

1967

エルゴメーターの比較検討

財団法人 日本体育協会
スポーツ科学委員会

エルゴメーターの比較検討

体カトレーニング研究小委員会

東京大学 猪飼道夫

激しい身体活動を遂行する能力は最大酸素摂取量であらわされてきた。

身体活動をもってなす仕事の量は時間と一次的な関係が成立するが、酸素の必要であることはいうまでもない。この単位時間あたりの酸素の摂取能力の上限をあらわすものが最大酸素摂取量である。従って最大酸素摂取量を上廻る酸素を必要とする作業では酸素の不足分だけ乳酸が発生するわけである。乳酸の発生は作業の限界を決定する一つの因子である。酸素摂取能力は有酸素的作業能力ともいわれ、酸素なしで遂行できる作業能力、すなわち無酸素的作業能力とは区別される。

酸素の摂取能力の高い者、いいかえれば最大酸素摂取量の大きい者は作業の能力がより高いということになる。

酸素摂取能力は筋の酸素消費の能力と酸素運搬系の能力に区分して考えられる。筋の酸素消費の能力は筋の作業能力と極めて高い相関がある。しかし、筋の作業能力の水準が高くても酸素運搬系の能力が低いものであれば作業能力は酸素運搬系に支配される。従って、筋の酸素消費能力および酸素運搬能力に限界因子が存在するといえよう。最大酸素摂取量は筋の作業能力に相当する酸素消費量と酸素運搬系との総合された量であるといえることができる。

これまで、最大酸素摂取量の測定にはトレッドミルが用いられてきた。しかし、乗鞍山頂やトレーニング施設にトレッドミルのないところではグラウンド走でこれをおぎなってきた。ところがグラウンド走では自分で走速度を調節できるように酸素摂取の最高水準にまで高まったかどうかという疑点があった。

我国ではトレッドミルよりも旧くから自転車エルゴメーターが使用されてきたが、負荷抵抗のかけ方に問題点があり、実験段階の上でも十分に活

用されなかったといえる。近年スウェーデンのP. O. Åstrand らの開発によって欠点が改良され、実用に充当する自転車エルゴメーターが作られ各国で用いられるようになった。そこで、これらを用いて得られた結果についての論文も極めて多く見受けられる。他国で得られた文献の比較と各種エルゴメーターによる最大酸素摂取量の発生条件の検討が必要とされるようになった。日本体育協会ではいち早く、スウェーデンのモナーク式 (Monark) の自転車エルゴメーターを購入し、トレッドミルとの比較検討を行うことにした。

自転車エルゴメーターを使用する上での利点については、① 自転車をこぐ動作は歩および走に匹敵する程簡単であること、② 機械的仕事量が出せること、③ 安全に運動を遂行することができること、④ 運搬が容易であること、⑤ 安価であることなどがあげられる。

最大酸素摂取量の発生条件についてはいろいろな方法が考案されているが、ほぼ次のように要約することができる。すなわち、それは4～6分間で疲労困憊に至る負荷で運動を行うときに発生するといわれ、実際的には酸素摂取量の増加がほぼ認められない水準にあることと規定している。この「ほぼ」とはÅstrand は 80 ml/min を指し、Taylor は 150 ml/min、Mitchell は 54 ml/min を指している。Åstrand は最大酸素摂取量を得る条件の負荷を増加したにも拘らず酸素摂取量の低下 (levelling off) の点での酸素摂取量としている。この条件をあげる根拠として、心拍数および血中乳酸の測定値を示している。心拍数についてはBalke らは 180 拍/分 のときといい、Åstrand は 190 拍/分 以上とっている。しかし、Wyndham らの場合は 180 拍/分 に達しなかったという。血中乳酸についてはÅstrand らは 90～100 mg/100 ml 血液が運動開始後 4 分にあられる程度とし

ている。Issekutz は呼吸商が 1.15 以上になるときに最大酸素摂取量が発生すると述べている。

著者らは最大酸素摂取量の発現の際の心拍数および呼吸商に注目することにした。

<方 法>

自転車エルゴメーターのサドルの高さはペダルが最も低いところにあるとき、ほとんど膝が伸展した状態になるように被検者ごとにその都度調節をした。また、回転速度はメトロノームに合わせて調節した。心拍数は双極導出法を用い、一方を胸骨上に、他方を背部左肩甲骨下において得られた心電図から算出した。採気はマウスピースから J バルブを通し、蛇管で誘導したダグラスバッグに集めた。ガス分析にはショランダー微量ガス分析器を用いた。

負荷の方法は次の四種類に大別される。

1. 自転車エルゴメーターによる

(a)	固定負荷法
(b)	漸増負荷法
2. テッドミルによる

(a)	固定負荷法
(b)	漸増負荷法

〔1-a〕： 自転車エルゴメーターによる固定負荷法

負荷重量として 1kp, 2kp, 3kp および 4kp の 4 種類の異なる負荷をして、回転速度は 50 rpm とした。50 rpm は Åstrand による原法と同じである。1回転が 6m の距離に相当するので、それぞれの負荷重量による仕事量は 300, 600, 900, および 1200 kg m/min である。

300 と 600 kg m/min の仕事率の作業では明らかに定常状態が成立したので全員 10 分間の作業時間で打ち切り、9~10 分の 1 分間に採気を行ない脈拍を測定した。また 900 kg m/min の仕事率の作業でも定常状態の者は 20 分の作業時間をもって打ち切った。1200 kg m/min では全員、疲労困憊に至るまで作業を続けた。

疲労困憊に至る 2 分前頃から採気を始めたが、運動がなお 2 分以上継続したときには連続して採気を進め、ガス分析は最後の 2 分間を 1 分づつ行った。得られた 2 つの値から大きい方の値を選んだ、その条件での最大酸素摂取量とした。

〔1-b〕： 自転車エルゴメーターによる漸増負荷法

(1) Buskirk 法は 60 rpm (360 m/min) で 3kp を最初 2 分間つづけ、それ以後 1 分ごとに 1/2kp を漸増する方法である。著者らは Buskirk らとの共同実験をひかえていたので同方法を採用することにした。

(2) Buskirk 法が米国人を対象に考案されたものであるので、体力の劣ると思われる日本人むけとして修正法を試みた。これを東大体育方式と呼ぶ。

ペダル回転数は 60 rpm で同様であるが、最初の 2 分間を 2kp で踏み、それ以後、1 分ごとに 1/2kp を漸増する方法である。この修正法によって、Buskirk による all out 時間、平均 4 分 12 秒が平均 6 分 06 秒に延長された。

〔2-a〕： テッドミルによる固定負荷法

テッドミルを用いての固定負荷法とはこれまで我国で行われてきた方法である。テッドミルの傾斜は 8.6% とし、最初から一定速度でテッドミル走を課す方法である。走速度については 5 分前後で all out になるように各自被検者に選んでもらった。被検者の各自がテッドミル走の経験者であるので、各自の選択は十分可能であった。

〔2-b〕： テッドミルによる漸増負荷法

初め 160 m/min の速度で 2 分間を走り、それ以後、1 分毎に 10 m/min を増していった。テッドミルには固定負荷法と同様 8.6% の傾斜がつけられている。採気方法は 1-a に述べられたと同じ方法である。

<結 果>

〔1-a〕 自転車エルゴメーターによる固定負荷法での酸素摂取量を第一表に示す。

負荷 1kp: 300 kg m/min の運動では全被検者が定常状態を示した。酸素摂取量の平均値(標準偏差)は $0.983 \text{ l/min} \pm 0.255$ であった。これは固定負荷法および漸増負荷法での自転車エルゴメーターによって発生した酸素摂取量の最大値の 32% の負荷に相当する。

2kp の負荷: すなわち 600 kg m/min でも定常状態が成立した。酸素摂取量の平均値および標準偏差は $1.515 \text{ l/min} \pm 0.489$ であった。これは自

第1表 自転車エルゴメーターによる固定負荷法での
 $\dot{V}O_2$ (酸素摂取量, l/min)

被検者番号	300 kgm/min (9'~10')	600 kgm/min (9'~10')	900 kgm/min (19'~20')		1, 200 kgm/min	
					$\dot{V}O_2$	all out time
1	0.970	1.607	2.460*	all out Time 8'05"	2.090	2'00"
2	0.878	1.438	2.570		2.392	4'00"
3	1.012	1.657	2.279		2.502	4'00"
4	1.078	1.705	2.355		2.656	6'03"
5	0.930	1.478	1.463		3.403*	11'26"
6	0.970	1.433	2.475		3.075*	5'00"
7	1.007	1.622	2.757		2.095	3'18"
8	1.116	1.361	2.694		2.673	4'59"
9	1.007	1.226	2.630		3.435	6'05"
10	0.843	1.619	2.754		3.063	7'24"
M±S. D.	0.983±0.255	1.515±0.489	2.444±0.380		2.738±0.410	4'41"

自転車エルゴメーター運動によって発生して酸素摂取量の最大値に対する49%にあたる。

3kpの負荷: 900 kg m/minでは1名を除いて定常状態が成立したが、かなりの激運動であった。all outになった1名の被検者は37才であり、本研究に参加した被検者の最年長者である。運動は8分05秒まで続いた。この負荷での酸素摂取量平均値および標準偏差は2.444 l/min±0.380であり、自転車エルゴメーターによってあらわれ

第2表 自転車エルゴメーターによる
 漸増負荷法での $\dot{V}O_2$

No of Subj	Buskirk's Method		東大体育方式	
	$\dot{V}O_2$ (l/min)	all out Time	$\dot{V}O_2$ (l/min)	all out time
1	2.425	3'08"	2.362	5'02"
2	2.900*	4'00"	2.892	6'15"
3	2.526	3'29"	3.025*	6'00"
4	2.828*	4'46"	2.780	6'35"
5	3.218	4'29"	3.154	7'15"
6	2.984	3'59"	2.600	5'00"
7	2.459	3'15"	2.958*	5'30"
8	3.075*	4'04"	2.798	5'16"
9	3.155	5'44"	3.751*	7'02"
10	3.367*	5'02"	3.052	7'05"
		4'12"		6'06"
M±S. D.	2.894 ±0.617		2.937 ±0.371	

備考: 両方法による最大酸素摂取量の
 相関係数 $r=0.474$

た酸素摂取量の最大値の79%に相当した。

負荷4kpすなわち1200 kg m/minでは最小2分、最大11分26秒で全員が疲労困憊に達した。酸素摂取量の平均値および標準偏差は2.738 l/min±0.410であり、これは前値の89%に相当する。

〔1-b〕自転車エルゴメーターによる漸増負荷法での酸素摂取量を第2表に示す。

(1) Buskirk法では平均4分12秒で全員が疲労困憊に達し、酸素摂取量および標準偏差は2.894 l±0.617 lであった。

(2) 東大体育方式でのall out時間は最も短いもので5分、最も長いものが7分15秒であり、平均6分06秒であった。酸素摂取量の平均値および標準偏差は2.937 l/min±0.371である。

第2表でもわかるように漸増法にはall out時間のばらつきを小さくする作用があるようである。

〔2-a〕トレッドミルによる固定負荷法、および〔2-b〕の同漸増負荷法によって得られた酸素摂取量を第3表に示した。

両平均値はほぼ近似を示した。これを図示したのが第1図である。

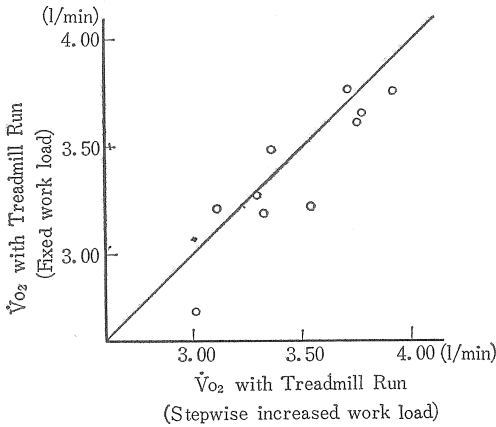
固定負荷法による酸素摂取量の平均値および標準偏差は3.493 l/min±0.292、漸増負荷法では3.390 l/min±0.327であった。各個人の測定値をみると固定負荷法での酸素摂取量の方が漸増負荷法より大きい値のあらわれる頻度は70%である

第3表 トレッドミルによる固定負荷法と漸増負荷法での $\dot{V}O_2$ (最大)の比較 (l/min)

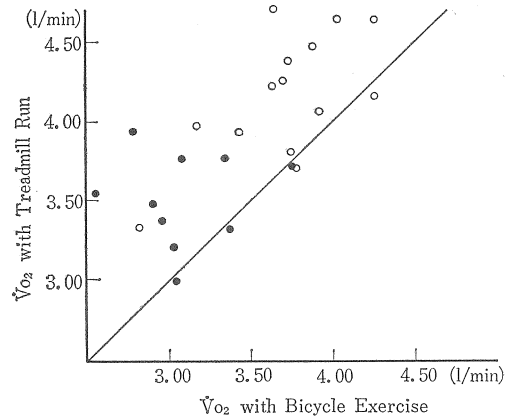
被検者番号	漸増負荷法	固定負荷法
1	3.218	3.537※
2	3.477*	3.363
3	3.196*	3.122
4	3.757	3.925*
5	3.648	3.773*
6	2.719	3.027*
7	3.332	3.393*
8	3.624	3.753*
9	3.751*	3.712
10	3.181	3.323
M±S. D.	3.390±0.327	3.493±0.292

第4表 トレッドミルと自転車エルゴメーターによる $\dot{V}O_2$ (最大)の比較

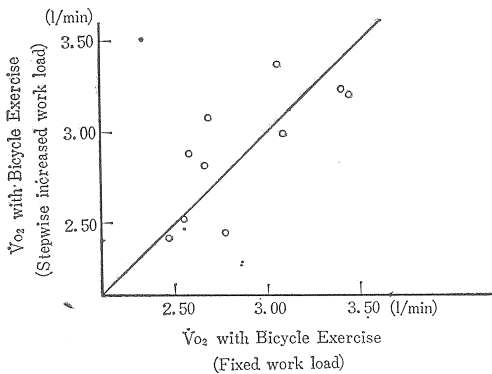
被検者番号	トレッドミル			自転車エルゴメーター		
	$\dot{V}O_2$ (l/min)	H. R.	R. Q.	$\dot{V}O_2$ (l/min)	H. R.	R. Q.
1	3.537	194	1.04	2.460	183	1.04
2	3.477	194	1.06	2.900	185	1.55
3	3.196	200	1.10	3.025	180	1.08
4	3.925	184	1.04	2.828	190	1.29
5	3.773	195	1.13	3.403	185	0.95
6	3.027	198	1.16	3.075	185	1.08
7	3.393	184	1.10	2.958	172	1.29
8	3.753	182	1.10	3.075	182	1.21
9	3.712	191	1.05	3.751	185	1.05
10	3.323	180	1.03	3.367	195	1.34
M±S. D.	3.512±0.894			3.084±0.520		



第1図 トレッドミルによる固定負荷法と漸増負荷法での $\dot{V}O_2$ (最大)の比較 $r=0.892$



○印: 水連選手, ●印: 一般被検者
第3図 トレッドミルと自転車エルゴメーターによる $\dot{V}O_2$ (最大)の比較 $r=0.697$



第2図 自転車エルゴメーターによる固定負荷法と漸増負荷法での $\dot{V}O_2$ (最大)の比較 $r=0.740$

ことが示される。

トレッドミルおよび自転車エルゴメーターによるそれぞれの固定負荷法と漸増負荷法の比較は第1図および第2図である。この結果、あまり差がないようである。そこでエルゴメーターによってあらわれた酸素摂取量の最大値(これまでの表の※印)を拾い出して表にしたのが第4表である。これによると、トレッドミルによって得られた最大酸素摂取量の平均値および標準偏差は $3.512\text{ l/min} \pm 0.894$ であり、自転車エルゴメーターによって得られた同量は、 $3.084\text{ l/min} \pm 0.520$ であった。この結果、自転車エルゴメーターによって得られ

た最大酸素摂取量は平均値でいえば、トレッドミルで得られた最大酸素摂取量の87.8%であった。そこで、本研究で得られた結果を●印で、また同じ時期に水連のオリンピック候補選手によって、トレッドミルと自転車エルゴメーターで得られた酸素摂取量を○印であらわして図を作製してみた(第3図)。

これによると大体のところ相関がみられるのであるが、東大体育学研究室員による被検者と水連選手の群を分けてみると、相関がみられないことに気づく。従って、本研究は更に追跡することが必要であると思われる。

＜考 察＞

筆者らは Monark 自転車エルゴメーターの入手に伴い、自転車エルゴメーター使用の利点、最大酸素摂取量の発生条件の検討及び、従来から行われてきたトレッドミル法による運動負荷での酸素摂取量との比較検討を行ってきた。

自転車エルゴメーター使用の利点としては①自転車をこぐ運動は歩および走と同じ程度に簡単であること、②機械的仕事量を出すことができること、③トレッドミルよりも安全に運動を遂行することができること、④持ち運びが容易であること、⑤安価であることをあげることができる。

最大酸素摂取量の負荷方法としてはトレッドミルでは固定負荷法が、自転車エルゴメーターでは漸増負荷法がすぐれていると思われる。その理由はトレッドミルでは酸素摂取量の最大値が固定負荷法で70%の例にあらわれていることである。

また自転車エルゴメーターでは固定負荷法と漸増負荷法との間にあまり差が認められないので、作業時間を節約するには漸増負荷法がすぐれていると言える。

本研究によれば、最大酸素摂取量があらわれるときの心拍数はすべての被検者で180拍/分以上であった。また Issekutz のいう呼吸商1.15以上であらわれる酸素摂取量が最大値になるという点については常にそうであるとはいえないことがわかった。これは Issekutz のいう最大酸素摂取量の発生の条件に満たないものであるかどうかは更に今後検討を要しよう。

自転車エルゴメーター法とトレッドミル法による最大酸素摂取量を比較すると Åstrand, Glassford たちは、前者が後者より、8%低いと述べ、Rowell 4~23%低いと述べている。

本実験でも同様の傾向を示し自転車エルゴメーターの方が12%低い値を示した。最大酸素摂取量発生の条件は更に追求することが必要である。

文 献

- 1) Åstrand, P-O and Ryhming, I: J. Appl. Physiol., 7: 218, 1954
- 2) Issekutz, B., Jr. Birkhead, N.C and Rodahl, K: J. Appl. Physiol, 17: 47, 1962
- 3) Glassford, R.G. et al: J. Appl. Physiol. 20: 509, 1965
- 4) Rowell, L. B., Taylor, H. L. and Wang, Y.: J. Appl. Physiol. 19: 919, 1964
- 5) Wyndham, C.H.: Proc. Int. Symposium on Physical Activity and Cardiovascular Health. 1965

共同研究者

石 井 喜 八

