

## 自転車エルゴメーターの負荷法に関する実験的研究

### Experimental Studies of work Tests with the Bicycle Ergometer

山 西 哲 郎

群馬大学教育学部 保健体育研究室  
(1975年9月17日受理)

Tetsuro Yamanishi

*Department of Health and Physical Education, Faculty of Education,  
Gunma University, Maebashi, Gunma, 371, Japan*

(Received Sept. 17, 1975)

The work tests with the bicycle ergometer are the stepwise fixed load and the stepwise increased load. The stepwise increased load is increased by the frictional resistance or the pedalling speed.

The purpose of this study was find out which the frictional resistance method or the pedalling speed method is the optimal load for the aerobic work capacity.

The subjects, 22males (16—32yrs) were 10sprinters and 12distance runners.

The results were as follows :

- 1) The average all-out time in the pedalling speed method was significantly higher than that of the frictional resistance method.
- 2) The average  $VO_2$ max. in the pedalling speed method ( $3.69 \pm 0.38$  l/min) was significantly higher than that of frictional resistance method ( $3.56 \pm 0.47$  l/min)
- 3) The average HR max in the pedalling speed method ( $183 \pm 11.8$ /min) was higher than that of the frictional resistance method ( $181 \pm 13.8$ /min)

はじめに

科学技術の進歩に遅れまいと、近年、体育やスポーツも科学的基礎によって解明されてきてい

る。人間のからだの力として体力を示し、それを行動体力と防衛体力に分け考えることができる。進藤ら<sup>1)</sup>は体力が社会から求められている使命のなかに行動体力があり、したがって、作業能力にも通ずると述べている。つまり、体育は教育を通しての身体教育のみならず、社会環境の各方面に対して、人間の行動する力といった積極性や開放性をもって、これからは考えるべきである。作業能力には有酸素的作業能力と無酸素的作業能力があげられる。無酸素作業能力は短かい時間での筋活動であるのに対し、有酸素的作業能力は長時間にわたるものであり、それだけにかからだのほとんどの諸器官の働きを必要とし、最も人間の能力を示すものであると言っても過言ではない。

この有酸素作業能力をみるものとして、種々の測定器具や装置が開発され改善されていた。現在、この代表的なものとして、トレッドミルと自転車エルゴメーターがある。そして、有酸素的作業能力を Performance (成績) として、最大持続時間、Physical resource (身体資源) として、最大酸素摂取量の要因をみるのが最も多い。

最大酸素摂取量を求める負荷のかけ方について検討が進められ、次の様に分類されている。

#### 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. トレッドミルによる

- (a) 固定負荷法
- (b) 漸増負荷法

以上のいずれの方法がすぐれた値を出すことができるかは必ずしも決定的ではなく、被検者の体力や年齢などによって異なる。猪飼<sup>2)</sup>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述べている。また、猪飼<sup>3)</sup>や Glasford<sup>4)</sup>らをトレッドミルと自転車エルゴメーターで最大酸素摂取量を測定したところ、自転車エルゴメーターによる成績はトレッドミルのそれより、有意に低い結果を得ている。

本研究は自転車エルゴメーターの漸増法に注目し、負荷量の増加を従来行われてきたブレーキ抵抗の漸増と回転数の漸増の二つに分け、performance や resource に及ぼす影響をみるものである。竹本<sup>5)</sup>らは単位時間内あたりの機械的仕事量が同一であっても、それを構成する要素のちがいで、生体反応の出現は同一にはならないことを自転車エルゴメーターによって求めている。また、成沢<sup>6)</sup>らは自転車エルゴメーターの回転数が増し、負荷強度が減少するにしたがい、酸素摂取量の最高レベルも低くなる傾向がみられると報告している。

本研究は同時に絶対筋力のすぐれたパワー種目であるスプリント群（短距離走者、跳躍選手、並びに、スピード、スケート選手）と絶対筋力の劣ったスタミナ種目のロング群（長距離走者）の負荷法のちがいで反応の差をみようとするものである。

## 方 法

### 1) 自転車エルゴメーターについて

自転車エルゴメーターは作業能力の測定に近年よく用いられている。これは、P. O. Astrand らの開発によるところが大きく、より正確なデータを求めることが可能になってきた。本実験に用いた自転車エルゴメーターは W. Von Döbeln 教授らによって作られたものの改良型であるスウェーデンのモナーク社製の自転車エルゴメーターである。

### 2) 負荷方法の種類

自転車エルゴメーターによる負荷の方法は最初から一定速度として、疲労困憊に追い込むか、あるいは、定常状態を見出すまで課する固定負荷方法と、1分ごと、あるいは2分ごとに負荷をあげていく漸増負荷方法の二通りがある。一つの負荷は車輪のへのまわりにまわされているベルトの摩擦と、ペダルを踏む速さ、つまり、回転スピードによるものである。

#### A. ブレーキ抵抗漸増負荷方法

ペダルの回転スピードを一定にし、作業負荷つまり、仕事量を増加させるのはブレーキ抵抗を強くすることによって求めるものである。

#### B. 回転スピード漸増負荷方法

Aとは反対に、ブレーキ抵抗を一定にとどめ、ペダルの回転スピードを増すことにより、仕事量を増加させる方法である。

### 3) 負荷のかけ方

仕事量を600kgm/min.から始め、900, 1200, 1500と、2分ごとに300kgm/min.漸増した。つまり、ペダルの一回転が6mの距離に相当するので、回転数が1分間に50回転(50rpmと略する)とすれば、ブレーキ抵抗の重さが2kgの時、1分間に50rpm×6m×2kg=600kgmとなる。

A・Bの二方法の負荷のかけ方のちがいは表1に示す通りである。なお、1500kgmからは負荷を増加せず、疲労困憊になり、作業を継続できなくなるまで一定とした。

表1 ブレーキ抵抗法と回転スピード法の負荷のかけ方のちがい

	仕事量	600kpm	900kpm	1200kpm	1500kpm
	時 間	0—2'00"	2'00"—4'00"	4'00"—6'00"	6'00"—8'00"以上
ブレーキ抵抗漸増法	抵抗負荷	2.0kg	3.0kg	4.0kg	5.0kg
	回 転 数	50rpm	50rpm	50rpm	50rpm
回転スピード漸増法	抵抗負荷	2.5kg	2.5kg	2.5kg	2.5kg
	回 転 数	40rpm	60rpm	80rpm	100rpm

#### 4) 測定方法と項目

(1) 回転数はメトロノームによって調節した。回転スピード法においては、2分ごとにスピードが著しく速くなるので、5～10秒間で、できるだけスムーズに目的とするスピードに合うようにした。

(2) 自転車のサドルの高さはペダルの最も低いところで、膝がほとんど伸びた状態になることを原則にしたが、最終的には、被検者の判断によってふさわしい高さとした。

(3) 採気、並びに分析はフクダ式メタボラーの呼気連続装置と O<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub> の分析装置によって、安静と作業中全時間、そして、回復5分間を連続的に測定した。

(4) 心拍数は胸部誘導のテレメーター方式によって得られた心電図から算出した。

#### 5) 被 検 者

被検者を2グループに大別し、スピードやパワーにすぐれているスプリント・グループと持久性にすぐれているロング・グループとした。

##### (1) 2スプリント・グループ

18～22才の短距離走者を7名、跳躍選手2名、スピード・スケート選手1名の計10名、中学あるいは高校から専門種目として、3年以上にわたってトレーニングを継続している者ばかりとした。

##### (2) 長距離グループ

16～32才の長距離走者12名とし、3年以上にわたって専門的トレーニングをしている者であった。その内訳は高校生5名、大学生5名、一般2名であった。

#### 6) 測定場所と期日

測定は群馬大学教育学部、期日は昭和50年4月から7月にわたって行なった。なお、期日が長期間にわたって実施されているが、各被検者の体調の差や季節の差ができるだけ少ないように、二方法の実施は1週間から2週間以内に完了した。

#### 7) 脚筋力の測定について

自転車エルゴメーターにおいて、抵抗負荷を漸増するに従い、脚筋に及ぼす影響は心肺機能と同様に大きくなると考えられる。後藤<sup>7)</sup>らは負荷の増加するに従い、EMG積分値は指数関数的に増加する傾向がみられると報告している。本研究は脚筋の絶対筋力の測定のため、電子式背筋力を改良し、座式で、左右の脚の伸展のアイソメトリックな筋力を測定した。

## 結 果

### 1) 最大値の比較

#### (1) Performance としてのオール・アウト時間

オールアウト時間とは疲労困憊となり、メトロノームの一定のリズムに合わせて、ペダルを踏めなくなる時である。

表2 自転車エルゴメーターによるブレーキ抵抗漸増法と回転数漸増法の比較(各項目とも最大値である)

被 検 者	種 目	ブレーキ抵抗漸増法				回 転 数 漸 増 法			
		allout time	VO <sub>2</sub> (ℓ/min)	心拍数 /min	呼気量 ℓ/min	allout time	VO <sub>2</sub> (ℓ/min)	心拍数	呼気量
N I S H I M A K I	短	7'30"	3.00	206.0	111.4	8'07"	3.63	193.5	113.5
OKAMURA		7'00"	3.50	182.7	89.6	8'00"	3.21	194.8	110.4
AMANO		8'00"	4.01	192.3	104.6	8'30"	3.33	191.1	98.6
M I Z U N O	距	7'30"	3.84	191.1	103.4	8'30"	3.59	191.1	120.1
YAMADA		8'00"	3.66	175.4	88.5	9'24"	4.51	202.7	106.2
U C H I D A	離	9'00"	3.72	184.0	110.0	10'03"	3.80	180.7	121.0
T A B E I		7'25"	3.05	163.0	81.6	7'10"	3.13	165.7	91.9
H A D O R I	跳 躍	7'27"	3.20	208.3	93.4	8'00"	3.15	177.5	123.9
TAKADA		8'00"	3.52	180.7	100.9	10'00"	3.88	182.9	109.6
KUMAKAWA	スピード スケート	9'32"	3.63	176.4	112.2	9'37"	3.65	170.5	107.0
TANAKA	長  距  離	12'00"	3.69	157.1	105.1	12'00"	3.97	/	115.4
KUWABARA		7'08"	2.69	/	77.0	9'30"	3.72	188.7	106.4
SAITO		6'18"	3.03	166.7	64.6	7'30"	3.51	191.1	94.8
KANO		7'51"	3.47	188.0	93.9	8'05"	3.48	188.0	121.6
MAKIYAMA		9'27"	4.01	184.0	82.8	13'00"	3.78	184.0	123.6
SUDO		8'31"	4.31	188.7	125.3	10'00"	4.27	187.5	124.5
HORINO		6'31"	2.87	177.6	77.5	8'05"	3.38	179.6	96.9
KOBAYASHI		12'20"	4.65	196.1	126.1	16'08"	4.49	197.4	126.1
NAKAJIMA		8'17"	3.70	166.7	99.9	8'01"	3.70	161.0	118.1
YAMAGUCHI		8'15"	3.46	179.1	96.7	10'10"	3.50	192.3	109.4
YAMANISHI		8'07"	3.70	164.7	107.5	9'01"	3.71	168.5	116.0
NEGISHI		8'27"	3.65	166.7	83.8	11'10"	3.86	166.7	106.5
平 均 M ± S D	短・跳・スケート	7'56" ±46"	3.51 ±0.34	186.0 ±13.9	99.6 ±10.7	8'44" ±59"	3.59 ±0.42	185.1 ±11.6	110.2 ±10.1
	長 距 離	8'36" ±1'53"	3.60 ±0.57	175.9 ±12.4	95.0 ±19.1	10'21" ±2'31"	3.78 ±0.33	181.6 ±12.3	113.3 ±10.5
	全 体	8'17" ±1'30"	3.56 ±0.47	180.7 ±13.8	97.1 ±15.7	9'32" ±2'04"	3.69 ±0.38	183.3 ±11.8	111.9 ±10.2

表2と図1はブレーキ抵抗法と回転スピード法のオール・アウト時間の比較である。回転スピード法に延長時間をみたものが、22人の全被検者のうち86%の19人を占めた。全平均はブレーキ抵抗法が8分17秒±1分30秒，回転スピード法が9分32秒±2分0秒と1分15秒と有意水準0.1%をもって回転スピード法が大きい値を示した。

表3 ブレーキ抵抗法と回転スピード法の差における有意水準表

	All	sprint-group	Long-group
オール・アウト時間	※ ※ ※	※ ※	※ ※ ※
酸素摂取量	※		※ ※ ※
心拍数			
呼吸量	※	※ ※	※ ※ ※
呼吸数	※ ※		※ ※

(※ P<0.05, ※※ P<0.01, ※※※ P<0.001)

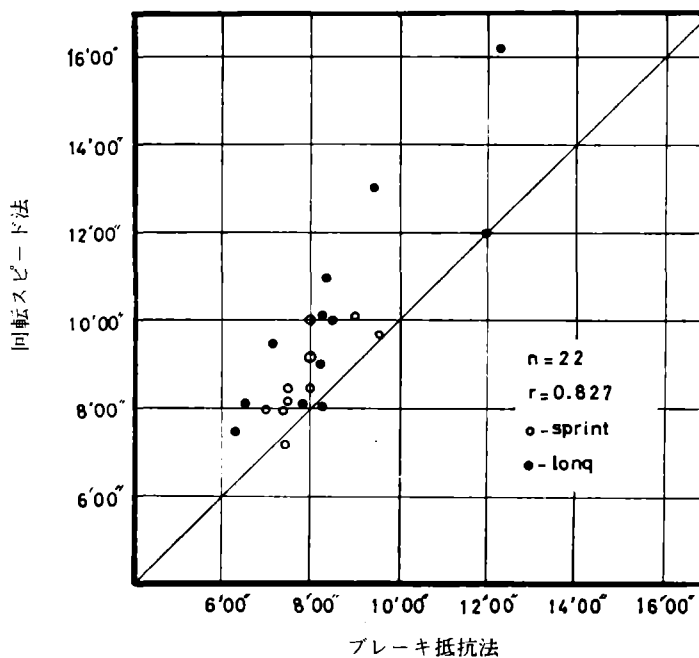


図1 ブレーキ抵抗漸増法と回転スピード漸増法のオールアウト時間の比較

グループ別の差異をみると、ロング・グループに高い値が認められた。一方、ブレーキ抵抗法に対する回転スピード法の割合はスプリント・グループが110% ( $P < 0.002$ )、ロング・グループは119% ( $P < 0.001$ )と、ロング・グループの方に長い延長時間をみた。

(2) physical Resource

① 酸素摂取量

自転車エルゴメーターでの最大酸素摂取量の出現のためには5~10分間で、オールアウトになる作業をさせることがふさわしいと報告されている。本実験の被検者は長期にわたって陸上競技あるいはスケートのトレーニングを継続しているので、このオール・アウト時間はこの範囲を越えても良いと思われる。

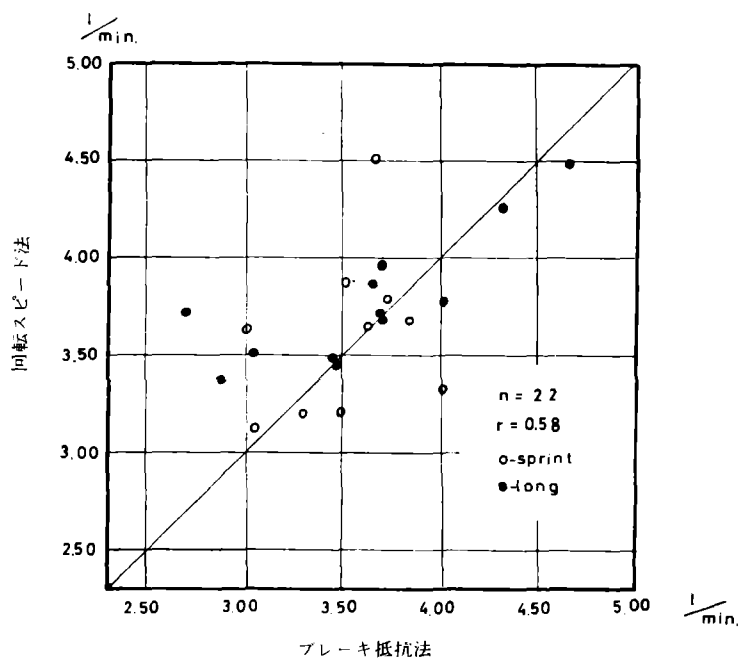


図2 ブレーキ抵抗漸増法と回転スピード漸増法の最大酸素摂取量の比較

表2と図2によるブレーキ負荷法と回転スピード法の酸素摂取量の最大値の比較は平均値、標準偏差が $3.56 \text{ l} \pm 0.467$ と $3.69 \text{ l} \pm 0.38$ と回転スピード法に $0.13 \text{ l}$  ( $P < 0.05$ )の高い値がみられた。グループ別には、ロング・グループが $3.60 \text{ l} \pm 0.56$ と $3.78 \text{ l} \pm 0.33$ 、スプリントグループが $3.51 \text{ l} \pm 0.34$ 、 $3.59 \text{ l} \pm 0.42$ といずれもロング・グループの値が高く、持久性にすぐれていることを示した。また、単位体重当りの値でも、同じ傾向を示した。両漸増法の差はスプリント・グループの有意水準が $P > 0.02$ あるのに対し、ロング・グループは0.1%の有意水準が認められた。

## ② 心拍数

心拍数の最大値はほとんどの被検者とも、オール・アウト時にみられた。その最大値の平均値と標準偏差値はブレーキ抵抗法が $181 \pm 13.8$ 回/分であり、回転スピード法は $183 \pm 11.8$ とほとんど差はみられなかった。特にスプリントグループはブレーキ抵抗法に高い値が認められた。しかし、ロング・グループはブレーキ抵抗法176回/分、回転スピード法181回/分と、各グループによって、異った傾向があることを認められた。

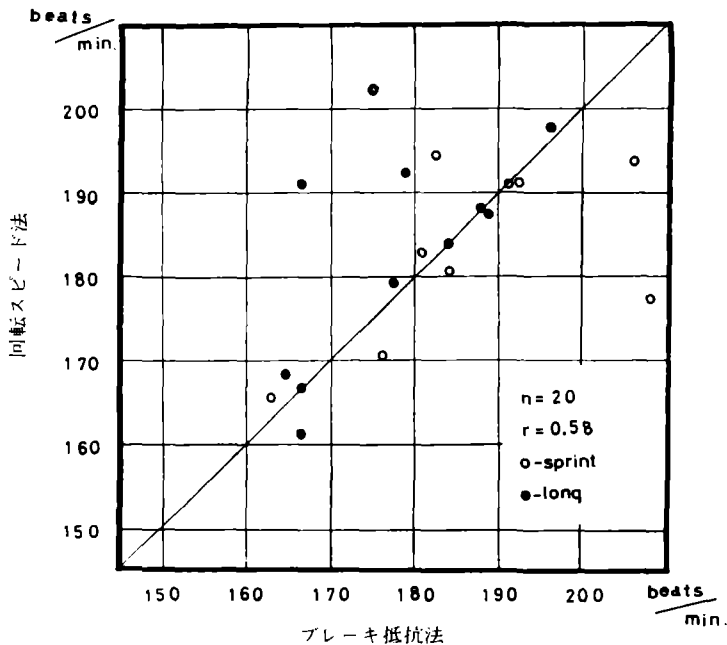


図3 ブレーキ抵抗漸増法と回転スピード漸増法の最高心拍数の比較

## ③ 呼気量と呼吸数

各要因のなかで、両漸増法に最も大きな差を示したのは呼気量と呼吸数である。呼気量はブレーキ抵抗法が1分間値が $97.1 \text{ l} \pm 15.7$ であるのに対し、回転スピード法は $111.9 \text{ l} \pm 10.2$ と $14.8 \text{ l/min.}$  ( $P < 0.05$ ) の有意差を示した。これは呼吸数の大巾の増加にところが多く、回転スピード法に1分間7.3回の増加を示した。

両グループの比較はスプリント・グループが $10.7 \text{ l}$ 、ロング・グループが $18.3 \text{ l}$ といずれも、回転スピード法に高い値が認められた。呼吸数においても、スプリント・グループが4.7回/分、ロング・グループが10.5回/分といずれも回転スピード法の値が大きかった。

なお、呼吸の効率をみる一回呼気量  $\left( \frac{\text{呼吸数}}{\text{呼気量}} \right)$  は両漸増法の差はほとんどみられなかった。





## (3) Performance と Resource の比較

表4は Performance としてのオール・アウト時間と Physical Resource としての酸素摂取量(最大値)の相関をみたものである。ブレーキ抵抗法は  $r = 0.682$ ,  $P < 0.001$ , 回転スピード法は  $r = 0.684$ ,  $P < 0.001$ といずれも有意な相関が認められた。

グループ別には, ブレーキ抵抗法においてスプリント・グループが,  $r = 0.389$  と低い相関がある他は, いずれも高い相関が認められ自転車エルゴメーターの持続時間が酸素摂取量(最大値)に強い影響を及ぼしていることが認められた。

表4 オール・アウト時間と酸素摂取量(最大値)との相関表

負 荷 法	被 検 者 群	相 関 係 数	P
ブレーキ抵抗法	全 グ ル ー プ	0.682	※ ※ ※
	スプリントグループ	0.398	
	ロンググループ	0.743	※ ※
回転スピード法	全 グ ル ー プ	0.684	※ ※ ※
	スプリントグループ	0.721	※
	ロンググループ	0.768	※ ※

(※  $P < 0.05$ , ※※  $P < 0.01$ , ※※※  $P < 0.001$ )

2) 各負荷での比較

図6, 7, 8は600~1500kpm/minにおける酸素摂取量, 心拍数, 呼気量の変化をみたものである。各負荷とも2分間は同一負荷に固定したが, この図に示されている値は600~1200kpm/minは後半の1分間の値である。1500kpm/minについてはオール・アウト時間の違いによって異った区間の値とした。

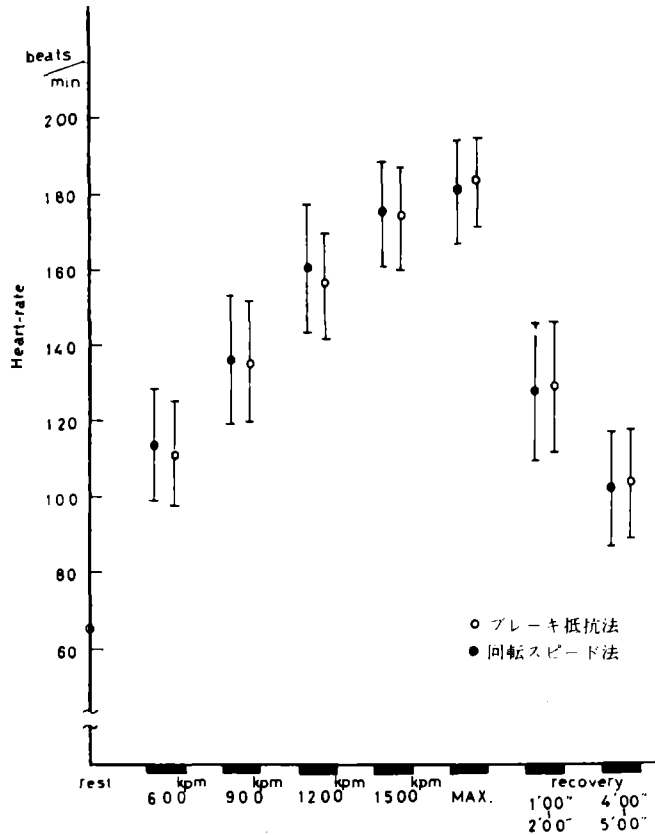


図6 ブレーキ抵抗漸増法と  
回転スピード漸増法の  
心拍数の変化

ブレーキ抵抗・回転スピード法ともに、600kpm/minから負荷の漸増とともに直線的に増加している。また、各被検者ともに1500kpm/minで最大値を示している。

ブレーキ抵抗法と回転スピード法の違いは酸素摂取量と心拍数で600, 900, 1200kpm/minの負荷ではブレーキ抵抗法に高い値がみられたのに対し、呼気量では600~1500kpm/minまで、すべての負荷において、回転スピード法に高い値を示した。

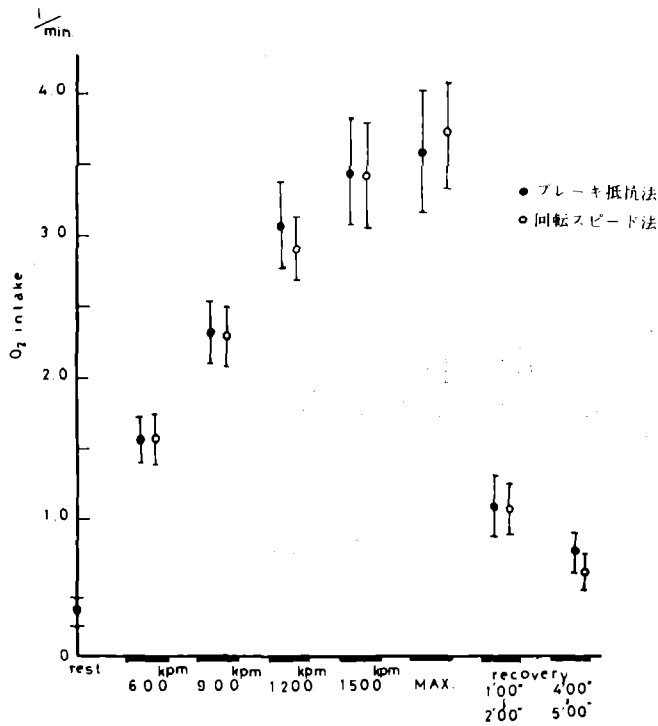


図7 ブレーキ抵抗漸増法と回転スピード漸増法の酸素摂取量の変化の比較

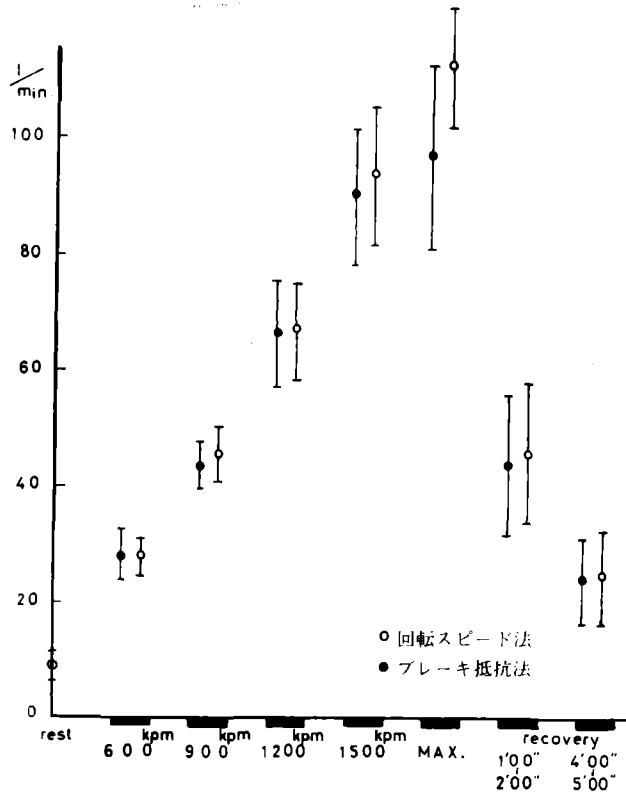


図8 ブレーキ抵抗漸増法と回転速度漸増法の呼気量の変化

### 考 察

自転車エルゴメーターの従来の漸増法であるブレーキ抵抗漸増はだれしも、脚筋に重みを感じるものである。萩原<sup>8)</sup>は自転車エルゴメーターの1300kpm/minの負荷は脚筋の疲労がオール・アウトの主なる原因になり、とくに大腿部の痛みを訴える者が殆であると報告している。筆者も以上のような理由により、この点を少しでも解決するためにブレーキ抵抗より、回転速度の漸増により実験を行ったのである。

ブレーキ抵抗漸増法と回転速度法の比較を performance のオール・アウト時間におけば後者に有意な延長時間をみた。特に、ロング・グループに著明な差がみられた。しかし、持続時間が長すぎれば最大酸素摂取量の出現をみることはできず、5~10分間でオール・アウトになるように、回転数とブレーキ抵抗の組合せを考える必要がある最大酸素摂取量の出現する心拍数が Balke らの180拍/分、Åstrand の190拍/分から考えるとロング・グループのブレーキ抵抗法の

176拍/分のみは、心臓機能を十分に追込んだとはいえない。しかし、他の場合は180拍/分以上であり、ほぼ満足な最高心拍数値といえよう。

オール・アウト時間と最大酸素摂取量の関係は進藤<sup>9)</sup>らによって、有意な相関があると報告しているが、これはトレッドミルの使用の場合であって、自転車エルゴメーターでは明らかではない。今回の実験において、ブレーキ抵抗法では $r=0.682$ ,  $P<0.001$ と回転速度法では $r=0.684$ ,  $P<0.001$ といずれも有意な相関が認められ、自転車エルゴメーターのオール・アウト時間は performance となり得ることがわかった。

酸素摂取量（最大値）は回転速度法にいずれのグループにおいても高い値がみられたが、呼気量の増大によるところが大きかった。これは、回転速度法は回転数の増大にともない、呼吸のリズムが高まると思われる。

脚筋力と自転車エルゴメーターの負荷法の関係については、脚筋力の平均値が 89.6kg のスプリント・グループより 67.9kg と低い値のロング・グループは概して、回転速度法においてすべての要因が、高い値を示した。しかし、脚筋力に最もすぐれたスピード・スケート選手は両漸増法の差はほとんどみられず、心拍数や呼気量の最大値はむしろ、ブレーキ抵抗法に高い値を示した。このことは、脚筋力がブレーキ抵抗法に及ぼす影響はかなり強く、被検者の脚筋力の強弱を十分に考慮を入れて測定する必要があるだろう。

持久性を二つに分け、スピード持久性と力持久性に分けるならば、スピードの持久性は回転速度法、力の持久性はブレーキ抵抗法と結びつけ考えることができよう。短距離ランナーやスピード・スケート選手は後者の能力にすぐれ、前者は長距離選手がすぐれていると思われる。従来の自転車エルゴメーターの負荷はいわば力の持久性の能力をみるものであり、全身持久性とは少し異った能力と考えられよう。

今後、自転車エルゴメーターによって、作業能力を測定する場合、単に、ブレーキ抵抗負荷を増減するのみならず、回転数の増減を要因の一つに加え、いろいろな組合せによって、被検者の体力（特に脚筋力）に応じて用いることが望ましい。それにはまず、一つの目安として、従来、用いてきたブレーキ抵抗負荷の同一仕事量になるように回転数を変化させることで十分に活用できよう。

## 要 約

自転車エルゴメーターによるブレーキ抵抗法と回転速度法の比較検討の結果、次の様にまとめることができた。

1) performanceとしてのオール・アウト時間は回転速度法（9分32秒）がブレーキ抵抗法（8分17秒）より長い持続時間をみた。

2) Physical Resource としての酸素摂取量の最大値はブレーキ抵抗法 ( $3.56 \pm 0.47$  l/分) より、回転スピード法 ( $3.69 \pm 0.38$  l/分) が高い値を示した。

3) 心拍数の最高値はブレーキ抵抗法が  $181 \pm 13.8$  拍/分、回転スピード法が  $183 \pm 11.8$  拍/分と、差は少なかった。

4) 呼気量、呼吸数ともに回転スピード法に高い値をみた。

5) グループ別には、ロング・グループが、Performance Resource ともに著しく、回転スピード法に高い値をみせた。

以上の結果より、自転車エルゴメーターにおいて、全身持久性をみるにはブレーキ抵抗法より回転スピード法がすぐれていると考えられる。特に脚筋力の弱い者にとってはその傾向が強いといえよう。

#### 参 考 文 献

- 1) 進藤宗洋 持久性と作業能 身体運動の生理学 (杏林書院 1973) 357。
- 2), 3) 猪飼道天 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)
- 4) Glassford, R. G. et al: J. Appl. physiol. 20: 509, 1965。
- 5) 竹本洋等 自転車エルゴメーターの負荷が身体におよぼす影響について 日本体育学会号 490 1974。
- 6) 成沢三雄等 自転車 Ergometer による運動負荷方法の検討 日本体育学会号 564 1974。
- 7) 後藤サヨ子等 自転車作業に関する下肢の筋電図学的研究 日本体育学会号 489 1974。
- 8) 荻原郡次 持久力テストのトレッドミル 自転車エルゴメーターの負荷量に関する研究 日本体育学会号 149 1973。
- 9) 進藤宗洋 全身持久性の評価 身体運動の生理学 (杏林書院 1973) 361。