

## 空気呼吸器使用時の生理変化について

野 尻 忠 弘\*\*  
 鶴 銅 恒\*  
 渡 辺 恵 門\*\*  
 遠 藤 昇\*\*  
 大 崎 博\*\*  
 田 辺 孝 視\*\*  
 八 尾 和 人\*\*

### はじめに

戦後自治体消防が発足して28年、この間わが国の復興発展とともに、ますます各種災害も複雑多様化する傾向にある。

消防も、この社会的情勢に対応して、消防職員の確保と資質の向上、及び各種消防用装備の整備拡充をはかってきた。

しかしながら、近代化された各種消防用装備が日常使用する消防隊員にどのような生理的影響を及ぼしているか、また作業能率の点ではどうかなど労働医学的な研究は、いまだ充分に行われていない。

たとえば、呼吸保護器を例にとっても消防活動の複雑多様性に対して、どれだけの追従性があるのか、問題点があるところである。

本報では呼吸保護器のうち、とくに空気呼吸器の消防隊員に及ぼす生理的影響について研究したので報告

する。

### 2. 呼吸保護器の保有状況

全国の主な消防本部が現在保有している呼吸保護器は表1のとおりである。また、最近10年間の空気呼吸器の増加は図1のとおりで、全国的に毎年増え続けて、昭和41年を基準にすると49年には4.3倍にもなっている。当庁においても、昭和41年740基であったのが50年には2.7倍に増えている。

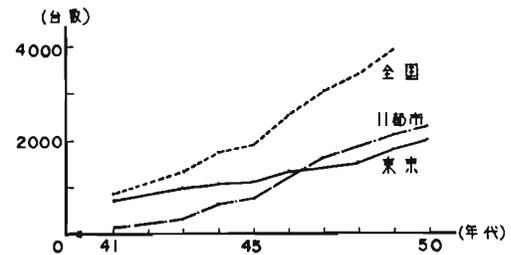


表1 各消防本部の呼吸保護器保有状況

| 消防局名      | 呼吸器の種類 |     |       |     | 合計    | 消防職員数  | 1基当りの職員数 |
|-----------|--------|-----|-------|-----|-------|--------|----------|
|           | 空気     | 酸素  | エアライン | その他 |       |        |          |
| 札幌        | 179    | 5   | 4     |     | 188   | 1,152  | 6.1      |
| 川崎        | 121    | 17  | 3     |     | 141   | 1,137  | 8.1      |
| 横浜        | 321    |     |       |     | 321   | 2,268  | 7.1      |
| 名古屋       | 291    | 113 |       |     | 404   | 1,867  | 4.6      |
| 京都        | 246    | 10  | 1     |     | 257   | 1,397  | 5.4      |
| 堺, 高石(組合) | 194    |     |       |     | 194   | 643    | 3.3      |
| 大阪        | 345    | 13  | 9     |     | 367   | 3,441  | 9.4      |
| 神戸        | 244    | 2   | 4     |     | 250   | 1,188  | 4.8      |
| 北九州       | 180    | 17  |       |     | 197   | 876    | 4.5      |
| 福岡        | 245    | 37  |       |     | 282   | 777    | 2.8      |
| 東京        | 2,000  | 393 | 35    |     | 2,428 | 16,579 | 6.8      |

注1. 職員数は昭和49年4月1日現在の実員数である。(全消長会調)

2. 呼吸器の数は昭和50年12月末現在のものである。

\* 第四研究室長, \*\* 第四研究室

### 3. 分速及び負荷重量とエネルギー代謝率

図2に示すように、労作強度をあらわすエネルギー代謝率(RMR—Relative Metabolic Rate)は分速及び運搬重量が、それぞれ増加するほど、抱え、肩かつぎ運搬とも増えている。このうち消防の装備は肩かつぎに近いと考えられる。

2

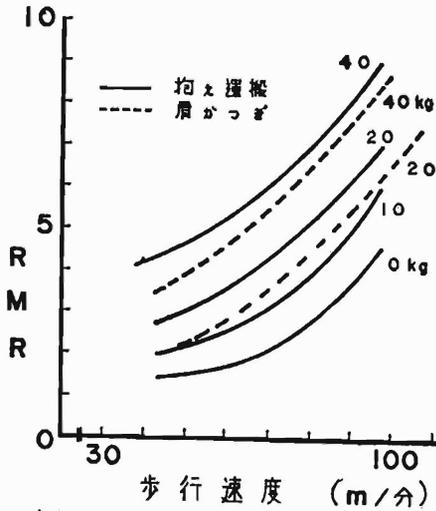


図2.抱え、肩かつぎ運搬のR.M.R.<sup>1)</sup>

### 4. エネルギー代謝率

運動負荷を与えると、エネルギー代謝量は増加するが、同じ負荷内容でも、個人の体格差、年齢差あるいは訓練の度合により、代謝の増加量は異なり、体の大きい人は、小さい人より大きな値を示す。

このため、個人差を除去した労作強度を表わす指数が考えられ、これをエネルギー代謝率RMRといい労働科学、スポーツ界などで広く用いられている。

エネルギー代謝率の算出式

$$RMR = \frac{\text{作業時間の全エネルギー量} - \text{静止値} \times \text{作業時間(分)}}{\text{基礎代謝} \times \text{作業時間(分)}}$$

$$RMR = \frac{(\text{作業時毎分酸素消費量}) - (\text{安静時毎分酸素消費量})}{(\text{基礎代謝毎分酸素消費量})}$$

### 5. 消防活動のRMR

消防活動のRMRとスポーツのRMRを比較すると、表2のとおりで、筒先保持、屋内検索とテレビ体操がRMR 3、はしご昇りとアメリカンフットボール(1試合平均)がRMR 7、出場とマラソンがRMR 16、現場疾走と1,500m競走がRMR 30とそれぞれ対応している。

表2 スポーツと消防活動のR.M.R.の比較

| R M R | ス ポ ー ツ <sup>2)</sup>                 | 消 防 活 動 <sup>3)</sup>    |
|-------|---------------------------------------|--------------------------|
| 1     | ゆっくり歩行45m/分(1.5)<br>サッカーOK(1.47)      | 乗車(1.0)<br>ホースくくりつけ(1.0) |
| 2     | 普通歩行70m/分(2.1)<br>階段降り50m/分(2.6)      |                          |
| 3     | いそぎ足95m/分(3.5)<br>テレビ体操(3.0)、ゴルフ(3.6) | 筒先保持(3.0)<br>屋内検索(3.0)   |
| 4     | アイスホッケー(4.5)<br>野球捕手(4.6)             | はしご降り(4.7)<br>残火処理(4.0)  |
| 5     | ラジオ体操(5.0)<br>バトミントン男子ダブルス(5.3)       | 放水(筒先圧力3kg)(5.5)         |
| 6     | 階段昇り45m/分(6.5)<br>アメリカンフットボール(6.9)    | はしご昇り(6.8)               |
| 7     | サッカーFC(7.08)、登山(7.4)<br>体操平行棒倒立(7.81) | 現場調査および指揮(7.0)           |
| 8     | サッカーHB(8.36)<br>硬式テニス女子シングルス(8.6)     | ホース収納(8.4)               |
| 14    |                                       | ホース手広め延長(14.0)           |
| 15    | マラソン(15.6)                            |                          |
| 16    |                                       | 出場(16.0)                 |
| 17    | 10,000M走(17.0)                        |                          |
| 18    |                                       | ホースカー降り・ホース延長(18.3)      |
| 30    | 1,500M走                               | 疾走(30.0)                 |

## 6. 主な消防用資器材の重量

出火出場する消防隊員の装備重量は防火衣、防火帽、長靴等基本的なものだけで、10.7kgになり、これに執務服、下着類などを加えると12~13kgになる。このほかに表3に示すように隊員が可搬する消防用資器材は2.5kgの管そう、11kgの東消3型空気呼吸器（ポンペ容量4ℓ）18.5kgの発動発電機、21kgの三連はしごと各種のものがある。

表3 主な消防用資器材の重量 (kg)

|         |      |                   |      |
|---------|------|-------------------|------|
| 防火衣     | 2.5  | 三連はしご             | 21.0 |
| 防火帽     | 0.8  | ホース（ゴム内張65ミリ）20m  | 13.0 |
| 長靴      | 2.4  | 管そう（筒先）50ミリ用      | 2.5  |
| かぎ付ロープ  | 0.7  | 300W発動発電機         | 18.5 |
| 携行ロープ   | 0.6  | 油圧式救助器具           | 11.0 |
| 携帯無線機5P | 1.7  | エンジンカッター・パートナーK12 | 14.1 |
| とび口1.8m | 2.0  | 東消3型空気呼吸器         | 11.0 |
| 二連はしご   | 16.0 | 東消4型空気呼吸器         | 16.0 |

## 7. RMRと酸素摂取量及び空気呼吸量

出火出場の服装に東消3型空気呼吸器を装備すると隊員にかかる重量は23~24kgになり、この負荷重量のRMRは図2の肩かつき運搬としておよそ分速60mのとき3、分速90mでは6ぐらいとなり、これらの値を図3に代入して毎分あたりの空気呼吸量を求めると、それぞれ23ℓと37ℓになる。

なお、図3の空気呼吸量は図4及び図5からRMR 0~11までは酸素摂取4%とし、RMR12以上はそれ

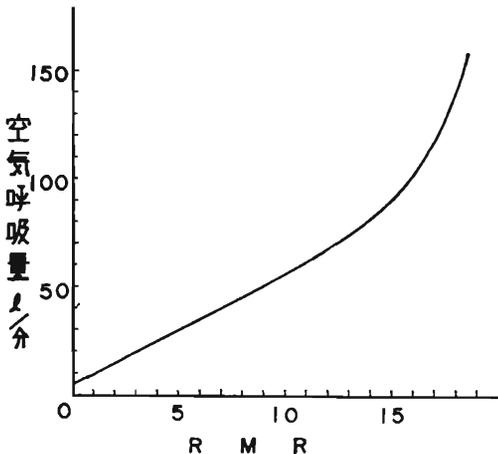


図3 R.M.R.と空気呼吸量

ぞれの図から推定したものでRMR12以上の激しい運動をすると換気当量（100mlの酸素を摂取するのに必要な換気量）がふえ、空気呼吸量は図3のように急激に増加し、酸素摂取パーセントは減少する。

図5は、空気呼吸量が毎分80ℓ、酸素摂取量が毎分3ℓをこえると、酸素摂取4%の平行関係が破れ、換気当量が大きくなることを示している。

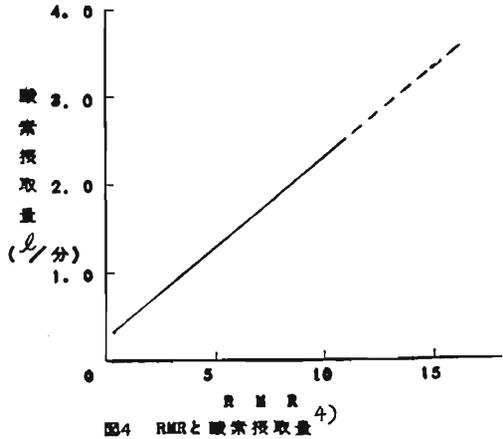


図4 RMRと酸素摂取量<sup>4)</sup>

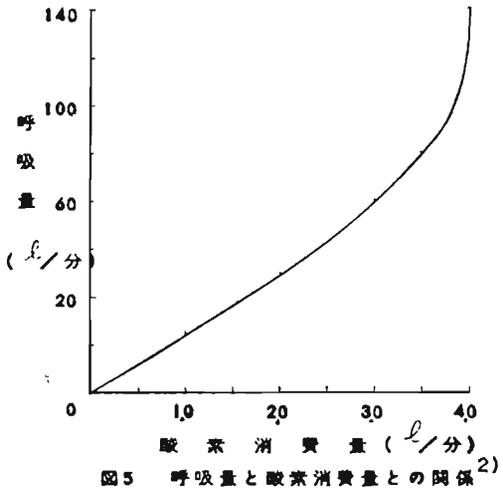


図5 呼吸量と酸素消費量との関係<sup>2)</sup>

## 8. 分速と空気呼吸量

出火出場の服装で東消3型空気呼吸器を装面した5人の消防職員の空気呼吸量を実測すると図6のとおりで、分速60mのとき毎分あたり13~24ℓ、分速90mのとき毎分19ℓ~38ℓとなり、図2から求めたRMR値を図3に代入してえた空気呼吸量とはほぼ一致する。なお、被検者の身体的特徴は表4に示すとおりである。

一般に成人男子の呼吸量は激しい作業をする場合に呼吸数は毎分30から40となり、1回呼吸量が3ℓから3.5ℓぐらいになることがあるため呼吸量が毎分100ℓをこえることもある。

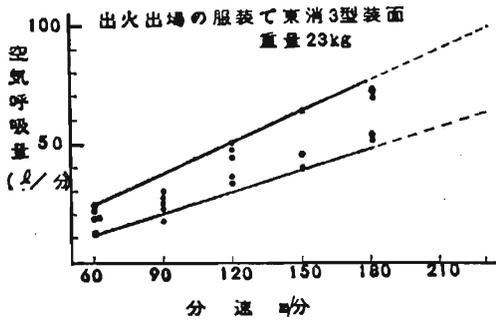


図6 分速と空気呼吸量

表4 被検者の身体的特徴

| 項目        | 年齢 | 身長 cm | 体重 kg | 胸囲 cm | 皮脂厚 mm | 肺活量 cc |
|-----------|----|-------|-------|-------|--------|--------|
| 被検者 E. W. | 43 | 171   | 62.5  | 86    | 12     | 4,000  |
| T. N.     | 37 | 166   | 61.0  | 81    | 18     | 4,900  |
| T. T.     | 30 | 164   | 53.0  | 82    | 13     | 5,700  |
| H. O.     | 28 | 171   | 66.0  | 95    | 17     | 6,200  |
| N. E.     | 28 | 166   | 56.0  | 85    | 13     | 5,700  |

しかし、空気呼吸器を装面するという負荷を考えると、消防隊員の呼吸生理上の限界及び空気供給量の追従性から80ℓ以上の呼吸量になることは好ましくなく、作業の能率的な継続を考えるとRMRで13~14ぐらいの労作強度、分速では180m~210mが限度であろう。

### 9. 分速と空気呼吸器使用時間

図7は、東消3型空気呼吸器の分速別使用時間を示すもので使用前の空気圧を130kg/cm<sup>2</sup>として実験を行った。

図7に示す分速別呼吸量の直線は表4の身体的特徴をもった健康な5人の消防職員が被検者となったうちの多い人の値である。

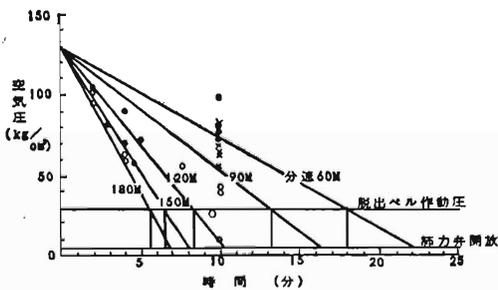
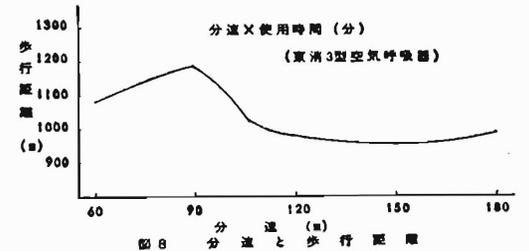


図7 分速と空気呼吸器(3型)使用時間

一般に、肥満体で大柄な体格の人はやせ型で小柄な人よりも基礎代謝量(十分な睡眠をとった朝食前で、寝台または布団等に静かに横たわっているときの代謝量)が多いため労作時代謝量及び安静時代謝量も増加する。したがって毎分あたり酸摂取量が多く、このため空気呼吸量も増大する。

また、呼吸器に不慣れな人や、訓練不足の人も不安感などから無駄な呼吸をするために必要以上に多く空気を消費する傾向があるため、煙、熱等が充満し、しかも湿度の高い火災等の災害現場で活動する消防隊員のうちには、緊張感なども加わって図7に示す使用時間より短いことも考えられる。

東消3型空気呼吸器の空気圧130kg/cm<sup>2</sup>から警報器作動圧30kg/cm<sup>2</sup>までの使用時間(分)と分速を乗じて、空気呼吸器装面時の歩行距離(m)を図7より求めると、図8のとおりになり、東消3型空気呼吸器の使用時間からみた経済速度は分速90m付近といえる。



### 10. 空気呼吸器装面と無装時の心拍数と呼吸数変化

出火出場の服装に東消3型空気呼吸器を装備した負荷重量23kgで分速60m, 120m, の運動を負荷したときの装面と無装面時における心拍数と呼吸数の変化を遠隔測定装置を用いて測定した結果を図9に示す。

なお、心拍数は心拍数増加率

$$\frac{(\text{負荷時心拍数}) - (\text{安静時心拍数})}{(\text{安静時心指数})} \times 100$$

に換算して表わした。

図9から装面、無装面とも同じ重量負荷であるのに、装面時心拍数は無装面時に比べ増加し、呼吸数は逆に減少している。このことは、装面すると無装面時よりも心臓に負担がかかることを示し、呼吸数の減少は空気呼吸量の増大による通気抵抗の増加、マスク装面による死腔(Dead Space)の形成などにより呼吸が深くなるためと考えられる。

また、椅子に坐った状態の安静時でも表5に示すように装面時心拍数は無装面時に比べ増加し、呼吸数は減少した。このことは、安静時空気呼吸量が図3から毎分約6ℓであり、通気抵抗が少ないことを考えると死腔及び心理的影響によるものと推定される。

表5 安静時の心拍数呼吸数変化 (東消3型)

| 条件  | 被検者 | 1 分 |     |    |    | 2 分 |    |    |    | 3 分 |    |    |    | 4 分 |    |    |    | 5 分 |    |    |    | 平均 |
|-----|-----|-----|-----|----|----|-----|----|----|----|-----|----|----|----|-----|----|----|----|-----|----|----|----|----|
|     |     | N   | O   | T  | Y  | N   | O  | T  | Y  | N   | O  | T  | Y  | N   | O  | T  | Y  | N   | O  | T  | Y  |    |
|     |     | 心拍数 | 無装面 | 79 | 53 | 71  | 60 | 76 | 54 | 74  | 66 | 81 | 53 | 73  | 67 | 74 | 52 | 76  | 72 | 82 | 57 |    |
| 装面  | 64  | 60  | 73  | 64 | 80 | 59  | 73 | 71 | 72 | 56  | 72 | 69 | 76 | 54  | 78 | 74 | 81 | 66  | 83 | 72 | 70 |    |
| 呼吸数 | 無装面 | 23  | 12  | 12 | 17 | 22  | 17 | 13 | 15 | 27  | 13 | 11 | 18 | 23  | 13 | 17 | 19 | 21  | 14 | 11 | 13 | 17 |
| 装面  | 10  | 13  | 17  | 14 | 13 | 11  | 16 | 9  | 8  | 12  | 15 | 10 | 9  | 14  | 18 | 17 | 13 | 14  | 15 | 15 | 13 |    |

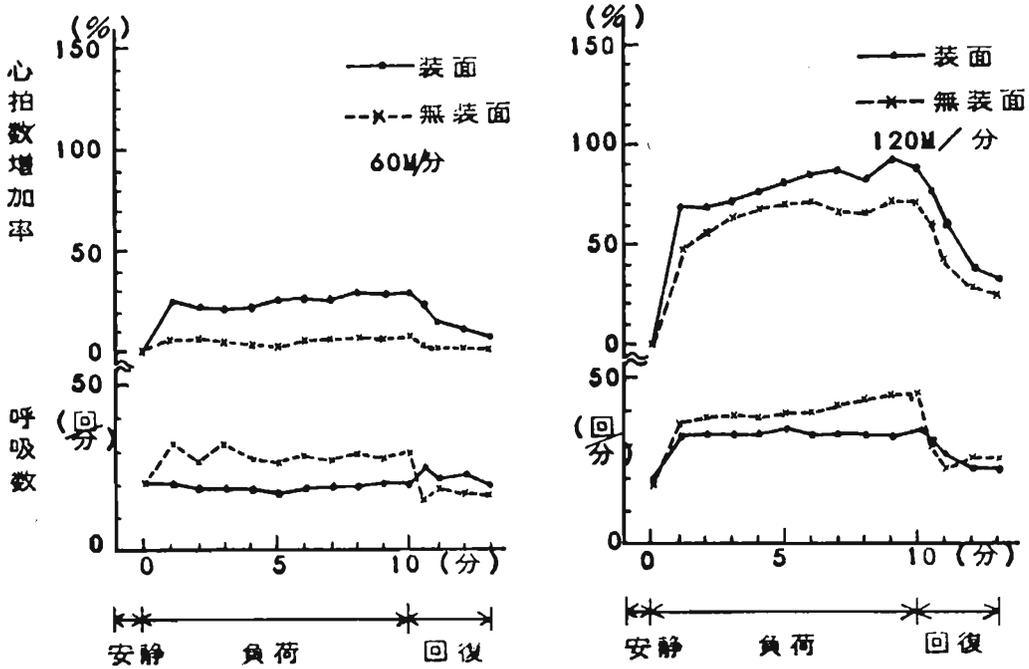


図9 東消3型空気呼吸器装面時の心拍数,呼吸数変化

### 11. 考察

(1) 成人男子が継続して作業を遂行するための運搬重量の限度は労作強度と作業時間にもよるが、一般に体重の30%~40%といわれているため、体重60kgの消防隊員が装備する重量は18kgから24kgで東消4型, 5型(いずれもボンベ容量8ℓ)の空気呼吸器は重量からみるとやや重すぎる。

(2) 空気呼吸器装面時には、通気抵抗, 死腔の形成, 心理的影響, 及び訓練不足による無駄な呼吸など4点が自然呼吸と著しく異なる点である。

通気抵抗の増大は呼吸抵抗となり、努力して呼吸しなければならず、当然RMRの増加をきたす。C BR

戦に用いる防護マスクを用いた実験では自然呼吸に対しRMRが1.4倍から2.6倍になるという報告<sup>5)</sup>もある。このため、消防隊員の負担を軽くするために通気抵抗を機能的に出来るだけ少なくする必要があるとともに、現時点では80kg/cm<sup>2</sup>以上の高圧時とそれ以下の低圧時で、消防活動の労作強度を区別する必要がある。とくに、脱出時の低圧時にはゆっくり歩いたほうが生理的負担は軽い。

成人男子の死腔は約150ccであるが、マスク装面により顔面とマスクの間に死腔が形成される。死腔が大きいほど、換気が悪くなり無装面時より呼吸を大きくする必要が生じる。

$$\text{肺胞換気量} = \text{全換気量} - \text{死腔} \times \text{呼吸回数}$$

の関係から必要な肺胞換気量をうるためには、全換気量を多くし、呼吸回数を少なくしなければならないため、空気呼吸器装面時に死腔の影響を出来るだけ少なくするために大きな深い呼吸をして回数を少なくするほうがよい。

心理的影響を及ぼすマスクを装面しているという異常感を除くことは人間が本来の自然呼吸に慣れきっているためになかなか不可能であるが訓練を繰り返すことにより徐々に密着感を身に付けるしかないと思われる。

また、同じ仕事をした場合、熟練工のRMRと未経験者のRMRとでは明らかな差が生じるといわれ、消防隊員も訓練を行うことにより慣れれば、同じ消防活動をしても無駄な動作がなくなりRMRが少なくなるため、呼吸器装面時の呼吸量も減少し、より長くもつことになる。

## 12. 総 括

(1) 労作強度を示すRMRは、装備重量と作業の強度により増加し、作業能率の低下や呼吸器装面時には呼吸量の増大をもたらす。

(2) 消防隊員の装備重量は基本的なものだけで、11kgになり、これに各種資器材を携帯すると、かなりの重量負荷になるため、作業の能率的な継続を考えると、装備重量の軽量化をはかる必要がある。

(3) 消防活動の継続性と空気呼吸器を装面するという条件を考えると、空気呼吸量は毎分80ℓが限界といわれているため、RMR13~14、分速で180m~210mの労作強度が限度であろう。

(4) 空気呼吸器装面時の経済速度は時速にして5km~6kmであるため、火災等の災害現場ではゆっくり歩行

したほうが有利である。

とくに、空気圧が低くなると通気抵抗の増大により激しい動作には空気の供給量が追従しなくなるため、脱出時にはこの点に注意する必要がある。

(5) 空気呼吸器を装面すると無装面時に比較して心拍数は増加し、装面したほうが心臓に負担がかかること及び呼吸数は減少して深くなることが明らかになった。

(6) 装面時の呼吸は、ゆっくり深く大きく回数を少なくしたほうが、死腔の影響を少なくなる。

(7) 呼吸量は個人差が大きく、平均的な値の±40%位の幅があるため、隊員各人は自分の呼吸量を常日頃から把握しておく必要がある。

(8) 呼吸器に不慣れな人は、一般に呼吸器に対する不安感などから呼吸量が多くなるため、訓練を実施して適正、安全な使用に習熟するよう心掛けるべきである。

## 13. 文 献

- 1) 沼尻幸吉：活動のエネルギー代謝(1974)，労働科学研究所
- 2) 児玉俊夫，猪飼道夫，石河利寛，黒田善雄：スポーツ医学入門(1974)，南江堂
- 3) 酒井敏夫，原田邦彦，岩垣文恒，小林啓三，小林康孝：消防職員の労働医学的研究(1973)，東京消防庁
- 4) 大島正光：第24回救技研講演資料(1967)
- 5) 河合正計，江川通隆，前田忠生，三富守：防護マスクの影響について，防衛衛生，第10巻9号(1963)