

呼気再使用式酸素呼吸器について (第2報)

長谷川 浩 治*
末 吉 道 生*
小 方 義 信*

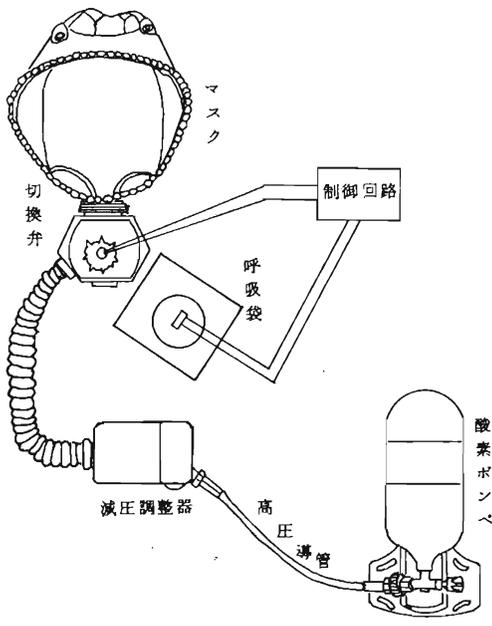
1. ま え が き

第1報で、1回の呼吸で排出される呼気を再使用、再々使用することにより、呼吸器の重量を増さずに、使用時間を倍增することを目的とした呼気再使用式酸素呼吸器について紹介したが引き続きマンテストを実施したので、切替弁作動機構とあわせて紹介する。

2 呼気再使用式酸素呼吸器の概要

第1報で本器の概要を説明したが、今回マンテストおよび製作上の難点から図-1に示すとおり構造を一部改良したので、その概要と切替弁作動機構を次に簡記する。ダイヤフラム弁スイッチによる呼気カウント回路を、呼気袋内スイッチを用いた呼気カウントセン

図-1 呼気再使用式酸素呼吸器の概要



* 第一研究室

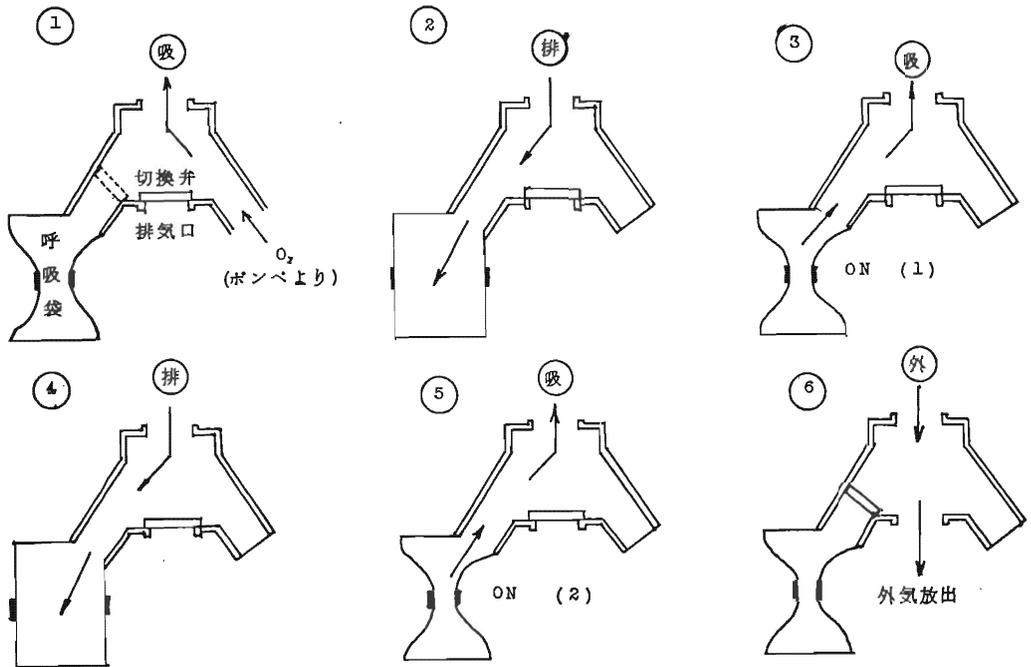
サーに切替え、切替弁と直接パイプで連結させる方式とした。即ち酸素ボンベから減圧調整器を介して放出された酸素は、吸気時に肺力弁、ゴム製可とう管をおって切替弁に達し、マスク内に入る。呼吸により放出される呼気は切替弁の作動により外気に放出されずに呼吸袋内に放出されるため、袋は呼気により膨張し、さらに再び吸気するときは、肺力弁は作動せず袋内呼気を吸気することになり袋内は収縮する。この時袋内スイッチの作動によりカウント¹の信号を送る。再使用の場合にはこの信号により切替バルブが排気側に働き、呼気はそのまま外気へ放出されるものである。再々使用の場合は、外気へ放出されることなくさらに袋内に入り、同様にカウント信号をおくったのち外気へ放出される。この切替弁作動状況を図-2に示す。

(切替弁作動状況)

- ① ボンベより酸素を吸い込む。(排気口閉)
- ② 袋内にはき出す。ボンベ、肺力弁の方には逆流しない。(排気口は閉、呼吸袋口は開)
- ③ 袋内呼気を吸い込む。(排気口は閉、呼吸袋口は開、袋内スイッチがONになり¹の信号を出す。
- ④ 再び袋内にはきだす。(排気口は閉、呼吸袋口は開)
- ⑤ 袋内呼気を再び吸い込む。(排気口は閉、呼吸袋口は開、袋内スイッチが二度目の信号をだす。この二度目の信号により、制御回路が働き呼吸袋口を閉ざす。
- ⑥ 排気口が開放され呼気は外気へ放出される。
- ⑦ ①の状態にもどる。

現在は①への復帰は製作上の問題から、タイマーおよび手動によって行っているが、将来は肺力弁スイッチを設け、ボンベより酸素を吸ったとき肺力弁スイッチが作動し、排気口を閉とする復帰回路を設ける予定である。以下このくり返しとする。

図2 切換弁作動状況



なお、電源回路故障時には、切替弁は袋側を閉とし、肺力開放式酸素呼吸器として使用できる。

3. 実験方法

(1) 呼気再使用式酸素呼吸器を用いて、下記の条件のもとに実施した。

ア、静止（正座位）における呼気再使用、再々使用時の呼吸気、（酸素、炭酸ガス）を連続分析する。

イ、自転車エルゴメーターを使用し、600KPM（≒600kg・m）負荷状態における呼吸気の酸素、炭酸ガスを呼気再使用、再々使用時について連続分析する。

ウ 呼吸器着装前後、無着装時又は面体のみ装着時について、それぞれ2分間呼吸気の酸素、炭酸ガス測定を実施する。

(2) マンテスタは、静止時においては10分間、600KPM負荷時（以下運動負荷時という）は5分間として実施し、実験前後に脈拍数を測定する。

- (3) 被験者はA(27才)、B(23才)の2名とする。
- (4) 呼吸量は、圧力計から求める。
- (5) 呼吸気採集は鼻腔部とする。

4. 実験使用機器

- (1) 連続呼気分析装置（MASPEQ R-1A S製作所）
- (2) 自転車・エルゴメーター（600KPM設定）
- (3) 酸素ポンベ（4ℓ）150kg/cm² 3本
- (4) テストガス 炭酸ガス6.8%，酸素100%

5. 実験結果

(1) 実験方法(1)アについては、被験者A、年齢27才、体重69kg、身長169cm、被験者B、年齢25才、体重55kg、身長170cmの2名によりマンテスタを実施した。測定は、本器を装着、静止座位として瞬時呼気分析により面体内鼻腔部に採集針を設定し、呼吸気を連続測定した。その結果は、表-1～3に示すとおりである。

(2) 実験方法(1)イについては、本器を装着し、自転車エルゴメーターにより600KPMの負荷を与えて実施した。なお被験者Aについては、再呼気使用時とし、被験者Bについては、再々呼気使用時としてそれぞれ炭酸ガスについて呼吸気を連続測定した。その結果は表-4及び表-5に示すとおりである。

6. 考察

前回マンテスタにおいては、袋内ガス濃度を酸素濃度計、炭酸ガス濃度計及びガスクロマトグラフにより測定したが、今回航空医学実験隊の瞬時呼気分析を使用し、実際に呼吸するガスをより正確に分析する意味で面体内鼻腔部にガス採集針を設定して、静止(座位)、運動時600KPMについて呼吸気の連続測定をおこなった。結果は、¹吸気時における平均酸素、炭酸ガス濃度を表-1～5に示す。これらの結果をあわせて考察すると、本器は1回目の吸気に際して肺力弁をとおして

酸素ポンベから100%酸素を吸気し、1~2回再呼吸するわけで理論的には最初の1回目吸気時に100%酸素を吸気すると思われるが、本呼吸器着直後を除き結果からみると、面体及び気道肺内死腔等の影響により表-1、表-2に示すとおり、酸素70~90%炭酸ガス3~4%と空気に比して若干炭酸ガス濃度の高いガスを吸気していることがいえる。

さらに2回目吸気(再呼吸)にあつては、図-3の

呼吸再々使用時の被験者BによるO₂濃度および図-4の呼吸再々使用時における静止-運動時のCO₂濃度に示されているように1回目の呼吸ガスを吸気することになり、その値は、酸素については4~5%が体内消費されたガスを、炭酸ガスにあつては約10%体内生産された呼吸を吸気している結果となつている。この2回目吸気ガスは前回に報告した1回目の呼吸ガス濃度と一致している。

表-1 呼吸再々使用時における吸気ガス濃度結果

時間(分)	静止(座位)		脈拍数前、後		酸素消費量(ℓ /min)				
	被験者:A		被験者:B		2				
	70.66/72.68		64.60/65.64		2.8~3.2				
	:		:		:				
		O ₂ (%)				CO ₂ (%)			
		被験者:A		被験者:B		被験者:A		被験者:B	
		1回目	2回目	1回目	2回目	1回目	2回目	1回目	2回目
0	41.5	34.0	20.5	18.0	4.5	5.5	3.8	3.5	
1	60.0	57.0	78.0	63.5	4.4	5.5	3.6	4.3	
2	66.0	53.0	77.5	69.0	4.3	5.2	3.4	4.1	
3	49.0	47.5	76.5	69.5	4.3	5.0	3.1	3.9	
4	43.5	44.5	75.0	69.5	4.3	5.0	3.0	3.7	
5	42.5	39.5	73.5	70.0	4.3	4.9	3.1	4.1	
6	—	—	74.0	70.0	4.5	5.0	3.0	3.6	
7	35.0	30.5	72.0	68.0	4.3	4.7	3.0	3.4	
8	41.0	35.5	72.0	69.0	4.2	4.9	2.8	3.35	
9	50.0	51.5	71.0	68.5	4.2	4.5	2.9	3.4	
10	—	—	70.0	69.0	4.1	—	—	—	

表-2 呼吸再々使用時における吸気 O₂ 濃度結果 (%)

時間(分)	静止(座位)		脈拍数前、後		酸素消費量(ℓ /min)		
	被験者:A		被験者:B		2.8		
	66/62		64/68		3.2		
	:		:		:		
		被験者:A			被験者:B		
		1回目	2回目	3回目	1回目	2回目	3回目
0	48.2	33.0	31.5	46.5	34.5	31.0	
1	90.5	86.5	85.0	80.0	70.0	67.5	
2	90.0	92.5	91.0	90.0	84.5	83.5	
3	93.5	93.0	91.0	93.5	89.5	88.5	
4	92.5	92.0	87.5	94.0	90.5	89.5	
5	88.0	90.0	87.0	93.5	91.0	89.0	
6	87.0	87.0	87.0	91.5	89.5	88.5	
7	87.5	87.0	85.0	91.0	88.5	87.5	
8	85.5	84.5	83.0	89.5	87.5	87.5	
9	85.0	83.5	82.0	89.0	86.5	84.5	
10	84.5	82.5	81.0	85.0	81.0	78.5	

表一3 呼気再々使用時における吸気 CO₂濃度結果 (%)

時間(分)	被験者: A			被験者: B		
	1回目	2回目	3回目	1回目	2回目	3回目
0	4.4	5.4	6.1	3.3	4.7	5.1
1	4.4	5.8	6.2	3.5	4.9	5.2
2	4.9	5.5	5.8	3.5	4.6	4.9
3	4.4	5.2	5.5	3.3	4.5	4.7
4	4.2	5.1	5.4	3.1	4.3	4.5
5	4.5	4.8	5.2	3.1	4.0	4.4
6	4.4	4.9	5.2	3.1	4.0	4.2
7	4.3	4.3	4.5	3.0	3.8	4.1
8	4.2	4.6	4.9	2.9	3.8	4.1
9	3.7	4.5	4.8	3.0	3.4	4.1
10	—	—	—	3.0	3.9	4.2

表一4 呼気再使用時の吸気 CO₂濃度結果

(%)

時間(分)	被験者: A		
	1回目	2回目	排気
0	4.85	5.75	7.30
1	4.80	5.70	7.20
2	5.00	5.80	8.10
3	4.65	6.00	7.70
4	4.85	5.40	7.80
5	4.65	5.40	7.80

表一5 呼気再使用時の吸気 CO₂濃度結果

(%)

時間(分)	被験者: B			
	1回目	2回目	3回目	排気
0	4.15	5.00	6.00	6.40
1	4.15	5.55	6.25	7.10
2	4.90	6.30	7.05	8.50
3	4.85	7.00	7.60	8.90
4	4.85	6.55	7.50	8.80
5	中止	—	—	—

図-3 呼気再々使用時の被験者Bによる O₂ 濃度

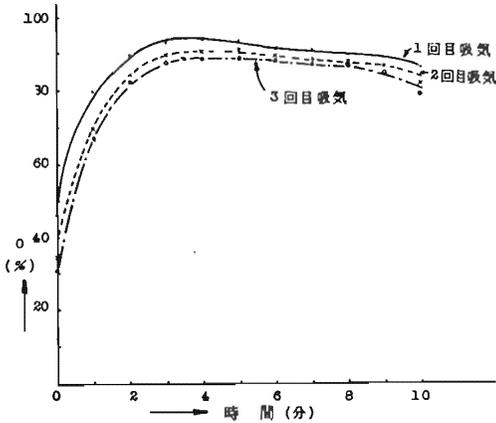
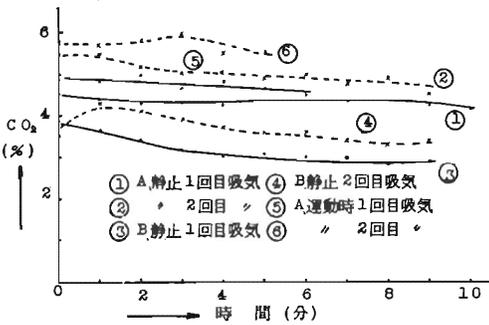


図-4 呼気再使用時における静止一運動時の C O₂ 濃度



次に3回目吸気いわゆる呼気再々使用時については、図-3、図-5に示すとおり、2回目吸気を体内で、酸素については2~3%が又、炭酸ガスにあっては6%がそれぞれ消費、生産された呼気を吸気する結果となっており、2回目吸気時に比して3回目吸気時での体内での酸素消費量、炭酸ガス生産量の増大率が減少していることがわかる。

又運動状態との比較をみると、図-4に示したように炭酸ガスについては、1回目吸気4.8%、2回目吸気5.8%と静止時に比して増大率が11~14%と顕著な増加がみられる。さらに図-5に示した呼気再々使用時においては、静止時の炭酸ガス濃度3~4.5%に対して運動負荷時には6~7.5%と急激な増加が認められ、被験者Bは息苦しさを感ず4分で中止した。

実験における本器の使用感は図-6に示す静止一運動時における呼吸数の変化状況を見るとわかるとおり静止状態においては、呼気再使用、再々使用とも若干の呼吸数の増加が認められたが息苦しさを苦痛感はなく呼吸もみだれることはなかった。しかし再々使用時においては酸素消費量が理論どおり少なくなならない結果からみて、排気後、肺力弁をとおして酸素を吸気す

図-5 呼気再々使用時、被験者Bによる静止一運動時の C O₂ 濃度

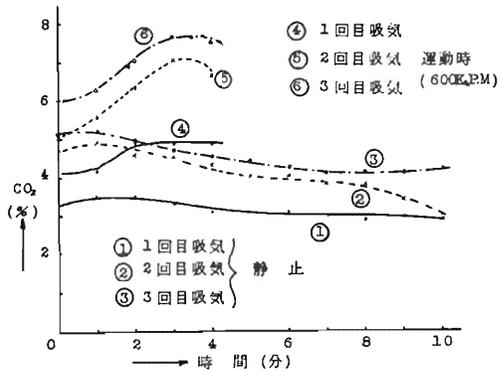
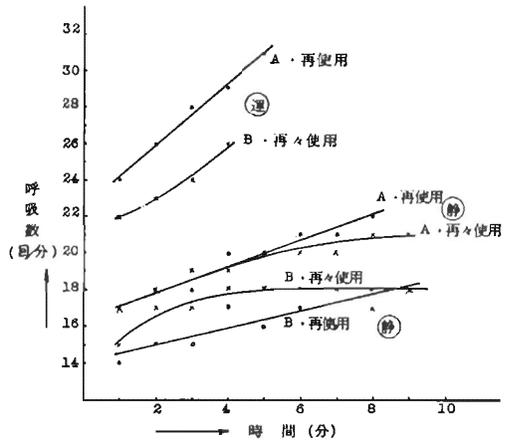


図-6 静止一運動時における呼吸数の変化状況



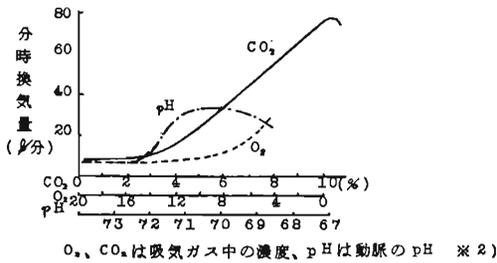
る際に無意識に深い呼吸をするのではないかとと思われる。次に運動時においては、呼吸数、呼吸の深さが増大し呼気時若干の抵抗を感じた。さらに呼気再々使用時には呼気温度が上昇し、呼吸にやや苦痛を感じた。

これらの原因については、表-6(文献)に示した吸入炭酸ガスと呼吸量の関係からうかがうことができる。すなわち表-6は、吸入炭酸ガス3%までのガス量のあいだでは呼吸数、呼吸の深さもあまりかわらないが、炭酸ガスが2倍の6%程度になると呼吸数及び呼吸の深さが著しく増大することを示している。これを今回実施したマンテスト実験の結果と比較してみると、再呼気、再々呼気時においては4~7%の炭酸ガスを吸気していたわけであるから、この条件においては、呼吸数、呼吸の深さが増し、また運動時には呼吸量が相乗して増大するため、呼吸量が呼吸袋容積以上となり呼気時の圧迫や、さらには切換弁、排気弁等の通気抵抗の増大も加わって、息苦しさを感ず

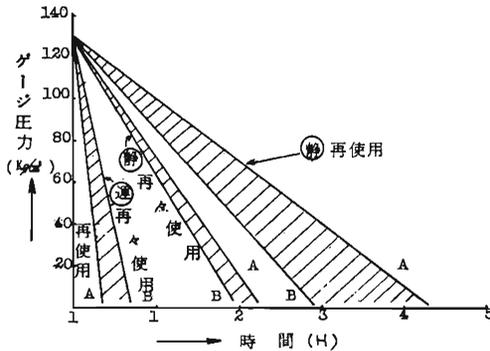
表一六 CO₂ 吸入と呼吸量 ※1

吸入 CO ₂ %	呼吸の深さ (C C)	呼吸数(毎分)	肺 CO ₂ %	胞 CO ₂ %
0.04	673	14	5.6	
0.79	739	15	5.5	
2.02	864	15	5.6	
3.07	1,226	15	5.5	
5.14	1,771	19	6.2	
6.62	2,104	27	6.6	

図一七 O₂, CO₂, PH と換気量 (COMROE から)



図一八 吸気量による使用可能時間



せたこともうなずける。次に使用時間については図一八に示したように静止状態の呼吸再使用方式で3~4時間、呼吸再々使用方式では2時間の長時間の使用が可能な結果を得た。(第一報で報告した使用時間と同様の値となった。)しかし運動時には、酸素消費量が極端に増大するため使用時間は20~40分程度に短縮される結果となった。したがって即長時間用としては現段階

では問題がある結果を示した。

使用時間について理論上は、呼吸利用回数が多い程、延びるはずであるが、実験の結果では表一六、図一六に示すように炭酸ガスの増加にともない呼吸数、呼吸の深さ換気量が増大し、さらに運動によるエネルギー代謝率の上昇に伴って換気量が倍増するため、当初予測した程には使用時間がのびなかった。呼吸利用回数の設定について実験の結果を総合して検討すると、呼吸再々使用は炭酸ガス濃度が高くなるため、現在の機構では、呼吸の再使用までが適当であると思われる。また、炭酸ガスの増加は、高酸素濃度下においても増大するため、酸素は100%である必要はなく、30%程度でも十分効果があると思われるが、最低必要酸素濃度については炭酸ガス除滅方法とあわせて今後さらに検討が必要である。

6. おわりに

本呼吸器は現用呼吸器を使用し、呼吸を再使用することにより使用時間を延長するものであるが、今回及び第一報の実験の結果、炭酸ガス吸収剤等を使用せず呼吸を再使用することは炭酸ガスの増加により限度があり、利用回数はほぼ再使用までが適当であることがわかった。また静止状態等使用方法によっては3時間という長時間使用が期待出来ることから未完成である切替復帰回路と考察で述べた検討事項をさらに研究していくつもりである。最後に当マントテスト実験に協力、御指導をいただいた自衛隊航空医学実験隊第三研究部長の万木良平氏に、本誌上をもって衷心より謝意を表する。

参考文献

※1) 現代保健体育学大系

人体生理学 猪飼道夫編

※2) 臨床生理学 下巻 鈴木泰三, 星猛編