

消防隊員の熱環境における呼吸保護具 使用時の生理変化について

The Physiological Responses of Fire Fighters
using Self Continued Breathing Apparatus
under Hot Environment

野 尻 忠 弘*
森 田 吉 保*
高 屋 敷 勘 六*

The physiological responses ergometer exercise were recorded for 40 firefighters.

The following results were obtained by estimating the physiological responses (heart beat, respiration rate and blood pressure) under hot environment during the 15-minutes exercise.

- (1) The oxygen breathing apparatus were not used for 30-minutes under hot environment.
- (2) The discharging oxygen from the oxygen breathing apparatus were dangerous for the firefighters under hot environment.
- (3) The air breathing apparatus were compared favorably with the oxygen breathing apparatus under hot environment.

1. はじめに

現在、消防では、数種類の呼吸保護具を使用しており それぞれ特徴を有しているが、消防隊員に与える生理的影響については、定かでない部分が多く、安全管理上問題があった。そこで、本実験では、熱環境下において呼吸保護具を使用した場合の心拍、血圧、呼吸、体温などの生理変化を測定し、器種ごとの生理的使用限界等を把握することによって安全対策の資料を得ることとしたものである。

2. 実験場所

消防科学研究所第四研究室熱環境室
東京医科歯科大学医学部衛生学教室

3. 測定対象者

健康な特別救助隊員(新宿、永田町、目黒、杉並)30人
その身体的特徴は表1のとおりである。

4. 実験方法

(1) 実験条件

救助服、防火衣、各種呼吸保護具を着装し

表1 測定対象者の身体的特徴

測定項目		年齢	身長	体重	胸囲	握力	肺活量	体前屈
測定対象		(歳)	(cm)	(kg)	(cm)	(kg)	(cc)	(cm)
カワサキ10号型 (10人)	平均	28	166.3	64.2	92.1	47.8	3847.5	18.3
	S.D	4	6.3	7.0	5.5	6.3	722.6	4.1
ケモックス (9人)	平均	28	169.0	63.4	90.7	49.3	3822.2	15.3
	S.D	4	5.9	4.3	2.6	2.3	519.5	4.1
東消5型空気呼吸器 (6人)	平均	27	168.3	61.4	89.6	47.6	3733.3	14.7
	S.D	4	7.5	6.2	3.3	2.8	539.8	4.0
素 面 (5人)	平均	28	166.7	60.2	89.3	49.7	3648.0	12.8
	S.D	4	2.9	4.1	2.6	4.0	408.9	0.6

S、D標準偏差

た出火出場時の服装(以下「全装備」という。)で温度50℃、湿度70%の熱環境室(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)で実施した。

(2) 負荷内容

自転車エルゴメーターを用い、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室内検索、筒先保持(ノズル圧3kg/cm²)程度である(以下「負荷」という。)

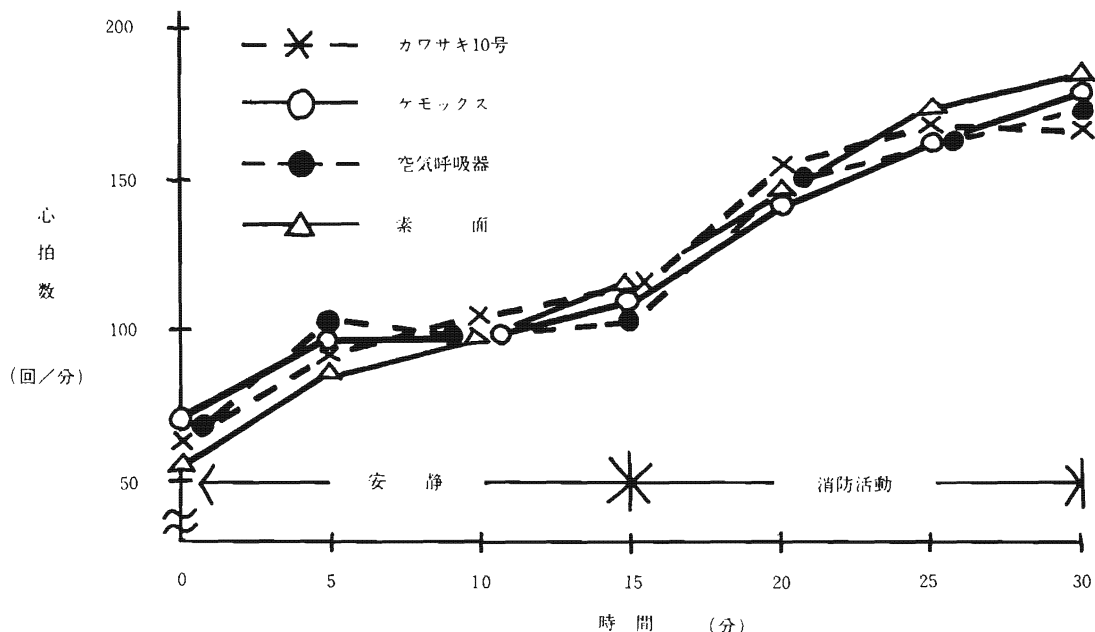


図1 心拍数の変化

(3) タイムスケジュール

熱環境下で自転車エルゴメータ上の安静15分、負荷15分の計30分とした。



(4) 使用した呼吸保護具と人員

- 東消10号型酸素呼吸器 (以下「カワサキ10号」という。)……………10人
- 発生式酸素呼吸器 (以下「ケモックス」という。)……………9人
- 東消5号型空気呼吸器 (以下、「空気呼吸器」という。)……………6人
- 素面……………5人

5. 測定項目

- (1) 基礎体力 (身長、体重、胸囲、皮脂厚、握力、肺活量、体前屈)
- (2) 心拍数
多用途医用監視装置による毎分あたりの心拍数
- (3) 血圧
連続自動血圧計による毎分あたりの収縮期血圧 (最高血圧) と拡張期血圧 (最低血圧)
- (4) 体温

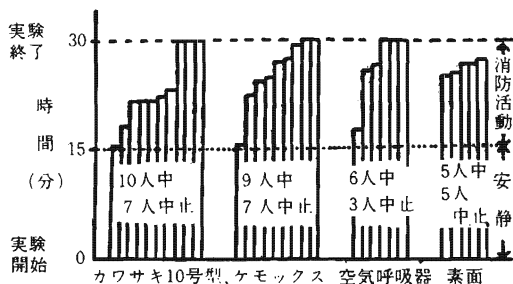


図2 生理限界と時間

サーミスタ体温計による3分ごとの舌下温

(5) 酸素濃度

ベックマン酸素濃度計による吸気弁付近の酸素濃度

(6) 吸気温

銅コンスタンタン熱電対による吸気弁付近の吸気温

(7) 呼吸数

胸部ピックアップ法による毎分あたりの呼吸数

(8) 血液分析

動脈血の定量分析

(9) 心電図

実験直前と直後の四肢誘導と胸部の12誘導

6. 結 果

(1) 心拍数について (図1, 図2)

心拍数は安静状態であっても経過時間とともに徐々に上昇し、15分後には毎分あたりカワサキ10号 119拍、ケモックス113拍、空気

呼吸器109拍、素面115拍であった。

負荷が加わると心拍数は安静状態の増加数と比較し著しく増加し耐え限界といわれる毎分あたり180拍を越えて立合いの医師が中止を指示した者または、苦しさに耐えられず自から中止した者はカワサキ10号で10人中7人

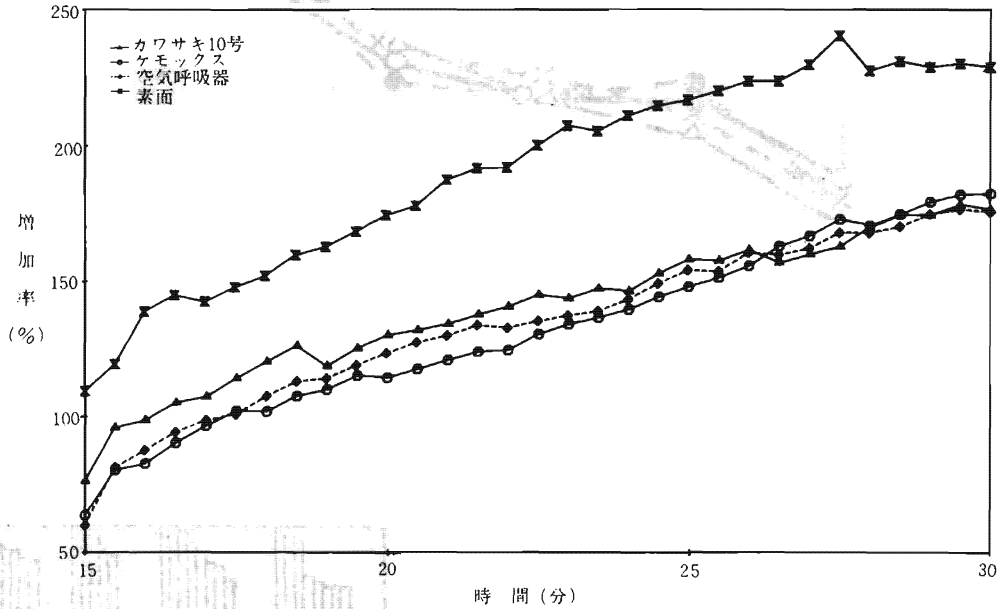


図3 心拍数の増加率

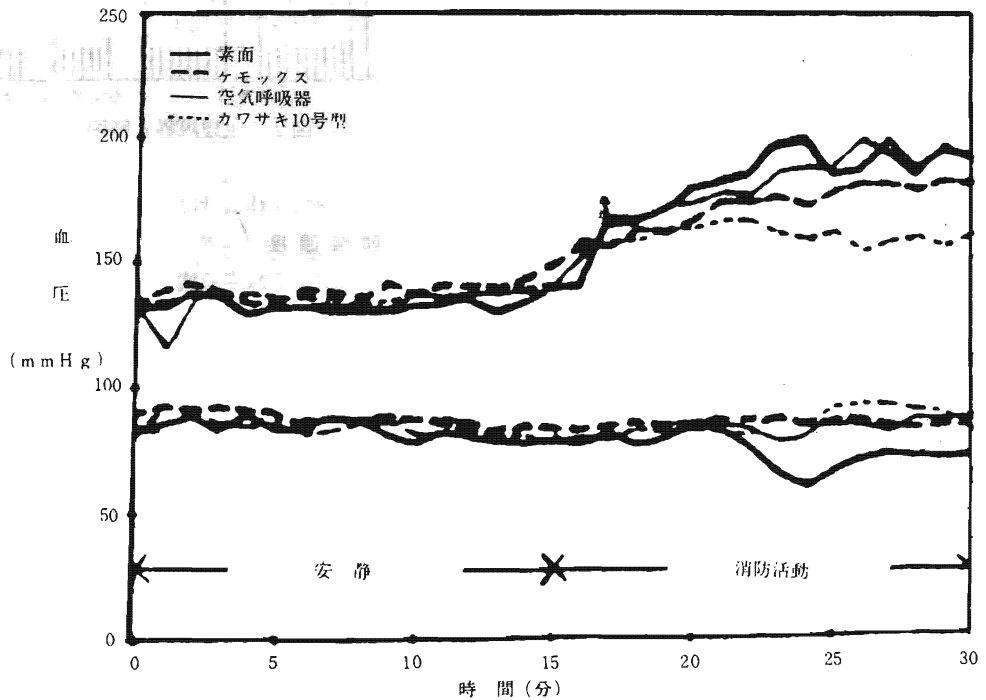


図4 血圧の変化

(70%)平均21分, ケモックス9人中7人(78%)平均25分, 空気呼吸器6人中3人(50%)平均23分, 素面5人中5人(100%)平均26分であった。

(2) 心拍数増加率について (図3)

心拍数の増加率は

$$\frac{(\text{運動時の心拍数}) - (\text{安静時の心拍数})}{(\text{安静時の心拍数})} \times 100$$

で表わされる。

心拍数増加率は, 空気呼吸器, カワサキ10号, ケモックスとはほぼ同様の上昇傾向を示したが, 素面がとくに著しかった。

呼吸保護具ごとに増加率をみると, 26分までは素面>カワサキ10号>空気呼吸器>ケモックスであったが, 27分からは素面>カワサキ10号>ケモックス>空気呼吸器の順になる。

(3) 血圧について (図4)

安静にしていると最高血圧は呼吸保護具別には特異な差はみられないが, 負荷が加わると徐々に高くなる。とくに素面と空気呼吸器は, カワサキ10号, ケモックスより高くなった。

最低血圧は負荷を加えてもあまり変化しないが空気呼吸器の場合一時的に低くなった。

脈圧(最高血圧と最低血圧の差)は素面の場合が最も大となった。

(4) 体温について (図5)

体温は舌下温を3分ごとに素面の5人について測定した。スタート時の平均36.7℃から徐々に上昇し30分後には40.6℃にも達し平熱より3.9℃も上昇し, さらに上昇する傾向にあ

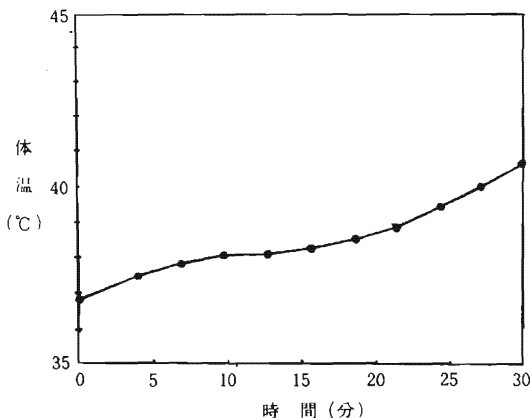


図5 体温の変化

った。

体温(食道温, 直腸温)は熱環境で41℃から43℃に達することがあるが, 42℃をこえると死に至ることもあるといわれている²⁾。

(5) 酸素濃度について (図6)

カワサキ10号とケモックスの吸気中酸素濃度を測定したところ, スタート時では両呼吸器とも約50%であったが時間の経過とともに高くなった。

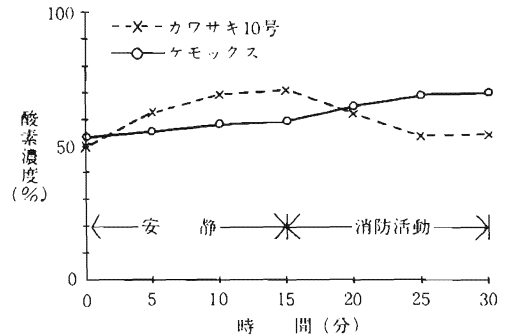


図6 酸素濃度の変化

カワサキ10号はスタート時から徐々に高くなり負荷が加えられると減少する傾向になった。

ケモックスは安静, 負荷に関係なく徐々に高くなり続け30分後には70%に達した。

カワサキ10号が主として毎分約2ℓの一定流量の酸素補給方式であり, ケモックスは呼気中の二酸化炭素及び水分と薬剤である超酸化カリウムの化学反応による酸素発生式であることから呼吸量が増加すると酸素発生量が増加する。

(6) 吸気温について (図7)

素面はスタート時から温度50℃, 湿度70%の高温高湿の吸気である。

カワサキ10号, ケモックスは吸収缶, 発生缶の発熱反応による乾燥した高濃度酸素を供給するものでありスタート時約28℃, 10分後で約40℃に達し, 30分後にはカワサキ10号が47.8℃, ケモックスが46.5℃に達した。

空気呼吸器は高圧ポンプから放出されるとき断熱膨張により冷却された乾燥空気を供給するので吸気温がスタート時の25.8℃, 15分後体温より高い38.4℃まで上昇する, 負荷を加えると呼吸量の増大によりさらに吸気温が低くなった。

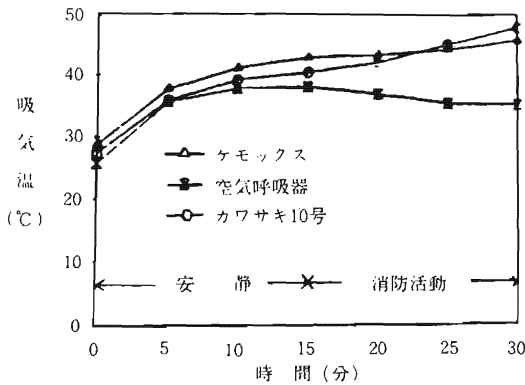


図7 吸気温の変化

吸気温を呼吸保護具ごとにみると23分までは素面>カワサキ10号>ケモックス>空気呼吸器の順に低くなり、以後素面>ケモックス>カワサキ10号>空気呼吸器となった。

23分までの吸気温の上昇の傾向は、(1)心拍数の項における実験中止者の経過時分ごとの傾向と同じである。このことは、吸気温の高さが循環器系に及ぼす影響が大きいためである。

(7) 呼吸数について (図8)

安静時の呼吸数は、カワサキ10号>素面>空気呼吸器>ケモックスの順に多く、スタート時から15分間毎分あたりの呼吸数は変らなかった。

負荷を加えると時間経過とともに安静と同じ順で増え続けた。

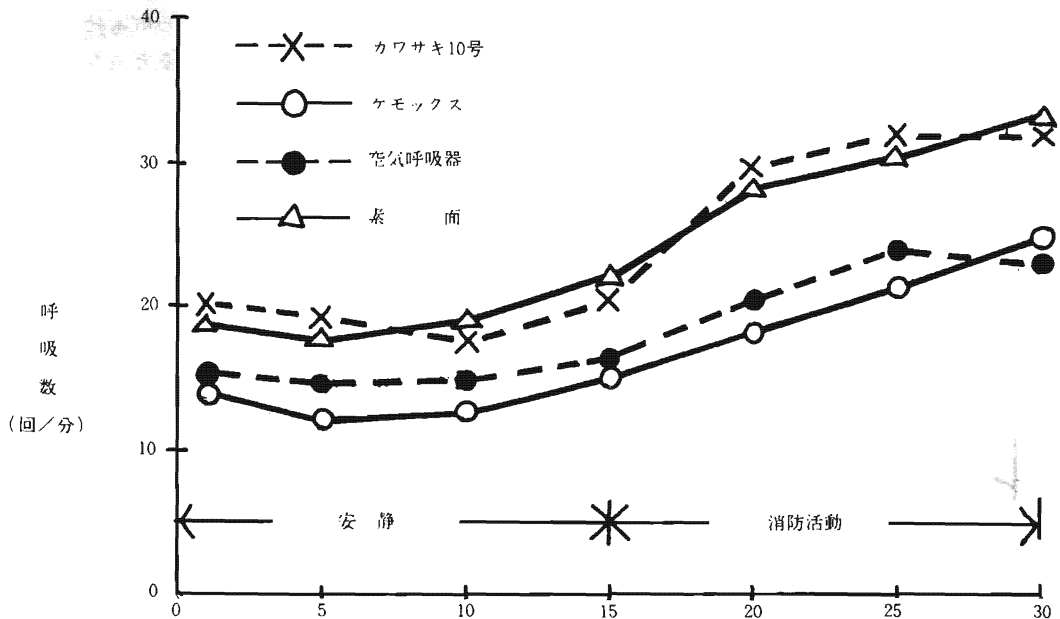


図8 呼吸数の変化

(8) 血液分析について (表2)

酸素呼吸器(カワサキ10号)使用時の動脈血中の酸素ガス分圧は安静のみ30分490.2mmHg、安静15分、負荷15分で346.3mmHgとなった。

一般的に空気を呼吸しているときの安静時はおおよそ90mmHg~100mmHg³⁾であるのに比

表2 動脈血分析結果(カワサキ10号)

		PH	PCO ₂ ⁽¹⁾	PO ₂ ⁽¹⁾	Hb ⁽²⁾
正常値		7.40	35~45	.90~100	14.8~17.0
安静 (5人)	平均	7.39	39.7	490.2	16.40
	S.D.	0.04	5.2	32.2	1.67
負荷 (10人)	平均	7.39	36.4	346.3	15.25
	S.D.	0.03	2.9	100.0	1.23

単位: (1)mmHg (2)mg/100ml

べ安静で約5倍、負荷で約4倍のガス分圧となった。

二酸化炭素分圧は安静36.4mmHg、負荷39.7mmHgであり、空気を呼吸しているときの標準値35~45mmHgとほぼ同じ範囲内であった⁴⁾。

ヘモグロビン(Hb)の濃度は安静16.4g/100ml、負荷15.3g/100mlで標準値15.5g/100ml (S.D±1.12)の範囲であった⁵⁾⁶⁾。

水素イオン濃度指数(pH=7.0より多いとアルカリ性、少ないと酸性を示す)は安静、負荷とも7.4で弱アルカリ性を示した、pH標準値は7.4であるから酸素呼吸器を使用しても変化しなかった。

(9) 心電図について

各被験者の実験前後において、心電図（四肢誘導と胸部誘導の12誘導）には変化がみられなかった。

7. 考 察

(1) 循環器系——心拍数の変化について

熱環境下では、放熱を促すため血管は拡張し皮膚に近い血管を流れる血液が多くなり、内臓を通る血液が減少する。そのため心臓へ帰る血量が減少し拍出量も減少する。

心臓は体内の血流量を維持するため血液をできるだけ早く送り出す働きをしなければならないことから心拍数が著しく増加する⁷⁾。

熱環境下で活動している場合心拍数160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臨界点である¹⁾。

従って、心拍数が180に達する状況では隊員が適切な消防活動を行うことは不可能に近いと考えられる。

(2) 吸気温、体温について

体温より高い熱気を呼吸することは身体にとって大きな負担になる。

素面の吸気温がスタートから50℃であるのに対しカワサキ10号、ケモックスは48.5℃に達している、この程度では、急激に気道熱傷をおこすには至らないが、自然に呼吸する大気温に比べ、かなりの高温の吸気であった。

一般に身体は体内の代謝により発生する熱を呼気及び汗等で放散しているが、このような高温の吸気では呼気放熱が不調になり代替えとして著しい発汗が現われる。

高温の吸気を長く続けていると身体の深部温（直腸温、食道温など）が上昇し熱虚脱などの熱中症をおこして死亡する42～43℃に達する。

高温の災害活動には、冷水による体温の降下又は冷たい空気の呼吸などの方法によって体温の上昇を防止することが大切である、これにより発汗によって失われる塩分、電解質、水分を少なくする効果もある。

(3) 生理限界について

高温、高湿の熱環境に耐えていられる生理限界は作業の強弱、着衣、年齢、肥満の程度、体力、慣れ等が影響するといわれており⁸⁾、消防活動ではさらに装備重量、経験年数、訓練度合、心理的緊張等が加わってくると考えられる。

今回の実験ではいずれも特別救助隊員が被験者となっていることから一般の警防隊員よりは生理限界は高いと推定されたが、6(1)に述べたように実験継続時分の30分間継続できなかった者は30人中22人（約73%）の多数であった。

消防活動する消防隊員は、体力を向上させるため常日頃からジョギング、体操などの体力練成を実施して心肺機能の強化に努め生理限界を高める必要がある。

(4) 酸素分圧と酸素飽和度

通常空気呼吸しているときの血中Hb（ヘモグロビン）の酸素飽和度（%）動脈血酸素分圧との関係は図9のとおりである³⁾。

この図から明らかのように酸素分圧が90mmHg前後あればHbの酸素飽和度は100%になる。

酸素呼吸器を使用すると安静490.2mmHg（S.D32.2）負荷346.3mmHg（S.D100.0）となり4～5倍も高い酸素分圧になっている。

一酸化炭素中毒やシアン中毒のようにHbの酸素運搬能力を阻害する場合のほかは、このように過剰な高濃度酸素を吸収する必要はなく、むしろ長時間使用による酸素中毒を考慮しなければならない。

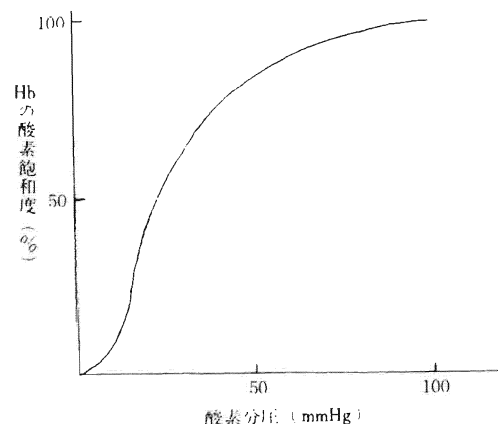


図9 Hb酸素飽和度と酸素分圧との関係

(5) 熱環境と呼吸保護具

熱環境下では呼吸保護具使用時の心拍数、心拍数増加率、吸気温はカワサキ10号、ケモックスの酸素呼吸器が空気呼吸器より高くなっている。

酸素呼吸器はカワサキ10号、ケモックスとも発熱反応を伴うため火災現場などの熱環境では化学反応が促進され、常温より吸気温が上昇する。

空気呼吸器は断熱膨張による冷却により吸気温は安静10分後に体温程度までは上昇するが、負荷により空気消費量が増加すると逆に下がり35℃前後までになった。

このことから熱環境では生理限界からみて酸素呼吸器は、長時間使用の長所を生かすことは出来ず、しかも高濃度酸素を長時間吸気することによる高酸化脂質の体内生成などによる生理的悪影響の可能性も考えられるとともに、高濃度酸素の漏れ、またはオーバーフロー時に火の粉程度でも着火する危険があり安全管理のうえから問題がある。

8. ま と め

- (1) カワサキ10号、ケモックスなどの酸素呼吸器を熱環境で使用することは吸気温の上昇などから生理的に問題がある。
- (2) 酸素呼吸器は、特に心身が頑健である特別救助隊員でさえも熱環境で30分使用することが出来たのはわずか20～30%であり、長時間使用できることが長所であるカワサキ10号、ケモックスの特徴を生かせない。
- (3) 酸素呼吸器はオーバーフローなどによって高濃度酸素を放出することがあるので火災危険性がある。
- (4) 火災現場などの熱環境では空気呼吸器を使用することが望ましい。
- (5) 呼吸保護具を使用する場合は常温、熱環境とも可能な限り過激な行動をひかえる。
- (6) 酸素呼吸器は主として熱気・火気のない救助活動に用い、空気呼吸器は火災現場での消火活動に用いるなど消防活動の内容により呼吸保護具を使い分ける。

(7) 吸気温の高さは、生理限界を示す有力な指標であり、体温と同じ37℃前後が長時間使用の限界と考えられる。

(8) 素面のみで熱環境に入るのは、一酸化炭素等の吸入を別にしても避けたほうがよい。

(9) 生理限界は、実験条件の熱環境、労働負荷において概ね30分以内であるので空気呼吸器の使用時間は30分を目標とし更に軽量化することが望まれる。

9. 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永田町、目黒、新宿、杉並の各特別救助隊員の皆様に深く感謝いたします。

10. 文 献

- (1) 渡辺巖一 「基礎環境衛生学」(P.43～45) 朝倉書店(昭和48年)
- (2) 三浦豊彦 「暑さ寒さと人間」(P.69) 中公新書(昭和52年)
- (3) 長谷川博 「血液ガス・pH・電解質の手引き」(P.378) 文光堂(昭和47年)
- (4) 日本臨牀 「血液・尿化学検査」通巻第335(P.196) 昭和46年度増刊
- (5) 佐藤徳郎、蒲田郡平、福山富太郎 「生化学入門」(P.51) 綴文堂(昭和39年)
- (6) Ben jamin Harrow
Ph.D:Textbook of Biochemistry
(P.202)
W.B.Saunders Company(1962)
- (7) 三浦豊彦 「暑さ寒さと人間」(P.49～50) 中公新書(昭和52年)
- (8) O・G・エドホルム著、佐々木隆訳 「暑さ寒さと人間」(P.34) 朝倉書店(1980)