呼吸ガス採集法の検討

The Effects of Inner Diameter of Respiratory Valve on Pulmonary Ventilation

日本体育協会スポーツ科学研究室
Laboratory for Sport Sciences in J.A.S.A.

塚 越 克 己 加 賀 谷 熙 彦
K. Tsukagoshi H. Kagaya

雨 宮 輝 也 黒 田 善 雄
T. Amemiya Y. Kuroda

(受付 昭和43年3月1日)

The effects of the inner diameter of respiratory valve on the pulmonary ventilation and oxygen uptake were studied.

Five healthy male subjects were asked to run on a treadmill with 8.6% slope. Each subject equipped a respiratory valve with five kinds of diameter (19mm, 24mm, 30mm, 34mm and two valves of 19mm) performed all-out running at a given speed at which he could run about 6 minutes. In all experiments, the inner diameter of the connective tubes in valve, stop cock and bag were 30mm.

From the experiment, following results were obtained; up to diameter of 30mm the larger the diameter of valve, the higher became the pulmonary ventilation, accompanied with the increasing oxygen uptake. However, a large diameter of 34 mm did not produce further increase in ventilation. The difference in ventilation between 19mm and 30mm was found in such an intensive work that demanded over 5011/min. of ventilation and it increased related to the increment of work intensity.

It is concluded that in studying the respiratory function during severe work, it is better to use respiratory valve as large as 30mm in diameter.

運動能力あるいは生理的機能を最高度に発揮させ、これを数量的に測定することは体育学研究に欠くことの出来ない研究方法のひとつである。我々がこの測定を行なう際に慎重に検討しておかねばならないことのひとつに、測定法あるいは測定器具が測定すべき能力を十分に発揮させるに足るものであるか否かということがある。

本研究はエネルギー代謝、最大酸素摂取量、あるいは負荷量の測定に使用する呼吸ガス採集に関する器具について検討を試みたものである。

I 研究の目的

本研究室は持久性の評価にトレッドミル法を使用して、最大換気量、最大酸素摂取量等の測定を行っているが、時として被検者から走行中十分に呼吸運動、特に呼気運動がおこなえないことを訴えられる。そしてその理由として、呼気に際し呼

気弁の抵抗を感じる事が述べられる。そこで我々は東京ユニバーシアード夏季大会陸上競技候補選手の最大酸素摂取量測定の際、従来の採気用マスク（呼気口内径 19mm）として使用されているものを図1に示すように呼気口を2口に改造し使用した。

Fig. 1

Table 1. The effects of inner diameter of respiratory valve on respiratory functions.

Name	weight (kg)	height (cm)	all-out time		Max. $\dot{V}_E$ (BTPS) (l)		Max. $\dot{V}_{O_2}$ (l)	
			19mm	19mm×2	19mm	19mm×2	19mm	19mm×2
K. O.	50.0	158.0	8.00	9.00	108.63	141.98	3.702	4.522
K. S.	60.5	166.5	8.00	8.00	137.80	161.52	4.604	4.879
M. S.	60.3	173.4	4.00	6.03	96.78	120.92	3.553	4.070
J. S.	51.2	170.5	8.33	7.51	107.74	127.04	3.827	3.778
T. Y.	70.0	179.5	6.00	7.00	109.05	120.78	4.077	4.825

Slope of treadmill : 8.6%

Speed : The subject runs at a speed of 240 m/min. and at the end of 5 minutes the speed increase to 260 m/min., and at the end of each succeeding minute the speed increase by 20 m/min. interval.

Subjects : Long distance runner in Japan.

Table 2. Schedule of experiments

1967. 7.20 : 1) Practice of treadmill run.

2) Measurement of cardio-respiratory functions (First trial without respiratory valve).

1967. 7.21 : Measurement of cardio-respiratory function using 19mm diameter valve (First trial).

1967. 7.22 : Measurement of cardio-respiratory function using two valves of 19mm diameter valve.

1967. 7.23 : Measurement of cardio-respiratory function using 25mm diameter valve.

1967. 7.25 : Measurement of cardio-respiratory function using 34mm diameter valve.

1967. 7.26 : 1) Measurement of cardio-respiratory function using 30mm diameter valve.

2) Measurement of cardio-respiratory function (second trial without valve).

1967. 7.27 : Measurement of cardio-respiratory function using 19mm diameter valve (second trial).

Table 3. Meteorological conditions at 12 : 00 in laboratory.

	room temperature	humidity	atmospheric pressure	weather
1968. 7.20.	23.0°C	65.0%	758.6mmHg	fine
21.	25.0	66.0	759.8	"
22.	21.5	63.0	757.8	"
25.	22.2	70.0	754.9	"
26.	23.5	63.0	754.3	"
27.	23.6	72.0	754.2	"

そして従来のマスクと改造マスクによるそれぞれの測定値を比較した結果、表1に示すように、2口マスク使用時の走行中最大換気量は10~20lの増加を示し、また酸素摂取量、持久走時間も増大した。

この結果から、従来使用してきた採気マスク呼吸口は換気量が多量に増大するような作業中の呼吸ガスを採用するのに小さすぎるのではないかと考えられた。われわれは呼吸口の大きさと、作業中換気量との関係を明らかにする目的で以下に述

べる研究をおこなった。

II 実験方法

実験は表2に示すように昭和42年7月20日より、表3に示す気象条件のもとに日本体育協会スポーツ科学研究室でおこなった。

被検者は表4に示すように5名でいずれも大学陸上競技部に所属する健康な青年男子である。

実験では被検者の換気量を最高に増大させる³⁾ために、作業負荷として昇り5度の傾斜をもつ

Table 4. Anthropometric and some other characterizing data of subjects.
All subjects belong to athletic club of Tokyo Gakuzei Univ.

Name	age	birth date	weight (kg)	height (cm)	events	experience years
M. Asakura	21	1945. 9. 16	53. 6	168. 0	long distance	10. 0
I. Shiraishi	20	1946. 10. 4	60. 2	166. 5	middle distance	5. 0
K. Nagami	20	1946. 12. 4	63. 0	170. 0	javelin throw	3. 5
K. Nukui	22	1945. 4. 15	65. 4	168. 0	long distance	9. 0
S. Aoki	21	1946. 10. 3	70. 0	175. 8	sprint	9. 3

レッドミル上のオールアウト走を用いた。各被検者の走行速度は表5に示した。

この走行速度は各被検者の呼吸・循環機能が十分に発揮されるのに必要な時間²⁾だけ作業を持続できるように選定されたものである。

我々は実験に先きだち、呼吸口内径 24mm, 30mm, 34mm の3種の採気用マスクを製作した。これら3種のマスクとさきに製作した呼吸口2口のマスク、従来使用してきたマスク（呼吸口 19mm）を装置した場合および採気マスクを装着しない場合の合計6通りにつき、上記の作業負荷をそれぞれの被験者に課し、次に述べる項目の測定をおこなった。なお採気マスクのデッドスペースはいずれも約 200ml である。

1. 心拍数：胸部双極誘導の心電図によった。
2. 呼吸数：サーミスター法による呼吸曲線からもとめた。

記録器は三栄測器製ユニバーサルレコーダーを使用し、ペーパースピード 1.5cm/sec の条件により記録した。なお心拍数は運動初期ならびに回復初期は 30 秒ごと、運動中ならびに回復後期は 1 分ごと、12 秒間の心電図 R 棘をかぞえ 1 分間当りの値に換算した。呼吸についても同様にかぞえ 1 分間当りに換算した。

3. 走行中換気量, 最大換気量
4. 走行中酸素摂取率, 酸素摂取量, 最大酸素摂取量
5. 走行中炭酸ガス排出%, 炭酸ガス排出量, 最大炭酸ガス排出量

3~5 について呼吸はダグラスバックに集め、労研式大型ガス分析器によって分析測定した。なお走行中の呼吸ガスの採取は 1 分間隔で行い、走行終了時の採気時間が、40 秒に満たないものは切り捨てた。

本研究は採気マスクの呼吸口径を中心に検討を進めたものであるが、採気マスクの外に十分な換気をさまたげる原因として接続管、三方コック、ダグラスバックならびにそのコックが関係しているものと考えられる。

我々は採気用マスクの検討に先立ち、まずこれら接続管、コック類について検討を加え、これら器具は被検者の換気能力を十分に発揮させることのできるものを使用し、マスク呼吸口の口径にのみ相違があるだけにして、本実験をすすめることにした。そのために次のような予備実験をおこなった。すなわち、一般に呼吸機能の測定に用いている 13.5I-Benedict-Roth 型レスピロメーターを使用し、接続管の口径と最大換気量との関係をみた。

レスピロメーターの接続管をはずし、一方をとじ、長さはいずれも 1m で内径がそれぞれ 10mm, 14mm, 18mm, 25mm, 32mm の接続管をつけて最大換気量を測定した。なお同じ内径の呼吸口（弁なし）を持つ採気マスクを使用した。測定結果は図3に示す通りである。

接続管の内径 25mm までは、内径が増すに従い順次 MBC は増加するが、内径 25mm, 32mm 及び従来使用しているレスピロメーターによる MBC はほとんど等しいことがわかった。

したがって接続管の内径は 25mm あれば MBC 約 200l の能力を持つものでもその能力を十分に発揮できるものと考えられる。しかし我々は安全性を加味して、本実験に用いる接続管の内径は 30mm とした。

ただし従来マスクを使用する実験の際は従来通り、接続管の内径 20mm, コック内径 20mm のものを使用することにした。

また従来本研究室で連続採気を使用している切

Fig. 3 Relation between MBC. and Diameter of Connective Tube

Fig. 2-1

Fig. 2-2

換用三方コックは、T字型に設計されたものであり、直角方向に切換えることは呼吸抵抗を増加させる一因でもあるため図2に示すように設計した三方コックを製作した。コックの内径は先に決めた接続管の内径と合せ30mmとした。

またダグラスバッグについては換気量が増大しても余裕を持って採集出来るように、200lの容量を持つものを使用し、バックのコックは従来と同一の機構を持ち内径30mmのものを製作した。

III 結 果

1. オールアウト走時間

各マスクを用いたときのそれぞれのトレッドミルオールアウト走時間を表5に示した。被検者永見は19mm口径のマスクを使用したときに比較的よい成績をしめたが、他の被検者はいずれも口径の大きいマスクを使用したときに持久走時間がながかった。マスクを装着しない場合と19mm口径のマスクを使用した場合の測定は2回行なった。これは1回目の測定で被験者が測定に不なれのため能力を十分に発揮できないのではないかとこのことを考慮して、2回目の測定をおこなったからである。以下にのべる結果は、いずれも2回目の測定値である。

Table 5. Relation between Diameter of Resp. Valve and All-out running time

Diameter	Asakura	Shiraishi	Nagami	Nukui	Aoki
free ①	* 3' 21"	* 3' 28"	5' 00"	5' 00"	4' 42"
free ②	7 30	5 32	6 00	4 08	6 23
19mm ①	—	—	4 00	3 38	4 31
19mm ②	5 30	5 40	5 44	4 05	5 50
19mm×2	7 15	5 58	4 43	4 31	5 30
24mm	7 00	6 15	6 30	4 45	6 02
30mm	8 13	6 02	5 12	4 30	6 00
34mm	8 02	7 02	5 40	4 38	6 12
slope	5°	5°	5°	5°	5°
speed	220m/min.	220m/min.	200m/min.	240m/min.	200m/min.

* speed : 240m/min.

Fig. 4 Changes of Heart Rate

2. 心拍数変動

図4に走行中の心拍数変動の1例をしめし、表6に5名の被検者のオールアウト時の心拍数をしめた。図4の例では、走行中心拍数はいずれの口径の場合もほぼ同様の経過をたどって増加し、最大値をしめしてオールアウトにいたっている。19mm口径の時に走行中、オールアウト時ともに心拍数がやや低い、表6にみられるように他の被験者では、オールアウト時心拍数とマスク口径の大きさとは関係が認められない。

3. 呼吸数変動

図5に呼吸数変動の一例をしめた。この例では、19mm口径のマスクを使用したときは呼吸数

は走行中、オールアウト時ともに低い。各被検者のオールアウト時呼吸数を表7にしめたが、全被検者とも19mm口径のマスクを使用したときの呼吸数が低い。

特に体格の大きく換気量の大きい被検者青木(身長175.8cm、体重70.0kg)、貫井(身長168.0cm、体重65.4kg)の場合に差が大きい。貫井が30mm 24mm口径のマスクを使用したときのオールアウト時呼吸数は毎分100回という値を示めたのにたいし、19mm口径のときは毎分65回にとどまっている。この被検者貫井のオールアウト時の心電図、呼吸曲線の記録を図6にしめた。

Table 6. Relation between diameter of Resp. valve and maximal values for heart rate at all-out.

Subj.	Asakura	Shiraishi	Nagami	Nukui	Aoki
Diameter					
free ①	—	—	188	180	193
free ②	184	191	183	178	190
19mm ①	—	—	177	180	180
19mm ②	176	193	184	176	190
19mm×2	181	192	182	175	188
24mm	183	188	182	178	187
30mm	186	191	180	186	183
34mm	181	191	182	177	185

Fig. 5 Relation between Changes of Resp. Rate and Diameter of Resp. Valve

Table 7. Relation between diameter of Resp. valve and maximal values for respiratory rate at all-out.

Subj.	Asakura	Shiraishi	Nagami	Nukui	Aoki
Diameter					
free ①	—	—	72	100	73
free ②	64	75	74	100	73
19mm ①	—	—	53	65	55
19mm ②	59	63	56	65	56
19mm×2	62	73	63	95	65
24mm	61	71	60	100	71
30mm	63	75	57	100	67
34mm	63	72	57	98	67

4. 換気量

図7-1, 2に走行中換気量の変動をしめした。走行開始初期の換気量の各マスク間の差異は比較的少ないが、時間の経過にしたがって19mm口径のマスク使用時の換気量は他のマスク使用時の

換気量に比して増加が少ない。すなわち、換気量が増大するにしたがい、従来のマスクでは十分な換気がおこなわれていないことをしめしている。

各マスクと走行中最大換気量との関係を表8、図8にしめした。従来のマスク使用時の最大換気

Fig. 6 Relation between Diameter of Resp. Valve and Heart Rate and Resp. Rate

量が 103-127l/分 (BTPS) の値であるのにたいし、24mm のマスク使用時には 130-164l/分(BTPS)、30mm のマスク使用時には 133-171l/分(BTPS) に増大する。呼吸口の口径をさらに大きく 34mm にしたときの値は 129-167l/分で 30mm の口径に比してとくに増大をしめしていない。

13.5l-Benedict-Roth 型レスピロメーターで測定した MBC と各マスクの走行中換気量との比率を図 9 にしめた。

19mm 口径のマスクでは各被検者の MBC のおよそ 60% の換気量を走行中に発揮しているのにたいし、30mm 口径マスクではおよそ 80% に増大している。

5. 酸素摂取率

図 10 にみられるように、走行中酸素摂取率は、次第に低下してオールアウト状態に

Fig. 7-1 Changes of Pulmonary Ventilation

Fig. 7-2 Changes of Pulmonary Ventilation

Table 8. Relation between diameter of Resp. valve and maximal values for Pulmonary ventilation in running.

Subj.		Asakura	Shiraishi	Nagami	Nukui	Aoki
Diameter						
19mm (1st test)	S	—	—	92.42	97.35	92.87
	B	—	—	112.20	136.45	112.56
19mm (2nd test)	S	86.90	100.76	84.39	103.66	87.56
	B	106.10	123.03	103.04	126.57	119.81
19mm×2	S	118.46	122.51	106.09	135.00	131.51
	B	143.33	153.60	128.37	163.35	159.39
24mm	S	123.80	129.14	106.82	129.12	135.41
	B	150.91	157.42	129.68	156.75	164.39
30mm	S	120.99	134.86	108.94	134.67	140.28
	B	147.73	164.66	133.02	161.60	171.28
34mm	S	117.44	132.13	107.03	130.62	138.30
	B	142.57	160.14	129.72	158.31	167.62

S : STPD B : BTPS

Fig. 8 Relation between $\dot{V}_E$ and Diameter of Respiratory Valve

達するが、この例での大きな特徴は、19mm 口径のマスクを使用したとき、摂取率は走行中比較的高い水準を保ち、オールアウト時にも他のマスク使用時より高い値をしめしていることである。

他の被検者では 19mm 口径のとき走行中摂取率は必ずしも高い水準を保つとは限らないが、

表 10 にみられるようにオールアウト時摂取率は各被検者共通に高い値をしめしている。

6. 酸素摂取量

酸素摂取量が採気マスク呼吸口の口径によって影響をうけるか否かは重要な問題である。図 11 に走行中酸素摂取量の変動の 1 例をしめた。図

Table 9. Relation between MBC, diameter of Resp. valve and maximal values for Pulmonary ventilation.

Subject		Asakura	Shiraishi	Nagami	Nukui	Aoki
MBC (l)		156.7	167.2	147.5	179.5	198.3
MAX. $\dot{V}_E$ (l) BTPS	19mm ①	—	—	112.20	136.45	112.56
	19mm ②	106.10	123.03	103.04	126.57	119.81
	19mm×2	143.33	153.60	128.37	163.35	159.39
	24mm	150.91	157.42	129.68	156.75	164.39
	30mm	147.73	164.66	133.02	161.60	171.28
	34mm	142.57	160.14	129.72	158.31	167.62

Fig. 9 Relation between Max. $\dot{V}_E$ / (MBC × 100) and Diameter of Resp. Valve

Table 10. Relation between diameter of Resp. valve and Oxygen removal at all-out.

Subj.	Asakura	Shiraishi	Nagami	Nukui	Aoki
Diameter					
19mm ②	37.2	40.9	44.4	40.3	41.8
19mm×2	30.2	29.1	35.2	31.0	31.5
24mm	31.6	31.5	36.4	37.0	32.9
30mm	32.3	32.5	36.2	34.7	35.6
34mm	33.6	32.2	36.4	32.8	33.9

の例では、19mm 口径のとき走行開始から3分経過まで酸素摂取量は必ずしも低い値といえない。しかし他の口径のマスク使用時に摂取量が3分経過後も同一水準を保つか、あるいは増加をつづけるのにたいし、19mm 口径のマスクの際は、3分をこえてからむしろ減少してオールアウトになっている。

各被検者の最大酸素摂取量とマスク呼気口の口

径との関係を表 11, 図 12 にしめた。

両者の関係は換気量の場合と同様で、19mm 口径のときは走行中酸素摂取量の最大値が 3.7~4.2 l/分であるのにたいし、30mm 口径では 4.2~5.0 l/分の値をしめしている。

7. 炭酸ガス排出量

走行中炭酸ガス排出率は図 13 にしめす例と同様に各被検者とも 19mm 口径のマスク使用時に

Fig. 10 Changes of $\dot{V}O_2$ Removal Fig. 11 Changes of $\dot{V}O_2$ UptakeTable 11. Relation between diameter of Resp. valve and maximal values for oxygen uptake (l/min).

Subj. Diameter	Asakura	Shiraishi	Nagami	Nukui	Aoki
19mm ①	—	—	3.870	4.379	3.836
19mm ②	3.672	4.058	4.009	4.177	4.026
19mm×2	3.708	3.834	3.957	4.308	4.721
24mm	4.245	4.084	4.029	4.777	4.754
30mm	4.213	4.281	3.960	4.921	4.994
34mm	3.946	4.273	3.942	4.510	4.688

Fig. 12 Relation between Max. $\dot{V}O_2$ and Diameter of Resp. Valve

Fig. 13 Changes of $\text{CO}_2\%$ Fig. 14 Changes of $\dot{V}\text{CO}_2$ Fig. 15 Relation between Max. $\dot{V}\text{CO}_2$ and Diameter of Resp. Valve

大きな値をしめした。しかしながら図 14 で走行中炭酸ガス排出量の変動をみると 19mm 口径のとき低い値をしめし、図 15 の走行中最大炭酸ガス排出量と呼吸口の関係をみても呼吸口 19mm のときに低い値をしめした。

IV 考 察

1. 接続管及び切換コックについて
作業能力の評価¹⁾⁹⁾、作業強度の測定⁶⁾¹⁰⁾、トレーニング効果の検討⁴⁾等に、しばしば酸素摂取量

の測定がおこなわれるが、酸素摂取量を測定するためには、換気量の測定をおこなわなければならない。

われわれは、換気量の測定に、現在一般に使用されている労研式の採気マスク、ダグラスバッグを使用しているが、最近、競技選手の呼吸機能を測定する機会が多くなるにしたがい、従来の採気マスクでは、選手の作業時換気量を測定することに困難を感じる例があらわれてきた。その理由は、作業にともなって盛んになる呼吸運動がマス

クの呼気口の狭すぎることによって阻害され、選手的能力が十分に発揮されないということである。このことは、前述のように、一流の中、長距離ランナーの換気量の測定に2口マスクを使用し、それによって得た値を従来のマスク使用による測定値と比較した結果たしかめられた。そこで本研究では、従来のマスクの他に、24mm、30mm、34mmの異なる口径の呼気口を有する採気マスクを製作し、これに前述の2口マスクを加えて5種類のマスクを準備し、それぞれのマスク使用時の換気量の比較を試みそれによって作業時換気量の測定に十分な呼気口の口径を決定しようとした。

予備実験の段階で、換気運動に影響を与えるものとして、マスク呼気口の他に接続管、三方コック、ダグラスバッグのコックの口径が考えられるが、これらの採気器具についても若干の検討を加えた。

接続管の口径の決定のために、13.5l-Benedict-Roth型レスピロメーターのマウスピース接続活栓部と接続ゴム管の部分を改造し、数種の異なる内径の接続管を使用して、それぞれにおける最大換気量(MBC)を測定した。5名の青年男子の被検者のMBCは接続管の内径が18mm以下のときには、各自の最大値にいたらないが、25mmではほとんど最大値に到達している。これによって、われわれは、換気量の個人差、安全性を考慮のうえ、接続管の内径を30mmとした。また、三方コックの呼気通過口も改造し、バックのコックも同口径に作りかえた。

本研究で使用した接続管の内径は、D. B. Dill⁵⁾によって報告されている接続管の内径の40mm、B. Saltin and P. O. Åstrand⁶⁾、あるいはN. B. Slonin等⁷⁾の使用している接続管の内径35mmよりも小さい。しかし、かれらの使用している呼気口の直径は、N. B. Slonin等の場合は不明であるが、Dillのものが30mm、Saltinのものが28mmである。いずれも、マスクの呼気口よりも接続管の内径が大きくなっている。これは、生理的にその径が必要というのではなく、むしろ、呼吸マスクと接続管の接続機構のためにそうなったものと考えられる。

2. オールアウトタイム、ならびに心拍数、呼吸数に

ついて

各被検者の呼吸循環機能が十分に発揮されるように選定されたそれぞれの速度のオールアウト走の時間は、5名中4名が従来のマスク着用時に短かった。このことは、従来のマスクを使用することが、被検者の走行を持続するのに不利な影響を与えることを示している。

各被検者のオールアウト時心拍数はマスクの種類の影響を受けないようであるが、呼吸数の比較からは、明らかにマスクの口径の大きさが呼吸機能に影響しているように思われる。

貫井(Nukui)の例では、従来のマスクを使用したときに、65回/分の最大呼吸数を示したのに対し、マスクを使用しないとき、あるいは他のマスクを使用したときには、95~100回という値を示した。

興味深いことは、体格の大きい被検者のほうが、従来のマスク使用時と他のマスク使用時との呼吸数の差が大きいという傾向がみられることである。おそらく、呼気口が小さいときには換気量の増加にしたがい弁の抵抗をうけるため、強い呼吸運動をおこなわなければならず、その結果体格が大きく換気量の多い被検者ほど呼吸回数が少くなるのではないかと考えられる。

3. 走行中換気量について

次に走行中換気量の変動から呼気口の大きさの影響をみると、いずれの被検者でも従来のマスクを使用したとき換気量の少ないことがしめされた。そして口径の大きなマスク使用時の換気量との差は、走行時間の経過にしたがって大きくなることが認められた。このことは、走行初期の換気量増加が少ない時期には、呼気口の口径の大きさがあまり影響を与えないが、その後換気量が増大するにしたがって次第に影響が大きくなることをしめすものである。

走行中の換気量の最大値と呼気口の口径との関係は、採気マスクの呼気口が24mmあれば、ほぼ最大に近い換気量を測定できるものと考えられる。しかし、5名の被検者のうち体格の大きい2名の被検者は、30mmでさらに大きな測定値をしめたので、24mmの口径で十分とはいえないようである。

しかし、34mmの口径の場合でも換気量は内径

30mm のそれを上回することは認められなかった。したがって、測定の対象が本研究の被検者のように、換気能力が毎分 200l を越えない程度であれば、30mm の口径で採気をおこなえば、十分であると考えられる。

走行中換気量の最大値と MBC との比率の値をみると、従来のマスクを使用したときの走行中最大換気量は、MBC のおよそ 60% になるが、呼吸口の口径が大きくなるとこの値は、およそ 80% に達する。

MBC の値に対する、作業中の最大換気量の割合については、N. Balfour らの報告⁹⁾がある、かれらは、38mm の内径の接続管、35mm の内径の三方コック等を使用して、50 名の男子鍛練者の最大酸素摂取量の測定をおこない、その報告の中で、MBC にたいする走行中最大換気量の割合は平均 83% であったと述べておりこの値は本研究の値とほぼ等しい。おそらく、呼吸口の口径が十分に広ければ、走行中の最大換気量は MBC のおよそ 80% に達すると考えられる。

走行中の呼吸の採集に用いられるマスクの呼吸口の口径に言及したものと、前述の D.B. Dill の報告⁵⁾、B. Saltin 等⁸⁾の報告がある。Dill は 30mm、Saltin らは 28mm の口径の呼吸口のマスクを使用している。Saltin は、競技種目別選手の最大酸素摂取量の測定に、この口径を用いている。

なお本研究では、呼吸弁については、特別の考慮をほらわずに従来と同様のゴム製の弁を使用した。呼吸口の口径を 30mm 以上にした場合には、弁の取付けに留意しなければ弁の開閉が十分におこなわれないということが認められ、このことは特に換気量の少ない安静時の測定において顕著であった。このことは、呼吸口の拡大とともに弁の構造にも考慮する必要性が生ずることをしめすものである。

4. 酸素摂取率について

呼吸口の内径の大きさの呼吸に及ぼす影響は、単に呼吸数、換気量だけでなく、酸素摂取率にも現われる。酸素摂取率の走行中の変動を呼吸口の内径別に比較すると、走行中は従来のマスク使用時に比較的高い値をしめすものと、逆に低い値をしめすものがある。

しかし、オールアウト時にしめす摂取率は、各被検者とも、それぞれ従来のマスク使用時よりも他のマスク使用時のほうがより低かった。酸素摂取率を肺における呼吸効率の指標⁷⁾と考えるならば、これらの結果の意味することは、従来のマスクを使用して走行を持続する時、呼吸効率が走行維持不能の状態に低下する以前に何らかの原因によってオールアウト状態が招来されるということになる。その原因を明らかにするためには、さらに検討を加えなければならないが、呼吸に含まれる炭酸ガスの割合も、従来のマスク使用時より口径の大きいマスク使用時に低い値をしめしてオールアウトにいたることから、マスクの口径が単に呼吸数、換気量のみに影響を与えるだけでなく、呼吸の効率にも作用していることが考えられよう。

5. 酸素摂取量について

最大酸素摂取量は、有酸素的作業能力の有力な指標¹⁾とされているので、この値が従来の換気マスク使用時に小さいということは、作業能力の評価のうえでマスクの使用に注意を払わなければならないことをしめしている。酸素摂取量の値からみても、30mm の口径が望ましいと考えられる。

以上の結果から、従来用いられている採気マスクは、激しい作業の際の換気量測定には不十分であることが明らかになった。ここで問題となることは換気量がどの程度増大したときにマスクの影響が生じるかということである。この点を明らかにするために、同一被検者が2種の異なる口径の呼吸口を有すマスクを装着して、それぞれ同一の速度でオールアウト走をおこなったときに、それぞれの走行時の対応する時間における換気量を比較し図 16 を得た。

図 16 にしめすように 30mm 口径のマスク使用時の換気量と 19mm 口径のマスク使用時の換気量との差は、換気量の増大に従って大きくなる。5 名の被検者の測定結果から両方のマスクのそれぞれの値が一致する点を推測すると、およそ 50l/分の値になる。したがって、50l/分以上の換気量の要求される作業での換気量の測定に、従来のマスクを使用することは妥当でないと考えられる。

Fig. 16 Relation between $\dot{V}_E$ and Diameter of Resp. Valve

V 結 論

1. 作業時呼気の採集に必要な採気マスク呼気口の口径について検討した。
2. 内径 24mm, 30mm, 34mm の呼気口を有する採気マスクならびに内径 19mm の呼気口を 2 個有する採気マスクを製作した。
3. 接続管, コック類についても若干の検討を加え, 内径 30mm に改造し実験に使用した。
4. 5 名の青年男子被検者にトレッドミルオールアウト走をおこなわせ, マスク別に換気量, 酸素摂取量, 炭酸ガス排出量, 呼吸数, 心拍数の測定をおこない, これらの値と呼気口の口径との関係を比較検討した。
5. これらの比較検討により, 従来の採気マスク (呼気口内径 19mm) を使用して毎分 50l 以上の換気量をともなう作業時の呼気の採集をおこなうことは, 測定法として不十分であることがわかった。
6. 毎分 50l 以上の換気量をともなう作業時呼気の採集には呼気口の内径は 30mm は必要であると考えられる。また内径 30mm の呼気口を有するマスクでは毎分約 200l の換気量まで支障な

く測定可能であると考えられる。

文 献

- 1) Åstrand, I. (1960) : Aerobic work capacity in men and women with special reference to age. *Acta Physiol. Scand.* 49; 45-60.
- 2) Åstrand, P. O., and B. Saltin (1961) : Oxygen uptake during the first minutes of heavy muscular exercise. *J. Appl. Physiol.* 16. (6) ; 971-976.
- 3) Åstrand, P. O., and B. Saltin. (1961) : Maximal oxygen uptake and heart rate in various types of muscular activity. *J. Appl. Physiol.* 16(6) ; 977-981.
- 4) Cureton, T. K. and E. E. Phillips. (1964) : Physical fitness change in middle-aged men attributable to equal eight-week periods of training, non training and re-training. *J. Sports Med.* 4-2, 87-93.
- 5) Dill, D. B. (1966) : Assessment of work performance. *J. Sport Med.* 6(1), 3-8.
- 6) Furusawa, K. (1952) : Relative metabolic rate of work-R. M. R. Part I. Its definition and introductory remarks. 1, 1-9.
- 7) 猪飼道夫, 江橋慎四郎, 加賀谷熙彦, 他 (1965) : トレッドミル法による青少年の運動処方に関する研究, 第 2 報, 体育学研究, 8, 3-4, 61-71.
- 8) Saltin, Bengt and P-O. Åstrand. (1967) : Maximal oxygen uptake in athletes. *J. Appl. Physiol.* 23(3) ; 358.
- 9) Slonim, N. Balfour, David G. Gillespie and William H. Harold. (1957) : Peak oxygen uptake of healthy young men as determined by a treadmill method. *J. Appl. Physiol.* 10(3) : 401-404.
- 10) 山岡誠一他 (1954) : ラグビー試合のエネルギー需要量と疲労について. 体育学研究 7, 425-429.