

# コンピュータ制御による自転車エルゴメータを用いた最大酸素摂取量の推定

東京大学体育学・スポーツ科学研究室 谷 口 有 子

## Submaximal Prediction of Maximal Oxygen Uptake by Computer Controlled Cycle Ergometer

Yuko TANIGUCHI

Twelve young men (aged 20-30 years), 8 middle-aged men (aged 37-49 years), and 10 young women (aged 22-31 years) performed submaximal graded exercise test (3 min. x 3 steps) followed by maximal exercise test to measure maximal oxygen uptake ( $\dot{V}O_{2max}$ ) directly on an electromagnetically braked cycle ergometer. From these submaximal work load and  $\dot{V}O_2$  values, equations to predict  $\dot{V}O_{2max}$  were described. No significant differences were found between the directly measured  $\dot{V}O_{2max}$  and the  $\dot{V}O_{2max}$  estimated by the protocol and equation described here. The standard error of estimate ranged 12.1-13.5%.

### I. 諸 言

最大酸素摂取量 ( $\dot{V}O_{2max}$ ) は、有酸素性作業能力の指標として広く国際的に認められており、体重当りの  $\dot{V}O_{2max}$  は、マラソン・長距離走などの持久的な種目の競技成績と高い相関関係があることが知られている。

また、最近の疫学的調査や、臨床的研究によれば、有酸素性作業能力が一定水準以上の者には、肥満症、高血圧症、高脂血症、虚血性心疾患の罹患率が低い<sup>1,2,3)</sup>ことが明らかになりつつある。

こうした背景に基づいて、「一定水準以上の最大酸素摂取量を持つことを目標に、身体の生理的状态を高めることは健康を維持するために直接的にしる、間接的にしる必要であると考えられ」、「最大酸素摂取量の維持目標値」が性・年齢別に設定されている<sup>4)</sup>。

このように、健康づくりのための運動処方を目途して  $\dot{V}O_{2max}$  を評価しようとする場合、その対象は、中高年者を含む一般成人であると考えられ、疲労困憊まで運動する直接法による測定には危険が伴う。したがって、実際には、最大下負荷を用いた推定法を用いる場合がほとんどであろう。

最大下負荷を用いた  $\dot{V}O_{2max}$  の推定法は、Åstrand と Ryhming のノモグラム<sup>5)</sup>を初めとして数多く報告され比

較検討されている<sup>6,7,8,9,10,11)</sup>が、これらは一般的に、(a)心拍数と酸素摂取量 ( $\dot{V}O_2$ ) の直線関係、(b)既知の最大心拍数、(c)  $\dot{V}O_2$  を測定しない場合は、身体運動の機械的効率が一定、という仮定のもとに最大下で測定したデータを最大値まで外挿することによって推定している<sup>12)</sup>。

近年、3分間×3段階の最大下負荷を用いて  $PWC_{75\%HRmax}$ <sup>13)</sup> を測定するコンピュータ内臓式の運動負荷装置が開発された。上述のような仮定を用いれば、このプロトコールを用いて同時に  $\dot{V}O_{2max}$  の推定を行うことが可能である。そこで、この自転車での推定式を提示し、その精度について検討することを本研究の目的とした。

### II. 一般的方法

以下に述べる各実験に参加した被検者には、実験の趣旨を説明し、同意を得た上で参加してもらった。

呼気ガスは、呼吸代謝測定装置 MMC4400tc (Sensor-Medics 社製) を用いて 1 呼吸毎に呼気ガスを分析し、30 秒毎に  $\dot{V}O_2$  を求めた。その中の最大値を  $\dot{V}O_{2max}$  とした。

ライフスコープ 6 OEC-6201 (日本光電社製) を用いて胸部双極誘導法 (V5) により心電図を記録し、 $\dot{V}O_{2max}$  出現時の 30 秒間の心拍数 (HR) を 1 分値に換算し、最高心拍数 ( $HR_{max}$ ) とした。

全ての結果は、統計的処理を行い、平均値の差の検定

には  $t$  検定および  $F$  検定を用いた。

### Ⅲ. 自転車エルゴメータの機種および測定プロトコールの比較

#### A. 目的

最大下負荷による  $\dot{V}O_{2max}$  の推定を行う場合に用いる仮定の一つに、「機械的効率が一定」がある。Åstrand と Ryhming が最初にノモグラム<sup>5)</sup>を作成したときには、自転車エルゴメータ駆動の機械的効率は、どの負荷でも約 23% であると仮定した。しかし、負荷装置が異なれば、機械的効率も異なる可能性がある。特に、今回測定に用いる自転車エルゴメータ（コンビ社製、エアロバイク 800）は、電磁ブレーキ式であり、表示される負荷は、クランク軸で測定したトルクから算出したものである。Åstrand と Ryhming が用いた Krogh または v. Döbeln の自転車エルゴメータとは、負荷方法、負荷表示方法、クランク長や車輪の慣性などの自転車の構造上の違いがあることから、機械的効率が異なることが予想される。

そこで、まず Åstrand と Ryhming が用いたのと同様の方式であるモナーク社製自転車エルゴメータとコンビ社製エアロバイク 800 を用いて、同じ負荷をかけたときの  $\dot{V}O_2$  を測定し、機械的効率を比較する。

また、 $PWC_{75\%HR_{max}}$  の測定プロトコールを用いて同時に  $\dot{V}O_{2max}$  の推定を行う場合には、3 分間×3 段階の漸増負荷を用いるが、Åstrand と Ryhming の方法<sup>14)</sup>は、5 - 10 分間の一定負荷を用いている（ただし、最も高い負荷では 2 - 3 分で終了している場合もある）。このような

測定プロトコールの違いが、見かけの機械的効率値に影響を及ぼすことも予想されるので、この点についても検討する。

#### B. 方法

被検者は、体育学専攻男子学生 4 名、保健学専攻男子学生 3 名の合計 7 名（21~24 歳、平均年齢  $23.0 \pm 0.9$  歳）であった。

各被検者は、エアロバイク 800（コンビ社製）の体力テストモードを用いて、3 分×3 段階の自転車駆動を行った（C 3 試行）。

その後、次の 3 つの試行をランダムな順序でそれぞれ別の日に行った。

C 3 試行と同じ負荷値で、エアロバイク 800 を用いて 5 分×3 段階の自転車駆動を行った（C 5 試行）。

C 3 試行と同じ負荷値で、モナーク社製ウエイト式自転車エルゴメータを用いて 3 分×3 段階の自転車駆動を行った（M 3 試行）。

C 3 試行と同じ負荷値で、モナーク社製ウエイト式自転車エルゴメータを用いて 5 分×3 段階の自転車駆動を行った（M 5 試行）。

全ての試行は、メトロノームを用いて、C 3 試行と同じ 50rpm で自転車駆動を行った。

#### C. 結果

各被検者の各試行ごとに、3 段階の運動負荷と  $\dot{V}O_2$  の値から回帰式を求め、運動負荷が 50, 100, 150W のときの  $\dot{V}O_2$  を求めた。これらの平均値を図 III - 1 に示した。

これらの値について分散分析による検定を行った結

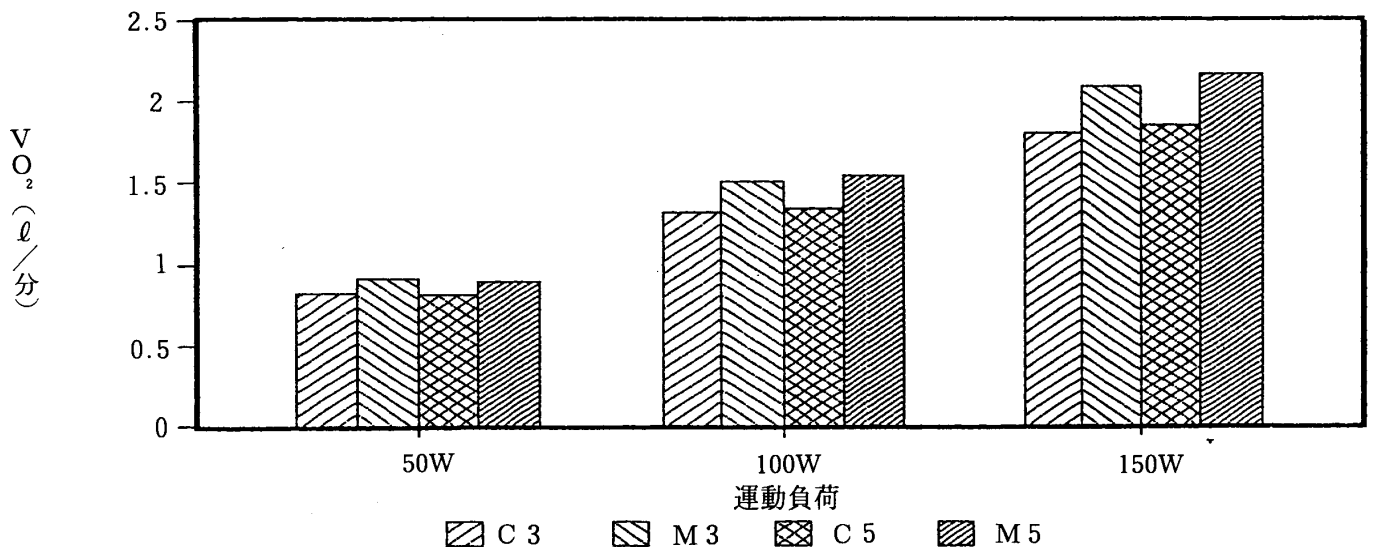


図 III - 1. 自転車・プロトコールの違いによる  $\dot{V}O_2$  の比較

果, 50Wでは, 自転車の機種間 ( $F=47.94 > F(1,18; 0.01) = 8.29$ ), 被検者間 ( $F=10.18 > F(6,18; 0.01) = 4.01$ ) に有意な差がみられた。

100Wでは, 自転車の機種間 ( $F=160.73 > F(1,18; 0.01) = 8.29$ ), 被検者間 ( $F=8.81 > F(6,18; 0.01) = 4.01$ ) に有意な差がみられた。

150Wでは, 自転車の機種間 ( $F=119.63 > F(1,18; 0.01) = 8.29$ ), 被検者間 ( $F=3.74 > F(6,18; 0.05) = 2.66$ ), 時間 ( $F=5.88 > F(1,18; 0.05) = 4.41$ ) に有意な差がみられた。

D. 論 議

50, 100, 150W全てにおいて, 自転車の機種間に有意な差がみられた。どの負荷においても, モナーク社製の自転車エルゴメータに比べて, コンビ社製の自転車エルゴメータの方が  $\dot{V}O_2$  の値が小さかった。

これは, モナーク社製の自転車エルゴメータは前輪に巻いたベルトに重りを掛けて摩擦による負荷を与えており, 重りの重量と車輪の回転数から仕事量を求めている

のに対し, コンビ社製の自転車エルゴメータの方は, 電磁ブレーキを用いており, 表示負荷値はクランク軸での負荷値を示しているという, 「負荷方法の違い」, 「負荷表示方法の違い」, 「クランク長や車輪の慣性などの自転車の構造上の違い」などの影響であると考えられる。

(生体負荷装置である自転車エルゴメータの精度の研究は古くから行われてきたにもかかわらず, 自転車エルゴメータの負荷方法や負荷表示方法等については, 特に基準がないため, 各社各様になっている。自転車エルゴメータを用いた体力測定が普及してきた現在, 早急に統一した基準の整備が望まれる。)

また, 50, 100, 150W全てにおいて, 被検者間に有意な差がみられたが, これは自転車の機種間の差に比べれば, 非常に小さなものであった。

時間に有意差がみられたのは, 150Wにおいてのみであった。これは, 負荷が大きくなると, 定常状態に達するまでの時間が長くなるようになり (あるいは, 定常状態が出現しなくなり), 3分に比べて5分の方が  $\dot{V}O_2$  の値が高くなるものと考えられた。

表Ⅲ-1. 運動負荷- $\dot{V}O_2$  関係の先行研究との比較 (平均値±標準偏差)

I. Åstrand (1960)の表を著者が改編

(単位:  $\ell/\text{min}$ )

年 齢	性	n	300kpm/min	n	600kpm/min	n	900kpm/min	
21-24	男	7	0.90±0.06	7	1.54±0.07	7	2.18±0.08	本研究
27-45	男	16	0.95±0.05	12	1.52±0.06	-	-	I. Åstrand (1960)
50-68	男	9	0.99±0.07	55	1.59±0.12	18	2.19±0.13	I. Åstrand (1958a) I. Åstrand ら(1959)
22-31	男	-	-	-	-	29	2.15±0.10	Ryhming (1953)
20-33	男	-	-	-	-	21	2.09±0.09	P.-O. Åstrand (1952)
20-29	女	8	0.86±0.06	-	-	-	-	I. Åstrand (1960)
30-39	女	12	0.90±0.06	-	-	-	-	同 上
40-49	女	8	0.90±0.04	-	-	-	-	同 上
50-65	女	15	0.95±0.09	-	-	-	-	同 上
20-65	女	-	-	13	1.47±0.05	-	-	同 上
20-26	女	-	-	31	1.48±0.10	-	-	Ryhming (1953)
20-25	女	-	-	31	1.48±0.08	31	2.06±0.09	P.-O. Åstrand (1952)

表Ⅲ-1, 2は, I.Åstrand<sup>14)</sup> がいくつかの先行研究をまとめたものを改編したものである。Åstrand ら<sup>15)</sup> の研究は, モナーク社製の自転車エルゴメータと同様の方式の自転車エルゴメータを用いて, 5~8分間の一定負荷を用いて測定した結果である。表中の「本研究」のデータは, モナーク社製の自転車エルゴメータを用いて5分漸増負荷で測定したM5試行の結果である。同種の自転

車で, 同様の測定を行った場合は, 同一負荷に対する  $\dot{V}O_2$ , 機械的効率の値は非常によく一致していた。

したがって,  $\dot{V}O_{2\text{max}}$  の測定に用いる効率値は, 測定に用いるのと同種の自転車での実測値を用いるのがよいと考えられた。

表Ⅲ-2. 機械的効率の先行研究との比較 (平均値±標準偏差)

I. Åstrand (1960)の表を著者が改編

(単位: %)

年 齢	性	n	300kpm/min	n	600kpm/min	n	900kpm/min	
21-24	男	7	22.4±1.1	7	22.4±1.1	7	22.5±1.1	本研究
27-45	男	16	20.8±1.3	12	22.9±0.9	-	-	I. Åstrand (1960)
50-68	男	9	18.9±1.4	55	21.8±1.6	18	22.6±1.4	I. Åstrand (1958a) I. Åstrand ら(1959)
22-31	男	-	-	-	-	29	22.8±1.1	Ryhming (1953)
20-33	男	-	-	-	-	21	23.4±1.1	P.-O. Åstrand (1952)
20-29	女	8	21.9±1.9	-	-	-	-	I. Åstrand (1960)
30-39	女	12	20.7±1.7	-	-	-	-	同 上
40-49	女	8	20.6±0.9	-	-	-	-	同 上
50-65	女	15	19.6±1.4	-	-	-	-	同 上
20-65	女	-	-	13	22.5±1.0	-	-	同 上
20-26	女	-	-	31	22.7±1.5	-	-	Ryhming (1953)
20-25	女	-	-	31	22.5±1.6	31	23.1±1.1	P.-O. Åstrand (1952)

IV.  $\dot{V}O_{2max}$  の推定式の作成

A. 目 的

同一機種 of 自転車 を 駆 動 し た 際 の 機 械 的 効 率 に , 年 齢 , 性 別 に よ る 違 い が み ら れ る か だ ろ う か に つ い て 確 認 し た 上 で , コ ン ビ 社 製 エ ア ロ バ イ ク 800 の 体 力 テ ス ト モ ー ド を 用 い た  $\dot{V}O_{2max}$  の 測 定 式 を 提 示 す る .

B. 方 法

被 検 者 は , 表 IV-1 に 示 す と お り で 有 る . A グ ル ー プ ( 青 年 男 性 ) は , 体 育 学 専 攻 男 子 学 生 10 名 お よ び 自 転 車 部 男 子 学 生 2 名 , B グ ル ー プ ( 中 年 男 性 ) は , 一 般 男 性 8 名 , C グ ル ー プ ( 青 年 女 性 ) は , 体 育 学 専 攻 女 子 学 生

表 IV-1. 被 検 者 の 内 訳

グループ	人数	性別	平均年齢(歳)	年齢範囲(歳)
A	12	男性	23.8±2.8	20~30
B	8	男性	42.1±4.2	37~49
C	10	女性	24.5±3.2	22~31

8 名 , 一 般 女 性 2 名 で 有 っ た .

B グ ル ー プ の 被 検 者 は , 測 定 に 先 立 ち , 医 師 に よ る メ デ ィ カ ル ・ チ ェ ッ ク を 受 け , 医 師 の 立 会 い の も と に 測 定 を 実 施 し た .

各 被 検 者 は , 特 別 に プ ロ グ ラ ム 変 更 さ れ た コ ン ビ 社 製

エ ア ロ バ イ ク 800 を 用 い て , 通 常 の  $PWC_{75\%HR_{max}}$  を 3 分 間 × 3 段 階 の 負 荷 で 測 定 し た 後 , 引 き 続 い て 2 分 毎 に 表 IV-2 に 基 づ い て 負 荷 を 増 加 し ( 350W に 達 し て 2 分 間 運 動 し て も  $\dot{V}O_{2max}$  が 出 現 し な か っ た 場 合 は , そ の ま ま の 負 荷 で ) , 疲 勞 困 憊 に 至 る ま で 運 動 を 継 続 し た .

表 IV-2. PWC 法 の 第 4 段 階 以 降 の プ ロ ト コ ー ル

第 3 負 荷 X (W)	第 4 負 荷 以 降 の 増 加 の 幅
125 < X	50 (W)
80 < X ≤ 125	30 (W)
X ≤ 80	20 (W)

例) 第 3 負 荷 が 105W で 有 れ ば , 第 4 負 荷 以 降 は , 135, 165, 195W と 有 る .

な お , こ の 測 定 に 先 立 ち ,  $PWC_{75\%HR_{max}}$  の 測 定 プ ロ ト コ ー ル か ら 引 き 続 い て 負 荷 を 漸 増 し て 測 定 し た  $\dot{V}O_{2max}$  と , 通 常 よ く 行 わ れ る 漸 増 負 荷 法 ( 30W/min ) に よ っ て 測 定 し た  $\dot{V}O_{2max}$  に 統 計 的 に 有 意 な 差 が 無 い こ と を 確 認 し た .

C. 結 果 と 論 議

3 つ の グ ル ー プ の 各 被 検 者 に つ い て , 3 段 階 の 各 負 荷 の 最 後 の 1 分 間 の  $\dot{V}O_2$  を 用 い て , 運 動 負 荷 ( W ) -  $\dot{V}O_2$  ( ml/min ) 関 係 の 回 帰 式 (  $\dot{V}O_2 = aW + b$  ) を 求 め た ( 表 IV-3 ) . 係 数 a , b に つ い て F 検 定 を 行 っ た と こ ろ , a に は グ ル ー プ 間 に 有 意 な 差 は み ら れ な か っ た が ,

bには有意な差がみられた ( $F = 12.27 > F(2, 27; 0.01) = 5.49$ )。

表N-3. 回帰式  $\dot{V}O_{2max} = aW + b$  の係数

	a	b
A	8.884 ± 0.659	389.220 ± 72.821
B	8.837 ± 0.557	294.868 ± 53.632
C	8.478 ± 0.688	246.547 ± 64.128
全体	8.736 ± 0.669	316.502 ± 90.167

すなわち、負荷の増分に対する  $\dot{V}O_2$  の増分 ( $\Delta$ 効率) には、性・年齢による差はみられないが、0Wでの  $\dot{V}O_2$  には差がみられるということである。これには、体重(kg)の差による安静時  $\dot{V}O_2$  の差が大きく影響していると考えられたので、係数bと体重の相関関係を調べてみると、回帰式  $b = 5.255 \times \text{体重} + 0.547$  となり、 $r = 0.620$  で有意な相関があった ( $p < 0.001$ )。

この結果は、一定負荷に対する  $\dot{V}O_2$  の値に男女差がみられる、また、わずかに年齢による差がみられるが、純効率は同じであるという先行研究<sup>14)</sup>の結果と一致している。

これらの結果から、コンビ社製エアロバイク800を用いた  $\dot{V}O_{2max}$  の推定を次の手順で行った。

- ① 3段階の作業負荷と各負荷での最後の1分間の心拍数から、作業負荷-心拍数の回帰式を求める。
- ② ①で求めた回帰式に、年齢・性別から推定した最大心拍数<sup>13)</sup>を代入して、 $PWC_{max}$ を求める。
- ③ 3つのグループの各被検者について、3段階の各負荷の最後の1分間の  $\dot{V}O_2$  から求めた運動負荷(W) -  $\dot{V}O_2$  (ml/min) 関係式の係数の平均値を用いて作成した回帰式

$$\dot{V}O_2(\text{ml}/\text{min}) = 8.736W(W) + 316.502 \dots (1)$$

に  $PWC_{max}$  の値を代入し、 $\dot{V}O_{2max}$  を求める。

また、係数bと体重の間に相関関係がみられたことから、回帰式(1)の係数bを357から  $5.255 \times \text{体重} + 0.547$  に置き換えて、

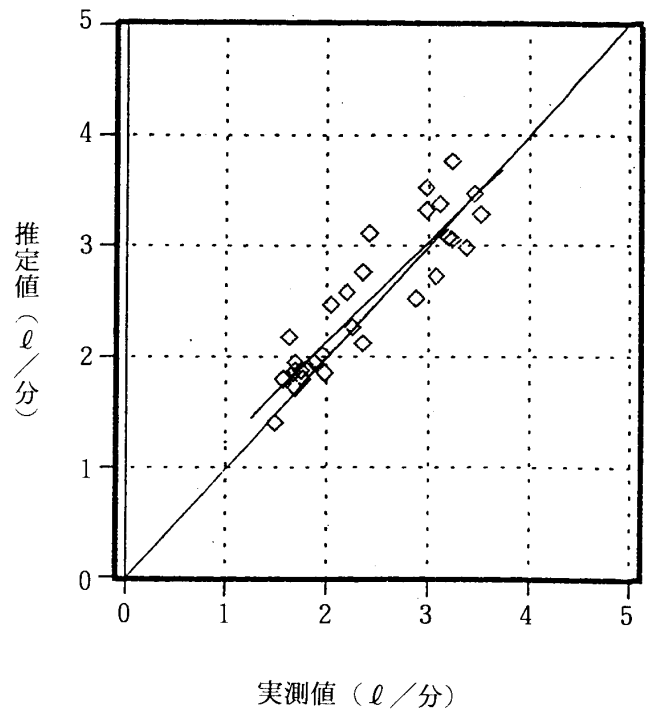
$$\dot{V}O_2(\text{ml}/\text{min}) = 8.736W(W) + 5.255 \times \text{体重} + 0.547(\text{ml}/\text{kg}/\text{min}) \dots (2)$$

とした場合の  $\dot{V}O_{2max}$  も求めた。

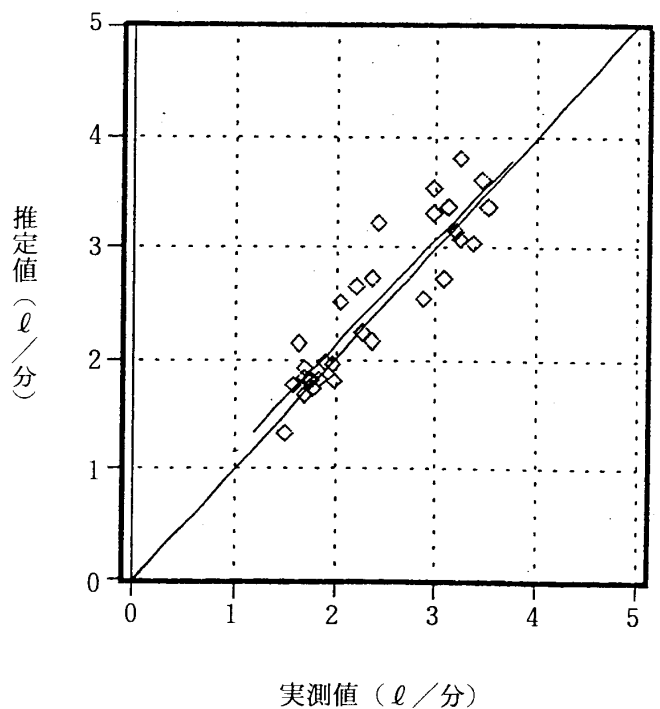
これらの結果を図N-1, 2に示した。

(1)式を用いて推定した  $\dot{V}O_{2max}$  の平均値は  $2.48 \pm 0.661/\text{min}$  であり、実測した  $\dot{V}O_{2max}$  の平均値  $2.38 \pm 0.661/\text{min}$  と有意な差はみられなかった。

各被検者の値をみると、推定  $\dot{V}O_{2max}$  の値と実測し



図N-1. 回帰式  $\dot{V}O_2 = 8.736W + 316.502$  を用いて推定した  $\dot{V}O_{2max}$  と実測値の関係



図N-2. 回帰式  $\dot{V}O_2 = 8.736W + 5.255 \times \text{体重} + 0.547$  を用いて推定した  $\dot{V}O_{2max}$  と実測値の関係

た  $\dot{V}O_{2max}$  の差が  $\pm 5\%$  以内のものは 30 名中 10 名,  $\pm 5-10\%$  のものは 6 名であり,  $\pm 20\%$  以上のものは 3 名であった。

実測値 (X) と推定値 (Y) の関係は, 回帰式  $Y = 0.900X + 0.340$  によって表され, 相関係数  $r = 0.908$  ( $p < 0.001$ ) であった。推定の誤差の標準偏差 (回帰からの標準偏差) は,  $0.288l/min$  であり, 実測値に対する比率で表すと  $12.1\%$  であった。

(2) 式を用いて推定すると,  $\dot{V}O_{2max}$  の平均値は  $2.48 \pm 0.70l/min$  であり, 実測した  $\dot{V}O_{2max}$  の平均値との間に有意な差はみられなかった。実測した  $\dot{V}O_{2max}$  との差が  $\pm 5\%$  以内のものは 30 名中 12 名,  $\pm 5-10\%$  のものは 5 名であり,  $\pm 20\%$  以上のものは 3 名であった。

回帰式  $Y = 0.957X + 0.208$  によって表され, 相関係数  $r = 0.909$  ( $p < 0.001$ ) であった。推定の誤差の標準偏差は,  $0.304l/min$  であり, 実測値に対する比率で表すと  $12.8\%$  であった。

推定誤差の標準偏差の, 実測値に対する比率は, Åstrand と Ryhming<sup>9)</sup> の  $6.7-14.4\%$ , Metz ら<sup>10)</sup> が青年について報告している  $5.5-14.5\%$ , Siconolfi ら<sup>11)</sup> が 20 歳代から 60 歳代の幅広い年齢層について報告している  $9.5-13.1\%$  などがある。本研究の  $12.1\%$ ,  $12.8\%$  は, この範囲に入っており, これらの先行研究に匹敵する推定精度が得られたことになる。しかし, これらは, 回帰式を求めるのに用いた被検者のものであるため, 推定の精度は高くなるのが当然である。したがって, 別の被検者群についても検討する必要がある。

## V. $\dot{V}O_{2max}$ の推定精度

### A. 目的

前章 IV において回帰式を求めた被検者群とは別の被検者群において, コンビ社製エアロバイクの体力テストモードを用いて, 提示した回帰式による  $\dot{V}O_{2max}$  の推定値を, 漸増負荷法により実測した  $\dot{V}O_{2max}$  と比較する。

### B. 方法

被検者は, ボート部新入部員男子学生 18 名 (18-21 歳, 平均  $18.8 \pm 0.9$  歳) であった。各被検者は, コンビ社製エアロバイク 800 または 710 を用いて,  $PWC_{75\%HR_{max}}$  または  $PWC_{170}$  を測定した後, 1 時間以上の休息をはさんで, コンビ社製自転車エルゴメータ 232C を用いて,  $30W/分$  のランプ負荷による漸増負荷自転車駆動テストを受け, 疲労困憊に至るまで運動を継続した。三栄株式会社製呼気ガス分析器 IH26 を用いて, ダグラスバッグ法により 1

分毎に呼気ガスを分析して  $\dot{V}O_2$  を求め, その中の最大値を  $\dot{V}O_{2max}$  とした。日本光電社製心電計カーディオスコープを用いて双極誘導法により心電図を記録し,  $\dot{V}O_{2max}$  出現時の 1 分間の心拍数を最高心拍数 ( $HR_{max}$ ) とした。

$PWC_{75\%HR_{max}}$  または  $PWC_{170}$  を測定した際の負荷と心拍数の関係から, 実験 IV において提示した回帰式 (1), (2) を用いて  $\dot{V}O_{2max}$  の推定値を求めた。

### C. 結果

(1) 式を用いて推定した  $\dot{V}O_{2max}$  の平均値は  $2.92 \pm 0.65l/min$  であり, 実測した  $\dot{V}O_{2max}$  の平均  $2.90 \pm 0.49l/min$  との間に有意差はみられなかった。

各被検者の値をみると, 推定  $\dot{V}O_{2max}$  の値と実測した  $\dot{V}O_{2max}$  の差が  $\pm 5\%$  以内のものは 18 名中 8 名,  $\pm 5-10\%$  のものは 5 名であり,  $\pm 20\%$  以上のものは 2 名であった (図 V-1)。

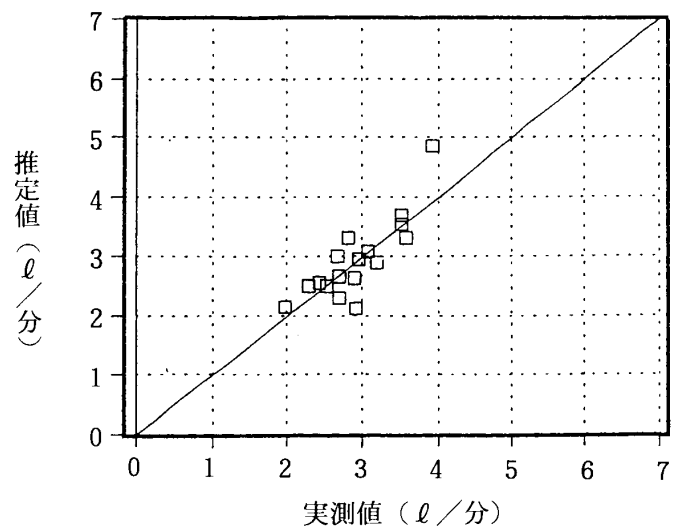


図 V-1. 回帰式  $\dot{V}O_2 = 8.736W + 316.502$  を用いて推定した  $\dot{V}O_{2max}$  と実測値の関係

実測値 (X) と推定値 (Y) の関係は, 回帰式  $Y = 1.105X - 0.288$  によって表され, 相関係数  $r = 0.832$  ( $p < 0.001$ ) であった。推定の誤差の標準偏差 (回帰からの標準偏差) は,  $0.381l/min$  であり, 実測値に対する比率で表すと  $13.1\%$  であった。

(2) 式を用いて推定すると, 実測した  $\dot{V}O_{2max}$  との差が  $\pm 5\%$  以内のものは 18 名中 6 名,  $\pm 5-10\%$  のものは 7 名であり,  $\pm 20\%$  以上のものは 2 名であった (図 V-2)。

回帰式  $Y = 1.175X - 0.458$  によって表され, 相関係数  $r = 0.841$  ( $p < 0.001$ ) であった。推定の誤差の標準偏差は,  $0.391l/min$  であり, 実測値に対する比率で表すと

13.5%であった。

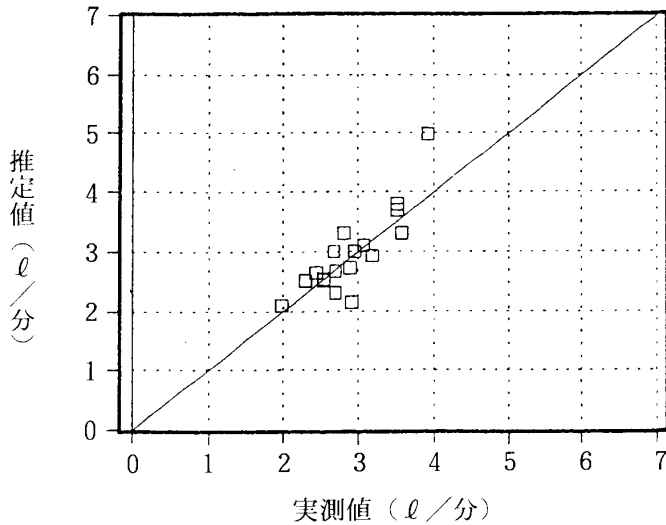


図 V - 2. 回帰式  $\dot{V}O_2 = 8.736W + 5.255 \times \text{体重} + 0.547$  を用いて推定した  $\dot{V}O_{2\max}$  と実測値の関係

#### D. 論 議

以上のように、3分の2強の被検者は、実測値との差±10%以内になることが分かった。

推定誤差の標準偏差の、実測値に対する比率は、ÅstrandとRyhming<sup>5)</sup>の6.7-14.4%、Metzら<sup>10)</sup>が青年について報告している5.5-14.5%、Siconolfiら<sup>11)</sup>が20歳代から60歳代の幅広い年齢層について報告している9.5-13.1%などがある。本研究の13.1%は、この範囲に入っており、これらの先行研究に匹敵する推定精度が得られたことになる。

また、前章に示した理由により、体重による補正を加えることによって精度が向上すると予想されたが、この被検者群においては、(1)式と比べて顕著な改善はみられなかった。

また、極端に実測値とかけ離れた推定値は、負荷(X)と心拍数(Y)の回帰式( $Y = pX + q$ )の係数pの範囲を設定することによって除外することができるかもしれない。実際、実験Vの被検者の係数pの分布を調べ、極端にはずれた両端の二人を除外することによって、実測値から20%以上はずれた値を除外することができた。ただし、係数の範囲をどこに設定するかは、さらに検討する必要がある。

#### VI. ま と め

エアロバイクの体力テストモードを用いた  $\dot{V}O_{2\max}$  の推

定式を提示し、実測した  $\dot{V}O_{2\max}$  の値と比較して推定精度を検討したところ、先行研究に匹敵する推定精度が得られた。

#### 〈謝辞〉

本稿を執筆するにあたり、重要なアドバイスをいただいた教育学部長(体育学健康教育学科)の宮下充正先生に深く感謝の意を表します。

メディカル・チェックをしていただいた滝川玲子先生、太田美穂先生、メディカル・チェックの補助をしていただいた坂上明子氏に深謝します。

また、測定を手伝ってくれた教育学研究科の大沢進氏、川上泰雄氏、教育学部体育学健康教育学科の服部弘之氏、医学部保健管理学教室の柳堀朗子氏、ならびに、教育学部体育学・スポーツ科学研究室のみなさん、医学部保健学科のみなさんに感謝します。

#### 〈引用文献〉

- 1) 村上寿利・進藤宗洋・田中宏暎・熊谷秋三・生田純男・佐々木淳 1988 冠動脈硬化性心疾患危険因子の判定手法としての推定最大酸素摂取量の有効性 動脈硬化 第15巻 第8号 pp.1665-1673.
- 2) 村上寿利・進藤宗洋・田中宏暎・熊谷秋三・今村英夫・生田純男・神宮純江・高橋紀子・佐々木淳 1988 冠動脈硬化性心疾患危険因子の判定手法としての推定最大酸素摂取量の有効性(第二報) - 女性についての検討 - 動脈硬化 第16巻 第4号 pp.495-500.
- 3) 進藤宗洋・田中宏暎・田中守・山内美代子・中西安弘・皆吉正博・本多加代子・鈴木美栄子・小貫秀和・湊美勝・南和代・松本ルミ 1989 高血圧症のり患率に対する最大酸素摂取量水準値と加齢の相互関係について 循環器情報処理研究会雑誌 pp.72-76.
- 4) 健康づくりのための運動所要量策定検討会 1989 健康づくりのための運動所要量について 健康づくりのための運動所要量策定検討会報告書 pp.152-155.
- 5) Åstrand, P.-O., and I. Ryhming 1954 A nomogram for calculation of aerobic capacity (physical fitness) from pulse rate during submaximal work. J. Appl. Physiol., 7, pp.218-221.
- 6) Maritz, J. S., J. F. Morrison, J. Peter, N. P. Strydom, and C. H. Wyndam 1961 A practical method of estimating an individual's maximal oxygen intake. Ergonomics, 4, pp. 97-122.
- 7) Glassford, R. G., G. H. Y. Baycroft, A. W. Sedgwick, and R. B. J. Macnab 1965 Comparison of maximal oxygen uptake values determined by predicted and actual methods. J. Appl. Physiol., 20 (3), pp. 509-513.
- 8) Margaria, R., P. Aghemo, and E. Rovelli 1965 Indirect determination of oxygen consumption in man. J. Appl. Physiol., 20 (5), pp. 1070-1073.
- 9) Davies, C. T. M. 1968 Limitations to the prediction of maximum oxygen intake from cardiac frequency measurement.

- ts. *J. Appl. Physiol.*, 24 (5), pp.700-706.
- 10) Metz, K. F., and J. F. Alexander 1971 Estimation of maximal oxygen intake from submaximal work parameters. *Res. Q.*, 42, pp. 187-193.
  - 11) Siconolfi, S. F., E. M. Cullinane, R. A. Carleton, and P. D. Thompson 1982 Assessing  $\dot{V}O_{2max}$  in epidemiologic studies: modification of the Åstrand-Ryhming test. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 14 (5), pp. 335-338.
  - 12) Shephard, R. J. 1984 Tests of maximum oxygen intake. A critical review. *Sports Medicine*, 1, pp. 99-124.
  - 13) Miyashita, M., Y. Mutoh, N. Yoshioka, and T. Sadamoto 1985  $PWC_{75\%HRmax}$  : A measure of aerobic work capacity. *Sports Medicine*, 2, pp. 159-164.
  - 14) Åstrand, I. 1960 Aerobic work capacity in men and women with special reference to age. *Acta Physiologica Scandinavica*, 49 (Suppl. 169), pp. 1-92.
  - 15) Åstrand, I., P.-O. Åstrand, and K. Rodahl 1959 Maximal heart rate during work in older men. *J. Appl. Physiol.*, 14 (4), pp. 562-566.