

成人女子における総仕事量一定・強度漸増 負荷法による長期トレーニングの影響

—最大酸素摂取量, 身体組成, 形態及び血液成分
にみられるトレーニング効果—

体育学研究室 跡見 順子・宮下 充正

Effects of Long-term Physical Training in Women

—Training Effects upon Maximal Oxygen Uptake, Body Composition,
Physical Characteristics and Blood—

Yoriko ATOMI and Mitsumasa MIYASHITA

The purpose of this study was to investigate the effect of intensity upon the aerobic work capacity, body composition, physical characteristics, and blood of women through long-term physical training, when the total amount of work was kept approximately constant for each subject. Seven sedentary adult females, aged 23 to 40 years, participated in a 44-week training experiment. They trained on a bicycle ergometer at 60-65% $\dot{V}O_2$ max during the first 13 (15) weeks (T60), at 75-80% $\dot{V}O_2$ max during the next 18 (16) weeks (T75) and at 90-95% $\dot{V}O_2$ max during the final 13 weeks (T90). The total amount of work and frequency were 9000-12000 kpm a day, and 2-4 days per week, kept approximately constant for each subject through training, respectively.

Mean $\dot{V}O_2$ max, expressed in l/min and per body weight, significantly increased by degrees with two levels up of training intensity, despite keeping constant the total amount of work through the 44-week training. Mean $\dot{V}O_2$ max per LBM also significantly increased except during, T75. $\dot{V}O_2$ max, V_E and O_2 pulse, expressed per LBM, showed a significant relationship (partial correlation coefficient keeping the effect of age constant) between their initial values and the total gain (%) after 44 weeks training. The final values of $\dot{V}O_2$ max, except an obese subject, after the entire training period attained over the level of +2SD of Japanese active females and were highly correlated with age ($p < 0.01$). On the other hand, the interindividual differences were observed in the response to training intensity in $\dot{V}O_2$ max through the 44-week training. That is, two lean subjects improved most of the total gain during T60, another three did more than half of that during T90 and the other one increased by degrees in accordance with the levels up of intensity. The extremely obese subject could not increase so much. Mean body weight, body fat, and lean body mass did not show any significant change. Mean data of circumferences showed no significant change, whereas some mean data of skinfold thickness (supra iliac, thigh and calf) showed significant decrease following the 44-week training. GOT and GPT of serum enzymes decreased significantly, whereas the other data of blood showed

* Laboratory for Exercise Physiology and Biomechanics, Faculty of Education, University of Tokyo, 7-3-1, Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, Japan 113

no significant change. Essentially no change occurred in all data for the control group.

It was concluded that the increase of intensity without the increase of total amount of work was effective to the improvement of $\dot{V}O_2$ max, and the susceptibility for intensity was different for each individual. Furthermore, the improvement of $\dot{V}O_2$ max with long-term and effective training was significantly related with the initial level based on lean body mass, and the attainable level was significantly limited by age.

- I. 研究目的
- II. 研究方法
- III. 結果
- IV. 考察
- V. 要約

I. 研究目的

一般成人を対象とした持久性トレーニングの効果を検討する際にこれまであまりとりあげられてこなかった要因に、トレーニング期間とトレーニング総負荷量の問題がある。またトレーニング処方構成する要因の中で最も重要性が高いと報告されてきた強度についても、総負荷量（総仕事量）との関係で純粋に強度の影響をみたものは少ない。^{15, 34, 51, 55} 5~10 週間の比較的短期間のトレーニング実験において、主に $\dot{V}O_2$ max のトレーニング効果に大きな個人差がみられ、その原因についてこれらの点から十分検討がなされていない。

6ヶ月以上の長期にわたるトレーニング実験のうち $\dot{V}O_2$ max への影響をみたものは数少ない。Kasch et al.³³ は 29-60 才の中老年男子 15 名を対象として、トレーニング初期に強度を 50% $\dot{V}O_2$ max から 85% $\dot{V}O_2$ max まで漸増し、2 年間にわたってランニングのトレーニング効果をみたが、 $\dot{V}O_2$ max はほぼ 6 ヶ月~1 年間でプラトーとなった。Ekblom²⁰ はランニングを主とした 16 週間の激しいトレーニング実験の後、2 名 (19, 22 才) について、その後もトレーニングを継続した。うち 1 人は 18 ヶ月で 61.2 ml/kg. min まで、もう 1 人は 32 ヶ月目の測定で 63.6 ml/kg. min を記録しその後 51 ヶ月目でも同じ値であった。長沢ら⁴⁵ は 55~58 才の男子 3 名について 50 週間、70% $\dot{V}O_2$ max の強度の歩行によるトレーニングを行なったが、 $\dot{V}O_2$ max は 25~30 週で頭打ちとなり、その後は 15~30 週目の値まで漸減する傾向を示した。また著者ら⁵ は週 2~3 日のスポーツ教室参加者の 2 年間継続組と 4 年以上継続組の $\dot{V}O_2$ max を測定したが有意差を認めなかった。

これらの長期トレーニング結果にみられる頭打ち現象に対して、Hickson et al.²⁷ は 10 週間の短期間のトレーニングでも、強度、負荷量ともに常に最大に維持するこ

とによって、 $\dot{V}O_2$ max はこれまでの実験結果からは予期せぬほどの速度で、しかも高い水準まで増加しうることを示した。

以上の観察から $\dot{V}O_2$ max にみられるトレーニング効果を検討する上で、期間とともに総負荷量及び総負荷量との関係からみた強度の影響を知ることが重要であるように思われる。強度の重要性についての報告は数多いが、その多くは生体への刺激負荷量総体としての総仕事量については考慮されておらず、強度が高いことは総仕事量も大きいことを意味していた。生体への負荷量を一定にした時の強度の効果をみるために Sharkey⁵⁵ ($\dot{V}O_2$ max は Step test からの推定)、Burke & Franks¹⁵ は機械的仕事量を一定にして、また Kearney et al.³⁴ はトレーニング作業中の心拍数から安静時の心拍数を差引いた総心拍数が 1000 拍になるようにした上で強度の影響を検討した。また石河ら²⁹ は強い強度一短時間、強い強度一長時間運動の 3 通りの組合わせで生体に対する刺激量を等価と考え、トレーニング効果を検討した。Burke & Franks¹⁵ は結果の中でトレーニング効果の得られる最小閾値が存在することを示したが、それ以上の強度に関しては他の論文と同様に強度に対する有意な影響を示さなかった。これに対し、Fox et al.¹³、宮下ら⁴² の研究は $\dot{V}O_2$ max の増加量に対する強度の有意な影響を認め、相対的な総仕事量、またはエネルギーコストに依存するものでないことを示した。このように総仕事量を考慮した時の強度の影響については一致した見解はない。

以上の問題点をふまえて、本研究ではトレーニング効果にみられる個人差の原因とトレーニングの可能性を明らかにするために、特に強度に注目して長期トレーニングを行ない、主に $\dot{V}O_2$ max について検討を加えた。強度の影響を分離するためにトレーニング全期間を通じて個人内で機械的総仕事量を一定に保った。また長期トレーニングによる身体組成、形態、血液成分への影響をもあわせ検討した。

II. 研究方法

被検者 被検者はトレーニング群として 22~40 才の女子 7 名、対照群として 27~45 才の女子 5 名で、ともに健

TABLE 1. Physical characteristic, blood pressure, occupation and experience of sports activity of the subjects for training group.

Subj.	Age yrs	Ht cm	Wt kg	Fat %	SBP mmHg	DBP mmHg	Occupation and experience of sports activity
A	22	156	60.0	31.3	124	64	secretary, nothing
B	26	155	48.9	19.0	114	76	graduate student, gymnastic (12-20 years)
C	28	157	69.0	37.8	124	86	clerk, volley-ball (15-17 years)
D	31	153	41.2	23.8	107	64	secretary, social-dance (18-21 years)
E	32	158	53.0	21.3	100	64	graduate student, tennis (15-20 years)
F	39	159	58.7	34.2	118	78	clerk, nothing
G	40	158	47.5	17.0	96	66	house wife, short distance (15-17 years)
Mean	31	157	54.4	26.3	110	65	
DS	7	2	9.3	8.1	12	10	

TABLE 2. Physical characteristics, body composition and $\dot{V}O_2$ max of subjects for control group.

Subj.	Age yrs	Ht cm	Wt		LBM		Fat		$\dot{V}O_2$ max	
			C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2
1	27	154	47.76	48.23	38.83	39.60	18.7	17.9	1.97	1.93
2	33	160	50.82	51.65	41.01	40.67	19.3	20.4	1.96	1.96
3	34	160	50.55	51.09	41.30	40.70	18.3	21.2	1.81	1.85
4	37	154	57.95	59.85	40.04	40.10	30.9	33.0	1.53	1.61
5	45	153	52.52	52.00	37.87	37.60	27.9	27.7	1.39	1.42
Mean	35	156	51.92	52.56	39.81	39.73	23.0	24.0	1.73	1.76
DS	7	4	3.78	4.34	1.45	1.28	5.9	6.2	0.27	0.23

C1=first test; C2=second test after 40-50 weeks of C1.

康で少くとも過去5年間は特別な運動プログラムに参加していない。トレーニング群の被検者の形態、体脂肪量、血圧、職業及び過去の運動歴を Table 1 に、対照群の形態、身体組成、 $\dot{V}O_2$ max を Table 2 に示した。トレーニング群の被検者のうち3名は体脂肪量 30% 以上の肥満者であった。

トレーニングプログラム トレーニングはモナーク社製自転車エルゴメーターを用いた。強度は $\dot{V}O_2$ max の 60%→75%→90% の順で漸増した。各強度で10週間以上のトレーニングを行ない、 $\dot{V}O_2$ max の値にプラトーヌは低下がみられた後強度を漸増した、1日当りの総仕事量、トレーニング頻度(週当り)はトレーニング全期間を通して各被検者内ではほぼ一定に保つようにした。従って作業時間は 60, 75, 95% $\dot{V}O_2$ max のトレーニングで凡そ 20, 15, 10 分であった。なお 90% $\dot{V}O_2$ max でのトレーニングでは総仕事量を一定にするためにウォーミングアップとして 60% $\dot{V}O_2$ max の強度で 3~5 分の作業

を加えた。トレーニング負荷は2~4週間ごとの $\dot{V}O_2$ max の測定によって一定の強度を保つように調整した。トレーニングは 1979年6月~1977年4月の44週間にわたって行なった。

最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$ max) の測定 第1回目の測定を行なう前に実験環境及び自転車エルゴメーターに慣れるために、被検者は全員 2~3 回実験室に来て練習した。 $\dot{V}O_2$ max の測定はモナーク社製自転車エルゴメーターによる漸増負荷法⁴⁾で、トレーニング群に対しては 2~4 週間ごとに、対照群は40~50週の間において2回測定した。採気はダグラスバッグ法、呼気の分析はショランダー微量ガス分析器を用いた。 $\dot{V}O_2$ max の達成基準は leveling off の発現と呼吸交換率 (R) > 1.15³¹⁾ を用いた。心拍数は胸部双極誘導により心電図から求めた。

身体組成及び形態の測定 体脂肪量は水中体重秤量法¹⁶⁾により身体密度を測定し、Brožek et al.¹³⁾ の推定式 (%Fat = 4.570/DB - 4.142, DB: 身体密度) を用いて求め

TABLE 3. Methods of determination, normal ranges and coefficients of variation for blood.

Variable		Normal Range	Method	CV(%)
RBC	10 ⁴ /mm ³	380-480	Colter Counter Model S	
Hb	mg/dl	12-15		
Hct	%	35-47		
Total protein	g/dl	5.5-8.2	Biuret	1.49
Albumin	g/dl	3.8-5.8	B.C.G.	3.76
BUN	mg/dl	8-22	di-acetylmonoxim	1.96
Creatinine	mg/dl	0.8-1.6	London	6.49
Uric Acid	mg/dl	2-6	Crowley	1.65
Total bilirubin	mg/dl	0-1.5	Malloy-Evelyn	5.74
Na	mEq/l	135-148	Flame	1.02
K	mEq/l	3.5-5.3	Flame	2.01
Alkari-phosphatase	U	3-13	King-King	3.06
LDH	U	46-124	Wroblewski	3.93
GOT	U	0-45	Henly	5.15
GPT	U	0-47	Raitman-Frankel	6.63
Triglyceride	mg/dl	50-170	enzymatic method	2.47
Cholesterol	mg/dl	120-250	Zurkowski	3.64
Glucose	mg/dl	60-110	O.T.B.	1.34

TABLE 4. Total mechanical work done per day, frequency per week through training and mean attained level of heart rates for each subject during each training period.

subj.	Total Work per day kpm	Frequency per week day	Heart Rate beats/min		
			T60	T75	T90
A	11259±458	3	148±4	165±7	184±4
B	10370±222	2	148±5	162±5	180±5
C	12208+393	4	150±5	158±6	174±5
D	9238±419	4	150±5	164±7	179±6
E	10623±375	4	151±6	163±6	175±6
F	9083±217	2	148±3	160±6	173±3
G	10267±106	4	137±7	154±5	170±5

た。残気量は Rahn et al.⁴⁹⁾ の窒素希釈法 (バッグ内の酸素 1.5l) を用いて求めた。水中体重の測定は水温 37°C の水槽内に最大呼出の状態です 5 回以上潜水を行ない、最大値が一定の値で 3 回以上出現するまで行なった。除脂肪体重 (Lean Body Mass; LBM) は体重から体脂肪量を差し引いて求めた。

周径囲は 11 項目について測定した。皮下脂肪厚は榮研式キャリパーを用いて身体右側の 12ヶ所を測定した。

・安静時血液検査 採血日前夜の食事は過度の脂肪、カロリーの摂取及びアルコール類の摂取を避けるように指導し、13~14時間の絶食後、早朝空腹時に採血した。各

検査項目の測定法・正常範囲及び変動係数を Table 3 に示した。

トレーニング群の身体組成、形態の測定、及び安静時血液の測定はトレーニング前 (T0)、60 (T60)、75 (T75)、90 (T90)% $\dot{V}O_2$ max トレーニングのそれぞれ終了時に行なった。なお対照群は $\dot{V}O_2$ max と同様 2 回のみ測定した。

III. 結 果

トレーニングの負荷及び強度 被検者 7 名ごとのトレ

TABLE 5. Mean value of laboratory findings for blood at rest through training.

Variable	T0		T60		T75		T90	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
RBC ($10^4/\text{mm}^3$)	404	19	416	26	409	21	399	14
Hb (mg/dl)	12.0	5.9	12.0	7.9	12.4	7.6	11.9	5.4
Hct (%)	36.9	2.0	37.6	2.6	38.0	22.5	36.5	2.0
T. Protein (g/dl)	6.7	0.4	6.8	0.4	6.9	0.3	6.8	0.3
Albumin (g/dl)	4.0	0.2	4.0	0.2	4.0	0.2	3.9	0.2
BUN (mg/dl)	14.2	1.2	13.3	2.3	13.6	2.3	15.0	1.9
Creatinine (mg/dl)	0.9	0.1	0.8	0.1	0.9	0.1	0.8	0.1
Uric Acid (mg/dl)	3.5	0.6	3.5	0.8	3.3	0.4	3.6	0.5
T. Bilirubin (mg/dl)	0.9	0.3	0.8	0.2	1.1	0.4	1.1	0.4
Na (mEq/l)	139	1.1	140	1.7	140	1.1	142	0.9
K (mEq/l)	4.1	0.3	4.2	0.3	4.2	0.4	4.2	0.3
Alk-P (U)	6.5	1.5	6.4	1.5	6.3	0.9	6.2	2.2
LDH (U)	78	13	80	10	71	13	74	20
GOT (U)	26.9	3.7	22.7***	2.9	24.3	3.6	22.4**	2.6
GPT (U)	26.0	4.6	22.4	3.8	20.6*	5.2	20.9	4.3
TG (mg/dl)	68.1	18.5	69.7	20.6	64.1	23.9	60.0	19.0
Cholesterol (mg/dl)	181	25	180	19	183	30	187	37
Glucose (mg/dl)	94.0	7.4	90.0	9.2	95.9	3.7	93.7	7.4

TO=pre training; T60=post 60-65% $\dot{V}O_2$ max training; T75=post 75-80% $\dot{V}O_2$ max training; T90=post 90-95% $\dot{V}O_2$ max training.

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$. These marks show the differences for the initial values.

ーニング全期間を通じての平均総仕事量、頻度及び各トレーニング強度での運動中の平均心拍数を Table 4 に示した。トレーニング負荷、トレーニング運動中の酸素摂取量、心拍数、RPE (主観的運動強度)、及び血圧の7名の平均値を Fig. 1 に示した。運動中の測定値は各運動の最後の3分間の平均値を用いた。実測値から求めた強度は平均値でそれぞれ 60~65, 76~79, 90~95% $\dot{V}O_2$ max であった。

安静時血液検査値 測定値はトレーニング全期間を通じて全て正常範囲にあった。平均値で有意な変化のみられたのは GOT, GPT のみで、44 週後にはともに有意に減少した (Table 5)。また中性脂肪に低下する傾向がみられた。

身体組成及び形態 体重、体脂肪量、除脂肪体重は平均値では有意な変化はみられなかった (Fig. 2) が、3 名 (Subj. A, E, F) で体重、脂肪量にそれぞれ 2.1~6.3, 1.3~7.3 kg の減少がみられた。最も脂肪量の多かった Subj. C のみは減量できずかえって体重が大巾に (5.5 kg) 増加したが、これは主に LBM の増加 (4.3 kg) であった。LBM はこの他に Subj. D で 2.1 kg の増加を示したが、その他の者ではほぼ一定であった。

周径囲は平均値で有意な変化がみられたのは最小腹囲 (abdomen 1) のみであり、その他についてはほとんど変化がみられなかった (Table 6)。体重の減少の大きかった Subj. A, F の2名では胸囲、腹囲 (abdomen 1 と 2)、大転子囲、大腿囲、上腕囲に大きな減少がみられた。また体重が更に大きく増加した Subj. C では全項目についてほとんど増加はみられず 1~2 cm の減少がみられた。皮下脂肪厚は平均値で TO に対する T60 後、T90 後の変化にそれぞれ上腕背部、側腰部、臍横部、側腰部及び腹部、側腰部、大腿部、の4ヶ所に有意な減少がみられた。個人別には周径囲と同様、体重の減少の大きかった Subj. A, F の減少が大きかったが、Subj. C でも上記の有意な減少を示した項目で 10~15 mm の減少がみられた。

最大酸素摂取量 $\dot{V}O_2$ max は強度の漸増とともに漸次有意に増加したが、各強度でのトレーニング期間の最終値が必ずしも最高値でなかった (Fig. 3)。特に T60 では、大きな増加のみられた4名中3名 (Subj. D, E, F) がトレーニング開始後 6~13 週間までは増加していたがその後 5% 以上の低下がみられた。そこで各トレーニング期間中の最高値をその強度でのトレーニング効果と考

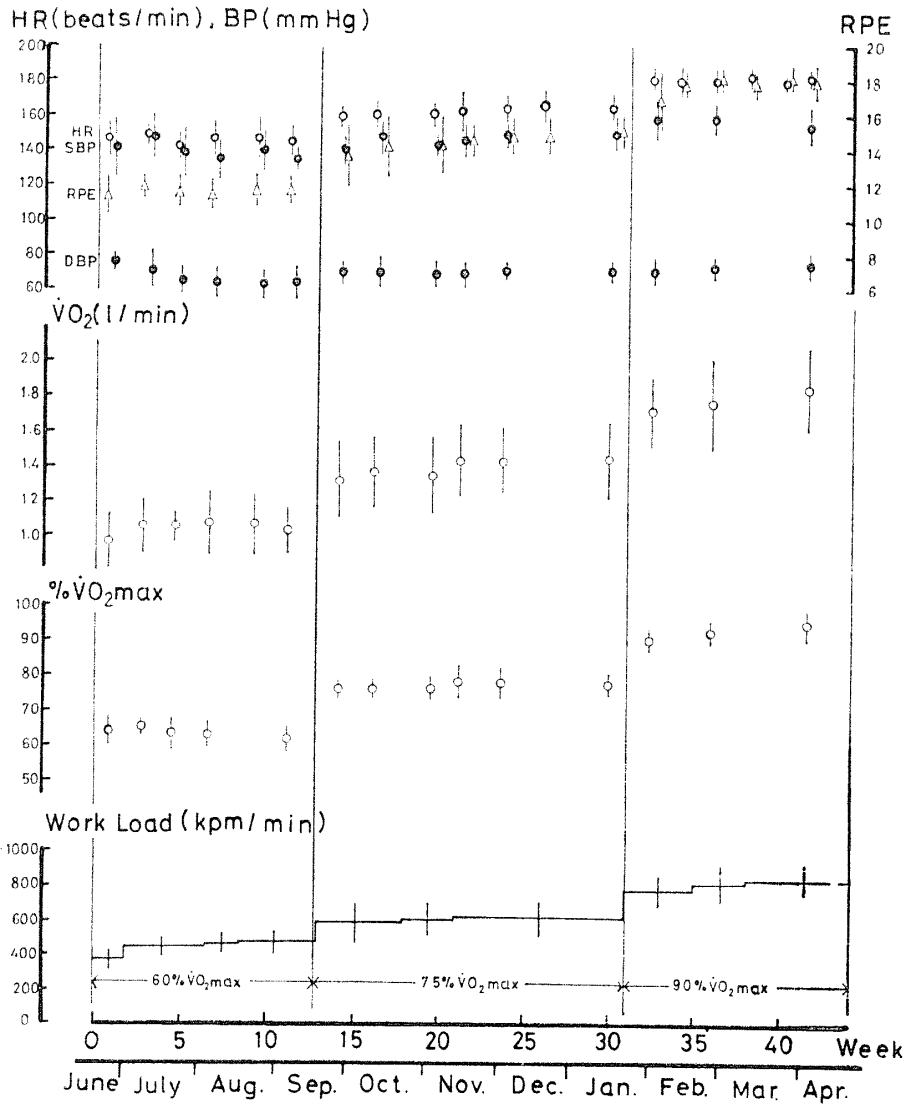


Fig. 1 Physiological responses and work load during training exercises for 44 weeks. Values are means and SD of 7 subjects during last three minutes in each training exercise. RPE means rating of perceived exertion, according to Borg (12) and Onodera & Miyashita (46). SBP and DBP mean systolic and diastolic blood pressure.

え、体重当りにして年令との関係を Fig. 4 に示した。図中の 2 本の回帰直線と $\pm 2SD$ の範囲は著者ら³⁾が日本人成人女子について自転車エルゴメーター法で求めたものである。各強度での $\dot{V}O_2 \max$ の増加程度は個人によって異なった。5%以上の変化についてみると、強度の漸増に対応した変化を示したのは Subj. A のみであった。Subj. D, G では T60 で、Subj. B では T90、Subj. E, F では各々 TO と T90、T75 と T90 で 5% 以上の増加がみられた。Sub. C の体重当り $\dot{V}O_2 \max$ のトレーニング終了時の値は同年の sedentary 群の平均水準にとどまった。トレーニングによって減量できなかった Subj. C を除いて 44 週後の $\dot{V}O_2 \max$ の値は全員 active 群の

+2SD をこえる水準まで増大しており、それらの値は年令と高い相関関係を示した ($p < 0.01$)。

Table 7 は Fig. 3 と同じ条件の $\dot{V}O_2 \max$ 及び $\dot{V}O_2 \max$ 出現時の換気量 (V_E), 呼吸当量 (VE), 酸素脈 (O_2 Pulse), 最大心拍数 (Max HR) を示したものであり、その変化率 (%) 及び有意水準を Table 8 に示した。絶対値及び体重当り $\dot{V}O_2 \max$ は総仕事量を一定に保ったにもかかわらず、平均値で強度の増加に対応して有意に増加した。LBM 当り $\dot{V}O_2 \max$ も T75 では有意な増加がみられなかったが、その他では有意に増加した。呼吸器系では V_E が T90 で 17% の、44 週後では 31% のそれぞれ有意な増加を示したが、VE に一定の変化は

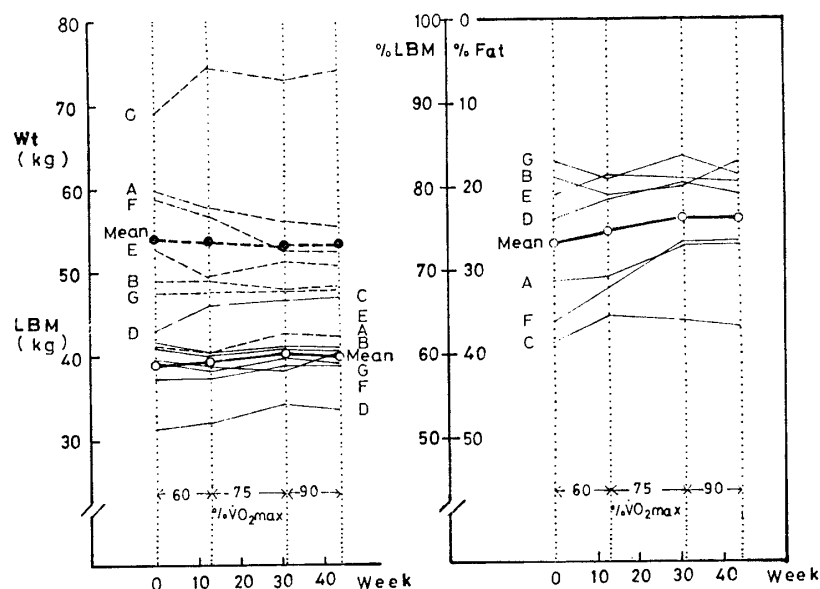


Fig. 2 Changes of mean and individual values for body weight, LBM and body fat through training.

TABLE 6. Mean values of 11 circumferences and 12 skinfold thicknesses through training.

Variable	T0		T60		T75		T90	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
<i>Circumference (cm)</i>								
chest	83.6	9.2	83.4	8.2	82.6	8.5	82.4	7.7
abdomen 1	67.2	7.5	65.6*	7.3	65.6	6.3	64.8**	6.8
abdomen 2	78.0	11.1	77.7	12.4	77.5	10.7	75.6	11.8
trochanteric	89.9	8.0	88.5	8.1	88.3	6.5	89.9	6.7
thigh	54.6	6.3	54.3	6.7	52.9	4.9	54.2	5.1
knee	35.8	3.0	35.6	2.9	35.1	2.6	34.8	2.4
calf	35.1	3.0	35.1	3.4	34.5	2.6	34.8	2.8
unlike	20.8	1.7	20.6	1.8	20.3	1.3	20.3	1.5
upperarm	26.0	3.3	26.1	3.0	26.0	2.5	25.8	2.6
forearm	23.3	2.1	24.1	1.9	23.0	1.8	23.1	1.8
wrist	15.0	0.7	15.0	0.9	14.8	0.8	15.0	0.8
<i>Skinfold Thickness (mm)</i>								
cheek	13.6	5.2	13.6	5.7	13.6	5.7	14.0	4.8
chin	9.0	4.4	8.5	4.2	9.3	3.4	8.3	3.7
pectoralis	14.6	6.0	15.4	6.9	13.6	5.9	12.6	5.6
xiphoid	15.1	7.9	13.6	8.2	13.1	7.1	11.4	5.1
triceps	26.4	12.9	23.2*	10.5	23.9	9.5	23.9	8.8
scapula	21.9	15.4	19.9	15.9	18.1	13.1	18.6	13.7
waist	20.3	8.4	17.9*	8.2	17.6	7.6	15.6*	7.7
umbilicus	29.0	13.7	27.2*	13.9	26.1	12.2	24.2	12.5
supra iliac	21.9	13.1	20.9*	12.6	16.8	10.9	15.6*	8.4
thigh	33.6	11.0	32.0	10.0	31.6	6.0	28.4*	6.4
knee	14.0	6.2	15.8	6.4	14.5	5.2	13.4	4.8
calf	21.9	10.0	23.1	9.2	20.5	6.3	17.8*	6.8

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$. These marks show the differences for the initial values.

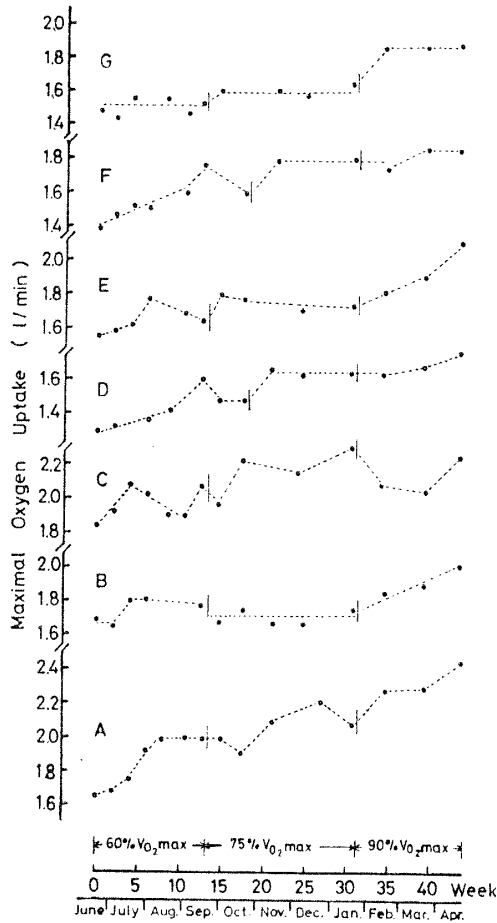


Fig. 3 Changes in $\dot{V}O_2$ max (l/min) of 7 subjects during 44 weeks training.

みられなかった。個人別に $\dot{V}O_2$ max と V_E との関係は 44 週間の 14 回の測定についてみると (Fig. 5), 4 名で有意な関係がみられた ($p < 0.001$)。また他の 2 名では T90 でのみ二者の対応がみられた。循環系指標では T75 の $\dot{V}O_2$ max の増加が Max HR の有意な増加に対応したほかは全て O_2 Pulse の有意な増大を伴った。

対照群の形態, VO_2 max, 身体組成, 血液検査値には何ら有意な変化は認められなかった (Table 2)。

IV. 考 察

本研究ではトレーニング全期間を通じて総仕事量を一定に保ったにもかかわらず, $\dot{V}O_2$ max は強度の増加に対応して有意に増加した。このことは強度因子が $\dot{V}O_2$ max の増加に有意に影響をもつことを意味する。これに反して Burke と Franks,¹⁵⁾ Kearney et al.³⁴⁾ 及び Sharkey⁵⁵⁾ の報告を総括すれば最低閾値の前後以外で強度の有意な影響を認めていない。しかし Sharkey⁵⁵⁾ の場合は $\dot{V}O_2$ max をステップテストを用いて間接法で推定しているため、本実験結果と比較するのは適当でないように

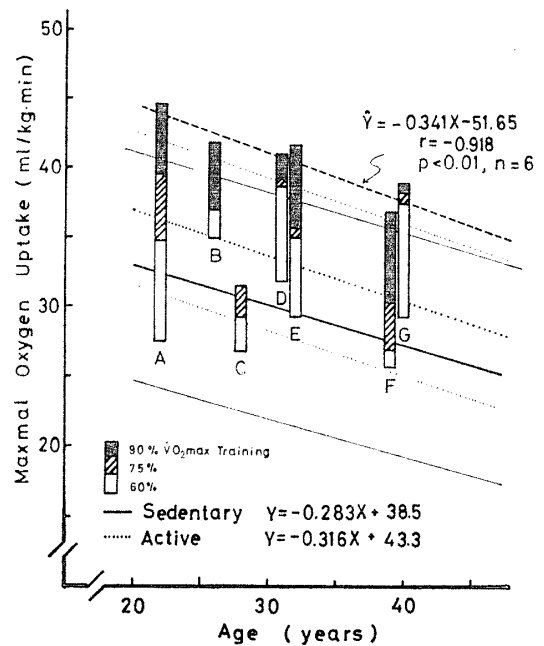


Fig. 4 Increase of $\dot{V}O_2$ max per body weight with reference to age. The highest values during each training period were used (see text). Two regression lines and the ranges of ± 2 SD for sedentary and active females were referred from the previous report by authors (3).

思われる。本研究の強度の範囲は 7 人の平均心拍数で示せばおよそ 147, 161, 176 beats/min であったのに対し, Burke と Franks¹⁵⁾ では 121.8, 142.5, 160.5 beats/min で (142.5 beats/min と 160.5 beats/min の強度では $\dot{V}O_2$ max に有意差なし), Kearney et al.³⁴⁾ では 134 beats/min と 155 beats/min で本研究に比べて低かった。本研究において, 60% $\dot{V}O_2$ max から 75% $\dot{V}O_2$ max (147 beats/min \rightarrow 161 beats/min) への強度の変化は必ずしも全員に有効に影響しなかった。即ち絶対値及び体重当り $\dot{V}O_2$ max では各強度でのトレーニング期間の $\dot{V}O_2$ max の増加は有意であったが, T75 で 5% 以上の増加をみせたのは 2 名のみであり, LBM 当り $\dot{V}O_2$ max では T75 で有意な増加はみられなかった。これらの結果は実験に用いる強度の設定の仕方 (即ち強度間の巾) によっても効果の判断が異なってくることを示唆している。本実験結果と前二者の報告との不一致の原因は, 用いた強度の水準の違い, または強度間の巾の設定の違いのいずれかにあるように思われる。

総仕事量を一定にしてもなお, $\dot{V}O_2$ max の増大に強度が多大の影響を及ぼすことは, 筆者らの 60% $\dot{V}O_2$ max

TABLE 7. Mean $\dot{V}O_2$ max, and selected cardiorespiratory parameters at $\dot{V}O_2$ max through training.

Variable	T0		T60		T75		T90	
	Mean	SD	Mean	DS	Mean	DS	Mean	DS
$\dot{V}O_2$ max (l/min)	1.56	0.19	1.80	0.20	1.89	0.26	2.06	0.26
(ml/kg.-wt. min)	29.36	3.18	34.22	4.43	36.10	3.43	39.39	4.51
(ml/kg-LBM.min)	39.94	2.97	46.30	3.37	47.27	3.77	51.84	4.44
\dot{V}_E (l/min)	65.82	14.48	71.20	7.41	72.37	11.22	83.24	9.61
VE ($\dot{V}_E/\dot{V}O_2$)	42.33	6.74	39.90	5.30	38.68	5.41	41.15	2.46
O ₂ Pulse (ml/best)	8.3	0.1	9.6	0.1	9.9	0.1	10.8	0.1
Max HR (beats/min)	187.9	8.1	188.9	7.5	191.9	6.2	186.9	5.5

TABLE 8. Pre-post differences and significant level of $\dot{V}O_2$ max and selected cardiorespiratory parameters at $\dot{V}O_2$ max through training.

Variable	Difference (%)					
	T0-T60	T60-T75	T75-T90	T0-T75	T0-T90	T60-T90
$\dot{V}O_2$ max (l/min)	15.6***	4.2*	8.6*	21.6***	30.1***	14.7***
(ml/kg.-wt. min)	16.4***	6.3*	7.9*	23.4***	31.9***	15.9**
(ml/kg-LBM. min)	15.3***	2.3	10.0*	18.4***	25.1***	12.1***
\dot{V}_E (l/min)	11.3	2.1	17.3*	13.9	30.9	17.7*
VE ($\dot{V}_E/\dot{V}O_2$)	4.4	2.3	3.9	6.4	0.6	7.9
O ₂ Pulse (ml/best)	16.8***	3.1	8.9	19.7***	18.6***	13.6**
Max HR (beats/min)	0.6	1.9*	2.7*	2.3	0.6	-1.1

* p<0.05, ** p<0.01, *** p<0.001.

の強度での36週間のトレーニングの結果⁶⁾(Fig. 6)と比較しても明らかである。300 Cal という本実験の約3倍の作業量と時間のトレーニングにもかかわらず $\dot{V}O_2$ max は約10週まで増加したがその後はほぼ一定の値で変わらずそれ以上の増加はみられなかった。そこでトレーニング期間を $\dot{V}O_2$ max が増加し続ける期間という形でトレーニング効果に与える影響を検討してみると、Kasch et al.³³⁾の実験では、6ヶ月までは強度の漸増とともに $\dot{V}O_2$ max も漸増しており、その後強度を85~90% $\dot{V}O_2$ max に一定にするとトレーニング開始後1年までは増加がみられた。長沢ら⁴⁵⁾では70% $\dot{V}O_2$ max の強度で25~30週まで、跡見ら⁶⁾では60% $\dot{V}O_2$ max の強度で10~15週までいずれも増加し続けたが、その後は一定、もしくは幾分減少する傾向を示した(本実験でもT60では長くても13週目までであった)。これらの研究は頻度、時間などが異なるので正確な比較はできないが、トレーニング強度と期間及び $\dot{V}O_2$ max への効果については、弱い強度でのトレーニングほど短い期間で、しかも低い水準で $\dot{V}O_2$ max はプラトーになり、その後はその水準を維持するか、または幾分減少するという関係があるように思われる。この傾向は本実験結果でもみられ

た。従ってトレーニングの強度の要因を除外して期間をただ長くしても——トレーニングを続けているということは生体にとってより重要であるかもしれないがそのことは別にして—— $\dot{V}O_2$ max を効果的に増大することはできないように思われる。

トレーニングを中止すると、 $\dot{V}O_2$ max を含めて得られたトレーニング効果は遅かれ早かれ消失することが多くの研究で報告されているが、Brynteson & Sinning¹⁴⁾はトレーニングを続けていてもそのプログラム内容によっては到達した水準を維持できないことを示した。Brynteson & Sinning¹⁴⁾によれば到達した水準を維持するには最低週3日のトレーニングの継続が必要であった。まろ Roskamm⁵²⁾も指標は $\dot{V}O_2$ max ではないが、トレーニングで向上した水準の心拍数当りの仕事量 (Work/HR) を維持するためには、同様に週3日の運動の継続が必要であることを示した。本研究でもT60, T75では数名に一度増加した $\dot{V}O_2$ max が幾分低下する傾向がみられた。長沢ら⁴⁵⁾も同様であった。60% $\dot{V}O_2$ max 強度での300 Cal トレーニング⁶⁾では3名ともに $\dot{V}O_2$ max は一定の値を維持し得た。また、Kasch et al.³³⁾の場合も $\dot{V}O_2$ max の増加がとまった後、1年間一定の値を維持し

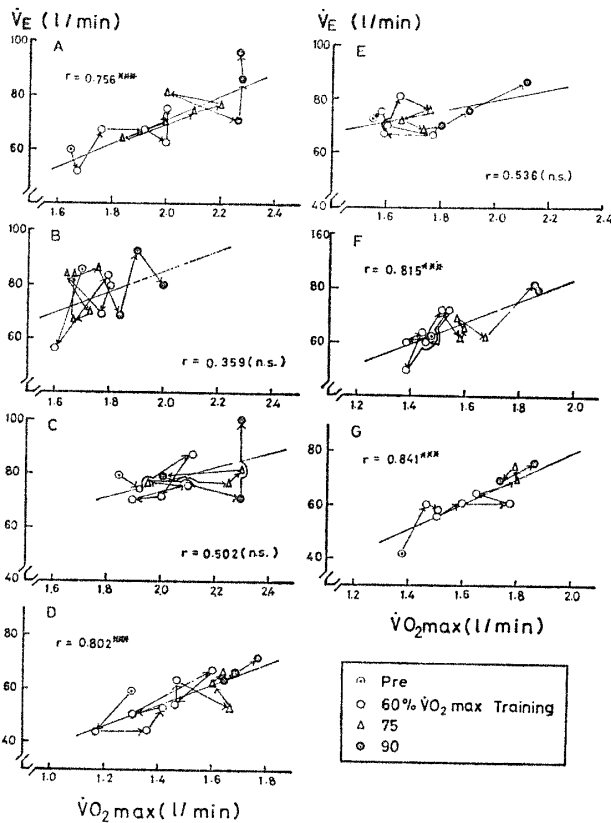


Fig. 5 Correlations between $\dot{V}O_2\text{max}$ and \dot{V}_E at $\dot{V}O_2\text{max}$ for 7 subjects through training. *** $p < 0.001$.

得ている。本実験及び長沢ら⁴⁵⁾の場合は総仕事量 (またはエネルギー消費量) は Brynteson & Sinning,¹⁴⁾ Kasch et al.,³³⁾ 跡見ら⁶⁾の場合に比べて少ない。従ってこれらのことからトレーニング効果の維持には強度とともに時間・頻度を含めたトレーニングの総負荷量が大きく影響するものと考えられる。

本研究ではまた強度に対する $\dot{V}O_2\text{max}$ の反応に個人差がみられた。即ち60%強度でも十分高い水準まで増加しうるものと90%強度の高い強度でなければ十分に増加し得ない者がいた。一般的にトレーニング前の $\dot{V}O_2\text{max}$ の水準の低い者,^{20, 52, 54, 56)} 日常生活での身体活動レベルの低い者⁵⁸⁾は低い強度でもトレーニング効果が得られることが報告されているが、本研究の場合は必ずしもこの傾向にあてはまらず、原因が何にあるかはあきらかではない。しかし本研究でみられたこの強度に対する反応の違いは最大下負荷作業に対する心拍数等の反応との類似性がみられる⁷⁾ ことから体質や運動歴などの要因のほか、自律神経支配系の個人による差違などの要因も関与している可能性が考えられる。

$\dot{V}O_2\text{max}$ の各個人の到達水準またはトレーニング効果の個人差を決定する因子として、遺伝的要因,^{35-37, 61)}

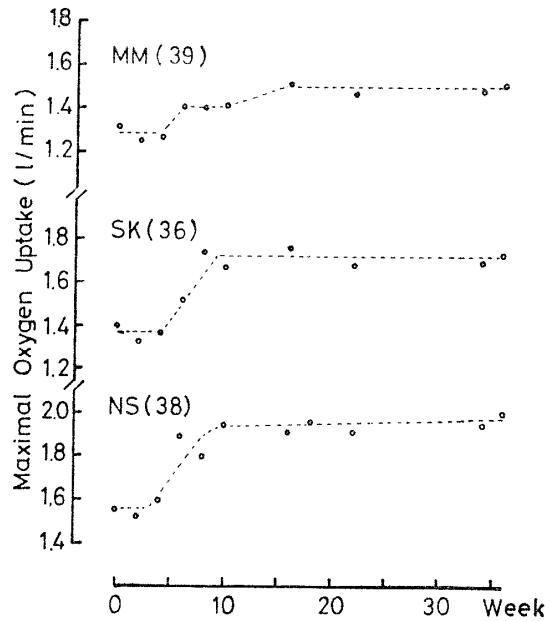


Fig. 6 Increase in $\dot{V}O_2\text{max}$ of 3 subjects during 36 weeks training, drawn from the data in the reference (6) by authors.

発育期におけるトレーニングの実施による呼吸循環系の量的増大,²⁰⁾ 青年期におけるスポーツ経験⁴⁵⁾などが報告されている。Hickson et al.²⁷⁾ は選手でない一般人でも $\dot{V}O_2\text{max}$ にみられるトレーニングの可能性はこれまでの多くの実験結果からは予期せぬほど大きいことを示したが、本研究でも44週後の値は、肥満者 Subj. Cを除いて日本人の運動習慣をもった者の平均+2SD³⁾ 以上の水準まで増加を示した。このトレーニング効果は著者らのこれまでの報告^{4, 6, 42)} に比べてはるかに大きいものであった。比較の基準として用いた $\dot{V}O_2\text{max}$ の回帰直線は、本実験と同様自転車エルゴメーターによる測定の結果である。一般に自転車エルゴメーターでの測定ではトレッドミルに比べて $\dot{V}O_2\text{max}$ は 4~15% (対象男子) 低い値を示すことが報告されている。^{1, 21, 24-26, 32, 39, 48, 57, 60)} 女子については0~4%^{32, 60)}の報告がある。Pollock et al.⁴⁸⁾ は自転車エルゴメーターによるトレーニングの場合、トレーニング後自転車エルゴメーターでの $\dot{V}O_2\text{max}$ 測定値はトレッドミルと同等の値を示すことを報告した。本実験でもトレーニング後、両方法で $\dot{V}O_2\text{max}$ の測定を行なったところ有意差はみられなかった。このような自転車によるトレーニングの特異性を考慮すると、本研究の最終測定と、日本人女子の回帰直線を求めた場合とは測定条件が異なるため、それぞれの年令に相応する平均と比較する場合、本研究結果を幾分過大評価することは避けられないと思われる。しかしこのことを考慮しても active+2SD のレベルまでの $\dot{V}O_2\text{max}$ の増加の事実は

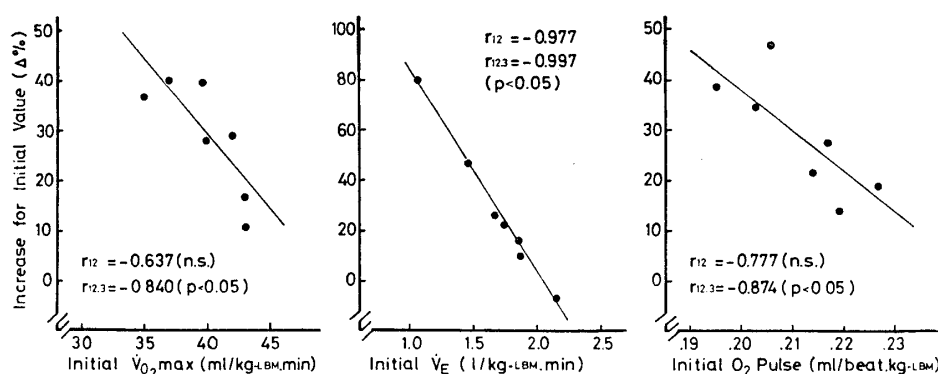


Fig. 7 Correlations on the basis of LBM between each initial level and increase (%) of (A) $\dot{V}O_2 \text{ max}$, (B) \dot{V}_E , and (C) $O_2 \text{ pulse}$, after 44 weeks training. Partial correlation coefficients were obtained when the effect of age was held statistically constant.

変わらない。これらの最終測定値は年齢との間に高い相関を示した。被検者の年齢を考慮すると到達水準にむしり個人差は少なかったといえる。Åstrand et al.,²⁾ Dill et al.,¹⁹⁾ Robinson et al.,⁵⁰⁾ Dehn & Bruce¹⁸⁾ は縦断的な観察を通してトレーニングを続けていても加齢による $\dot{V}O_2 \text{ max}$ の低下は避けられないことを示した。これらのことから、到達水準に及ぼす年齢の影響はかなり決定的なものであると推察される。本研究の $\dot{V}O_2 \text{ max}$ の最終測定値が真の限界に達していたかどうかは更に長い期間、しかも総負荷量を更に増加して検討してみなければならない。しかし本研究結果から各個人に適した強度でトレーニングを実施すれば、肥満等のハンディキャップがない限り、各個人の年齢の平均+2DSの水準までは $\dot{V}O_2 \text{ max}$ は改善しうるといえるであろう。

$\dot{V}O_2 \text{ max}$ にみられるトレーニング効果(増加率)はトレーニング前の $\dot{V}O_2 \text{ max}$ の水準(Initial level)の低い者ほど大きいことはShephard,⁵⁶⁾ Ekblom,²⁰⁾ Saltin et al.⁵⁴⁾ が指摘して以来、数多く報告されてきた。本研究でも $\dot{V}O_2 \text{ max}$ の増加率(%)とInitial levelとの関係をみたところ、有意な相関は得られなかったが、年齢の影響を一定にした時の偏相関をとるとT0-T60, T0-T90の増加率に各々、体重当り $\dot{V}O_2 \text{ max}$ では $r_{12.3} = -0.791$, -0.761 で10%の危険率で、LBM当り $\dot{V}O_2 \text{ max}$ では $r_{12.3} = -0.893$, -0.840 で5%の危険率で有意な関係がみられた(Fig. 7)。LBMは運動に参与するMuscle Massを推定するのに体重に比べより合理的である。体重は食事等の影響で変動しやすいのに対して、LBMの変化は特殊な場合を除き、運動と直接かかわっている。従ってLBM当りで比較することは運動と無関係な量的変動をとり除く意味で重要である。 $\dot{V}O_2 \text{ max}$ の増大に呼吸循環系の面から有意な対応のみられた \dot{V}_E , $O_2 \text{ Pulse}$

についてもLBM当りの増加率でInitial levelとの関係を検討すると \dot{V}_E は絶対値、体重当りでも $r = -0.877$, -0.926 ($p < 0.001$)と有意な関係がみられるが、LBM当りでは $r_{12.3} = -0.997$ ($p < 0.001$)と最も相関が高く、 $O_2 \text{ Pulse}$ はLBM当りでのみ $r_{12.3} = -0.874$ ($p < 0.05$, 年齢一定の偏相関)と有意な関係がみられた(Fig. 7)。これらの事実はトレーニングによる身体の量的、機能的改善の可能性がトレーニング前の状態に依存していることを示唆するものであると同時に、 \dot{V}_E , $O_2 \text{ Pulse}$ にも改善され得る一定の到達水準があることを示すものであろう。従ってトレーニング中の \dot{V}_E と $\dot{V}O_2 \text{ max}$ に3名で有意な相関のみられなかったことの原因は、この3名では \dot{V}_E のInitial levelが高かったことがあげられるであろう。

トレーニング前に肥満体(脂肪量30%以上)であった者3名のうち2名はトレーニング期間中に体重、脂肪量ともに減少し、正常範囲に入ったが、最も脂肪量の多かったSubj. Cはトレーニング初期に逆に体重の増加をみた。このことは本研究で用いた運動量(消費カロリー)程度の運動のみでは必ずしも減量効果を期待できないことを示すとともに、生活習慣の急変する時点での食生活を含めての指導が重要なものであることを示す。Subj. Cは減量できなかったためトレーニング後も体重当り $\dot{V}O_2 \text{ max}$ は一般人の平均程度にとどまった。LBM当りの $\dot{V}O_2 \text{ max}$ の値は十分改善されたことをみれば、肥満の解消即ち、脂肪量の減少なしにこれ以上の $\dot{V}O_2 \text{ max}$ の改善は望めないことは明らかである。

持続性トレーニングを通じてのLBMの変化については、LBMが増加するか^{10,43,44,59)}または変化しない^{8,9,11,47,62)}という報告が多い。本研究では2名を除いてほぼ一定であった。Subj. Cではトレーニング前のLBM値は身

長に対して幾分高めであるのかかわらず体重の増加とともに増大し、その増加分の77%をしめている。Subj. Cでは他の減量した2名が周径囲、皮下脂肪厚ともに顕著な低下を示したのとは異なり、周径囲はほぼ一定で皮下脂肪厚は腰、脚、上腕部で10mmの減少を示した。このことは体重の増加が主にLBMの増加であったことを裏付けるものである。Subj. C以外でも1名を除いて、このように周径囲が変わらず、皮下脂肪厚が顕著に低下するという現象が、特に大腿及び下腿に観察され、自転車エルゴメーターによるトレーニングに伴う脚筋の肥大が推定された。LBM自体が肥満とともに増大する例が少なからずあることは報告されているので、Subj. Cの場合のLBMの増加が運動の影響にあるものかどうかは不明である。

安静時血液成分検査値はGOT, GPTを除いて有意な変化はみられなかった。伊藤ら³⁰⁾ Hunter et al.²⁸⁾ Misner et al.⁴⁰⁾ではGOT, GPTにトレーニング後有意な変化を認めていないが、GOT, GPTはいずれもトレーニング前はこれらの報告と同様に本研究でも正常範囲内にあったにもかかわらず有意な低下を認めた。この差の原因がトレーニング期間の差にあるのかどうかは不明だが、100 Cal程度の運動でも長期間トレーニングを継することにより、心肝機能に好ましい影響を与えるものであるといえるであろう。

本研究では、強度の続加により総仕事量を一定にしても $\dot{V}O_2 \max$ を効果的に増大させることを明らかにした。しかし最大下のトレーニング強度に対する $\dot{V}O_2 \max$ の対応は個人によって異なった。即ち最大下のトレーニングの強度刺激に対する個人の感受性の違いが存在し、それは年齢や体力のInitial levelなどの要因では説明できないものであった。個人に応じた適当な強度を採用してトレーニングすることにより、 $\dot{V}O_2 \max$ は相当な水準まで増大しうることが明らかになった。しかし個人の能力を最大にひきださう量と質のトレーニングを行なった後の $\dot{V}O_2 \max$ の到達水準は年齢による限界をこえることはできないと思われる。また $\dot{V}O_2 \max$ の増大に伴う呼吸循環系指標の変化は、LBMを基礎にしてみればそれぞれのInitial levelと有意な相関を有することが明らかとなった。

V. 要 約

23~40才の成人女子7名を対象として、自転車エルゴメーターを用いて、44週間の長期トレーニングを行なった、強度の及ぼす影響をみるために総仕事量及びトレ

ニング頻度はトレーニング全期間を通じて個人内で各々9,000~12,000 kpm (約100 Cal)/日、2~4日/週と一定にした。強度は $\dot{V}O_2 \max$ の60, 75, 90%の順に漸増した。各強度でのトレーニング期間は10週間以上とし、 $\dot{V}O_2 \max$ にプラトーまたは減少傾向がみられるまで強度は一定に保った。トレーニング負荷は2~4週間ごとの $\dot{V}O_2 \max$ の測定により調整した。その結果、次のことが明らかになった。

1) $\dot{V}O_2 \max$ の平均値は絶対値及び体重当りで各強度のトレーニングで有意な増加を示した。

2) LBM当り $\dot{V}O_2 \max$ はT60, T90では有意な増加がみられたが、T75では有意な増加はみられなかった。

3) 各トレーニング期間の最終測定値が必ずしも最高値でなく、トレーニングの強度(最大下)によって、個人の $\dot{V}O_2 \max$ の増加し続ける期間、到達水準が異なることがわかった。

4) 極度の肥満者を除いて強度をほぼ最大近くまで増加させれば、 $\dot{V}O_2 \max$ は日本人女子のactive群の+2SDの水準まで増加しうることがわかった。またそれらの値は年齢と高い相関を示した。

5) 44週後 $\dot{V}O_2 \max$ の増加に対応して \dot{V}_E , O_2 Pulseの有意な増加がみられたが、それらの増加率をLBM当りでみると、それぞれのInitial levelと有意な相関関係を示した。 $\dot{V}O_2 \max$ の場合は年齢の影響を一定にして偏相関を用いた。

6) 体重、体脂肪量、LBMは平均値では有意な変化はみられなかったが、3名で体重、体脂肪量の顕著な低下がみられた。LBMは増加した2名を除きほぼ一定であった。

7) 周径囲に有意な変化はみられなかった。皮下脂肪厚は体重の増加した者をも含めて大巾な減少がみられた。この傾向は特に大腿及び下腿部で顕著なことから、自転車エルゴメーターによるトレーニングに伴う脚筋の肥大が推定された。

8) 安静時血液成分測定値は全てトレーニング全期間を通じて正常範囲内にあった。GOTにT0-T60, T0-T90, GPTにT0-T75, T0-T90で有意な低下がみられた。有意ではないが中性脂肪に減少する傾向があった。

参 考 文 献

- 1) Åstrand, P-O., B. Saltin. Maximal oxygen uptake and heart rate in various type of muscular activity. *J. Appl. Physiol.* 16: 977-981, 1961.
- 2) Åstrand, I., P-O. Åstrand, I. Hallback, and A. Kilbom. Reduction in maximal oxygen uptake with age. *J. Appl. Physiol.* 35: 649-654, 1973.
- 3) Atomi, Y. and M. Miyashita. Maximal aerobic

- power of Japanese adult females of different ages (20 to 62 years). *Med. Sci. Sports* 6: 223-225, 1974.
- 4) 跡見順子・伊藤克子・宮下充正。中高齢女子にみられる有酵素的作業能のトレーニング効果。体育学研究 18: 253-260, 1974.
 - 5) Atomi, Y. and M. Miyashita. Effects of moderate recreational activities on the aerobic work capacity of middle-aged women. *J. Sports Med.* 11: 261-265, 1974.
 - 6) 跡見順子・小野寺孝一・大城戸道生・宮下充正。有酵素的作業能の向上と減量とを目標とした中高齢女子に対する運動と栄養処方の検討。日本体育学会第 27 回大会号 p. 224, 1976.
 - 7) 跡見順子・横沢喜久子・宮下充正。長期トレーニングが最大下作業時の心拍反応に及ぼす影響，投稿中。
 - 8) Björntorp, P., K. Jounge, L. Sjöstrom and L. Sullivan. The effect of physical training on insulin production in obesity. *Metabolism* 19: 631-638, 1970.
 - 9) Björntorp, P., K. Jounge, L. Sjöstrom and L. Sullivan. Physical training in human obesity. II. Effects on plasma insulin in glucose-intolerant subjects without marked hyperinsulinemia. *Scand. J. clin. Lab. Invest.* 32: 41-45, 1973.
 - 10) Boileau, R. A., E. R. Buskirk, D. H. Horstman, J. Mendez, and W. C. Nicholas. Body composition changes in obese and lean men during physical conditioning. *Med. Sci. Sports* 3: 184-189, 1971.
 - 11) Boileau, R. A., B. H. Massey, and J. E. Misner. Body composition changes in adult men during selected weight training and jogging program. *Res. Quart.* 44: 158-168, 1973.
 - 12) Borg, G. A. V. Perceived exertion. A note on "history" and methods. *Med. Sci. Sports* 5: 90-95, 1973.
 - 13) Brozek, J., F. Grande, J. T. Anderson, and Keys. Densitometric analysis of body composition. Review of some quantitative assumptions. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 110: 113-140, 1963.
 - 14) Brynteson, P. and W. E. Sinning. The effects of training frequencies on the retention of cardiovascular fitness. *Med. Sci. Sports* 5: 29-53, 1973.
 - 15) Burke, E. J., and B. D. Franks. Changes in VO_2 max resulting from bicycle training at different intensities holding total mechanical work constant. *Res. Quart.* 46: 31-37, 1975.
 - 16) Buskirk, E. R. Underwater weighing and body density: A review of procedures. In *Techniques for Measuring Body Composition*, edited by J. Brozek and A. Henshel. Washington, D. C.: National Academy of Sciences National Research Council, 1961.
 - 17) Cheek, D. B., R. B. Shultz, A. Parra, and R. C. Reba. Overgrowth of lean and adipose tissues in adolescent obesity. *Pediat. Res.* 4: 268-279, 1970.
 - 18) Dehn, M. M. and R. A. Bruce. Longitudinal variations in maximal oxygen intake with age and activity. *J. Appl. Physiol.* 33: 805-807, 1972.
 - 19) Dill, D. B., S. Robinson and J. C. Ross. A longitudinal study of 16 champion runners. *J. Sports Med.* 7: 4-27, 1967.
 - 20) Ekblom, B. Effect of physical training on oxygen transport system in man. *Acta. Physiol. Scand-Suppl.* 328, 1969.
 - 21) Faulkner, J. A., D. E. Robert, R. L. Elk and J. Conway. Cardiovascular responses to submaximum and maximum effort cycling and running. *J. Appl. Physiol.* 30: 457-461, 1971.
 - 22) Forbes, G. B. Lean body mass and fat in obese children. *Pediatrics* 35: 308-341, 1964.
 - 23) Fox, E. L., R. L. Bartels, C. E. Billings, R. O'Brien, R. Bason and D. K. Mathews. Frequency and duration of interval training programs and changes in aerobic power. *J. Appl. Physiol.* 38: 481-484, 1975.
 - 24) Glassford, R. G., G. H. Y. Baycroft, A. W. Sedgwick and R. B. J. Macnab. Comparison of maximal oxygen uptake values determined by predicted and actual methods. *J. Appl. Physiol.* 20: 509-513, 1965.
 - 25) Hermansen, L., B. Ekblom and B. Saltin. Cardiac output during submaximal and maximal treadmill and bicycle exercise. *J. Appl. Physiol.* 29: 82-86, 1970.
 - 26) Herman, L. and B. Saltin. Oxygen uptake during maximal treadmill and bicycle exercise. *J. Appl. Physiol.* 26: 31-37, 1969.
 - 27) Hickson, R. C., H. A. Bomzem and J. O. Holloszy. Linear increase in aerobic power induced by a strenuous program of endurance exercise. *J. Appl. Physiol.: Respirat. Environ. Exercise Physiol.* 42: 372-376, 1977.
 - 28) Hunter, J. B. and J. B. Critz. Effect of training on plasma enzyme levels in man. *J. Appl. Physiol.* 31: 20-23, 1971.
 - 29) 石河利寛・前島 孝・青木純一郎・浪越信夫。全身持久力向上のための強い強度一短時間運動および弱い強度一長時間運動プログラムの効果。体育科学 4: 13-19, 1976.
 - 30) 伊藤 朗・河北尚夫・岩田 稔・岩本圭史。全身持久性トレーニングのための運動処方に関する生化学的研究。体育科学 1: 41-57, 1973.
 - 31) Issekutz, B., N. C. Birlhead and K. Rodahl. The use of respiratory quotients in assessment of aerobic work capacity. *J. Appl. Physiol.* 17: 74-50, 1962.
 - 32) Kamon, E. and K. B. Pandolf. Maximal aerobic power during laddermill climbing, uphill running, and cycling. *J. Appl. Physiol.* 32: 467-437, 1972.
 - 33) Kasch, F. W., W. H. Phillips, J. E. L. Carter and J. L. Boyer. Cardiovascular changes in middle-aged men during two years of training. *J. Appl. Physiol.* 34: 53-57, 1973.
 - 34) Kearney, J. T., F. A. Stull, J. L. Ewing, JR. and J. W. Strein. Cardioratory responses of sendentary college women as a function of training intensity. *J. Appl. Physiol.* 41: 822-825, 1976.
 - 35) Klissouras, V. Heritability of adaptive variation, *J. Appl. Physiol.* 31: 338-344, 1971.
 - 36) Klissouras, V. Genetic limit of functional adaptability. *Int. Z. angew. Physiol.* 30: 85-94, 1972.
 - 37) Klissouras, V., F. Pirnay and J. M. Petit. Adaptation to maximal effort: genetics and age *J. Appl. Physiol.* 35: 288-293, 1973.

- 38) Lesser, G. T., S. Deutsch and J. Markofsky. Use of independent measurement of body fat to evaluate overweight and underweight. *Metabolism* 20: 292-304, 1971.
- 39) McArdle, W. D. and J. R. Magel. Physical work capacity and maximum oxygen uptake in treadmill and bicycle ergometer. *Med. Sci. Sports* 2: 118-123, 1970.
- 40) Misner, J. E., B. H. Massey and B. T. Williams. The effect of physical training on the response of serum enzymes to exercise to exercise stress. *Med. Sci. Sports* 5: 86-88, 1973.
- 41) Miyamura, M. and Y. Honda. Oxygen intake and cardiac output during maximal treadmill and bicycle exercise. *J. Appl. Physiol.* 32: 185-188, 1972.
- 42) 宮下充正・跡見順子・伊藤克子・岩崎洋子。有酵素的作業能のトレーニング効果に及ぼす強度と頻度の影響。体育科学: 76-84, 1975.
- 43) Moody, D. L., J. Kollias and E. R. Buskirk. The effect of moderate exercise program on body weight and skinfold thickness in overweight college women. *Med. Sci. Sports* 1: 75-80, 1969.
- 44) Moody, D. L., J. H. Wilmore, R. N. Girandola and J. P. Royce. The effects of a jogging program on the body composition of normal and obese high school girls. *Med. Sc. Sports* 4: 210-213, 1972.
- 45) 長沢 弘・小林寛道・水野義雄・松井秀治。歩行運動による中高年者のトレーニング効果に関する研究(VO_2max 70% 負荷で1年間トレーニングした場合)。体力科学 25: 7-15, 1976.
- 46) 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。体育学研究 21: 191-203, 1976.
- 47) Oscai, L. B. and B. T. Williams. Effect of exercise on overweight middle-aged males. *J. Amer. Geriat. Soc.* 16: 794-797, 1968.
- 49) Pollock, M. L., J. Dimmick, H. S. Miller, JR., Z. Kendrick and A. C. Linnerud. Effects of mode of training on cardiovascular function and body composition of adult men. *Med. Sci. Sports* 7: 139-145, 1975.
- 49) Rahn, H., W. O. Fenn, and A. B. Otis. Daily variation of vital capacity, residual air, expiratory reserve including a study of the residual air method. *J. Appl. Physiol.* 1: 725-736, 1947.
- 50) Robinson, S., D. B. Dill, T. D. Robinson, S. P. Tzankoff and J. A. Wagner. Physiological aging of champion runners. *J. Appl. Physiol.* 41: 46-51, 1976.
- 51) Rosentswieg, J. and P. Burrhus. An investigation of the intensity of work required to elicit a training effect in women. *J. Sports Med.* 15: 328-332, 1975.
- 52) Roskamm, H. Optimum patterns of exercise for healthy adults. *Can. Med. Assoc. J.* 96: 895-899, 1967.
- 53) Salans, L. B., W. Cushman and R. E. Weismann. Studies of human adipose tissue. Adipose cell size and number in nonobese and obese patients. *J. Clin. Invest.* 53: 929-941, 1973.
- 54) Saltin, B., L. Hartley, Å. Kilbom and I. Åstrand. Physical training in sedentary middle-aged and older man. II. Oxygen uptake, heart rate, and blood lactate concentration at submaximal and maximal exercise. *Scand. J. clin. Lab. Invest.* 24: 323-334, 1969.
- 55) Sharkey, B. J. Intensity and duration of training and the development of cardiorespiratory endurance. *Med. Sci. Sports* 2: 192-202, 1972.
- 56) Shephard, R. J. Intensity, duration and frequency of exercise at determinants of the response to training regime. *Int. Z. angew. Physiol.* 26: 272-278, 1968.
- 57) Shephard, R. J., C. Allen, A. J. S. Benade, C. T. M-Davies, P. E. Di Prampero, R. Hedman, J. E. Merriman, K. Myhre and R. Simmons. The maximum oxygen intake. An international reference standard of cardiorespiratory fitness. *Bull. Wild. Hlth. Org.* 38: 757-764, 1968.
- 58) Shapard, R. J. Future research on the quantifying of endurance training. *J. Human Ergol.* 3: 163-181, 1975.
- 59) Skinner, J. S., J. O. Holloszy and T. K. Cureton. Effects of a program of endurance exercises on physical work capacity and anthropometric measurements of fifteen middle-aged men. *Amer. J. Cardiol.* 14: 747-752, 1964.
- 60) Taguchi, S., R. E. Raven, B. L. Crinkwater, M. Kaneko and H. Matsui. Comparative physiological responses to a bicycle ergometer and a treadmill walking maximum capacity test. *J. Human Ergol.* 3: 67-74, 1974.
- 61) Weber, G., W. Kartodardjo and V. Klissouras. Growth and physical training with reference to heredity. *J. Appl. Physiol.* 40: 211-215, 1976.
- 63) Wilmore, J. H., J. Royce, R. N. Girandola, F. I. Katch and V. L. Katch. Body composition changes with a 10-week program of jogging. *Med. Sci. Sports* 2: 113-117, 1970.