

## 心拍変動フィードバック管理負荷制御方式による 本邦成人女性の全身持久性の評価

田中喜代次・信田宜司\*・長谷川陽三\*・  
金炫秀\*\*・松浦義行

### Assessment of cardiorespiratory endurance capacity of Japanese women by torque auto-controlled system with the heart rate feedback

Kiyoji TANAKA, Yoshiji NOBUTA, Yohzoh HASEGAWA,  
Hyun Soo KIM and Yoshiyuki MATSUURA

An accumulated body of evidence suggests that either maximal oxygen uptake ( $\dot{V}O_2\text{max}$ ) or oxygen uptake corresponding to lactate threshold ( $\dot{V}O_2@LT$ ) is considered the single best determinant of one's cardiorespiratory endurance or aerobic capacity. Because of its invasive nature (i.e., the need for drawing multiple blood samples), the assessment of the  $\dot{V}O_2@LT$  does not meet many of the essentially important requirements for human subjects. Although not as complicated as the measurement of the  $\dot{V}O_2@LT$ , the direct measurement of  $\dot{V}O_2\text{max}$  dose also require elaborate equipment, trained personnel, special knowledge, and a maximal effort on the part of the subject who is tested. In addition, direct measurement of these variables is time consuming. For these reasons, large numbers of researchers have attempted to define and propose simple submaximal tests which provide accurate estimates of  $\dot{V}O_2\text{max}$  or  $\dot{V}O_2@LT$ . However, earlier studies have indicated that the validity of the predicted cardiorespiratory endurance capacity of women is not as sufficiently high as the case in men. The aim of the present study was thus to develop a more valid prediction equation for women's cardiorespiratory endurance capacity. Analysis of the data revealed that, when the Mizuno cycling device was used for the assessment of cardiorespiratory endurance capacity, the aerobic score (AS;  $X_1$ ) determined by torque auto-controlled system with the feedback of heart rate, in conjunction with the chronological age ( $X_2$ ), accounted for more than 74% of the variance in  $\dot{V}O_2\text{max}$  and more than 64% of the variance in  $\dot{V}O_2@LT$ . Furthermore, we proposed a more comprehensive cardiorespiratory endurance index (i.e., LTMAX) that was calculated as the mean of standardized scores (H-score) of  $\dot{V}O_2\text{max}$  and  $\dot{V}O_2@LT$  in the following.  $Y=0.720X_1-0.277X_2+26.41$  (multiple  $r=0.850$ ,  $r^2=0.723$ ,  $SEE=7.32$ ), where  $Y=LTMAX$  score,  $X_1=AS$ , and  $X_2=age$ . An advantage of the use of this equation is that the information needed for calculating the AS includes only age, weight, and heart rate during submaximal exercise performed at intensities corresponding to about  $70\pm 8\%$  or  $75\pm 8\%$  of age-predicted maximal heart rate. We suggest that the developed equation can be used with acceptable precision on a greater population of Japanese women.

\* ミズノ(株)研究開発部 Research and Development Department, Mizuno Corporation

\*\* 大阪市立大学生活科学部大学院 Doctoral Program, Department of Science of Living, Osaka City University

Key words : cardiorespiratory endurance, simplified method, torque auto-controlled system, aerobic score, multiple regression analysis

### I. 緒 言

健康の維持・増進や体力の回復・向上の手段として、室内トレーニングの一つである自転車エルゴメータ駆動があるが、近年ではこの運動は老若男女を問わず幅広い層の人々の間で盛んに行われている。しかし、従来から市販されている Monark 製などの自転車エルゴメータやその他の多くの自転車エルゴメータの利用では、個人にとってトレーニング中の運動負荷強度が高くなりすぎたり、個人の全身持久性を評価できないという利用上の制約が伴う。これは、利用者一人一人に適した運動負荷強度を提供するシステム（ソフトウェア）が具備されていないことによるものと思われる。

筆者らは、先行研究<sup>19)20)</sup>において、運動中の心拍変動フィードバック管理により、運動負荷強度を個人ごとに制御するシステムを開発し、同システムによって評価される aerobic score (AS) が最大酸素摂取量 (maximal oxygen uptake:  $\dot{V}O_2\text{max}$ ) や嫌気性代謝閾値または乳酸性閾値 (lactate threshold:  $\dot{V}O_2@LT$ ) などの全身持久性の基準変数に対して比較的高い妥当性を有することを報告した。しかし、とくに対象が女性の場合、AS による  $\dot{V}O_2\text{max}$  や  $\dot{V}O_2@LT$  の推定精度が低くなることも明らかになった<sup>19)20)</sup>。

$\dot{V}O_2\text{max}$  や  $\dot{V}O_2@LT$  が加齢に伴って漸次減少することは、これまでの報告<sup>5)7)10)11)14)15)16)</sup>に示されている。Posner et al.<sup>14)</sup>は加齢に伴い、 $\dot{V}O_2\text{max}$  が男性で0.340ml/kg/min/yr、女性で0.259 ml/kg/min/yr、 $\dot{V}O_2@LT$  とほぼ同義語である換気性閾値が男性で0.083ml/kg/min/yr、女性で0.073ml/kg/min/yr ずつ低下することを、また竹島ら<sup>16)</sup>は本邦中高年男性ランナーの場合、1歳ごとの低下量が  $\dot{V}O_2\text{max}$  で0.740ml/kg/min、 $\dot{V}O_2@LT$  で0.477ml/kg/minであることを報告している。そこで、本研究は心拍変動フィードバック管理負荷制御方式に基づく成人女性の全身持久性の推定を再度検討し、年齢などの情報を加味して従来以上の精度でかつ簡易に推定しうる方程式を提案することを目的とした。

### II. 方 法

#### 1. 対 象

本研究の対象は本邦成人女性65名で、この中には若年齢の中長距離走者が4名、ジョギングを習慣化している者が3名、1年以上継続的にその他のスポーツに参加している若・中年の者が7名含まれた。なお、対象の年齢、身長、体重、 $\dot{V}O_2\text{max}$ 、 $\dot{V}O_2@LT$ 、最高心拍数 (HRmax)、AS などの平均値 (±標準偏差) は、表1に示した。なお、対象一人一人に本研究の目的および検査内容を説明し、研究参加への快諾を得た。

#### 2. Aerobic Score (AS)の測定

全身持久性の簡易指標としての AS の理論的根拠については先行研究<sup>19)20)</sup>において詳述した。基本的には、平均運動強度が心拍数からみて最大下 (例えば最高心拍数の70%辺り) になるよう負荷をコンピュータ制御し、その状態での自転車駆動中における負荷トルク (これは  $\dot{V}O_2$  と常に0.98程

Table 1 Descriptive statistics of selected variables.

|  | Mean  | SD   | Range       |
|--|-------|------|-------------|
| Age (yr)   | 31.4  | 10.9 | 20-57       |
| Ht (cm)  | 157.0 | 4.1  | 149.8-167.2 |
| Wt (kg)  | 54.2  | 8.7  | 42.1-107.0  |
| KI   | 105.9 | 17.0 | 82.4-205.0  |
| $\dot{V}O_2\text{max}$ (ml/kg/min)                               | 34.3  | 7.0  | 21.5-53.3   |
| HRmax (b/min)  | 182.1 | 11.2 | 153-202     |
| $\dot{V}O_2@LT$ (ml/kg/min)                                      | 18.9  | 4.9  | 13.0-34.9   |
| % $\dot{V}O_2\text{max}@LT$ (%)<br>(measured during the AS test) | 55.0  | 5.8  | 41.8-66.9   |
| HR (b/min)   | 131.1 | 8.0  | 104-147     |
| %HRmax@LT (%)  | 72.1  | 4.0  | 60.8-80.6   |
| RPM  | 71.3  | 8.8  | 49-99       |
| RPE  | 12.5  | 1.4  | 9-15        |
| AS   | 51.5  | 14.7 | 26-94       |
| (variables converted to a score on the $\sigma/14$ -scale)       |       |      |             |
| $\dot{V}O_2\text{max}$ score                                     | 50.0  | 14.0 | 24.5-87.9   |
| $\dot{V}O_2@LT$ score  | 50.0  | 14.0 | 33.0-95.7   |
| LTMAX score  | 50.0  | 13.7 | 28.9-91.5   |

KI; Katsura index calculated as  $[Wt/\{(HT-100)0.9\}]100$ ,  $\dot{V}O_2\text{max}$ ; maximal oxygen uptake, HRmax; maximal heart rate,  $\dot{V}O_2@LT$ ; oxygen uptake corresponding to the lactate threshold, RPM; pedaling revolution, RPE; ratings of perceived exertion, AS; aerobic score

Subject: Wt = 63 kg, Age = 29  
 $\bar{X}WR = 138$  watts,  $\bar{X}HR = 124$  b/min,  $\bar{X}RPM = 68.5$   
 AS = 89

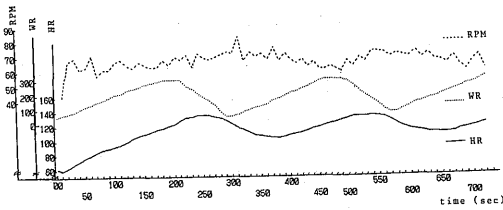


Fig. 1 Computer-generated sinusoid segments of original recordings from one subject in terms of HR, work rate, and pedaling revolution measured during the AS test cycling.

度の非常に高い相関を示す)の個人差でもって全身持久性を評価しようとするものである(図1)。

ASは、ミズノ製の渦電流型負荷制御方式自転車エルゴメータを利用し、予測HRmax(=220-年齢)の70%または75%に相当する12分間の自転車駆動を負荷して次式より算出した。

$$AS = k(WR/Wt)/HR$$

AS: エロビック・スコア

WR: 1分間当りの平均仕事率 (watt)

Wt: 体重 (kg)

HR: 1分間当りの平均心拍数 (b/min)

k: 比例定数

運動中の心拍数は脈拍センサを耳朶に装着し、光電脈波検出方式<sup>21)</sup>によって測定した。渦電流型負荷制御方式自転車エルゴメータのペダル回転数は、フィードバック機構によって負荷トルクを制御するシステムを採用していることから、各被験者の任意の数としたが、概ね70rpm前後になるようTV画面上のスピード表示にて調整させた。

### 3. $\dot{V}O_2@LT$ および $\dot{V}O_2max$ の測定

$\dot{V}O_2@LT$  と  $\dot{V}O_2max$  の測定は、Monark製の自転車エルゴメータを使用し、2~4分間OwでのW-up終了後、毎分15Wずつ疲労困憊に至るまで負荷を増加する多段階漸増負荷法<sup>18)</sup>にて行った。運動負荷テスト中のペダル回転数は60rpm一定とし、被験者にはメトロノームおよび検者の号令リズムに合わせて自転車駆動を行うよう指示した。なお、運動負荷テスト中は、絶えず心電図や血圧などの変化を監視した。

$\dot{V}O_2@LT$  は、正中肘皮静脈より1分ごとに採

Table. 2 Correlations of  $\dot{V}O_2max$ ,  $\dot{V}O_2@LT$ , and LTMAX with selected independent variables.

|       | $\dot{V}O_2max$ | $\dot{V}O_2@LT$ | LTMAX#  |
|-------|-----------------|-----------------|---------|
| Age   | -0.564*         | -0.428*         | -0.508* |
| Ht    | 0.117           | 0.049           | 0.085   |
| Wt    | -0.517*         | -0.412*         | -0.476* |
| KI    | -0.583*         | -0.450*         | -0.529* |
| HRmax | 0.333*          | 0.220           | 0.283*  |
| HR    | 0.513*          | 0.435*          | 0.485*  |
| RPM   | 0.350*          | 0.286*          | 0.326*  |
| RPE   | 0.380*          | 0.413*          | 0.406*  |
| AS    | 0.799*          | 0.780*          | 0.808*  |

# Calculated as  $(\dot{V}O_2@LT \text{ score} + \dot{V}O_2max \text{ score})/2$ , where  $\dot{V}O_2@LT \text{ score} = (\dot{V}O_2@LT - 18.9292)/4.8949 \times 14 + 50$ , and  $\dot{V}O_2max \text{ score} = (\dot{V}O_2max - 34.2861)/7.0254 \times 14 + 50$

\*Significant at the 0.05 level

取した血液中の乳酸濃度が安静水準(またはW-up水準)から急峻に立ち上がる時点に相当する $\dot{V}O_2$ と定義し、log-log transformation法<sup>1)</sup>により決定した。血中乳酸濃度は、Toyobo-Omron製のlactate analyzer (HER-100)によって分析した<sup>12)</sup>。 $\dot{V}O_2max$ の判定には、 $\dot{V}O_2$ のlevelling-off( $\Delta\dot{V}O_2 \leq 150$ ml/min)を妥当基準として採用した<sup>23)</sup>。 $\dot{V}O_2$ のlevelling-offが観察されなかった者については、①運動中の心拍数の最大値 $\geq (220 - \text{年齢}) \times 0.9$ 、②運動中の呼気ガス交換比の最大値 $\geq 1.05$ の基準を設定し、これらのいずれかの基準を満たす場合に $\dot{V}O_2max$ が得られたと判定した。換気およびガス交換諸量は、Mijnhardt製のOxycon System (OX-4)により分析した<sup>17)</sup>。運動中の心電図および心拍数は、フクダ電子製のDinascop 501を利用してテレメータ方式により連続測定した。

### III. 結 果

対象の年齢域は20~57歳と幅広いものであったが、若年齢者が多数含まれたため、平均年齢は31.4 $\pm$ 10.9歳となった。HRmaxの平均値は182.1 b/minとなり、これは予測HRmaxの約97%に相当した。 $\dot{V}O_2max$ および $\dot{V}O_2@LT$ は34.3 $\pm$ 7.0 ml/kg/min, 18.8 $\pm$ 4.9 ml/kg/minとなり、これらの値は本邦成人女性(n=27)についての報告値(それぞれ31.7 $\pm$ 6.3, 17.5 $\pm$ 4.8)<sup>20)</sup>より若干高い

Table 3 Summary of convenient prediction equations.

| equation | dependent variable     | unstandardized partial regression coefficients and predictor variables | intercept | multiple r | SEE  |
|----------|------------------------|--|-----------|------------|------|
| (1)      | $\dot{V}O_2\text{max}$ | $+0.330X_1 - 0.222X_2$   | 24.26     | 0.863      | 3.61 |
| (2)      | $\dot{V}O_2\text{@LT}$ | $+0.239X_1 - 0.089X_2$   | 9.42      | 0.803      | 2.97 |
| (3)      | $\dot{V}O_2\text{@LT}$ | $+0.240X_1 + 0.148X_3$   | -12.81    | 0.816      | 2.90 |
| (4)      | LTMAX                  | $+0.720X_1 - 0.277X_2$   | 26.41     | 0.850      | 7.32 |
| (5)      | LTMAX                  | $+0.681X_1 + 0.494X_3$   | -49.90    | 0.855      | 7.20 |

where  $X_1 = \text{AS}$ ,  $X_2 = \text{Age}$ , and  $X_3 = \text{HR}$

$\dot{V}O_2\text{max}$  and  $\dot{V}O_2\text{@LT}$  are expressed as ml/kg/min.

LTMAX is expressed as a score and ranges in almost all cases between 0 and 100.

値であった。また、これらの平均値は田中<sup>22)</sup>が作成した  $\dot{V}O_2\text{max}$  と  $\dot{V}O_2\text{@LT}$  の年齢別 5 段階評価基準によると 3 (“ふつう”) と判定される値であった。 $\dot{V}O_2\text{@LT}$  の  $\dot{V}O_2\text{max}$  に対する比である %  $\dot{V}O_2\text{max@LT}$  (LT 出現時の酸素摂取水準) は、 $55.0 \pm 5.8\%$  となり、上記の先行研究や Wasserman and Whipp<sup>24)</sup> における報告値と一致した。以上のことから、本対象の  $\dot{V}O_2$  の最大値は peak  $\dot{V}O_2$  ではなく、 $\dot{V}O_2\text{max}$  とみなしてよいものといえよう。また、本対象の全身持久性は、同性・同年齢の標準値に近い値であるといえる。

心拍変動フィードバック管理負荷制御方式による AS テスト中の HR は  $131.1 \pm 8.0$  b/min となり、これは実測 HRmax の約 72% に相当した。本研究では、AS テスト中の個人の平均 HR が予め予測 HRmax の 70% または 75% のいずれかになることを想定して、運動中の負荷トルクを自動制御するシステムを採用しているが、概ねそれに近い値が得られた。なお、AS テスト中の平均ペダル回転数は  $71.3 \pm 8.8$ 、AS テスト時の主観的運動強度<sup>3)13)</sup> は  $12.5 \pm 1.4$  となった。また、AS は  $51.5 \pm 14.7$  となった。

表 2 には、基準変量としての  $\dot{V}O_2\text{max}$ 、 $\dot{V}O_2\text{@LT}$ 、LTMAX と AS や年齢などの予測変量との単相関係数を示した。9 コの予測変量の中で身長を除く 8 コの変量が基準変量と有意な相関関係を有する結果となった。中でも AS はすべての基準変量と最も高い相関関係を有した。APPENDIX の A と B には、AS を説明変量とし、 $\dot{V}O_2\text{max}$  と  $\dot{V}O_2\text{@LT}$  のそれぞれを基準変量とした場合の一次回帰式と直交多項式 (曲線回帰) を示した。得られた相関係数および相関比より、 $\dot{V}O_2\text{max}$  や

$\dot{V}O_2\text{@LT}$  の推定に一次回帰の概念を適用することは適切であると判断した。

重回帰分析の結果、AS を第 1 予測変量とし、年齢または AS テスト中の平均 HR を第 2 予測変量とした場合に、3 種の基準変量はいずれも最も高い精度で説明されることが明らかとなった (表 3)。さらに第 3、第 4、……の予測変量を逐次追加する変数増加法にて重回帰分析を行ったが、いずれの場合も上記 2 コの予測変量による基準変量の説明率を有意に上回る結果には至らなかった。

図 2 は、本研究で作成した重回帰方程式(1)より、図 3 は重回帰方程式(2)より (すなわち、AS と年齢を予測変量として) 推定した  $\dot{V}O_2\text{max}$  と  $\dot{V}O_2\text{@LT}$  をそれぞれ x 軸に、そして実測した  $\dot{V}O_2\text{max}$  と  $\dot{V}O_2\text{@LT}$  をそれぞれ y 軸にとってプロットした散布図である。重回帰方程式による推定値は、実際の観測値に対して若干過大または過小に評価されることが少なくないことから、基準変量の実測値と残差 (基準変量の実測値 - 推定値) を図 4、5 に示した。その結果、 $\dot{V}O_2\text{max}$  と  $\dot{V}O_2\text{@LT}$  はいずれも観測値が大になるにつれて、より大きな残差を示す傾向にあった。

図 6 は、観測値 AS の LTMAX への回帰を示したものである。なお、LTMAX は個人の  $\dot{V}O_2\text{@LT}$  と  $\dot{V}O_2\text{max}$  のそれぞれを  $\sigma/14$  - 尺度に標準得点化し、さらに両標準得点を平均したもので、LTMAX の LT は  $\dot{V}O_2\text{@LT}$  を、そして MAX は  $\dot{V}O_2\text{max}$  を指す。このようにして求めた LTMAX と AS との間には  $r = 0.808$  の相関がみられたが、LTMAX の予測変量として AS に加えて年齢または HR を追加した結果、重相関係数は  $r = 0.850 \sim 0.855$  となった。

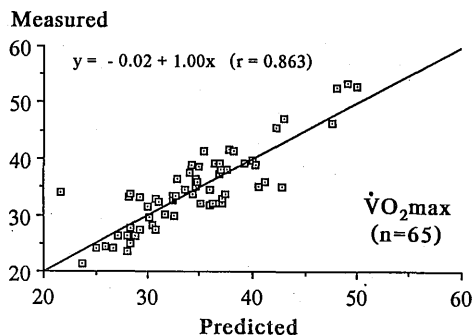


Fig. 2 Scattergram for the predicted  $\dot{V}O_2\max$  ( $=0.331X_1 - 0.222X_2 + 24.26$ ) on X-axis versus the actually measured  $\dot{V}O_2\max$  on Y-axis.

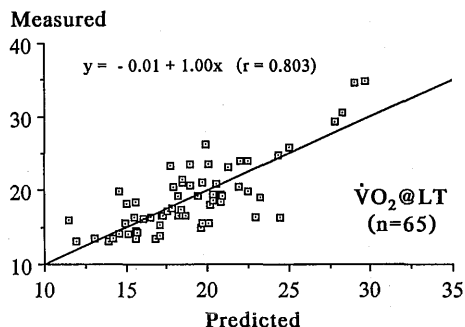


Fig. 3 Scattergram for the predicted  $\dot{V}O_2@LT$  ( $=0.239X_1 - 0.089X_2 + 9.42$ ) on X-axis versus the actually measured  $\dot{V}O_2@LT$  on Y-axis.

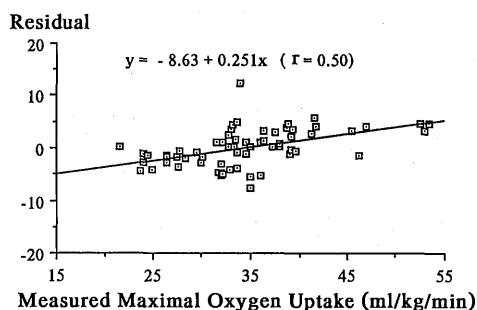


Fig. 4 Scattergram for the measured  $\dot{V}O_2\max$  on X-axis versus residual values of  $\dot{V}O_2\max$  on Y-axis.

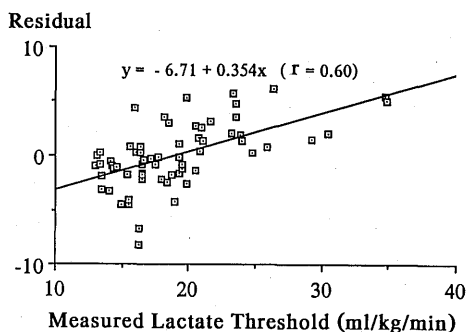


Fig. 5 Scattergram for the measured  $\dot{V}O_2@LT$  on X-axis versus residual values of  $\dot{V}O_2@LT$  on X-axis.

#### IV. 考 察

心拍変動フィードバック管理による運動負荷制御方式とは、運動中における個人のHRの変動に基づいて、個人が予め設定した運動負荷強度（例えば、平均で予測HRmaxの70%）になるよう、負荷トルクを自動的にコンピュータ制御させる方式である。通常、運動開始初期においては、HRが予めトレーニング強度として設定した目標HRに達しないため、負荷トルクは漸増し続けるが、一旦HRが目標HRを上回る水準になれば、負荷トルクは自動制御のもとで逆に漸減する。つまり、同方式を採用入れたトレーニングシステムは、運動中のHRの増減（40歳で70%HRmax強度なら、平均125 b/min、概ね110~140 b/minの範囲）に適宜対応して、負荷トルクを上下させるというユニーク性を具備している。したがって、同方式

でのトレーニングは、とくに低体力者の全身持久性の向上を狙いとするものであり、HRが正確に測定されれば、負荷トルクとHRの正弦波の変動下において、利用者が希望する目標HRの辺りでトレーニングできるという特長を有している。

また、心拍変動フィードバック管理負荷制御方式に基づいて任意の時間トレーニングを行えば、トレーニング終了時に全身持久指標としてのASが算出される。我々は先行研究<sup>19)20)</sup>において、ASが $\dot{V}O_2\max$ や $\dot{V}O_2@LT$ と高い相関を示すことを報告した。しかし、同時にASの全身持久性指標としての妥当性は、女性群よりも男性群において高い傾向にあることも報告した。

そこで、本研究は加齢に伴って $\dot{V}O_2\max$ や $\dot{V}O_2@LT$ が低下するという事実<sup>5)7)10)11)14)15)16)</sup>などを考慮に入れ、 $\dot{V}O_2\max$ や $\dot{V}O_2@LT$ を推定す

る際に AS に加えてその他の予測変量のもつ情報を活用することにした。また、 $\dot{V}O_2\text{max}$  と  $\dot{V}O_2@LT$  の双方はそれぞれが全身持久性の生理学的妥当基準とされているが、これらを統合化(合成)した基準変量(本研究では LTMAX と呼ぶ)を作成し、さらにそれを推定する重回帰方程式を考案した。

AS は、 $\dot{V}O_2\text{max}$  ( $r=0.799$ ) や  $\dot{V}O_2@LT$  ( $r=0.780$ ) と最も高い相関関係にあった。これは、先行研究の結果と一致するものであり、本研究においても AS の全身持久性指標としての妥当性が認められる。今回は男性群についての検討を行っていないが、先行研究<sup>20)</sup>では  $\dot{V}O_2\text{max}$  と AS との間に  $r=0.862$ 、 $\dot{V}O_2@LT$  と AS との間に  $r=0.875$  の相関を認めた。また、女性群については、有意ではあるがそれぞれ  $r=0.688$ 、 $r=0.645$  という AS のみによる推定としては必ずしも十分とはいえない相関を報告した。今回の研究で、AS の相関が幾分高くなった理由は、対象の中に中長距離走者や運動不足の肥満者が含まれたことにより、分散量が大になったためと考えられる。低体力者から高体力者にわたる幅広い年齢層の成人女性の全身持久性を簡易に評価することが主な目的であることから、標本抽出のあり方は不適切とは考えられない。

$\dot{V}O_2\text{max}$  と  $\dot{V}O_2@LT$  の両者を標準得点化して合成した変量である LTMAX は、AS に対して  $r=0.808$  の相関を示した。従来より、 $\dot{V}O_2\text{max}$  と  $\dot{V}O_2@LT$  はそれぞれが基準変量として取り扱われてきたが、比較的短い時間に発現する最大有酸素性パワーを表わす  $\dot{V}O_2\text{max}$  と長時間にわたって行い続ける持久性運動の強さを表わす  $\dot{V}O_2@LT$  の両者の情報を統合する LTMAX は、ヒトの行動体力(とくに全身持久性)を評価する上で注目すべき指標といえよう。なお、同性・同年代の長距離走者を対象とする場合、 $\dot{V}O_2\text{max}$  と  $\% \dot{V}O_2\text{max}@LT$  ( $=\dot{V}O_2@LT/\dot{V}O_2\text{max}$ ) から LTMAX なる指標を検討することも必要と考えられる。

$\dot{V}O_2\text{max}$ 、 $\dot{V}O_2@LT$ 、LTMAX を全身持久性の妥当基準とみなし、これらのそれぞれを推定する重回帰方程式を表 3 に一括した。 $\dot{V}O_2\text{max}$  は AS と年齢との組み合わせにより、最も高い精度で説明できることが明らかになった。この場合の重回帰係数は 0.863 となり、その説明率(74.5%)は AS

のみによる  $\dot{V}O_2\text{max}$  の説明率(63.8%)を大きく上回った。生理学的に考えても、全身持久性は加齢に伴って漸次減少することから、AS の他に加齢情報を直接的に反映する年齢の情報を加えることは妥当といえよう。 $\dot{V}O_2@LT$  は AS と年齢との組み合わせよりも、AS と HR を組み合わせた場合に、僅かながらより高い精度で推定できる傾向にある。

AS 算出式の成分として HR が含まれているが、これは HR を除外した場合に推定の精度が若干低くなるためである。算出式の中で HR は分母成分であることから、AS は分子成分の WR との比である。つまり、AS は一定の仕事遂行する上で心臓効率または心臓予備能のような尺度とも考えられる。しかし、HR の成分を除いた指標(つまり分子成分)と AS との相関が非常に高いという点で、AS に対する HR それ自体の情報の貢献度は低いといえよう。以上の理由により、全身持久性の予測変量として、AS に加えて HR を利用することは適切と考えられる。また、最大運動時の HR のみならず、相対的に同一強度での最大下運動時における HR の絶対値は、加齢の影響を強く受けるものである。したがって、本研究で作成した重回帰方程式の中の HR は年齢という属性をかなりの程度で反映するものといえる。ちなみに、本研究では HR と年齢との間に  $r=0.830$  の高い相関がみられた。

LTMAX を推定する重回帰方程式の中にも、第 2 予測変量として年齢または HR が含まれる結果になった。 $\dot{V}O_2@LT$  の場合と同様に、年齢を含めた重回帰方程式と HR を含めた重回帰方程式

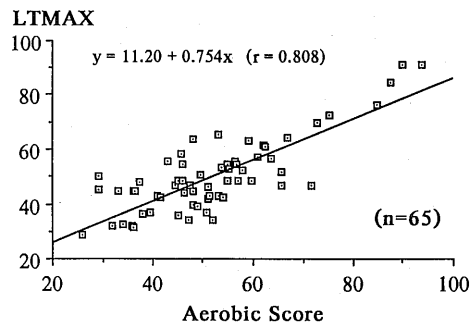


Fig. 6 Scattergram for the AS on X-axis versus the LTMAX (See footnote in Table 2) on Y-axis.

のいずれを利用して、簡易な手法による推定の精度としては十分と考えられる。 $\dot{V}O_2\max$  を推定する重回帰方程式の中には運動中の平均HRが含まれなかったことから、またより安定した（再現性の高い）推定を行うという点を強調すれば、ASを第1予測変量、年齢を第2予測変量とする(1)式、(2)式、(4)式の利用が勧められる。

本研究では、LTMAXという新たな概念を紹介したが、前述のごとく $\dot{V}O_2@LT$ と $\dot{V}O_2\max$ の情報を統合した全身持久性指標である点に注目したい。トレーニングに伴う $\dot{V}O_2@LT$ の増加(または乳酸反応の著変)は、最大下運動時における骨格筋での酸化系酵素活性の増大や解糖系からのエネルギー供給の高進を時間的に遅延させる(脂質利用を促進させる)ことを示唆するものである<sup>8)9)</sup>。また、トレーニングに伴う $\dot{V}O_2\max$ の増加は、主として最大運動時における心拍出量の増加を反映する<sup>4)</sup>。つまり、LTMAXは中枢系と末梢系の双方の適応度あるいはfunctional capacityを表わすものと解釈できる。したがって、全身持久性の妥当基準として、新たにLTMAXなる概念を加えることを推奨するとともに、全身持久性の簡易推定式として(4)式の利用を提案する。

$\dot{V}O_2\max$ は、運動強度を超最大レベルにまで高めても、もはやそれ以上に増加しない時点の値と定義される<sup>23)</sup>。したがって、最大努力を強いるような $\dot{V}O_2\max$ のテストにおいては、被験者が下肢の関節痛、息切れ、不安感などの発生によって $\dot{V}O_2\max$ の定義を満たす時点にまで運度を継続しないことがある。これらの要因は、推定値に大きな影響を及ぼすものである。一方、 $\dot{V}O_2@LT$ のテストにおいてはこのような最大努力は必要としないが、運動負荷中頻繁に血液を採取しなければならないという点で、テストの簡易性に劣る。 $\dot{V}O_2@LT$ の測定が困難であるという理由で $\dot{V}O_2@VT$ (VT: ventilatory threshold「換気性閾値」)の推定を推奨する立場もあるが、Wassermanら<sup>2)6)25)</sup>の提案した方法(breath-by-breathで測定、質量分析器を利用)を採用することは、現実的にほとんどの研究機関においては不可能である。 $\dot{V}O_2\max$ と $\dot{V}O_2@LT$ の双方を全身持久性の妥当基準とみなす立場に立ち、かつ研究の性格からしてヒトの全身持久性を簡易に評価することが目的の場合、本研究で作成したような(4)式などの推定式の利用は、 $\dot{V}O_2\max$ や $\dot{V}O_2@LT$ の直接測定

を行わなくてよいという意味でとくに有用である(実用性に富む)と考えられる。しかし、推定式を利用する場合、 $\dot{V}O_2\max$ や $\dot{V}O_2@LT$ についてより高い値を有する者ほど、その推定値は若干過小に評価されるという問題点が伴うことも事実である。この点については、今後の研究課題とした。

## V. 要 約

今日に至るまでの数多くの研究成果によると、最大酸素摂取量( $\dot{V}O_2\max$ )または乳酸性閾値に相当する酸素摂取量( $\dot{V}O_2@LT$ )はヒトの全身持久性能力(または有酸素性能力)の最適単一指標であることが明らかにされている。しかし、 $\dot{V}O_2@LT$ の測定は、血液標本を多数回にわたって連続採取しなければならないといった理由で、ヒトを対象とする上で考慮に入れなければならない基本的必要条件の多くに合致しない。また、 $\dot{V}O_2\max$ を直接測定するには、 $\dot{V}O_2@LT$ の測定ほどではないにしても、種々の厄介な面が伴う。つまり、精巧な機器、熟練した検者、特別な知識が必要であり、それに加えて検査される側に最大の身体的努力が要求される。さらに、 $\dot{V}O_2@LT$ や $\dot{V}O_2\max$ の測定にはかなりの時間がかかるという短所も認められる。これらのことから、 $\dot{V}O_2@LT$ や $\dot{V}O_2\max$ を最大下の運動からできるかぎり正確に推定する方法が非常に多くの研究者によって検討されてきた。しかし、これまでの報告によると、女性における全身持久性の推定値は、男性の場合ほど高い妥当性が保証されないことが指摘されている。従って、本研究は女性の全身持久性を評価しうる、より妥当性に優れた推定式を開発・提案することを目的とした。本研究ではミズノ製の自転車エルゴメータを利用したが、データ分析の結果、心拍変動のフィードバック機構に基づく負荷トルク自動制御方式によって得られるエロビックスコア(AS;  $X_1$ )と暦年齢( $X_2$ )の両者を予測変量とした場合、 $\dot{V}O_2\max$ の分散の74%以上が、そして $\dot{V}O_2@LT$ の分散の64%以上が説明できた。さらに、我々は $\dot{V}O_2\max$ と $\dot{V}O_2@LT$ の両者の情報を総合(統合)する全身持久性指標としてLTMAX( $\dot{V}O_2\max$ と $\dot{V}O_2@LT$ を指標得点化し、その平均をとったもの)を定義し、以下のようなLTMAXを推定する重回帰方程式を作成した。 $Y = 0.720X_1 - 0.277X_2 + 26.41$ (重相関係数=

0.850,  $r^2=0.723$ , 推定の標準誤差=7.32)。こ  
こでの Y は LTMAX スコア,  $X_1$  は AS,  $X_2$  は暦年  
齢である。AS を算出するには暦年齢, 体重, そ  
れに予測最高心拍数の約  $70 \pm 8\%$  または  $75 \pm 8\%$  程  
度に相当する強度での最大下運動中の心拍数を情  
報源とすればよいことから, 本研究で作成した重  
回帰方程式の利用は本邦成人女性の全身持久性を  
推定する上で実用性に富むといえよう。

文 献

- 1) Beaver, W.L., Wasserman, K., and Whipp, B.J., "Improved detection of lactate threshold during exercise using a log-log transformation," J. Appl. Physiol., 59: 1936-1940, 1985.
- 2) Beaver, W.L., Wasserman, K., and Whipp, B.J., "A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange," J. Appl. Physiol., 60: 2020-2027, 1986.
- 3) Borg, G., "Perceived exertion: a note on "history" and methods," Med. Sci. Sports Exerc., 17: 6-18, 1985.
- 4) Calusen, J.P., "Circulatory adjustments to dynamic exercise and effect of physical training in normal subjects and in patients with coronary artery disease," Progress Cardiovasc. Dis., 18: 459-495, 1976.
- 5) Cunningham, D.A., Nancekievill, E.A., Paterson, D.H., Donner, A.P., and Rechnitzer, P.A., "Ventilation threshold and aging," J. Gerontol., 40: 703-707, 1985.
- 6) Davis, J.A., Frank, M.H., Whipp, B.J., and Wasserman, K., "Anaerobic threshold alterations caused by endurance training in middle-aged men," J. Appl. Physiol., 46: 1039-1046, 1979.
- 7) Dehn, M.M., and Bruce, R.A., "Longitudinal variations in maximal oxygen intake with age and activity," J. Appl. Physiol., 33: 805-807, 1972.
- 8) Holloszy, J.O., "Biochemical adaptations to exercise: aerobic metabolism," (In) Wilmore, J. H. (Ed.), Exercise and Sports Sciences Reviews, Academic Press, New York, pp. 45-71, 1973.
- 9) Holloszy, J.O., and Coyle, E.L., "Adaptations of skeletal muscle to endurance exercise and their metabolic consequences," J. Appl. Physiol., 56: 831-838, 1984.
- 10) Irving, J.B., Kusumi, F., and Bruce, R.A., "Longitudinal variation in maximal oxygen con-

APPENDIX A The relationship of AS (X) to  $\dot{V}O_2$  max (Y).

|  |               |
|--|---------------|
| $Y = 14.58 + 0.383X$   | $r = 0.80$    |
| $Y = 24.99 + 0.0073X + 0.0034X^2$                              | $\eta = 0.81$ |
| $Y = 16.59 + 0.482X - 0.0055X^2$<br>$+ 5.037e-5X^3$            | $\eta = 0.81$ |
| $Y = -10.07 + 2.60X - 0.065X^2$<br>$+ 7.61e-4X^3 - 3.03e-6X^4$ | $\eta = 0.81$ |

APPENDIX B The relationship of AS (X) to  $\dot{V}O_2$  @LT (Y).

|  |               |
|--|---------------|
| $Y = 5.53 + 0.260X$  | $r = 0.78$    |
| $Y = 17.98 - 0.207X + 0.0040X^2$                             | $\eta = 0.82$ |
| $Y = 2.90 + 0.673X - 0.012X^2 + 9.05e-5X^3$                  | $\eta = 0.82$ |
| $Y = 1.78 - 1.62X + 0.053X^2$<br>$- 6.80e-4X^3 + 3.29e-6X^4$ | $\eta = 0.83$ |

- sumption in healthy men," Clin. Cardiol., 3: 134-136, 1980.
- 11) Matter, S., Stamford, B.A., and Weltman, A., "Age, diet, maximal aerobic capacity and serum lipids," J. Gerontol., 35: 532-536, 1980.
- 12) 中塘二三生, 田中喜代次, 渡辺一志, 福田隆「酸素電極法による血中乳酸濃度の測定」Jpn. J. Sports Sci., 4: 980-982, 1985.
- 13) 小野寺孝一, 宮下充正「全身持久性運動における主観的強度と客観的強度の対応性~Rating of perceived exertionの観点から~」体育学研究, 21: 191-203, 1976.
- 14) Posner, J.D., Gorman, K.M., Klein, H.S., and Cline C.J., "Ventilatory threshold: measurement and variation with age," J. Appl. Physiol., 63: 1519-1525, 1987.
- 15) Pronfant, G.R., Early, R.G., and Nilson, K.L., "Responses to maximal exercise in healthy middle-aged women," J. Appl. Physiol., 33: 595-599, 1972.
- 16) 竹島伸生, 小林章雄, 田中喜代次, 新畑茂充, 渡辺丈真, 鷺見勝博, 鈴木雅裕, 小村暁, 宮原満男, 上田一博, 加藤孝之「中高年ランナーの最大酸素摂取量と乳酸性閾値——加齢に伴う変化——」体力科学, 38: 197-207, 1989.
- 17) Tanaka, K., Yoshimura, T., Mitsuzono, R., Tanaka, S., Konishi, Y., Watanabe, H., Yamada, T., and Maeda, K., "Transient responses in cardiac function below, at, and



- above anaerobic threshold," *Eur. J. Appl. Physiol.* 55: 356-361, 1986.
- 18) Tanaka, K., Matsuura, Y., Kumagai, S., Matsuzaka, A., Hirakoba, K., and Asano, K., "Relationships of anaerobic threshold and onset of blood lactate accumulation with endurance performance," *Eur. J. Appl. Physiol.*, 52: 51-56, 1983.
- 19) 田中喜代次, 信田宣司, 長谷川陽三「心拍変動フィードバック管理負荷制御方式による Aerobic Score からみた有酸素性能力の縦断的評価」*Ann. Physiol. Anthropol.*, 8: 3-12, 1989.
- 20) 田中喜代次, 信田宣司, 長谷川陽三「心拍変動フィードバック管理負荷制御方式による全身持久性の評価」*教育医学*, 33: 212-219, 1988.
- 21) 田中喜代次, 松本健, 樫原潤三, 村上晴彦, 中川敬「光電脈波方式による全身持久性の評価」*大阪市立大学保健体育学研究紀要*, 22: 7-15, 1986.
- 22) 田中喜代次「最大酸素摂取量および乳酸性(嫌気性代謝) 閾値の性・年齢別評価基準」1989. (未発表資料)
- 23) Taylor, H.L., Buskirk, E., and Henschel, A., "Maximal oxygen intake as an objective measure of cardio-respiratory performance," *J. Appl. Physiol.*, 8: 73-80. 1955.
- 24) Wasserman, K., and Whipp, B.J., "Exercise physiology in health and disease," *Am. Rev. Resp. Dis.*, 112: 219-249, 1975.
- 25) Wasserman, K., Whipp, B.J., Koyal, S.N., and Beaver, W.L., "Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise," *J. Appl. Physiol.*, 35: 236-243, 1973.