

避難用空気袋について

野 尻 忠 弘**
 鶴 飼 恒*
 渡 辺 恵 門**
 遠 藤 昇**
 田 辺 孝 視***
 高 橋 昌 一****

1. 諸 論

災害時に用いる消防用設備等については、関係官公庁、業界、団体の検定制度が行われているが、生命維持にもっとも関係が深いと思われる呼吸保護具に関しては、開放式酸素呼吸器、循環式酸素呼吸器、空気呼吸器、簡易救命具など炭鉱、鉱山の救難救助用のものについてのJIS規格があるのみで、一般大衆が使用する避難用についてはないのが現状である。

このように避難用呼吸保護具の開発研究は遅れており、現在わずかに表1に示すように、ボンベ式のものキャニスターやクロレートキャンドルを用いる酸素発生式のもの、350気圧の空気を充ててできるチューブタンク(コイル状タンク)を用いるエア・カプセルなどがあるにすぎない。

これらは、いずれも炭鉱、鉱山、船舶、消防、工場、軍隊用の呼吸保護具を避難用に軽易小型化したもので、ある程度の信頼性はあるが使用にあたっては予備知識と訓練が必要である。

このため、火災等の災害現場で緊急に避難しなければならない被災者にとって、より手軽に、簡単に利用でき、しかも携行に便利な呼吸保護具が関心をよんでおり、その具体例として、旅客機の緊急着陸時の発火

の際に火災および燃焼ガスによる乗客の顔面火傷、気道熱傷および窒息の危険を防ぐために開発された不燃性ポリイミド膜製の空気袋¹⁾やビル火災等の緊急避難用のセロファン紙製²⁾のものなどがある。

これらの避難用空気袋の容積は約20ℓから50ℓぐらいで、袋をかぶり行動するため、袋内はO₂濃度の低下、CO₂濃度が増加する。このため行動時の呼吸生理学、及び労働科学からの究明が必要である。われわれは今回、労作別の耐え限界や身体に及ぼす影響などについて研究を行った。

2. 実験方法

(1) 測定計器および測定項目

医用テレメータ(271形、三栄測器KK製)により、安静時、負荷期、回復期の心電図、呼吸曲線を連続測定記録した。

呼気ガス瞬時分析装置(1H02-2形、三栄測器KK製)により、安静時、負荷期、回復期の避難用空気袋内吸気時O₂、CO₂濃度の変化を連続測定記録した。

自転車エルゴメーター(モナーク社製)により3段階の仕事量を設定実験を行った。

ショランダー微量ガス分析器により、呼気分析を

表1 避難用呼吸保護具一覧

項目 種類	使用時間 分	重 量 kg	携行酸素量 ℓ	携行空気量 ℓ	ボンベ容量 ℓ	最高充てん 圧 kg/cm ²	市 価 円	備 考
簡易救命品 (マイセム型)	I型	10~15	4	150	—	1	150 製造中止	国産
	II型	18~25	6	300	—	2		
空 気 呼 吸 器 (ライフレスク)	3~7	2.4	—	200	1	200	24,800	国産
酸素発生式避難用マスク (ランガード20)	約20	3	キャニスター(酸素発生缶)				38,500	国産
避難用エアカプセル	5	2	—	約105	0.3	350	—	米国

* 第四研究室 ** 第四研究室 *** 東村山消防署 **** 東調布消防署

表 2 仕事量と RMR

項目	RMR (実測)	動作別の RMR
仕事量		
安 静	0	静かに椅子に坐っている状態。
150kgm/分	2.3~3.3	普通歩行 70m/分(2.1) 階段降り 50m/分(2.6) いそぎ足 95m/分(3.5)
300kgm/分	3.7~4.8	野球捕手 (4.0~5.5) アイスホッケー (平均) (4.5) スキー歩行 (3.3~6.5)
450kgm/分	4.7~6.4	ラジオ体操 (5.0) バドミントン 男子ダブルス (5.3) 階段昇り 45m/分(6.5)

表 3 被験者の身体的特徴

被験者	年齢 歳	身長 cm	体重 kg	胸囲 cm	肺活量 cc	皮脂厚 mm
EW	45	171.0	63.0	85.5	4,000	9.8
TN	38	167.0	62.0	92.5	5,100	16.0
NE	28	166.0	57.0	84.0	5,150	9.5
TT	32	164.0	54.0	81.5	5,500	10.0
MT	31	165.0	54.0	85.5	4,600	8.2

表 4 R. Q. 値 表

被験者	仕事量			
	安 静	150kgm/分	300kgm/分	450kgm/分
E. W.	0.84	0.87	0.99	0.98
T. N.	0.75	0.81	0.85	0.86
N. E.	0.82	0.90	0.86	0.94
T. T.	0.83	0.87	0.88	0.90
M. T.	0.83	0.81	0.91	0.89
平 均	0.81	0.85	0.90	0.91

行い RMR, 呼吸商を算出した。

(2) 空気袋

約25 l, 35 l, 45 l の種類をセロファン紙により作製し, 実験に供した。

ただし, 成人男子の頭部容積は 4~5 l といわれているため, 袋の有効容積はそれぞれ約20~21 l, 30~31 l, 40~41 l となる。

表 5 RMR 値 表

(ジョランダー微量ガス分析器による)

被験者	仕事量		
	150kgm/分	300kgm/分	450kgm/分
E. W.	2.3	4.8	4.7
T. N.	2.6	3.7	4.9
N. E.	3.3	4.0	6.4
T. T.	2.9	4.4	5.4
M. T.	2.6	3.7	5.1
平 均	2.7	4.1	5.3

表 6 RMR と呼吸比 (RQ)

R M R	R Q
0.0	0.87
0.2	0.88
0.5	0.90
1.3	0.92
2.0	0.90
3.7	0.94
5.9	0.96
7.8	0.98

(沼尻幸吉: 活動のエネルギー代謝 p.52)

(3) 負荷条件

安静時と自転車エルゴメーターによる仕事量毎分 150kgm, 300kgm, 450kgm の 4 種類を設定した。

仕事量と RMR (エネルギー代謝率) など他の動作との比較は表 2 のとおりである。

(4) 被験者の身体的特徴

表 3 に示す身体的特徴をもった健康な消防職員を被験者とした。

3. 実験結果

(1) 仕事量と呼吸商および RMR

呼吸商 RQ (Respiratory Quotient) およびエネルギー代謝率 RMR (Relative Metabolic Rate) の仕事量との関係は表 4, 表 5 のとおりで安静から仕事量が増えるにしたがって増加している。とくに実測した RQ の平均値は表 6 の傾向と同じである。

(2) 空気袋の大きさと被験者が耐えた時間を表 7 に示す。この表から袋容積が大きくなると, 耐え時間が長くなり, 仕事量が増えると短くなることがわか

表 7 空気袋の大きさと耐え時間

袋の大きさ	仕事量	被験者	E. W.	T. N.	N. E.	T. T.	M. T.
			25 ℓ	安 静	7'27"	4'50"	7'00"
	150kgm/分		2'00"	2'30"	3'00"	3'00"	2'45"
	300 "		2'10"	2'00"	2'30"	2'30"	2'00"
	450 "		2'00"	1'30"	2'00"	2'00"	1'30"
35 ℓ	安 静		9'00"	6'21"	9'00"	7'40"	7'12"
	150kgm/分		4'00"	2'30"	4'00"	3'45"	4'30"
	300 "		3'00"	2'30"	3'30"	2'30"	3'20"
	450 "		2'30"	2'00"	3'00"	2'15"	2'30"
45 ℓ	安 静		21'00"	8'28"	12'00"	17'00"	10'38"
	150kgm/分		3'30"	4'00"	4'30"	6'00"	4'30"
	300 "		3'30"	3'00"	2'30"	4'00"	3'30"
	450 "		2'30"	2'30"	2'30"	2'40"	2'50"

表 8 空気袋内 O₂, CO₂ の耐え濃度 (%)

袋の大きさ	仕事量	被験者	E. W.		T. N.		N. E.		T. T.		M. T.	
			O ₂ %	CO ₂ %	O ₂ %	CO ₂ %	O ₂ %	CO ₂ %	O ₂ %	CO ₂ %	O ₂ %	CO ₂ %
			25 ℓ	安 静	12.0	6.6	16.0	4.5	16.2	4.2	11.1	7.2
	150kgm/分	12.5	6.0	11.0	5.9	9.6	7.2	9.7	7.0	9.9	7.4	
	300kgm/分	9.0	7.8	11.6	6.2	10.8	7.2	11.4	7.7	11.0	6.7	
	450kgm/分	11.3	7.0	13.0	5.2	10.7	7.2	10.4	7.4	9.9	7.0	
35 ℓ	安 静	10.8	7.4	14.8	5.2	14.7	5.3	11.8	7.4	16.8	3.5	
	150kgm/分	11.0	6.7	12.4	6.0	11.0	6.6	9.7	8.2	10.5	7.4	
	300kgm/分	12.0	6.9	11.8	6.5	9.0	8.4	11.1	7.1	10.0	7.5	
	450kgm/分	11.0	7.5	12.0	6.4	9.0	8.4	10.5	7.4	11.8	7.0	
45 ℓ	安 静	14.7	5.4	14.6	5.3	13.9	5.8	13.4	5.8	15.3	4.7	
	150kgm/分	10.6	7.0	12.2	6.2	12.4	6.6	9.6	7.5	9.0	8.0	
	300kgm/分	12.0	6.8	12.7	5.5	11.7	6.8	10.7	7.2	10.3	7.0	
	450kgm/分	10.8	6.6	13.6	6.6	11.1	7.3	10.6	7.1	10.9	7.3	

る。このうち、45ℓ袋の安静で被験者 E. W. と T. T. は漏れがあったため耐え時間がのびたものと考えられる。

(3) 空気袋と被験者別の耐え O₂ 濃度と CO₂ 濃度は表

8 のように被験者が耐えた濃度は O₂ の場合それぞれ14.7%~9.0%, 16.0%~11.0%, 16.2%~9.0%, 13.4%~9.6%, 17.4%~9.0%であり, CO₂ の場合 5.4%~7.8%, 4.5%~6.6%, 4.2%~8.4%, 5.8

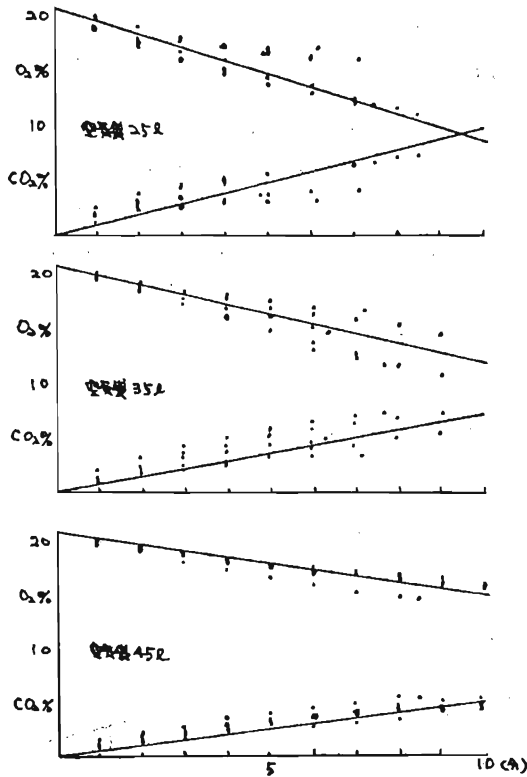


図1 安静時の O₂・CO₂ 変化

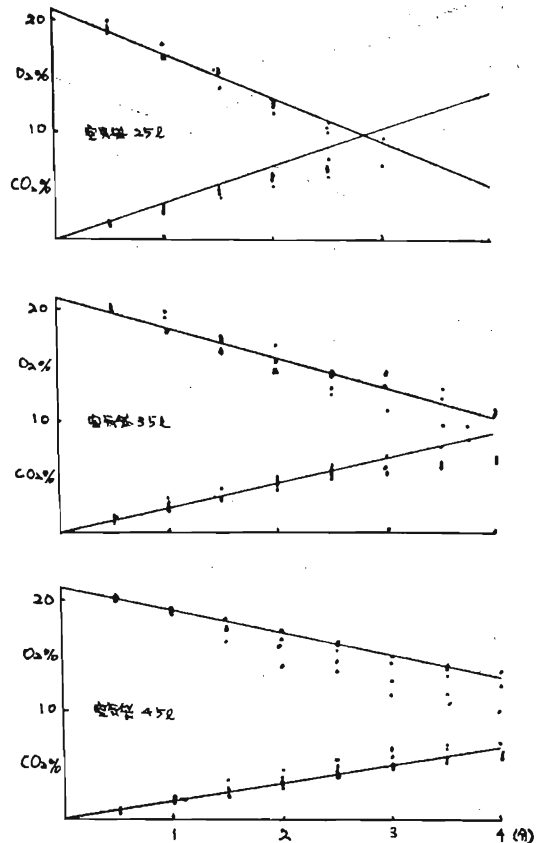


図2 仕事量 150kgm/分の O₂・CO₂ 変化

%~8.2%, 3.3%~8.0%で、ばらつきがあった。

これは今回の実験が被験者の自由意志と観察者の判断により進行状況を決めたため、本人の心理的、身体的条件が影響したものと考えられる。

(4) 図1は安静時、図2は仕事量毎分あたり150kgm、図3は仕事量毎分 300kgm、図4は仕事量毎分 450kgm のときの空気袋内の吸気中 O₂、CO₂ 濃度変化で、同じ負荷内容であれば袋が大ききときに、より長く耐えることができ、空気袋の容積が同じであれば仕事量が大ききときに耐え時間は短くなることは表7からも明らかである。

なお図中に被験者の数値をそれぞれ点で示したが、おおむね実線の計算値に一致している。

(5) 図5、図6は素面と45Lの空気袋をかぶったときの心拍数及び呼吸数の変化を示すが、普通で階段を降りるぐらいの負荷毎分あたり150kgmの仕事量のととき、階段を普通で昇るぐらいの負荷毎分あたり450kgmの仕事量の心拍数、呼吸数を比較した。いずれも空気袋をかぶると負荷の後半から増加し、とくに呼吸数は回復期に入ってもしばらくの間、増加の傾向を示した。

4. 考 察

(1) 一部の登山家は人間の極限状態に挑戦するとして海面位換算 O₂ 濃度が7%前後のヒマラヤ登山を O₂ 補給器なしで試みているといわれている。また、図7からチベットの中心都市ラサは O₂ 濃度 13.5%、エチオピアのアジスアベバは15.7%であるが、ここでは、日常大きな支障もなく集団生活を営んでいる。

しかし、O₂ 濃度 13% ぐらいの富士山クラスの登山でも高山病にかかる人もおり、個人差が著しいことを充分認識する必要がある。

一般に高地に長く生活すると低酸素圧状態に対して馴化するという。この馴化のメカニズムは、①低酸素状態の環境に長い期間生活していると、外気が体内に入り、肺胞気、動脈血、毛細血管、混合静脈血にいたるまでの O₂ 摂取の過程のなかで、酸素勾配(O₂分圧の差)がゆるやかになり、とり入れたO₂を経済的に利用できるようになることと、②赤血球が増し、血液中のヘモグロビン量が増加して O₂ 分圧の低いところでの O₂ 摂取に有利な状態となるためであるといわれている³⁾。

また、表9、表10から明らかのように O₂ 濃度が

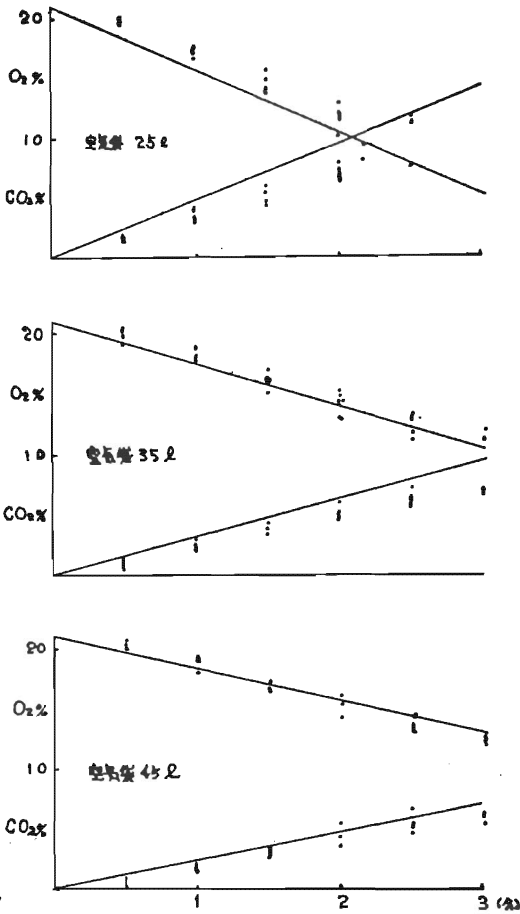


図3 仕事量 300kgm/分の O₂・CO₂ 変化

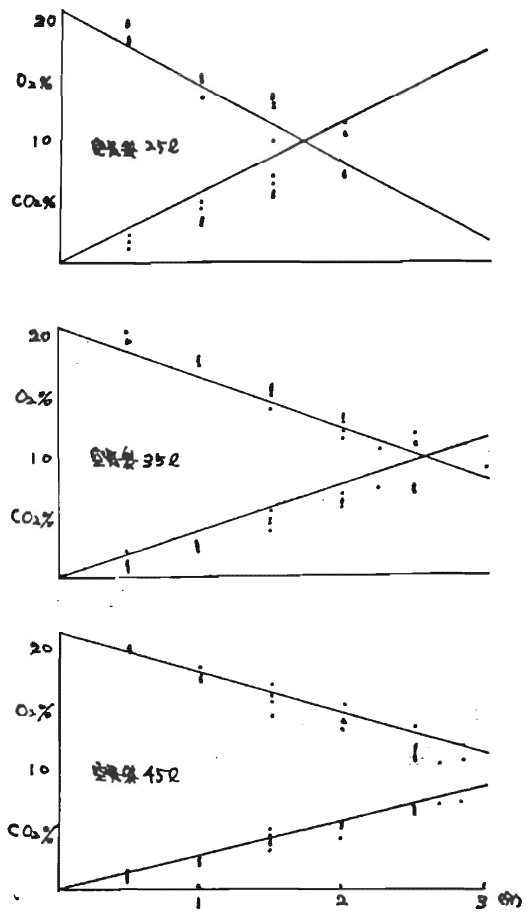


図4 仕事量 450kgm/分の O₂・CO₂ 変化

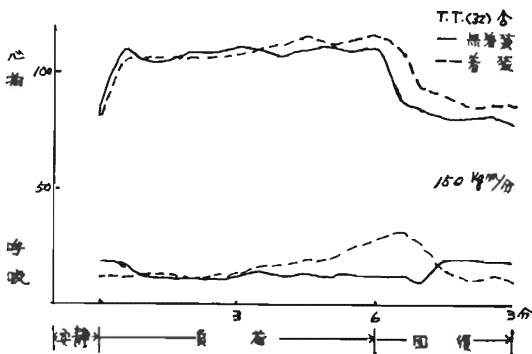


図5 心拍数・呼吸数の変化
(45kg袋装着と無着装の比較)

17%から12%の範囲になると、いろいろな症状が表われるため、この付近の O₂ 濃度が一般被災者の行動の限界値であろう。

今回のわれわれの実験では表8に示すように O₂ 9%まで耐えている被験者がいるが、これは瞬間的な数値であって、連続した雰囲気中では無理である

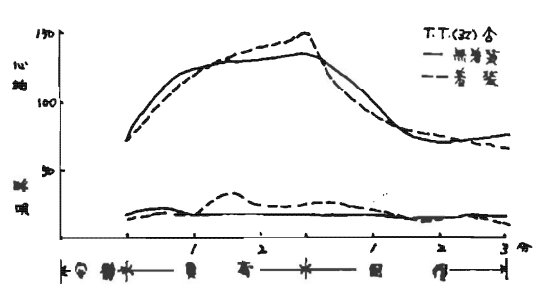


図6 心拍数・呼吸数の変化
(45kg袋装着と無着装の比較)

う。

(2) CO₂ の増加が呼吸量に強く影響することは表11のとおりである。

今回の実験においても図5、図6に示すように負荷の後半 CO₂ が増えるにしたがって呼吸数が多くなり負荷後回復期に入っても呼吸数は素面のときより多く、O₂ 負債を補うための呼吸をしていることを示している。

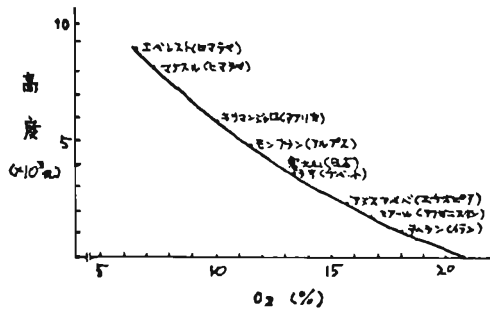


図 7 高度と海面位換算 O₂ (%)

表 9 酸素濃度低下の人体への影響

(ヘンダーソンの分類)

酸素濃度 (%)	酸素分圧 (mmHg)	動脈血の酸素分圧 (mmHg)	動脈血の酸素飽和度 (%)	症 状
16~12	120~90	60~45	89~85	脈拍, 呼吸数の増加, 精神集中に, 努力がある。こまかい筋肉作業がうまくゆかない。頭痛, はき気, 耳鳴
14~9	105~60	55~40	87~74	判断力がにぶる, 発揚状態, 不安定な精神状態, 刺傷などを感ぜない, 酩酊状態, 当時の記憶なし, 体温上昇, 全身脱力, チアノーゼ
10~6	70~45	40~20	74~33	意識不明, 中枢神経障害, けいれん, チェインストークス型呼吸, チアノーゼ
10~6の持続またはそれ以下	45以下	20以下	33以下	昏睡呼吸緩徐, 呼吸停止, 6~8分後心臓停止

(三浦豊彦: 新労働衛生ハンドブック p.346)

また表8のようにCO₂濃度8%まで耐えているものもあるが, 表12に示す中毒症状があるといわれるため O₂ と同じく連続した密閉気中では耐えられる濃度でないと思われる。

(3) 避難用空気袋をかぶって行動する被災者の労作強度は表2から仕事量で毎分あたり150kgm から450kgm, RMRで2.3から6.4ぐらいと推定される。

また階段の昇降にどれだけかかるか当研究所の建物で実測すると, 上下1階昇降する距離は約12mあり, 普通の歩行で6階から地下1階まで平均84秒, 地下1階から6階まで平均100秒かかり, 毎分あたりの昇降距離は, それぞれ51mと43mとなり表2のRMR2.6と6.5に相当する。

表 10 酸素欠乏の精神神経症状

程度	症 状	海面位に対する換算
1	過信, 不安, 悪心, 頭痛, 判断の障害, 視力障害, めまい, 虚脱感	17~15%
2	嘔吐, 不安, 筋のけいれん, 体温上昇, 精神混だく, 呼吸困難, チアノーゼ	14~10%
3	意識そう失, けいれん, チアノーゼ	11~7%
4	昏睡, 呼吸停止, 循環虚脱	9~5%

(消防科学研究所編: 火災の煙とガス p.28)

表 11 CO₂ 吸入と呼吸量

吸入 CO ₂ %	呼吸の深さ (cc)	呼吸の数 (毎分)	肺 胞 CO ₂ %
0.04	673	14	5.6
0.79	739	14	5.5
2.02	864	15	5.6
3.07	1,216	15	5.5
5.14	1,771	19	6.2
6.02	2,104	27	6.6

(猪飼道夫: 人体生理学 p.282)

表 12 空気中の CO₂ 濃度と症状

空気中の CO ₂ 濃度 (%)	症 状
0.5	公衆衛生上の許容濃度。
2.5	数時間の吸入で症状に変化なし。
3.0	呼吸の深さが増す。
4.0	粘膜に刺激, 頭部圧迫感, 血圧上昇, 耳鳴。
6.0	呼吸数が著明に増加。
8.0	呼吸困難が著明。
10.0	意識喪失, 呼吸困難。
20.0	生命に重要な中枢の完全マヒ, 死亡。

(消防科学研究所編: 火災の煙とガス p.26)

(4) 空気袋をかぶった時の耐え時間および O₂, CO₂濃度は表7, 表8に示すように, 同一条件であっても被験者により差がある。

このことは, 本実験が任意のもとに行ったため耐えるという行為に生理的および心理的要因の2つが影響し合っているためと考えられる。たとえば, 同一被験者でも O₂ 9%, CO₂ 8%まで耐えるとき

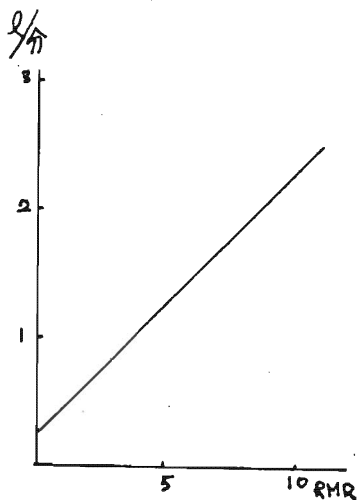


図8 O₂ 摂取量 (l/min)
(大島正光：第24回救技研資料)

と、それぞれ17.4%と3.3%で中止するときがあることは心理的要因が大きいことを示すものと考えられる。

また安静時吸気位いきこらえは大学生男子(204名)が35~160秒(平均71.6秒)、大学生女子(46名)が17~61秒(平均39.7秒)であり、再テストすると男女とも、いきこらえ時間に著しい延長がみられ、男子では平均71.6秒が91.9秒、女子では平均39.7秒が49.2秒となったという⁴⁾。

したがって、空気袋においても練習により耐え時間をのばすことも可能であろう。

- (5) 労作とO₂摂取量の関係は図8に示すとおりでRMR 0から11ぐらいまでは $y=0.203x+0.244$ (ただしy: 毎分あたりO₂摂取量l, x: RMR値)の一次式がなりたち、RMRに対応するO₂摂取量がわかる。

さらに、表4によりそれぞれの仕事量に対応するRQ値、および表5と表8からO₂摂取量を求め、さらにその負荷時のCO₂産生量が計算される。

したがって、今回行った実験の仕事量に応じたO₂摂取量、CO₂産生量とも図8、表4および表5から求めることができる。

図1から図4までの図中、実線がこのようにして求めたO₂、CO₂濃度変化を表わしたもので実測値とはほぼ一致する。

- (6) O₂濃度の低下、CO₂濃度の増加により負荷の後半と回復期前半にかけて呼吸数が素面時に比較して増えているが、CO₂増加による呼吸中枢の刺激とO₂不足を呼吸数の増加により補っているため、O₂分圧の低い高地において呼吸が促進し換気量が増大す

るというのと同じである。また回復期にはO₂負債を補うため増えているものとみられる。

心拍数も素面時に比較し増加しているが、一定時間あたりの回数と心拍量を多くして体内のO₂不足を補う働きをしていることと、O₂低下による身体変化が被験者に心理的影響を与えていることも考えられる。

5. 結 論

- (1) 常圧下のO₂、CO₂濃度の耐え限界値は今回の実験の場合、瞬間的にはそれぞれ9.0%と8.4%であった。普通の人分単位で耐えうる限界濃度となればO₂で16%~12%ぐらい、CO₂では6%以下であろう。
- (2) 負荷末期にはO₂濃度の低下、CO₂濃度の増加にともない、全身とくに顔面や手足がはてり、頭部に鈍痛を感じた。

O₂が10%前後、CO₂が7%ぐらいになり身体症状が苦しくなっても、まだ空気袋をかぶってられるという心理状態になった。

- (3) 空気袋をかぶって、普通速度で階段を降りたり、普通歩行ないし、いそぎ足程度の労作を負荷した場合、25lの空気袋は2分から3分、35lで2分30秒から4分30秒、45lでは3分30秒から6分まで耐えられた。

また、普通速度の階段昇り程度の労作を負荷した場合、25lの空気袋は1分30秒から2分、35lで2分から3分、45lでは2分30秒から2分50秒まで耐えられた。

- (4) 空気袋をかぶると素面のときより、心拍数、呼吸数とも負荷の後半から増える傾向がある。とくに呼吸数は負荷後半から増加し、空気袋をとった回復期に入っても1分間ぐらいは素面時より多かった。
- (5) 今後の課題として、避難用空気袋の材質、大きさ、形、使用限界、使用法および材質の耐熱性などについて研究し、被災者が安全に利用できるようにする必要がある。

6. 文 献

- 1) 山口裕、岡村正明：セーフティダイジェスト 21巻6号 p.9
- 2) 旗野次郎：東京消防 昭和50年2月号 p.135
- 3) 猪飼道夫編：人体生理学 p.287(大修館書店 1969)
- 4) 猪飼道夫、広田公一：運動の生理 p.242(大修館書店 1972)