

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の縦断的評価田中喜代次¹⁾, 信田 宜司²⁾, 長谷川陽三²⁾

1) 大阪市立大学教養部

2) ミズノ株式会社研究開発部

Longitudinal Evaluation of Aerobic Capacity Determined by Torque
Auto-Controlled System with the Feedback of Photoelectric PulseKiyoji TANAKA¹⁾, Yoshiji NOBUTA²⁾ and Yohzoh HASEGAWA²⁾1) Division of Exercise Physiology, Department of Health Science and Physical Education, School of Liberal Arts,
Osaka City University, 3-3-138 Sugimoto, Sumiyoshi, Osaka 558, Japan

2) Research & Development Department, Mizuno Corporation, 3-6-29 Sagisu, Fukushima, Osaka 553, Japan

We have previously developed a unique and simple procedure for assessing cardiorespiratory fitness. The present investigation was conducted to evaluate whether an aerobic index determined by torque auto-controlled system with the feedback of photoelectric pulse could sufficiently approximate the cardiorespiratory fitness represented by anaerobic threshold (AT) and maximal oxygen uptake ($\dot{V}O_{2max}$). Analysis of the cross-sectional data indicated that the aerobic score (AS: $K (WR/Wt)/HR$; where WR =mean work rate during 12-min cycling, Wt =weight, and HR =mean heart rate during 12-min cycling) determined by the torque auto-controlled system was significantly correlated with directly measured $\dot{V}O_{2@AT}$ ($r=0.922$, 76males; $r=0.814$, 34 females). Cross-validity of the predicted $\dot{V}O_{2max}$ from the AS was significant and sufficiently high ($r=0.949$, 31males) for use in the general public. In addition, the effects of cycling or jogging training on the AS were longitudinally investigated on 17 females and 1 male. Major effects of the training were significant improvements in the AS, $\dot{V}O_{2max}$, and $\dot{V}O_{2@AT}$. Delta percentage change $[(\text{post-value} - \text{pre-value})/\text{pre-value}; \Delta\%]$ in the AS was closely associated ($r=0.718$, 8 females) with $\Delta\%$ in $\dot{V}O_{2@AT}$. It appears likely from the present investigation that information obtained through the use of our unique system (i.e., the AS) could provide considerably reliable estimate of cardiorespiratory fitness in both males and females.

Key words: Torque auto-controlled system, Feedback of photoelectric pulse, Maximal oxygen uptake, Anaerobic threshold, Cross-validity

著 言

近年、運動習慣を形成することの大切さがこれまで以上に叫ばれているが、スポーツ事故死（突然死）を筆頭に運動に伴うさまざまな障害も増加傾向にある。一般健康人はもとより半健康人や低体力者に対しては、とくに安全かつ効果的な運動処方が望まれる。

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1つである自転車エルゴメータ駆動があるが、一般に市販されている自転車エルゴメータでは、利用者にとって運動負荷強度が高くなりすぎる場合が多い。これは、自転車エルゴメータの中に利用者個人個人に適した運動負荷強度を提供するシステ

ムが具備されていないことによる。そこで、筆者らは先行研究（田中ら，1988）において、運動中の心拍変動のフィードバックにより運動負荷強度を個人ごとに制御するシステム（‘Tregame’）と称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) が嫌気性代謝閾値（anaerobic threshold: $\dot{V}O_2$ @AT）や最大酸素摂取量（maximal oxygen uptake: $\dot{V}O_{2max}$ ）に対して高い妥当性を有することを報告した。

しかし、筆者らの開発した心拍変動フィードバック管理負荷制御方式自転車エルゴメータシステムは、個人の有酸素性を評価することにとどまらず、安全かつ効果的なトレーニングを提供するトレーニング機器としての性格をも有している。したがって、本システムは一定期間のトレーニングに伴う個人の有酸素性能力の変化をもより的確に評価できるものであることが期待される。

研究目的

本研究は、(1)心拍変動フィードバック管理負荷制御方式自転車エルゴメータシステムによって評価される AS の妥当性を再検討すること [研究 I]、(2)同方式を利用した自転車エルゴメータによるトレーニングに伴う有酸素性能力の変化が AS によっても的確にとらえられるか否かについて検討すること [研究 II]、および (3)ジョギングトレーニングに伴う有酸素性能力の変化が、AS によっても的確にとらえられるか否かについて検討すること [研究 III] を目的とした。

方 法

1. 対 象

[研究 I]においては、男性31名(平均年齢 27.6 ± 6.3 歳)および女性52名(25.9 ± 8.6 歳)を、心拍変動フィードバック管理負荷制御方式によって算出される AS の全身持久性指標としての妥当性の再検討に用いた。なお、先行研究で対象とした男性59名を含む70名のデータより、予め AS と $\dot{V}O_{2max}$ との相関関係 (AS の妥当性) を検討した。

[研究 II]においては、男性1名(35歳)と女性9名(26.9 ± 6.7 歳)を、心拍変動フィードバック管理負荷制御方式自転車エルゴメータによるトレーニングに伴う AS の変化の検討に用いた。

[研究 III]においては、ジョギングトレーニングに伴う AS の変化の検討に女性8名(23.7 ± 6.9 歳)を用いた。

以上により、本研究における対象は、年齢18～57歳の男性が102名、そして年齢19～57歳の女性が69名、計171名である。なお、年齢構成は男性の場合、18～19歳4名、20歳代47名、30歳代34名、40歳代12名、50歳代5名で、女性の場合、19歳3名、20歳代45名、30歳代10名、40歳代7名、50歳代4名である。男女いずれの群も、まったく運動習慣をもたない者から長距離走者までを含む heterogeneous sample である。これら対象に対しては、予め研究の目的とその遂行のための実験に伴う危険性を十分に説明し、対象全員から研究参加への承諾を得た。

2. Aerobic Score (AS) の測定

全身持久性指標としての aerobic score (AS) の理論的根拠については先行研究（田中ら，1988）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（本研究では最高心拍数の70%）になるよう予め負荷制御し、その状態での自転車駆動中における仕事量（これは酸素摂取量と0.98程度の相関を示す）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。AS は、渦電流型負荷制御方式自転車エルゴメータを利用し、予測最高心拍数 ($HR_{max} = 220 - \text{年齢}$) の70%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 : aerobic score

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 (beat)

k : 定数

運動中の心拍数は脈拍センサを耳朶に装着して光電脈波検出方式によって測定した。自転車エルゴメータのペダル回転数は50～100rpm 中の任意の回転数としたが、概ね70rpm 前後になるよう、トレーニング画面上のスピード表示にて調整させた。

3. 研究 II, IIIにおけるトレーニング内容

研究 II では、1 週間に3～5日の頻度で、1日当り18～30分（主として24分）の心拍変動フィードバック管理負荷制御方式自転車エルゴメータによるトレーニングを課した。トレーニング強度は最高心拍数の

70～85%とし、平均26回のトレーニング期間中、徐々にトレーニング強度を高めた。

研究Ⅲでは、1週間に2～4日の頻度で、1日当り20分のジョギングトレーニングを課した。平均20回のトレーニング期間中、トレーニング強度は平均して主観的運動強度で“ややきつい”水準になるよう指示した。

4. $\dot{V}O_2\text{max}$ の測定

$\dot{V}O_2\text{max}$ は Monark 製の自転車エルゴメータ (Model 868) を使用し、2～4分間0 Wでのウォーミングアップ終了後、毎分15Wずつ疲労困憊に至るまで負荷を漸増する多段階漸増負荷法 (田中ら, 1985) にて測定した。ペダルの回転数は60rpmに一定した。 $\dot{V}O_2\text{max}$ の判定には、 $\dot{V}O_2$ の level-off ($\dot{V}O_2 \leq 150\text{ml/min}$) を妥当基準として採用した。 $\dot{V}O_2$ の level-off が観察されなかった者については、①疲労困憊後の血中乳酸濃度 $\geq 80\text{mg/dl}$ 、②運動中の呼気ガス交換比 ≥ 1.10 、③最高心拍数 $\geq (220 - \text{年齢}) \times 0.9$ の3つの基準を設定し、そのうち2つ以上を満たす場合にのみ $\dot{V}O_2\text{max}$ が得られたとみなした。

換気およびガス交換諸量は Mijnhardt 製の Oxycon System (Type OX-4) により分析した (Tanaka et al., 1986)。

5. $\dot{V}O_2\text{@AT}$ の測定

$\dot{V}O_2\text{@AT}$ は $\dot{V}O_2\text{max}$ の測定のための多段階漸増負荷法による運動負荷試験において行い、以下の要領で決定した。すなわち、 $\dot{V}O_2\text{@AT}$ は正中肘皮静脈より採取した血液中の乳酸濃度が安静水準 (またはウォームアップ時の水準) から急激に立ち上がる時点 (lactate threshold) に相当する $\dot{V}O_2$ と定義し、Beaver (1985) の log-log transformation 法により決定した。血中乳酸濃度は Toyobo-Omron 製の lactate analyzer (HER-100) を使用して分析した (中塘ら, 1985)。

6. 資料の解析

変数間の相関関係は、Pearson の積率相関係数を算出して検討した。平均値の差異の検討は、対応のある t 検定より行った。すべての検定に際し、5%の有意水準を設定した。

結 果

[研究Ⅰ] AS の全身持久性指標としての妥当性の再

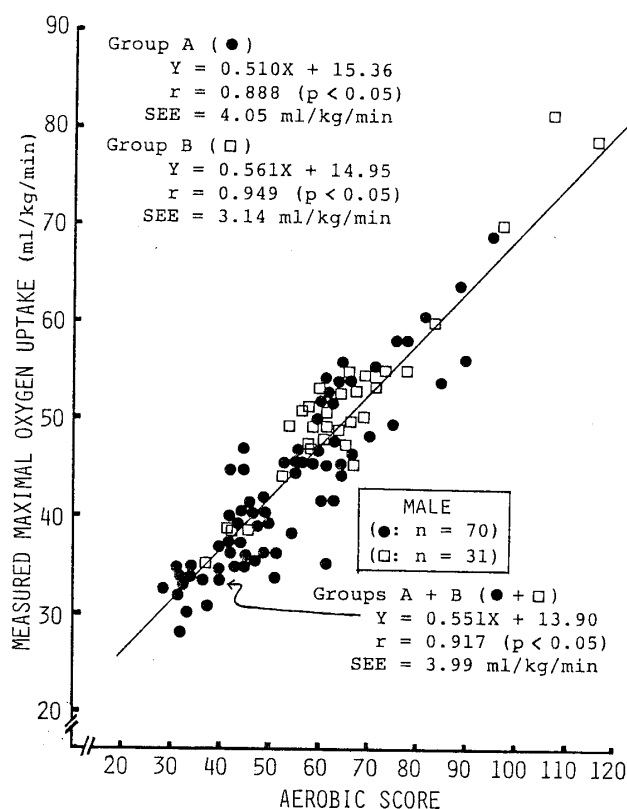


Fig. 1 Relationship between aerobic score and maximal oxygen uptake in 101 males.

検討

図1はASと $\dot{V}O_2\text{max}$ との散布図で、A群のプロット(●)より求めた回帰式($y = 0.510x + 15.36$)は、予め70名の男性より得たdataを基礎にした。B群のプロット(□)はASと $\dot{V}O_2\text{max}$ との関係の cross-validity の検討に用いた別の男性31名のdataである。A群についてはASと $\dot{V}O_2\text{max}$ との間に $r = 0.888$ 、B群については両者の間に $r = 0.949$ のいずれも有意な相関が認められた。また $y = 0.510x + 15.36$ (A群)と $y = 0.561x + 14.95$ (B群)の両回帰式の回帰係数や切片には有意差が認められなかった。したがって、A群とB群の両粗データをプールして新たにASと $\dot{V}O_2\text{max}$ との関係を検討し、両者間に $r = 0.917$ ($y = 0.551x + 13.90$) なる有意な相関を得た。さらに、76名についてASと $\dot{V}O_2\text{@AT}$ との関係を検討した結果、 $r = 0.922$ の有意な相関が認められた。

図2には、図1に示す男性B群の各個人のASを用いて $y = 0.510x + 15.36$ の回帰式より推定した $\dot{V}O_2\text{max}$ と実測した $\dot{V}O_2\text{max}$ との関係を示した。プロットおよび得られた回帰式より明らかなように、予測値

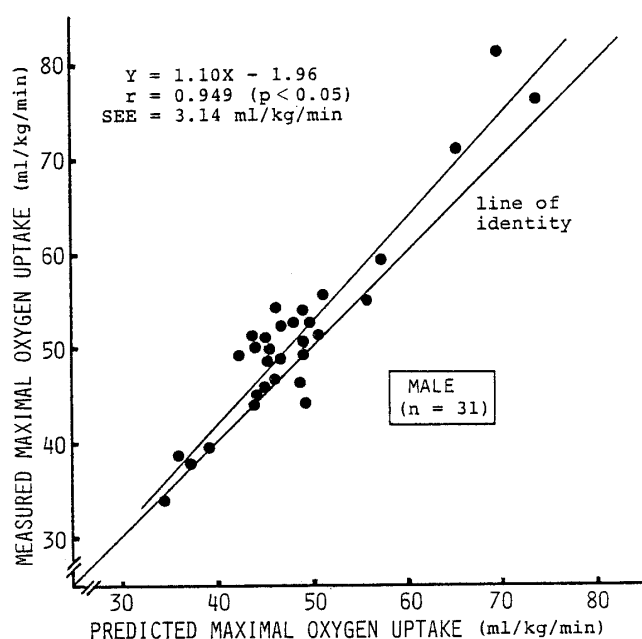


Fig. 2 Gross-validation of maximal oxygen uptake predicted from the aerobic score against directly measured maximal oxygen uptake.

Table 1 Effects of cycling training on anthropometric and body composition measures.

	Pre	Post
Age, yr	26.9±6.7	27.1±6.7
Height, cm	158.4±3.0	158.4±3.0
Weight, kg	57.3±5.8	56.2±6.0*
Katsura Index	109.0±8.9	106.9±9.3*
Triceps, mm	17.2±3.4	16.6±3.2
Subscapular, mm	21.0±6.9	19.2±6.1*
Fat, %	25.7±5.5	24.4±5.0*
Fat, kg	15.1±4.9	14.0±4.5*
FFW, kg	42.2±1.5	42.2±1.9

*Significantly different from the pre-value

Table 3 Effects of cycling training on aerobic score, anaerobic threshold, and maximal oxygen uptake.

	Pre	Post
AS	42.4± 8.3	52.4± 4.3*
$\dot{V}O_2$ @AT, ml/kg/min	18.9± 3.8	21.5± 4.0*
HR@AT, b/min	131.4±12.3	136.2±10.3
$\dot{V}E$ @AT, l/min	27.9± 8.2	31.9±10.0*
% $\dot{V}O_2$ max@AT, %	58.3± 6.7	58.3± 5.0
$\dot{V}O_2$ max, ml/kg/min	32.3± 3.9	36.6± 4.2*
HRmax, b/min	190.1± 9.3	188.4± 7.7
$\dot{V}E$ max, l/min	71.2±17.6	78.1±18.5*

*Significantly different from the pre-value

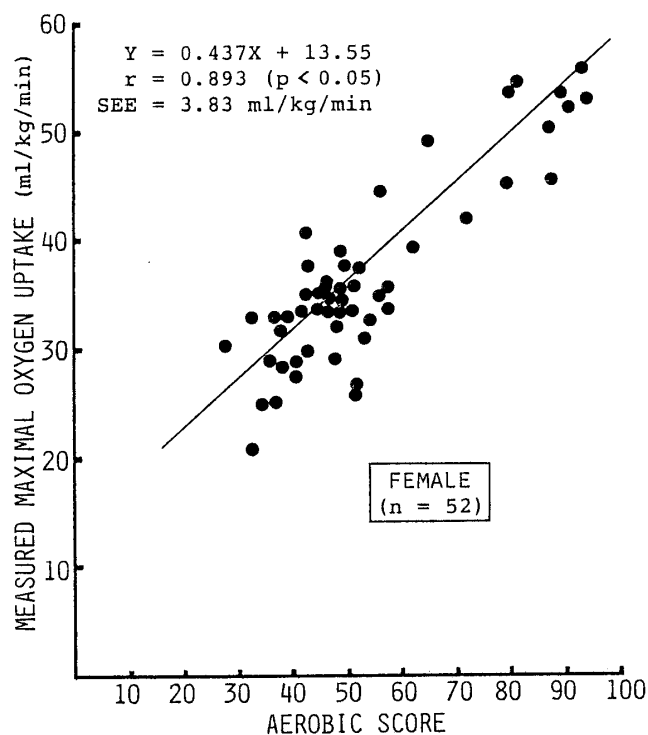


Fig. 3 Relationship between aerobic score and maximal oxygen uptake in 52 females.

Table 2 Effects of cycling training on resting heart rate and blood pressure.

	Pre	Post
HR, b/min	73.1±5.8	68.9±5.0*
SBP, mmHg	109.3±7.8	109.1±7.1
DBP, mmHg	71.4±6.9	68.8±7.3

*Significantly different from the pre-value

が実測値を若干下回る傾向にあるが、回帰式($y = 1.10x - 1.96$)は $y = x$ なる identity line に対して有意差を示さず、予測値の妥当性を確認した。

図 3 には 52 名の女性における AS と $\dot{V}O_2$ max との関係($y = 0.437x + 13.55$)を示した。女性についても、両者間に $r = 0.893$ なる有意な相関が認められた。また 34 名の女性について AS と $\dot{V}O_2$ @AT との関係を検討した結果、 $r = 0.814$ の有意な相関が認められた。

〔研究 II〕 心拍変動フィードバック管理負荷制御方式自転車エルゴメータによるトレーニングに伴う有酸素性能力の変化からみた AS の妥当性

研究 II には 9 名の女性が参加し、1 週間に 3～5 日、1 日当り 23.4 ± 0.8 分のトレーニングを計 26.0 ± 7.7 日

にわたって行った。トレーニング強度は70~85% HRmaxとした。その結果、体重、桂指数、肩甲骨下部の皮脂厚、体脂肪率、体脂肪量に有意な減少が認められた(表1)。血圧は収縮期・拡張期ともに不変で正常範囲であったが、心拍数(HR)は有意に低下した(表2)。

表3には、AS、 $\dot{V}O_2$ @AT、 $\dot{V}O_{2max}$ などのトレーニング開始前とトレーニング終了時の平均値を示した。ASは、平均26回のトレーニングにより約10点、 $\dot{V}O_2$ @ATは約2.6ml/kg/min、 $\dot{V}O_{2max}$ は約4.3ml/kg/minの増加となり、いずれの変化も有意であった。その他、 $\dot{V}E$ @AT、 $\dot{V}E_{max}$ にも有意な増加が認められた。HR@AT、HRmax、% $\dot{V}O_{2max}$ @ATの変化は有

意でなかった。

血清脂質、血清鉄、総鉄結合能のトレーニング前後における平均値を表4に、血球関係の血液分析結果を表5に示した。血液については、赤血球(RBC)にのみ有意な変化が認められ、平均で約450万から429万へと減少した。

図4には、35歳の男性の65日間 detraining(脱トレーニング：トレーニングの中断)に伴う $\dot{V}O_{2max}$ とASの変化、およびトレーニングの再開に伴う $\dot{V}O_{2max}$ とASの変化を示した。 $\dot{V}O_{2max}$ の測定回数は計3回に限られたが、ASの経時的変動は概ね $\dot{V}O_{2max}$ の変化に類似する成績を得た。

Table 4 Effects of cycling training on serum lipids, serum iron, and total iron binding capacity.

	Pre	Post
Triglycerides, mg/dl	72.0±18.8	62.3±10.9
Cholesterol, mg/dl	169.4±23.4	163.8±17.1
HDLc, mg/dl	59.7±11.8	63.7±11.2
LDLC, mg/dl	95.4±27.8	87.7±18.7
AI	1.69±0.61	1.44±0.43
SI, μ g/dl	108.9±35.9	97.0±40.6
TIBC, μ g/dl	307.4±55.9	307.9±63.0

Table 5 Effects of cycling training on hematological measures.

	Pre	Post
WBC	5289±1171	4844± 881
RBC, $\times 10^4$	450.4±41.0	428.7±37.9*
Hb, g/dl	13.06±0.63	12.76±0.79
Hct, %	40.2± 3.0	38.9± 3.2
MCV, fl	89.2± 7.0	90.4± 7.2
MCH, pg	29.1± 2.1	29.9± 2.5
MCHC, %	32.5± 1.2	32.7± 1.2

*Significantly different from the pre-value

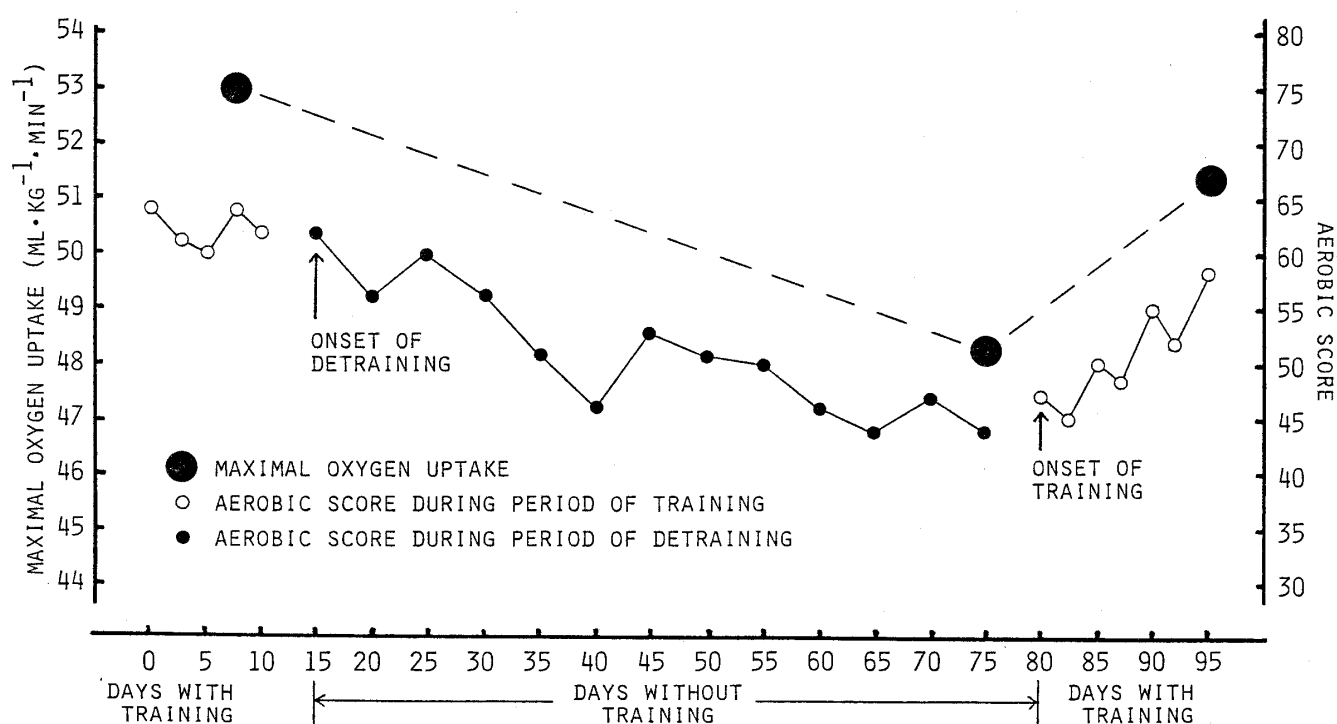


Fig. 4 Effects of detraining and training on maximal oxygen uptake and aerobic score.

Table 6 Effects of jogging training on anthropometric and body composition measures.

	Pre	Post
Age, yr	23.7± 6.9	23.9± 6.9
Height, cm	158.3± 4.6	158.3± 4.6
Weight, kg	55.5± 6.8	54.6± 6.4
Katsura Index	105.9±12.7	104.0±11.1
Triceps, mm	17.7± 3.7	17.2± 3.4
Subscapular, mm	15.8± 7.7	14.6± 6.1
Fat, %	23.1± 5.7	22.2± 4.6
Fat, kg	13.1± 4.2	12.3± 3.4
FFW, kg	42.4± 4.3	42.3± 4.3

Table 7 Effects of jogging training on resting heart rate and blood pressure.

	Pre	Post
HR, b/min	67.7±7.1	63.4±7.1
SBP, mmHg	108.8±9.3	110.3±6.7
DBP, mmHg	66.0±5.8	67.3±7.2

Table 8 Effects of jogging training on aerobic score, anaerobic threshold, and maximal oxygen uptake.

	Pre	Post
AS	42.9± 8.5	50.1±10.8*
$\dot{V}O_2$ @AT, ml/kg/min	18.9± 3.7	21.9± 4.2*
HR@AT, b/min	126.3±12.6	129.4±10.1
$\dot{V}E$ @AT, l/min	26.7± 4.5	30.6± 3.8*
% $\dot{V}O_2$ max@AT, %	55.3± 4.2	60.1± 5.5*
$\dot{V}O_2$ max, ml/kg/min	34.1± 5.6	37.2± 5.8*
HRmax, b/min	186.9±10.6	186.0±10.9
$\dot{V}E$ max, b/min	67.4±11.5	74.3±11.9*

*Significantly different from the pre-value

[研究III] ジョギングトレーニングに伴う有酸素性能力の変化からみた AS の妥当性

研究IIIには8名の女性が参加した。8名の参加者は1日に20分、1週間に2～4日のジョギングトレーニングを計19.8±2.3回にわたって行った。トレーニング強度は自転車エルゴメータによる運動負荷試験で観察した個人の HR@AT 以上とした。

その結果、形態、身体組成関係の項目には有意な変化が認められなかった(表6)。安静時の HR や血圧についても有意な変化はみられなかった(表7)。

一方、AS、 $\dot{V}O_2$ @AT、 $\dot{V}E$ @AT、 $\dot{V}O_2$ max、 $\dot{V}E$ max、% $\dot{V}O_2$ max@AT はいずれも有意に増加した

Table 9 Effects of jogging training on serum lipids, serum iron, and total iron binding capacity.

	Pre	Post
Triglycerides, mg/dl	80.8±43.0	75.9±32.4
Cholesterol, mg/dl	178.4±44.8	176.9±36.0
HDLc, mg/dl	60.1±16.7	64.4±14.7
LDLC, mg/dl	98.9±52.9	99.2±44.0
AI	2.09±1.91	1.83±1.39
SI, μ g/dl	126.3±12.6	129.4±10.1
TIBC, μ g/dl	279.9±33.7	284.1±38.6

Table 10 Effects of jogging training on hematological measures.

	Pre	Post
WBC	4531± 666	4238± 757
RBC, $\times 10^4$	431.4±24.2	430.9±19.6
Hb, g/dl	12.85±0.70	12.89±0.42
Hct, %	38.8± 1.8	38.3± 1.7
MCV, fl	89.6± 1.7	88.3± 1.9
MCH, pg	29.8± 0.7	29.9± 0.8
MCHC, %	33.0± 0.4	33.6± 0.7

(表8)。平均で約20回のジョギングトレーニングにより、AS は約7点、 $\dot{V}O_2$ @AT は約3.0ml/kg/min、 $\dot{V}O_2$ max は約3.1ml/kg/min の増加となった。ちなみに、トレーニング前後に行った一定距離(4 km)走での所要時間は平均で3分以上短縮した。

血清脂質、血清鉄、RBC、ヘモグロビン濃度(Hb)などについては有意な変化はみられなかった(表9, 10)。

考 察

[研究 I]

宮下ら(1983, 1984)は、HR に余裕をもった状態でどの程度の仕事が遂行できるのかということに視点を置き、全身持久性の良い判定指標として $\dot{V}O_2$ max と関連の高い PWC75%HRmax (個人の予測最高心拍数の75%強度で達成される仕事率)を提案した。その後、田中ら(1985, 1986)も PWC75%HRmax や持久走成績が全身持久性指標として妥当であることを認めている。

しかし、宮下ら(1983, 1984)の提案した PWC75%HRmax 評価のための測定には、3種の負荷のうち、第2、第3の負荷を予測最高心拍数の70%を越えないように、適宜検者側がその時の HR をチェックしながら

設定するという測定手順の複雑さが一つの問題点として残っている。また、仕事率とその時のHRとの関係を、最小2乗法を用いて1次回帰し、予測最高心拍数の75%のHRに相当する仕事率を外挿法により推定するというデータ処理上の複雑さがもう一つの問題点である。

田中ら(1986)が報告したPWC75%HRmaxの測定についても、HRが75%HRmaxに達した時点から、HRがほぼ一定になるように負荷やペダル回転数を調節しなければならないという問題点がある。

これに対し、本報でいう心拍変動フィードバック管理負荷制御方式によると、利用者の運動中のHR変化をコンピュータが判断して負荷トルクを上下させることから、熟練した検者の立ち会いが不必要になるという利点を有している。また、利用者が比較的軽い負荷で運動を行うことができるという安全性や、負荷トルクが従来の方式とは異なり変化に富むというユニーク性などの特徴を備えている。

男性A群の70名について得られたASと $\dot{V}O_2\max$ との間の高い相関($r=0.888$)および女性群の52名について得られた両者の高い相関($r=0.893$)、男性両群の76名におけるASと $\dot{V}O_2@AT$ との間の高い相関($r=0.922$)および女性群34名における両者の高い相関($r=0.814$)から判断して、ASは全身持久性指標として高い妥当性(validity)を有するといえる(図1, 2)。さらには、男性B群の31名について観察したASと $\dot{V}O_2\max$ との間の相関($r=0.949$)も高かったことからcross-validityも認められる。ちなみに、男性A群の粗データから算出した回帰式($y=0.510x+15.36$, $y=\dot{V}O_2\max$ の推定値, $x=AS$)より求めた $\dot{V}O_2\max$ と実際に測定した $\dot{V}O_2\max$ との間に得られた回帰式($y=1.10x-1.96$)が $y=x$ に近似することからも、ASは高い精度を有すると考えられる(図2)。しかし、図2から明らかなように、 $\dot{V}O_2\max$ の推定値が、40~50 ml/kg/min (これはASでいえば約48~68点に相当する)の者にとっては ± 10 ml/kg/min程度の推定誤差が生じる場合があることを予め念頭に置かなければならない。標準推定誤差(SEE)は3.14 ml/kg/minであったことから、大多数の推定値が約 ± 3 ml/kg/min以内の誤差範囲にとどまることになり、これは注目に値するといえよう。とくに、間接的に $\dot{V}O_2\max$ や $\dot{V}O_2@AT$ を求めるという性質を有する簡易方式による推

定の精度としては、 ± 3 ml/kg/minは十分適用できる範囲と考えられる。

[研究II]

一日当り18~30分(平均23.4分)の自転車トレーニングを18~43日(平均26日)間行った結果、体重は1.1 kg減少した。除脂肪体重には変化がみられなかったことから1.1 kg減少した体重の全てが体脂肪量の減少によるものと推察される(表1)。トレーニング期間中のエネルギー摂取量や身体活動量の変化については観察していないが、体脂肪量1 kg=7500 kcalと仮定すると、約150 kcal/日 $\times$ 26日=3900 kcalとなり、26回の自転車トレーニングでは0.52 kgの減量が達成できるという計算になる。したがって、トレーニング期間中は、若干エネルギー摂取量を減らしていたか、あるいは身体活動量を増やしていたことが考えられる。いずれにせよ、短期間で有意な体脂肪量の減少と有酸素性能力の向上が達成されたことから、運動処方プログラムの一環として本研究で採用した自転車トレーニングの有用性が認められるといえよう。

トレーニングに伴う徐脈化(表2)や頻脈傾向の正常化は、心機能や呼吸循環系機能の変化と密接に関連している。分時心拍出量はトレーニングの影響を受けない(Rerych et al., 1980)とされていることから、HRの有意な減少は一回拍出量の増大(Rerych et al., 1980; 田中ら, 1985; 田中ら, 1986)を示唆するものである。

表3に自転車トレーニングの開始前と終了時に観察したAS、 $\dot{V}O_2@AT$ 、 $\dot{V}O_2\max$ などの平均値を示した。ASのみならず $\dot{V}O_2@AT$ や $\dot{V}O_2\max$ にも有意な向上が認められたことは注目すべき点である。 $\dot{V}O_2@AT$ の向上は、最大下作業中の心ポンプ機能や骨格筋における酸化酸素活性の増大、さらには脂質代謝の改善などを示唆する(Holloszy, 1973)。また $\dot{V}O_2\max$ の向上は、主として最大作業時の心拍出量の増大を反映する(Clausen, 1976)。自転車トレーニングにより、これらの変化が起こったかどうかは不明であるが、 $\dot{V}O_2@AT$ や $\dot{V}O_2\max$ に有意な向上が認められたことは事実であり、同トレーニングにより有酸素性能力が向上するといえる。同時に、ASにも有意な向上が認められたことから、縦断的研究においてもASは有酸素性能力(あるいは全身持久性)の良い指標になりうるといえよう。

血清脂質については、表4の如く、有意な変化は認められなかったが、トリグリセライド、低比重リポ蛋白コレステロール、動脈硬化指数の低下傾向、並びに高比重リポ蛋白コレステロールの上昇傾向が観察されたことは自転車トレーニングの肥満者への適用の有用性を示唆するものである。今後、肥満改善策の一環としての心拍変動フィードバック管理制御方式トレーニングの有用性に関する検討が興味ある課題の一つである。

トレーニング（とくに過度のトレーニング）を継続する運動選手に、しばしば貧血が認められることは古くから知られている。これは、主として鉄欠乏性に由来する運動性貧血としてとらえられており、体内鉄含有量、赤血球数、ヘモグロビン量などの減少がその特徴である。本研究では血清鉄とヘモグロビン量が減少傾向を、そして赤血球数(表5)が有意な減少を示したが、その絶対値はいずれも正常範囲内であった。運動性貧血の主要原因の一つに、足底部の毛細血管網内で流動している赤血球の物理的圧力による溶血(磯貝, 1985)があげられるが、本研究で行ったトレーニングによってこのような溶血が起こるとは考えられない。我々は、激しい長時間走運動の継続により、赤血球数

やヘモグロビン量が減少傾向を示すことを幅広い年齢層の成人で観察している。これは、長時間走運動にかかわらず、トレーニングがもたらしうる影響として今後より詳細な検討を要する課題であろう。

[研究III]

ジョギングトレーニングに伴う呼吸循環系機能、血清脂質、身体組成などの変化に関する検討は従来より数多くなされている。本研究では、これらの属性に加えてASに及ぼす効果を検討した。

形態、身体組成、安静時HR、血圧などについては有意な変化はみられなかったが(表6, 7), 表8に示す如く、AS, $\dot{V}O_2@AT$, $\dot{V}E@AT$, $\dot{V}O_2max$, $\dot{V}Emax$, % $\dot{V}O_2max@AT$ に有意な増大が認められた。% $\dot{V}O_2max@AT$ の増大は、通常 $\dot{V}O_2max$ の50~60%に相当する $\dot{V}O_2@AT$ と $\dot{V}O_2max$ のいずれもが約3 ml/kg/min増大したことによる結果である。これら両者の絶対変化量がほぼ同じであったことから、本研究で処方したジョギングトレーニングは最大作業時よりも最大下作業時の有酸素性能力に及ぼす効果が相対的に大きいことを意味する。ちなみに、 $\dot{V}O_2max$, $\dot{V}O_2@AT$, AS, 4000M走成績の変化率はそれぞれ約9%, 16%, 17%, 19%となった。

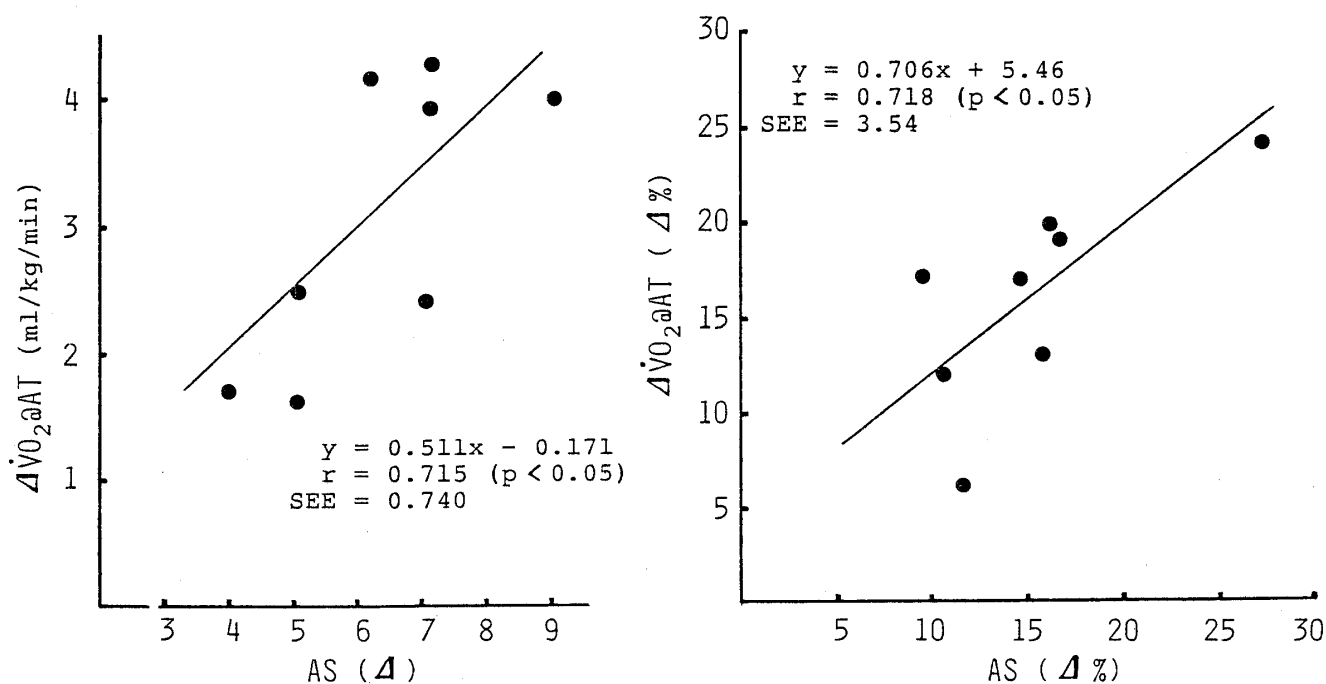


Fig. 5 Relationship between training-induced changes in aerobic score and training-induced changes in anaerobic threshold.

Tanaka ら(1988)は18名の男性(28.3±5.5歳)を対象に平均3.5km/日, 3.4日/週のジョギングトレーニングを3.8ヶ月にわたって課し, $\dot{V}O_2\text{max}$, $\dot{V}O_2\text{@AT}$, 5000M 走成績にそれぞれ約8%, 12%, 16%の増加を認めている。本研究の結果はほぼ同年齢の男性を対象とした Tanaka ら(1988)による先行研究の結果に概ね一致するものである。したがって, 男性を対象とする場合にも, ジョギングトレーニングの継続により AS は有意に向上するものと推察できる。図5には, AS の変化量と $\dot{V}O_2\text{@AT}$ の変化量との関係を示した。これらの変化量を絶対値(Δ)と相対値($\Delta\%$)のいずれで表現しても, 両変化量間に有意な相関($r=0.715$, 0.718)が認められた。このことは, AS のジョギングトレーニングによる変動が $\dot{V}O_2\text{@AT}$ の同トレーニングによる変動と同一方向に連動することを示すものであり, AS の有酸素性能力指標としての妥当性をさ

らに強める結果といえよう。ちなみに, 図5の回帰式より, AS における10点の向上は $\dot{V}O_2\text{@AT}$ でみれば, 約5 ml/kg/min の向上につながるものと推定できる。

一方, 血清脂質については有意な変化は認められなかったが, このことも Tanaka ら(1988)の結果と一致する。赤血球数やヘモグロビン濃度もトレーニングの前後ではほぼ同じであった。血清鉄や総鉄結合能も約20回のジョギングトレーニングの前後で変化しなかったことから, この程度のトレーニング(期間, 強度など)では運動性貧血は生来しないといえよう。

以上の結果より, 一定期間(1~2ヶ月)のジョギングトレーニング(2~4日/週, 20分/日)により $\dot{V}O_2\text{@AT}$ や $\dot{V}O_2\text{max}$ によって代表される有酸素性能力の向上が認められると同時に, AS についても向上が認められることから, AS は縦断的側面からみても有酸素性能力の有用指標になりうるといえる。

APPENDIX A

SYMBOLS AND ABBREVIATIONS

A number of symbols and abbreviations specifically used in the present study are shown below.

AS	aerobic score
AT	anaerobic threshold (lactate threshold)
AI	atherogenic index
DBP	diastolic blood pressure
FFW	fat-free weight
Hb	hemoglobin concentration
Hct	hematocrit
HDL	high-density lipoprotein cholesterol
HR	heart rate
LDL	low-density lipoprotein cholesterol
MCV	mean corpuscular volume
MCH	mean corpuscular hemoglobin
MCHC	mean corpuscular hemoglobin concentration
RBC	red blood cell count
SBP	systolic blood pressure
SI	serum iron
TC	cholesterol
TG	triglycerides
TIBC	total iron binding capacity
VE	pulmonary ventilation, expressed at normal body temperature and ambient pressure, saturated with water vapor
$\dot{V}O_2$	oxygen uptake, expressed at standard temperature and pressure, dry (at 0°C, 760 mmHg, dry): e.g., $\dot{V}O_2\text{@AT}$ means $\dot{V}O_2$ corresponding to the AT
WBC	white blood cell count

稿を終えるに当たり, 172名の被検者の方々(とくに長期間にわたってトレーニングを継続して頂いた方々)に感謝申し上げます。

なお, 本研究の一部は財団法人水野スポーツ振興会の研究助成によって行った。

引用文献

- Beaver WL, K Wasserman, and BJ Whipp, 1985: Improved detection of lactate threshold during exercise using a log-log transformation. *J. Appl. Physiol.*, 59: 1936-1940.
- Clausen JP, 1976: 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.
- Holloszy JO, 1973: Biochemical adaptations to exercise: aerobic metabolism. *Exerc. Sports Sci. Rev.*, 1: 45-71.
- 磯貝行秀, 1985: 貧血症のひと。臨床栄養, 65: 625-632.
- 宮下充正, 武井義明, 福田裕之, 1984: PWC75% HRmax の全身持久性の評価尺度としての妥当性の検討。 *J.J. Sports Sci.*, 3: 559-562.

- 宮下充正, 武藤芳照, 吉岡伸彦, 定本朋子, 1983: 全身持久力の評価尺度としての PWC75%HRmax. *J. J. Sports Sci.*, 2: 912-916.
- 中塘二三生, 田中喜代次, 渡辺一志, 福田隆, 1985: 酵素電極法による血中乳酸濃度の測定. *J.J. Sports Sci.*, 980-982.
- Rerych SK, PM Scholz, DC Sabiston, and RH Jones, 1980: Effects of exercise training on left ventricular function in normal subjects: a longitudinal study by radionuclide angiography. *Am. J. Cardiol.*, 45: 244-252.
- 田中喜代次, 信田宜司, 長谷川陽三, 1988: 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.
- 田中喜代次, 吉村隆喜, 奥田豊子, 小西洋太郎, 角田聡, 出村慎一, 岡田邦夫, 1986: AT 水準以上の強度を基準とした完全監視型持久性運動療法および不完全監視型食事療法の併用が肥満者の健康・体力に及ぼす効果. *体力研究*, 62 [Suppl.]: 26-40.
- 田中喜代次, 松本健, 榎原潤三, 村上晴彦, 中川敬, 1986: 光電脈波検出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*, 2: 7-15.
- 田中喜代次, 中川敬, 脇田正道, 羽田鋭雄, 渡辺一志, 山田尚, 前田如矢, 1985: 運動選手における心機能——持久性競技者・非持久性競技者・一般健康人の比較——. *教育医学*, 30: 2-8.
- Tanaka K, F Nakadomo, and K Maeda, 1988: Effects of jogging/running training on cardiorespiratory fitness, serum lipids, and body composition in healthy males. *Ann. Physiol. Anthropol.*, 7: 31-37.
- Tanaka K, T Yoshimura, R Mitsuzono, S Tanaka, Y Konishi, H Watanabe, T Yamada, and K Maeda, 1986: Transient responses in cardiac function below, at, and above anaerobic threshold. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 55: 356-361.
- Tanaka K, Y Endoh, T Hazama, H Watanabe, H Ichii, I Shimada, T Yamada, K Maeda, M Minami, H Doya, and K Yoshihara, 1985: Validity of an endurance performance test as a possible substitute for cardiorespiratory fitness. *Osaka City Univ. J. Hlth Sci. Phys. Ed.*, 21: 19-28.

(1988年7月5日受付)