

最大酸素摂取量の簡易測定法の研究

幸 山 彰 一

激しい身体運動を研究対象とする 体育学の 分野では、種々の理由から有気的 作業能力 (aerobic work capacity) について測定を試みてきた。この有気的作業能力の測定方法としては、最大テスト (maximal test) と最大下テスト (submaximal test) の2通りが考えられる。これらの方法によって実測あるいは予測された最大酸素摂取量 (maximal oxygen uptake, $\dot{V}O_2$ max.) を、競技者は身体状況の把握に、あるいはトレーニング効果の判定に使ってきた。

最大テストは、被験者に5分前後で all-out になるような負荷を与える必要があるとされている。

また、最大下テストにおいても、内挿法・外挿法によって心拍数170拍/分の運動負荷を与える必要がある。

これらの方法はいづれも、その負荷決定のために少なくとも1日以上を要するテストである。

最大テストは、被験者を実際に走らせるか、または実験室において自転車エルゴメーターやトレッドミルなどを使用して、all-out に追い込んで最大酸素摂取量を測定するものであるため、老令者や幼少者には危険度も高く容易には実施しえないものである。

最大テストが身体作業能力 (physical work capacity, PWC) を表現する適切なものと考えられながらも、幅広い年齢層、職業層および性別の点で適応性が問題となっている。

この点、最大下テストは極度な疲労を来たさずに最大酸素摂取量を予測しようとするもので、有利なテストといえよう。

最大下テストとしては、心拍数170拍/分の定常状態の運動負荷のもとで、酸素摂取量を求め最大酸素摂取量を予測しようとする PWC_{170} などが考えられてきたが、心拍数170拍/分の運動負荷を個人について求めるには、少なくとも2~3回のテストを試みなければならない。

もし、この最大下テストにおいて、この負荷決定が年齢・性別・健康状態・トレーニング状況などによって容易に求められたり、あるいは、およその負荷で開始しうるならば更に広い一般への適用が考えられるところである。

本報告は、被験者に最大テストを実施し、換気量 (pulmonary ventilation, $\dot{V}E$)、酸

素摂取量 (oxygen uptake, $\dot{V}O_2$), 心拍数 (heart rate, HR), 呼吸数 (respiratory frequency, f) の記録結果から負荷決定を容易にする可能性や最大酸素摂取量の簡易予測法の可能性を考えるものである。

被験者および方法

運動部所属男子学生で、毎日、あるいは隔日に定期的にトレーニングを行なっている健康者19名であった。身体状況は表 I に示した。

実験方法説明、トレッドミル走の練習、採気器具装着後の走練習および負荷決定のために1日の練習日を設けた。

その結果、5度の斜度で固定負荷では10.0km/時、3名、10.5km/時、5名、11km/時、6名、11.5km/時、2名、12.0km/時、1名、漸増法では、9 km/時、3名、9.5km/時、12名、10km/時、4名であった。

本実験は、5度の斜度で8 km/時、2分間のウォームアップ後3分休憩、この間に採気マスク、心拍数測定のための皮膚電極、呼吸(数)測定のためのサーミスタを装着した。

漸増法は、前記初速で出発2分目から1分毎に0.5km/時ずつ速度を増した。

採気はダグラスバッグ法で1分毎にバッグを交換した。

換気量測定は湿式ガスメーターを使用した。

表 1

No.	年 令	身 長 (cm)	体 重 (Kg)	最大酸素摂取量	
				固定法 (ℓ)	漸増法 (ℓ)
1	21	179	65	4.912	4.851
2	22	175	63	4.249	4.085
3	21	168	63	4.147	4.278
4	20	175	62	3.688	3.759
5	18	175	69	4.498	4.394
6	21	168	60	4.273	4.180
7	22	170	72	4.396	4.572
8	21	172	62	3.620	3.727
9	19	162	62	3.897	4.072
10	23	168	61	3.791	3.566
11	20	174	66	3.596	3.810
12	19	171	57	3.319	3.341
13	19	172	63	3.597	3.526
14	18	169	65	3.840	4.106
15	20	172	63	3.042	3.396
16	19	173	64	4.109	4.022
17	18	178	63	4.146	4.009
18	18	171	60	3.275	3.579
19	18	170	57		3.476

呼気ガス分析は、シヨランダ―微量ガス分析装置を使用した。

心拍数，呼吸数の記録は，多目的ポリグラフによった。

結 果

1 酸素摂取量について (図I参照)

経時変化は次表の通りであった。

表 2

固定法

	1分	2分	3分	4分	5分
\bar{x}	2.61	3.66	3.82	4.04	4.43
S.D	0.34	0.46	0.44	0.42	0.35

(ℓ /分)

漸増法

	1分	2分	3分	4分	5分	6分
\bar{x}	2.41	3.43	3.62	3.82	4.07	4.26
S.D	0.27	0.28	0.28	0.33	0.36	0.30

(ℓ /分)

固定法，漸増法のいずれも1分経過後からは，ほぼ直線的に増加するのがみられた。

2 呼吸数について (図II参照)

表 3

固定法

	1分	2分	3分	4分	5分
\bar{x}	43.4	47.1	50.6	54.3	53.7
S.D	4.7	5.7	6.7	7.8	5.3

漸増法

	1分	2分	3分	4分	5分	6分
\bar{x}	41.8	44.6	47.2	50.3	52.3	57.2
S.D	6.7	6.1	6.6	6.9	7.3	8.3

固定法・負荷法ともに，ほど直線的な増加がみられた。

3 換気量について (図III参照)

表 4

固定法

	1分	2分	3分	4分	5分
\bar{x}	64.58	93.96	105.83	114.83	123.06
S.D	8.05	14.23	15.06	18.66	13.04

(ℓ /分)

漸増法

	1分	2分	3分	4分	5分	6分
\bar{x}	59.52	81.85	93.29	103.23	110.36	121.41
S.D	8.10	8.05	10.60	11.50	12.73	14.56

(ℓ /分)

1分経過後，ほぼ直線的な増加がみられた。

4 心拍数について (図IV参照)

表 5

固定法

	1分	2分	3分	4分	5分
\bar{x}	164.27	181.45	186.73	189.16	198.87
S.D	7.43	6.91	6.67	6.88	4.40

(拍/分)

漸増負荷法

	1分	2分	3分	4分	5分	6分
\bar{x}	162.76	178.21	184.45	188.70	191.32	196.82
S.D	7.61	6.16	6.23	5.92	7.04	6.24

(拍/分)

1分経過後，ほぼ直線的な増加がみられた。

5 最大酸素摂取量について

表6

	固定法	漸増法
\bar{x}	3.911	3.934
S.D	0.463	0.403

(*l*/分)

固定法と漸増法との間に有意差はなかった。

6 身長・体重と最大酸素摂取量との相関について (図V, VI参照)

表7

		身長	体重
固定法	$\dot{V}O_2\text{max.}$	0.270	0.518
漸増法	$\dot{V}O_2\text{max.}$	0.177	0.640

身長と最大酸素摂取量との間には高い相関々係は認められなかった。

7 身長・体重の各%乗と最大酸素摂取量との相関について

表8

	固定法		漸増法	
	体重%	身長%	体重%	身長%
$\dot{V}O_2\text{max.}$	0.513	0.273	0.674	0.171

8 体重当り最大酸素摂取量について

表9

	固定法	漸増法
\bar{x}	61.728	62.400
S.D	6.465	4.927

(*ml*/分)

9 各分当酸素摂取量と最大酸素摂取量について (図VII, VIII参照)

表10

固定法

	1分	2分	3分	$\dot{V}O_2\text{max.}$
\bar{x}	2.611	3.662	3.820	3.927
S.D	0.338	0.458	0.443	0.475
$\dot{V}O_2\text{max.}$ との相関	0.868	0.901	0.936	

(*l*/分)

漸増法

	1分	2分	3分	$\dot{V}O_2\text{max.}$
\bar{x}	2.410	3.428	3.622	3.934
S.D	0.272	0.284	0.279	0.404
$\dot{V}O_2\text{max.}$ との相関	0.582	0.900	0.890	

(*l*/分)

漸増法の1分値と最大酸素摂取量との相関を除いて、すべてに高い相関がみられた。

10 酸素脈について

表 11

固定法

	1分	2分	3分	4分	5分
\bar{x}	15.933	20.417	20.605	21.474	22.305
S.D	2.317	2.587	2.440	2.256	2.258

(ml/拍)

漸増法

	1分	2分	3分	4分	5分	6分
\bar{x}	14.918	19.119	19.683	20.343	21.365	21.275
S.D	1.777	1.894	1.731	1.955	1.850	1.930

(ml/拍)

1分経過後、きわめて緩やかな上昇がみられた。

11 分時酸素量当(換気)量について

表 12

固定法

	1分	2分	3分	4分	5分
\bar{x}	24.819	25.586	27.768	28.365	27.759
S.D	2.219	2.410	2.742	3.219	1.225

漸増法

	1分	2分	3分	4分	5分	6分
\bar{x}	24.551	23.945	25.722	27.112	27.617	28.648
S.D	2.620	2.514	2.556	2.908	2.618	3.964

漸増法では、1分値に高く2分値にやや下がり以降上昇をみせている。

最大酸素摂取量の大小にかかわらず極めて数値の低い例と高い例がみられた。

全体としては、次第に高くなるタイプと、最初に高く2分値に低くなり以降次第に高くなるタイプがみられた。

考 察

酸素摂取量については、テスト開始後1分を経過した頃から直線的に増加するのがみられた。この傾向は、図Iおよび表2にみられるように固定法、漸増法の如何を問わず認められた。

最大酸素摂取量(表6)は、固定法で平均値3,911l/分、漸増法では平均値3,934l/分で、この間の有意差は認められなかった。

Åstrand, P-Oら(1956)による20km/時の負荷のもとでのデータでは平均値4.66l/分、同(1961)では、平均値4.69l/分を発表している。また、Hedman, R.(1957)は平均値4,668l/分、猪飼はトレッドミルの固定法と漸増法の比較で、それぞれ3,493l/分と3,390l/分を示している。ÅstrandやHedmanが国際的マラソンランナー、例えば1500m走で3分42秒前後の走者を含むデータであることから、本実験のデータは大学運動クラブ員を被験者とした平均的数値のものと思われる。

Åstrand, I.(1960)は、次表のような有気的作業能力の級別指数を示している。

	low	fair	average	good	high
$\dot{V}O_2\text{max.}$ (l/min.)	≤ 2.79	2.80—3.09	3.10—3.69	3.70—3.99	4.00 \geq
$\dot{V}O_2\text{max./kg}$ (ml/min.)	≤ 38	39—43	44—51	52—56	57 \geq

この表によれば、本実験の被験者群は good の級に属し、average 6名、good 3名、high 10名である。運動部別にみると、陸上競技部員は、good 1名、high 5名、サッカー部員は、average 2名、good 2名、high 2名、バレーボール部員は、average 4名、high 3名であった。

各部の特性もうかがえて面白い数字であった。

トレーニング年月からみると、3年未満者では average 4名、high 5名（3年）以上では average 2名、good 3名、high 5名であり、トレーニングの影響がみられるようである。

Åstrand, P-O. (1956) が述べるように、有氣的作業能力は年令によって変化するだけでなく、他の要因は、すなわちトレーニングの有無や作業環境によって変化するものであることを示すものであろう。

この表に $\dot{V}O_2\text{max./kg}$ (体重当りの酸素摂取量) が示されているのでふれてみたい。

本実験での平均値は表9のように固定法で 61.7ml/分、漸増法で 62.4ml/分で、この2つの値の間に有意差はなかった。

上表によれば、共に high に属する。Åstrand, P-O. (1956) は $66.8 \pm 1.7\text{ml/kg/min}$ を示している。Åstrand の被験者が前述のような国際的ランナーであるが、体重当りの酸素摂取量ではあまり差がなく、効率としては良い傾向にあるものと考えられる。同 (1952) では 52.2ml/分、同 (1956) では、67~81.7ml/分を報告している。

換気量では、図Ⅲおよび表4の如く1分経過後は直線的に増加している。

最大平均換気量は 121.4l/分で Åstrand, P-O. の 133.3l/分の 91% に相当する。個人の最高値は 152.59l/分で、Åstrand, P-O. の 150l/分を上廻るものであった。Åstrand, P-O. の被験者であり国際的長距離ランナーの1人は、最大酸素摂取量 5.88l/分、換気量 146l/分を示しており、換気量の大小は酸素摂取量の大小を定める大きな要因の1つと考えられる。

本実験の結果では、最大酸素摂取量と換気量は、 $r=0.776$ (固定法) $r=0.692$ (漸増法) で、高い相関を示した。

Åstrand, P-O. (1956) も、耐久的筋運動に必要な適性 (fitness) は酸素摂取能力とよく相関すると述べている。

心拍数については、図Ⅳおよび表5にみられるように1分経過後は、ほぼ直線的に増加し、その傾向は固定法・漸増法共に認められるところであった。

Åstrand, P-O. (1956) は、177—200拍/分、同 (1961) で 180—200拍/分を報告してい

る。

その中で、循環器系応答 (circulatory response) における個人変動は、健康人でも非常に大きいものと述べている。

本実験においても、固定法で179~204拍子、漸増法で180~204拍/分となっている。

Sjöstrand, T. (1956) は、心拍数と最大酸素摂取量の相関の高いことを報告しているが、本実験の結果からは、固定法で $r=0.313$ 、漸増法で $r=0.285$ と高い相関は認められなかった。

過去の諸実験の最高心拍数を表にしてみると次の通りである。

name	Sub. age	type of work	Max. HR (beats/min)
Dill, D. B. & Brouha, L.	20—36	treadmill	195
Robinson, S.	20—29	"	189
Metheny, E. L. et al.	19—23	"	194
Brouha, L. & Heath, C.	17—22	"	193
Åstrand, P-O.	20—33	"	194
"	20—25	"	198
Slonim, N. B. Gillispie, D. & Harold, W.	18—25	"	188
Christensen, E. & Högberg, p.	14—16	skiing 5 km	237

小、中学生の年齢層の心拍数が200拍/分を越え210~220拍/分の報告も少なくない。

身長、体重と最大酸素摂取量との相関については、Asmussen, E. and Kr. Heebøll-Nielsen (1955) で身長と最大酸素摂取量の相関があることを述べており、体重については Åstrand, P-O. が年少者、青年において高い相関があることを報告し、さらに Döbeln, W. (1956) に脱脂肪体重 (lean body mass) の $\frac{2}{3}$ 乗が高い相関を関示すことを報告している。

図V, VIおよび表7にみるように、身長においては殆んど考慮の余地はないが、体重³においては、固定法で0.513、漸増法で0.674と割合高い相関を示している。体重のみの相関でも、それぞれ0.518、0.640と高い相関を示している。

最大酸素摂取量と酸素摂取量の経時変化は、図VII, VIIIおよび表10にみるように固定法では、1, 2, 3分の各値と最大酸素摂取量との相関はきわめて高い。また、漸増法においても、2分、3分値との相関は極めて高い。

固定法においては、その負荷の決定値が多岐にわたっているが、漸増法では、9.5km/時出発した被験者が63%を占めていることから、定期的にトレーニングしている20才前後の男子では、9.5km/時で開始し1分から2分の換気量とそのガス分析値をうることによって、

最大酸素摂取量を予測する可能性は存在する。

固定法では、その負荷が適切であるならば1分値、2分値、3分値は、それぞれ十分に最大酸素摂取量を予測しうることを示している。しかし、その負荷の決定は今後に残された問題である。

酸素脈および分時酸素量当換気量 ($\dot{V}_E/\dot{V}O_2$) は表11および12に示したが、これからは最大酸素摂取量を予知する手掛りはみられなかった。

ま と め

- 1 最大酸素摂取量と固定負荷法による酸素摂取量の1分値、2分値、3分値の間には、極めて高い相関が認められ、負荷が適切であるならば、all-outまで追いこむことなく、十分に最大酸素摂取量を予測しうると考える。
- 2 最大酸素摂取量と漸増負荷法による酸素摂取量の2分値、3分値は高い相関を示し、最大酸素摂取量を十分に予測しうると思われる。
- 3 心拍数、換気量、酸素脈、酸素摂取量は、いずれも1分終了後は直線的増加を示した。
- 4 体重、換気量と最大酸素摂取量は高い相関を示した。

参 考 文 献

- (1) Åstrand, P.-O., Human physical fitness with special reference to sex and age. *Physiol. Rev.* 36: 307-335, 1956.
- (2) Åstrand, P.-O., and Saltin, B., Oxygen uptake and during the first minutes of heavy muscular exercise. *J. appl. Physiol.* 16: 971-976, 1961.
- (3) Åstrand, P.-O., Maximal oxygen uptake and heart rate in various types of muscular activity. *J. appl. Physiol.* 16: 977-981, 1961.
- (4) Åstrand, I., Aerobic work capacity in man and women with special reference to age. *Acta physiol. scand.* 49: suppl. 169, 1960.
- (5) Binkhorst, R. A., and Leeuwen, P., A rapid method for the determination of aerobic capacity. *Int. Z. angew. Physiol. einsch. Arbeitsphysiol.* 19: 459-467, 1963.
- (6) Damoiseau, J., J. M. Petit, G. Belge et G. Collée, Methode simplifiée de mesure de la consommation maximum d' O. *Arch. int. Physiol.* 70: 131, 1962.
- (7) Hedman, R., The available glycogen in man and the connection between rate of oxygen intake and carbohydrate usage. *Acta physiol. scand.* 40: 305, 1957.
- (8) 猪飼道夫, エルゴメーターの比較検討, 日本体育協会スポーツ科学委員会, 1967
- (9) 猪飼道夫, 最大下負荷による作業能測定法の検討, 日本体育協会, 体力トレーニング研究小委員会報告, 1968.
- (10) Tornvall, G., Assessment of physical capacities. *Acta physiol. scand.* 58: suppl. 201,
- (11) Wahlund, H., Determination of the physical working capacity. *Acta med. scand.* 215: 9-86, 1948.
- (12) Wyndham, G., Strydom, N. B., Maritz, J. S., Morrison, J. F., Peter, J. & Potgieter, Z. U., Maximum oxygen intake and maximum heart rate during strenuous work. *J. appl. Physiol.* 14: 927, 1959.

図 I

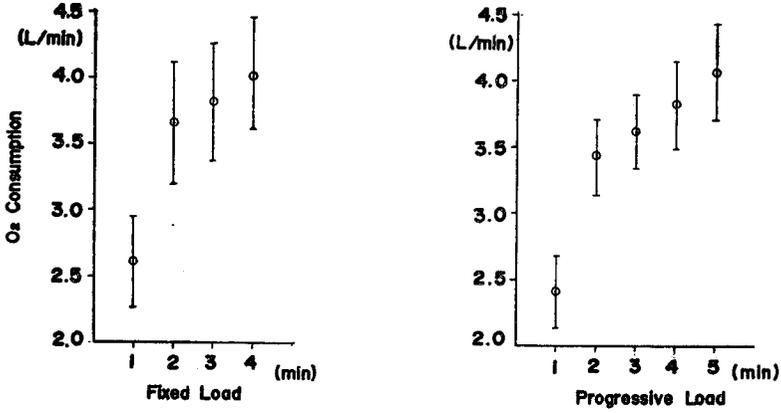


図 II

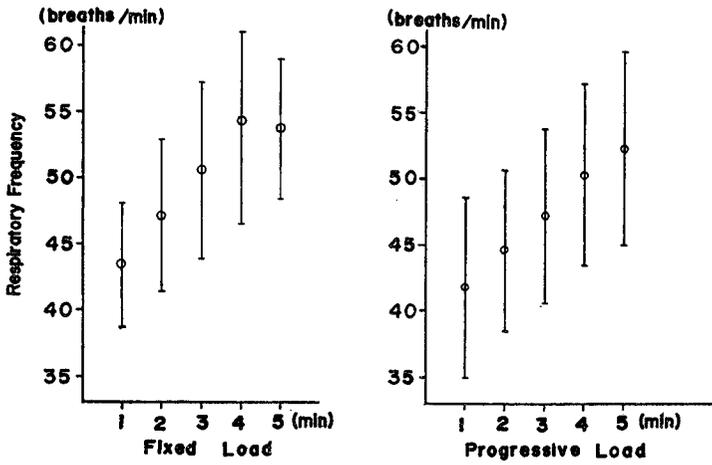


図 III

