予定で実施されており、本報告では訓練前の生理変化測定の結果をまとめたもので、32人を1グループとし、素面と装面の比較を行った。

測定対象者の身体的特徴は表1に示すとおりである。この表中S.D.は標準偏差を表わしている。

表1 測定対象者の身体的特徴 $n=32$

| | 年齢 (才) | 身長 (cm) | 体重 (kg) | 胸囲 (cm) |
|------|-----------|------------|------------|------------|
| 平均 | 28.1 | 168.0 | 60.3 | 87.2 |
| S.D. | 6.64 | 6.14 | 6.12 | 4.82 |

| | 皮脂厚 (mm) | 肺活量 (ml) | 体表面積 (m^2) |
|------|-------------|-------------|-------------------|
| 平均 | 15.03 | 4069.3 | 1.460 |
| S.D. | 10.53 | 508.13 | 0.10 |

(2) 動作内容

表2に示すように分速と装備内容により動作1から動作4の4段階に区分し、これを素面と装面に分けた。

なお、ここでいう素面とは、ダグラスバッグ法の呼気採取に用いるマスクを着装しているの、いわゆる自然呼吸ではない。

表2 動作内容

| | 分速 | 負荷時間 | 装備内容 | |
|-----|------|------|--|----|
| | | | 素面 | 装面 |
| 安静 | — | 10分 | 静かにイスに座った状態 | 左同 |
| 動作1 | 70m | 5分 | 執務服・運動靴(1.5kg) | 左同 |
| 動作2 | 110m | 5分 | 執務服・運動靴(1.5kg) | 左同 |
| 動作3 | 70m | 5分 | 出火出場の服装(7.4kg) 空気呼吸器(14kg) 砂袋(5kg) | 左同 |
| 動作4 | 110m | 5分 | 出火出場の服装(7.4kg) 空気呼吸器(14kg) 砂袋(5kg) | 左同 |

(3) タイムスケジュール

安静10分間のあと、各動作ごとに5分間負荷を与え、その後回復状況を20分間各種生理変化を測定したあと、25分間以上休息し、測定対象者の体調



写真1 (素面)



写真2 (装面)

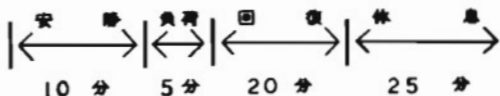


図2 タイムスケジュール

を確認してから次の動作の測定を行った。

(4) 測定装置及び測定項目

トレッドミルにより、毎分70m（時速4.2km）、110m（時速6.6km）の定速歩行を負荷し、医用テレメータにより、安静時、負荷期、回復期の心拍数、呼吸数を連続測定記録した。

連続自動血圧計により、安静時と負荷直後から回復期の血圧を1分間隔ごとに測定記録した。

ダグラスバッグ法により、採取した呼気を、呼気ガス瞬時分析器によりガス分析し、空気消費量

酸素摂取量、酸素摂取率、エネルギー代謝率(RM R)、消費カロリーなどを算出した。

また、日本産業衛生協会、産業疲労委員会で作

成した自覚症状調査表³⁾(表3)を用いて実験開始前の安静時、動作4の素面及び装面時の負荷後における自覚症状の訴え数を調査した。

表3 自覚症状しらべ

| 氏名 | | 才 | | 今日の勤務 | | No. |
|--|------------|---|---|-------|-----------------|-----|
| 昭和 | 年 | 月 | 日 | 午前 | 午後 | |
| | | | | 時 | 分 | 記入 |
| いまのあなたの状態について、おききます。 | | | | | | |
| つぎのようなことが、あったら○～ない場合には×のいずれかを、□のなかにつけて下さい。 | | | | | | |
| 1 | 頭がおもい | | | 11 | 考えがまとまらない | |
| 2 | 全身がだるい | | | 12 | 話をするのがいやになる | |
| 3 | 足がだるい | | | 13 | いらいらする | |
| 4 | あくびがでる | | | 14 | 気がちる | |
| 5 | 頭がぼんやりする | | | 15 | 物事に熱心になれない | |
| 6 | ぬむい | | | 16 | ちょっとしたことが思いたせない | |
| 7 | 目がつかれる | | | 17 | することに間違いが多くなる | |
| 8 | 動作がぎこちなくなる | | | 18 | 物事が気にかかる | |
| 9 | 足もとがたよりない | | | 19 | きちんとしていられない | |
| 10 | 横になりたい | | | 20 | 根気がなくなる | |
| 21 | 頭がいたい | | | 22 | 肩がこる | |
| 23 | 腰がいたい | | | 24 | いき苦しい | |
| 25 | 口がかわく | | | 26 | 声がかすれる | |
| 27 | めまいがする | | | 28 | まぶたや筋がビクビクする | |
| 29 | 手足がふるえる | | | 30 | 気分がわるい | |

3 実験結果

(1) 空気消費量について

動作別の空気消費量は、表4に示すとおりである。

各動作とも、素面は装面に対して空気消費量が多くなる傾向にあり、とくに動作4においては統計上の有意差が認められた(P<0.01)。

表4 空気消費量

| 動作別 | 条件 | n | 素面 | 装面 | 有意差 |
|-----|------------------|----|--------------------------------|--------------------------------|-------------|
| 安静 | | 32 | \bar{x} = 6.81 SD = 1.38 | \bar{x} = 7.25 SD = 2.23 | 無 |
| 動作1 | 1.5kg 70m/分 | 32 | \bar{x} = 18.44 SD = 2.05 | \bar{x} = 17.49 SD = 2.90 | 無 |
| 動作2 | 1.5kg 110m/分 | 32 | \bar{x} = 32.29 SD = 4.67 | \bar{x} = 30.45 SD = 4.62 | 無 |
| 動作3 | 26.4kg 70m/分 | 32 | \bar{x} = 23.80 SD = 3.77 | \bar{x} = 23.22 SD = 2.91 | 無 |
| 動作4 | 26.4kg 110m/分 | 31 | \bar{x} = 46.89 SD = 5.01 | \bar{x} = 42.76 SD = 5.92 | 有 P<0.01 |

(2) 酸素摂取量について

酸素摂取量とは、運動中に摂取する酸素量のこととて、動作別の酸素摂取量は表5に示すとおりで

ある。

各動作とも、装面は素面に対して酸素摂取量が多くなる傾向にあり、とくに動作1と、動作3においては有意差が認められた(P<0.05, P<0.01)。

表5 酸素摂取量 (ml/分)

| 動作別 | 条件 | n | 素面 | 装面 | 有意差 |
|-----|------------------|----|------------------------------------|------------------------------------|-------------|
| 安静 | | 32 | \bar{x} = 249.28 SD = 35.30 | \bar{x} = 263.91 SD = 54.49 | 無 |
| 動作1 | 1.5kg 70m/分 | 32 | \bar{x} = 885.09 SD = 121.86 | \bar{x} = 947.31 SD = 97.72 | 有 P<0.05 |
| 動作2 | 1.5kg 110m/分 | 32 | \bar{x} = 1631.63 SD = 206.43 | \bar{x} = 1695.38 SD = 193.33 | 無 |
| 動作3 | 26.4kg 70m/分 | 32 | \bar{x} = 1182.44 SD = 135.42 | \bar{x} = 1274.09 SD = 113.74 | 有 P<0.01 |
| 動作4 | 26.4kg 110m/分 | 31 | \bar{x} = 2099.85 SD = 231.60 | \bar{x} = 2209.19 SD = 269.65 | 無 |

(3) 酸素摂取率について

酸素摂取率とは、毎分の空気消費量(ℓ)で毎分酸素摂取量(ml)を割ったもので、空気消費量1ℓあたりの酸素摂取量を表わし、呼吸の効率を示す数値とみることができる。

動作別の酸素摂取率は、表6に示すとおりで、

各動作とも表面は素面に対して多く、いずれも有意差が認められた($P < 0.01$, $P < 0.001$)。

表6 酸素摂取率 (ml)

| 動作別 | 条件 | n | 素面 | 表面 | 有意差 |
|-----|------------------|----|--------------------------------|--------------------------------|------------------|
| 安静 | / | 32 | $\bar{x} = 37.62$ SD = 5.34 | $\bar{x} = 37.52$ SD = 5.74 | 無 |
| 動作1 | 1.5kg 70m/分 | 32 | $\bar{x} = 49.19$ SD = 7.21 | $\bar{x} = 55.88$ SD = 7.58 | 有 $P < 0.001$ |
| 動作2 | 1.5kg 110m/分 | 32 | $\bar{x} = 51.53$ SD = 8.32 | $\bar{x} = 57.32$ SD = 8.63 | 有 $P < 0.01$ |
| 動作3 | 26.4kg 70m/分 | 32 | $\bar{x} = 49.79$ SD = 4.93 | $\bar{x} = 57.02$ SD = 7.18 | 有 $P < 0.001$ |
| 動作4 | 26.4kg 110m/分 | 31 | $\bar{x} = 45.52$ SD = 6.55 | $\bar{x} = 52.66$ SD = 7.47 | 有 $P < 0.001$ |

(4) 消費カロリーについて

動作別の消費カロリーは、表7に示すとおりである。

各動作とも表面は、素面に対して消費カロリー

表7 消費カロリー(Kcal/分)

| 動作別 | 条件 | n | 素面 | 表面 | 有意差 |
|-----|------------------|----|--------------------------------|--------------------------------|-----|
| 安静 | / | 32 | $\bar{x} = 1.17$ SD = 0.13 | $\bar{x} = 1.17$ SD = 0.13 | 無 |
| 動作1 | 1.5kg 70m/分 | 32 | $\bar{x} = 5.24$ SD = 1.23 | $\bar{x} = 5.73$ SD = 1.30 | 無 |
| 動作2 | 1.5kg 110m/分 | 32 | $\bar{x} = 9.76$ SD = 1.96 | $\bar{x} = 10.35$ SD = 1.89 | 無 |
| 動作3 | 26.4kg 70m/分 | 32 | $\bar{x} = 7.14$ SD = 1.37 | $\bar{x} = 7.73$ SD = 1.26 | 無 |
| 動作4 | 26.4kg 110m/分 | 31 | $\bar{x} = 13.05$ SD = 2.01 | $\bar{x} = 13.81$ SD = 2.18 | 無 |

は多くなる傾向にあるが有意差は認められなかった。

(5) エネルギー代謝率(RMR)について

RMRとは、体格、年齢、性別などによる個人差をなくすために考えられたもので、動作別のRMRは表8に示すとおりである。各動作とも表面は素面に対して高い傾向にあるが、有意差は認められなかった。

RMRを動作ごとにみると、動作1、動作3、動作2、動作4の順に数値が高くなり、この順に負荷が厳しいことを表わしている。

表8 RMR

| 動作別 | 条件 | n | 素面 | 表面 | 有意差 |
|-----|------------------|----|--------------------------------|--------------------------------|-----|
| 動作1 | 1.5kg 70m/分 | 32 | $\bar{x} = 3.84$ SD = 0.96 | $\bar{x} = 4.32$ SD = 1.05 | 無 |
| 動作2 | 1.5kg 110m/分 | 32 | $\bar{x} = 8.12$ SD = 1.28 | $\bar{x} = 8.67$ SD = 1.23 | 無 |
| 動作3 | 26.4kg 70m/分 | 32 | $\bar{x} = 5.68$ SD = 1.25 | $\bar{x} = 6.12$ SD = 1.08 | 無 |
| 動作4 | 26.4kg 110m/分 | 31 | $\bar{x} = 11.22$ SD = 1.32 | $\bar{x} = 11.98$ SD = 1.69 | 無 |

(6) 心拍数の変化について

動作別の心拍数の変化は図3に示すとおりである。

各動作とも表面時心拍数は素面時に対して多くなる傾向にあるが、動作4においてはこの図に示すように表面と素面の変化に差がなかった。

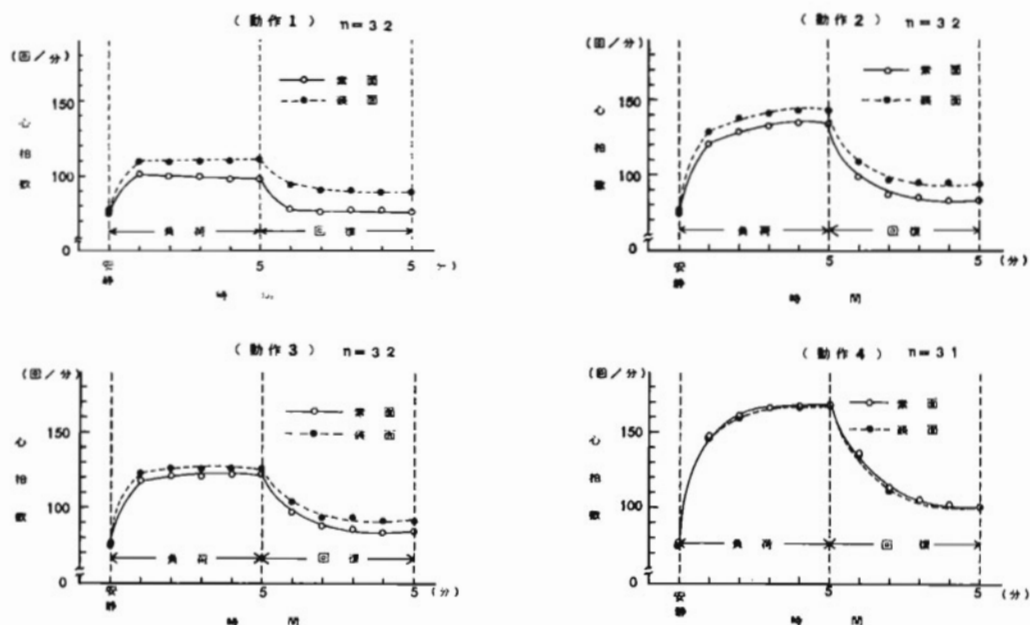


図3 心拍数の変化

(7) 心拍数増加率について

動作別の心拍数増加率は図4に示すとおりである。

各動作とも表面は素面に対して増加率は高い傾向にある。

動作1、動作3は負荷1分前後まで、動作2、動作4は負荷2分前後まで増加率が上昇し、その後は変化がなかった。このため動作2、動作4のほうが負荷が厳しいことを示している。

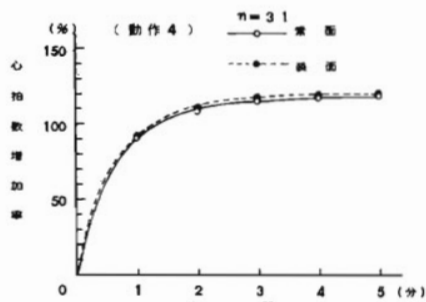
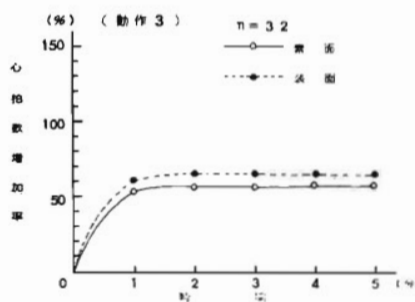
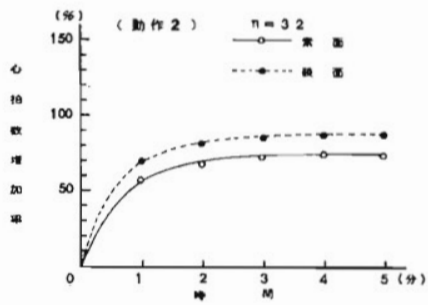
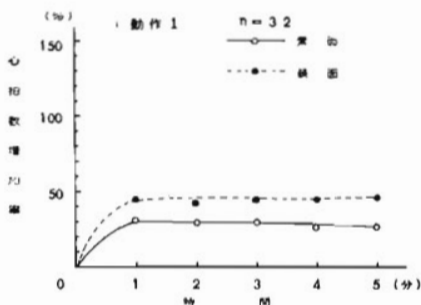


図4 心拍数増加率の変化

(8) 心拍数回復率について

動作別の心拍数回復率は、図5に示すとおりである。

各動作とも素面は表面に対して回復率は高い傾向にある。

回復率が高いというのは負荷が相対的に軽いことを表わしている。また動作4では、表面と素面とではあまり変化がなかった。

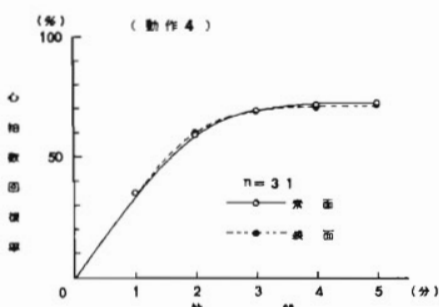
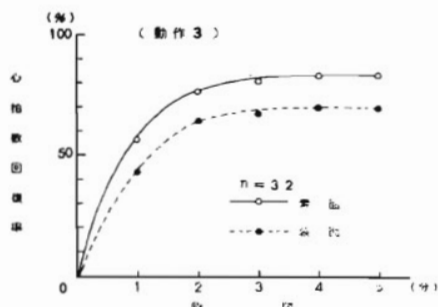
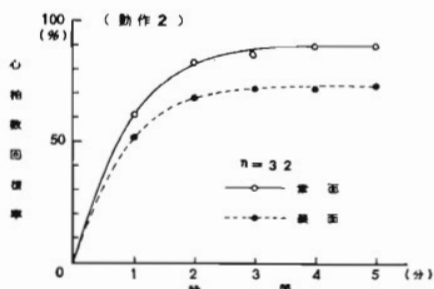
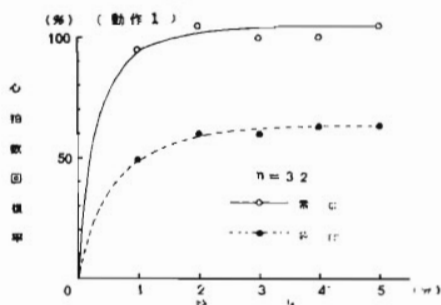


図5 心拍数回復率の変化

(9) 呼吸数の変化について

動作別の呼吸数変化は図6に示すとおりである。各動作とも装面は素面に対して呼吸数が少なくなっている。このことは装面時呼吸の大きな特徴で

隊員が意識する、しないにかかわらず呼吸方法が深く、大きく、ゆっくり、少なくなっていることを示している。

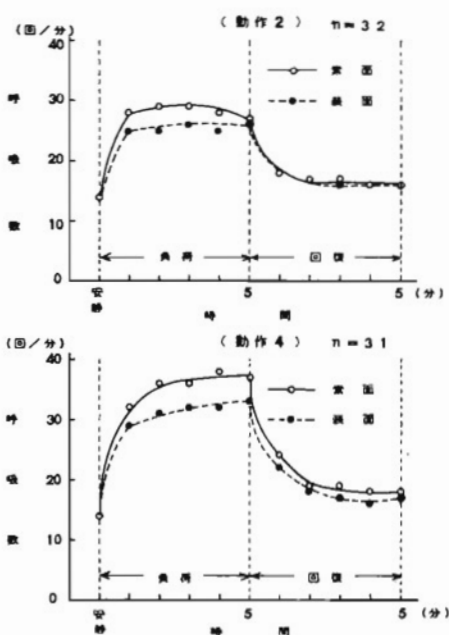
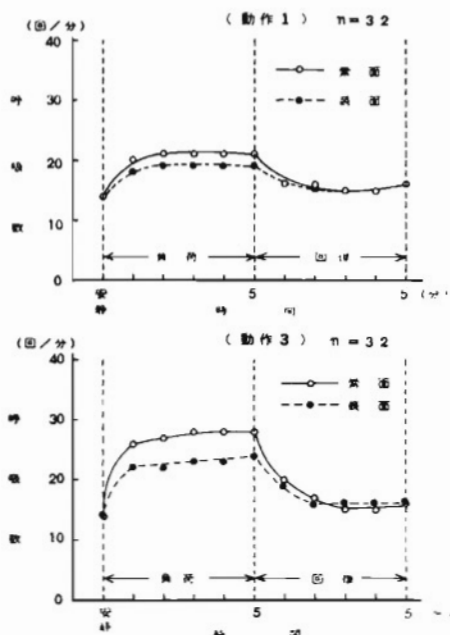


図6 呼吸数の変化

(10) 血圧の変化について

動作別の最高血圧と、最低血圧の変化は図7に示すとおりである。

各動作とも装面は素面に対して最高血圧が高く

なっている。一方最低血圧は動作を負荷しても殆んど変化していない。

最高血圧の変化は負荷が厳しいほど安静より高い値を示している。

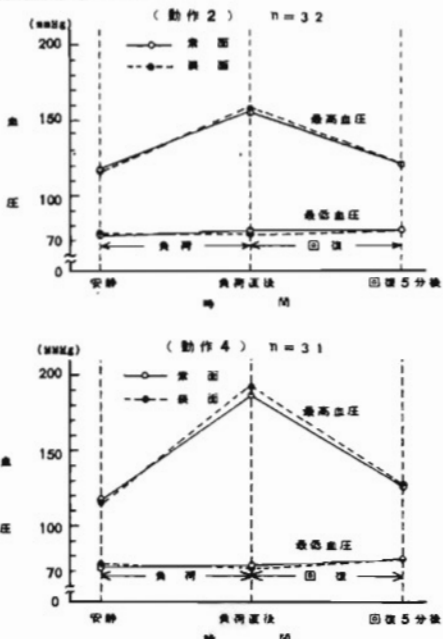
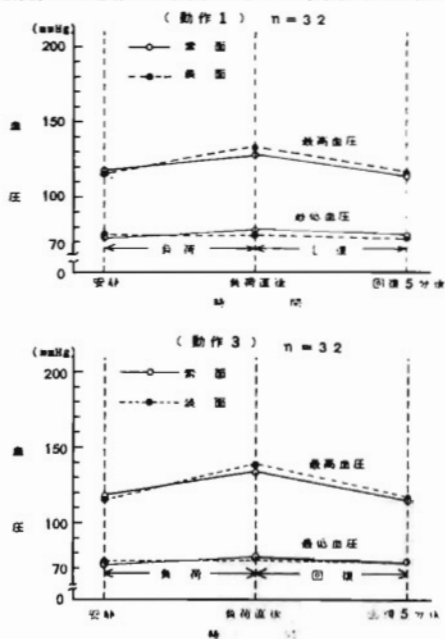


図7 血圧の変化

(1) 自覚症状訴え率について

この調査は、心理変化を数的なものに置き換える1つの方法で、表3に示すように身体的症状、精神的症状、神経感覚的症状とそれぞれ10個の質問項目からなり、自覚症状調査表とよばれている。

この調査表を用いて実験前の安静時、動作4の

素面（実験No.6）と装面（実験No.10）の負荷後にそれぞれ記入した結果は図8に示すとおりである。

この図から明らかなように、装面すると素面よりも訴え率が高くなる。とくに身体的症状では「足がだるい」、神経感覚的症状では「肩がこる」、「口が乾く」などの訴え率が高かった。

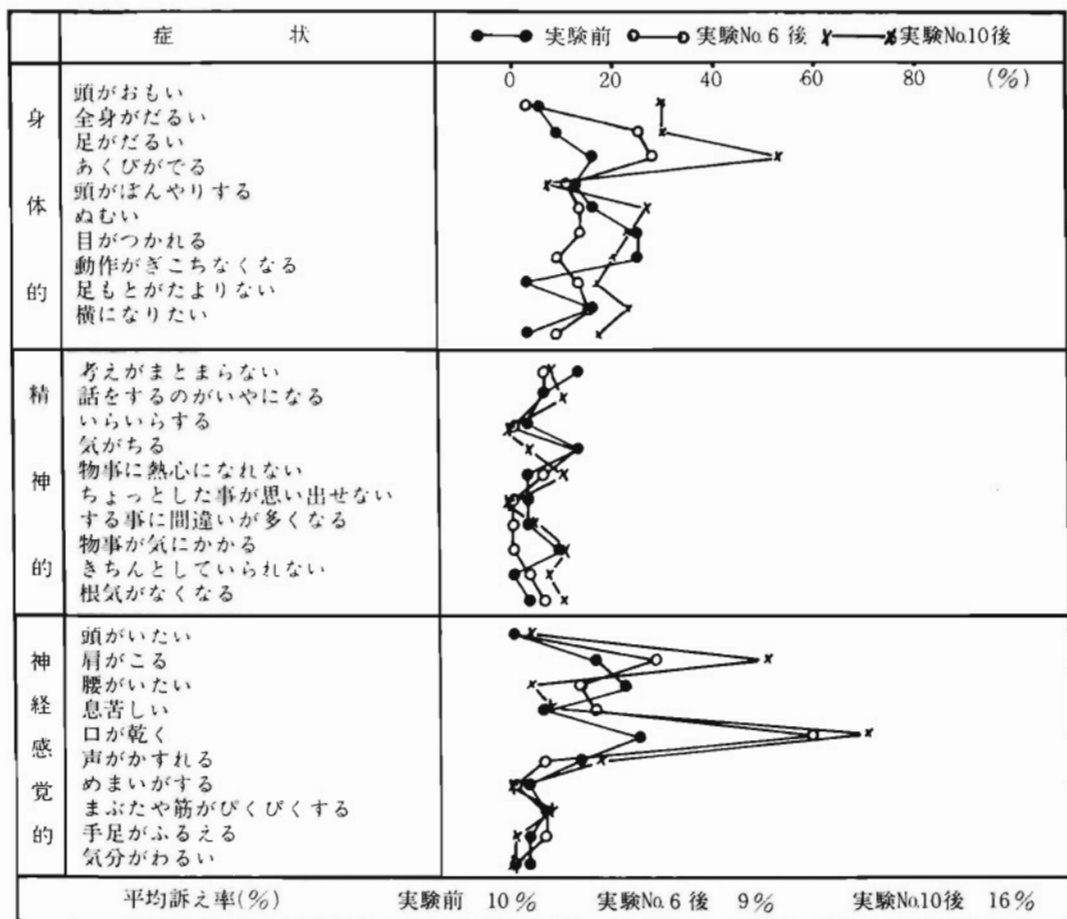


図8 自覚症状訴え内容 n=32

4 考 察

(1) 速度と消費カロリーの関係について

表2に示す執務服、運動靴の重量1.5kgと、全装備26.4kgを装備したときの表面と素面、分速70mと110mの消費カロリーとの関係を実測した例数 $n=63$, $n=64$ について、回帰方程式と、相関係数を求めたところ図9-1、図9-2に示すとおりになった。

この図から、速度、装備重量が増えれば消費カロリーも増加する。また表面は素面より消費カロリーが多いことも示している。

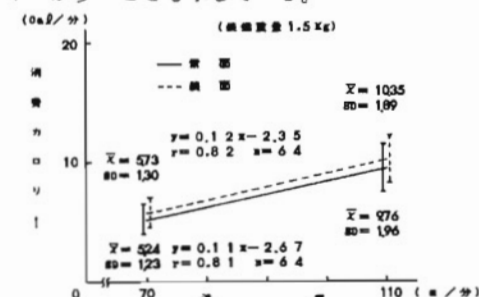


図9-1 速度と消費カロリーの関係

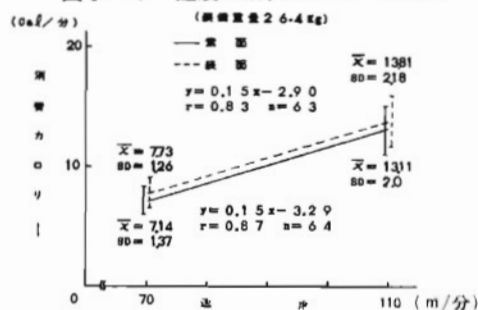


図9-2 速度と消費カロリーの関係

(2) 空気消費量とRMRの関係について

素面 $n=160$ 、表面 $n=159$ の実測値から空気消費量とRMRの関係について回帰方程式と相関係数を求めると図10のとおりになった。

この図によりRMRを測定しなくても空気消費量がわかればおよそのRMR値を求めることがで

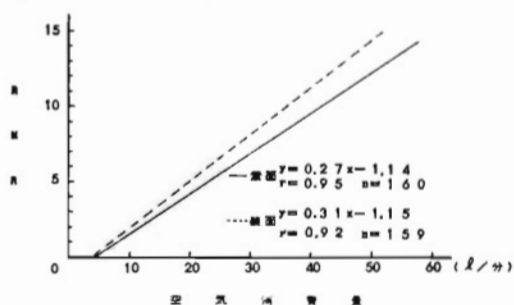


図10 空気消費量とRMRの関係

きる。逆に、ある消防活動のRMRが予測できればその時に消費する空気量を求めることができる

また同じ空気消費量なら表面のRMRが高く逆に同じRMRなら素面のほうが空気消費量が多いことを示している。

これらの関係は、相関係数が素面の場合0.95、表面の場合0.92と非常に高く、この関係の信頼性が高いことを表わしている。

(3) 酸素摂取量とRMRの関係について

素面 $n=160$ 、表面 $n=159$ の実測値から酸素摂取量とRMRの関係について回帰方程式と相関係数を求めたところ図11に示すとおりになった。

素面と表面の回帰方程式はまったく同じ一次方程式となりグラフ上まったく重なっている。相関係数も同じとみなすことができる。

このことは、素面、表面にかかわらず同じRMRなら酸素摂取量はまったく同じであり、逆に、同じ酸素摂取量ならRMRも同じであることを示している。

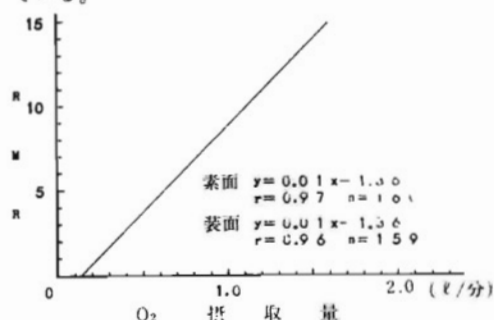


図11 O₂摂取量とRMRの関係

(4) 心拍数、心拍数増加率とRMRの関係について

素面 $n=160$ 、表面 $n=159$ の実測値から心拍数、心拍数増加率(負荷5分直後の心拍数を用いた)とRMRの関係について回帰方程式と相関係数を求めると図12、図13に示すとおりになった。

これらの図により、負荷直後の心拍数か、ある

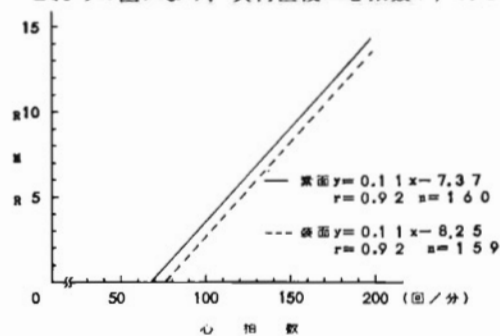


図12 心拍数とRMRの関係

いは心拍数増加率からおよそのRMRを求めることができる。逆にRMRが予測できればそのときの消防活動時における心拍数と心拍数増加率がわかることになる。この場合心拍数からRMRを求めた方が相関係数が高かった。

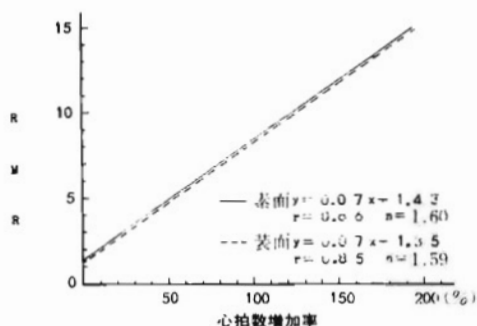


図13 心拍数増加率とRMRの関係

(5) 心拍数と空気消費量の関係について

素面 $n = 128$, 装面 $n = 127$ の実測値から心拍数と空気消費量の関係について回帰方程式と相関係数を求めると図14に示すとおりになった。

この図から動作時の心拍数がわかればおよその空気消費量を推定することができる。また同じ空気消費量をえるのに装面は素面よりも心拍数が多

いことを示しており、装面時の方が負荷が重いことを表わしている。

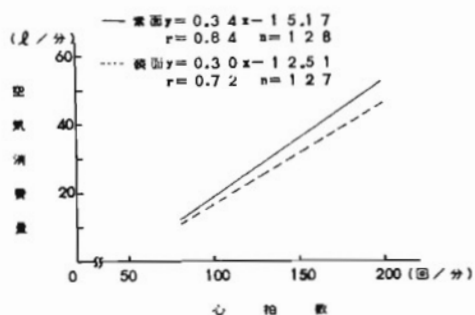


図14 心拍数と空気消費量の関係

(6) 心拍数と最高血圧の関係について

動作別に心拍数と最高血圧(負荷直後の実測値)の関係を素面と装面にわけて回帰直線を求めると図15に示すとおりになった。

この図から各動作とも心拍数が増えれば最高血圧は増加することがわかる。また装面時には、同じ心拍数であっても素面より高くなる傾向がみられた。動作2において素面と装面の回帰直線が交わっているが、ほかの動作にはこの現象はみられなかった。

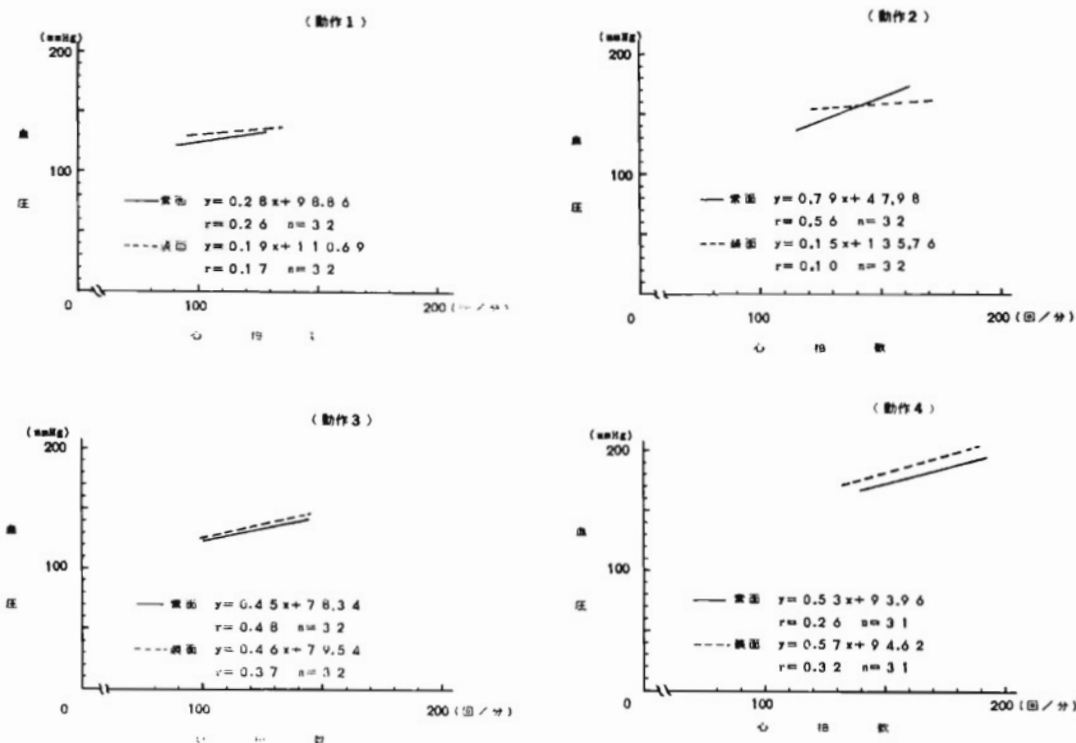


図15 心拍数と最高血圧の関係

(7) 通気抵抗について

表9に示すように、毎分の通気流量30ℓのとき、素面の通気抵抗は水柱6mm(H₂O)であるのに、装面のときは水柱18mm、毎分通気流量85ℓのとき、素面の通気抵抗は水柱10mm、装面のときは31mmで装面は素面に対して3倍も高い通気抵抗がある。

なお、ここでいう素面とは、ダグラスバッグ法

表9 通気抵抗の比較(mmH₂O)

| 呼吸器 弁 | 流量 | 素面(ダグラスバッグ法) | | 装面(東消5型・K型) | | 空気呼吸器JIS規格 | |
|------------|----|--------------|-------|-------------|-------|------------|-------|
| | | 30ℓ/分 | 85ℓ/分 | 30ℓ/分 | 85ℓ/分 | 30ℓ/分 | 85ℓ/分 |
| 呼吸弁 | | 3 | 5 | 4 | 9 | 6以下 | 25以下 |
| 肺力弁 呼吸弁 | | 3 | 5 | 14 | 22 | 18以下 | 30以下 |
| 計 | | 6 | 10 | 18 | 31 | 24以下 | 55以下 |

(8) 呼吸の効率について

表6に示すように、呼吸の効率を表わす酸素摂取率において、装面は素面に対して統計上の有意差が認められるほどに多い値であった。このことは、呼吸数が各動作とも装面時に少なく(図6)、空気消費量は各動作とも素面時に多く(表4)なっていることから、装面の呼吸は意識する、しないにかかわらず、深く、ゆっくり、大きく、少なくなっているため結果的には呼吸効率を高めていると考えられる。この装面と素面の呼吸方法の違いはテレメータによる呼吸曲線の測定からも認められている。

5 ま と め

東消5型空気呼吸器(K型)使用時における消防隊員の生理、心理的影響について測定したところ表10に示すような結論をえた。

- (1) 測定対象者32人に表2に示す動作内容を負荷し、素面と装面における生理変化を測定したところ装面は素面に対して、心拍数、最高血圧、酸素摂取量、酸素摂取率、消費カロリー、エネルギー代謝率(RMR)などは増えたが、空気消費量、呼吸数は減少した。
- (2) 装面時における呼吸は、素面時に対して、意識する、しないにかかわらず、深く、大きく、ゆっくり、少なくなっており、このことが結果的に呼吸の効率を高めているが、生理的負担は増大する。

による呼吸採取をするためのマスクをつけているので、いわゆる自然呼吸ではない。また表9に明らかのように東消5型空気呼吸器(K型)使用時である装面の通気抵抗値が高いといっても空気呼吸器のJIS規格で定めた値以下であることはいうまでもない。

表10 おもな測定結果

| | 素面 | 装面 |
|---------------|----|----|
| 心拍数 | 少 | 多 |
| 最高血圧 | 低 | 高 |
| 酸素摂取量 | 少 | 多 |
| 酸素摂取率 | 低 | 高 |
| 消費カロリー | 少 | 多 |
| エネルギー代謝率(RMR) | 低 | 高 |
| 自覚症状訴え率 | 少 | 多 |
| 通気抵抗 | 少 | 多 |
| 空気消費量 | 多 | 少 |
| 呼吸数 | 多 | 少 |

- (3) 自覚症状調査から、装面時には「頭がおもい」「全身がだるい」、「足がだるい」、「頭がぼんやりする」、「肩がこる」、「口が乾く」などと訴える率が高かった。
- (4) 装面は素面に対して通気抵抗が3倍も高く、このことが呼吸方法に作用して各種生理変化に影響を及ぼしていると考えられる。

6 参 考 文 献

- (1) 東京消防庁統計書(昭和44年～昭和54年)
- (2) 佐々木雄二：自律訓練法の実際—心身の健康のために—創元社(1979)
- (3) 中西光雄：体育生理学実験(P145)、技術書院(1971)