

長期トレーニングが最大下作業時の 呼吸循環機能に及ぼす影響

跡見 順子* 横沢喜久子**

Effects of Long-term Physical Training on Cardiorespiratory Function at Submaximal Exercise

By

Yoriko Atomi*, Kikuko Yokozawa**

* Department of Sports Sciences, College of
Arts and Sciences, University of Tokyo
3-8-1 Komaba meguro-ku Tokyo Japan 153

** Tokyo Women's Christian University
2-6-1, Zenpukuzi, Suginami-ku, Tokyo, Japan 167

* 東京大学教養学部

** 東京女子大学

Abstract

The purpose of this study was to investigate the change of cardiorespiratory function (especially, heart rate) at given submaximal work loads or oxygen uptake through long-term physical training. Seven sedentary adult females, aged 23 to 40 years, participated in 44-week training experiment. They trained on a bicycle ergometer at the intensity of 60, 75 and 90% $\dot{V}O_2\text{max}$ in a progressive manner for each 13-18 weeks. Mean ventilation at 1 l/min of $\dot{V}O_2$ did not change. R significantly decreased after 44 weeks. Mean heart rates, blood pressure, and RPP (Rate Pressure Product: $\text{HR} \times \text{SBP} \times 10^{-2}$) at two or three given submaximal work loads or given oxygen uptake, which were measured at two to four weeks interval, significantly decreased during 60% $\dot{V}O_2\text{max}$ training and only heart rate and RPP did during 90% $\dot{V}O_2\text{max}$ training. It was supposed that that the decrease of heart rates at a given oxygen uptake was also dependent on the increase of training intensity. Heart rates became to show prompt responses during increasing work loads and to attain steady state at three levels. The asymptotic nature of $\dot{V}O_2$ -HR curve around $\dot{V}O_2\text{max}$ observed in five subjects before training disappeared gradually till the end of 60% $\dot{V}O_2\text{max}$ training. However, its asymptotic nature of was observed again at final measuring in a few subjects. The individual differences were observed in the changes of these responses of physiological parameters through training. One factor which contributes these individual differences was the initial level of these parameters because a significant relationship between the changes of these parameters and initial values was observed after 60% and 90% $\dot{V}O_2\text{max}$ training (ventilation, diastolic blood pressure) only after 90% $\dot{V}O_2\text{max}$ training (heart rate). Another factor in relation to only the decrease of heart rates, as well as $\dot{V}O_2\text{max}$, was supposed to be the individual differences of the responses to training intensity.

1) 研究目的

有酸素的作業能のトレーニングに伴う最も顕著な変化は、最大下の一定負荷または一定酸素摂取量に対する心拍数の減少(即ち酸素脈の増大)である。この一定負荷に対する生体反応の変化は心拍数の減少のみでなく、換気量、血圧の低下などストレス低下現象として理解される。これら最大下の変化はトレーニングに伴う $\dot{V}O_2\max$ の増大がなくともみられる変化であり、猪飼²³⁾はこれを余裕力の増大の一つのあらわれとして、Andersen¹⁾、Shephard²⁴⁾は呼吸循環系の効率の改善として扱った。日常生活場面での身体活動はほとんどが最大下(Submaximal)の水準で行われるので最大下での余裕力が増大する意味は大きい。特に心疾患患者では、最大下の一定負荷または一定酸素摂取量($\dot{V}O_2$)に対する心拍数またはRPP(Rate Pressure Product)³¹⁾の低下は心臓の酸素摂取量の低下、即ち心臓にかかる負担の減少を示すものであり、日常生活場面での作業能の改善として高く評価される。

トレーニングによるこの最大下作業時の生体反応は数多くの研究で報告されているにもかかわらず、これらの研究の多くは、10週間程度の比較的短期間のトレーニングでその前後の変化を比較したものが多く、長沢²⁵⁾を除いて長期にわたる経過を追跡したものは少い。

$\dot{V}O_2\max$ にみられるトレーニング効果に影響を与える主な原因は、トレーニングの強度と個人のトレーニング前の初期水準であることが明らかにされているが、最大下作業時の生体反応に影響を及ぼす要因に関しては、心拍数の減少量に関してFox et al¹⁶⁾ がトレーニングに用いた運動のエネルギーコストとの、Atomi et al.⁴⁾ がトレーニング頻度との有意な関係を報告しているだけで、これまでほとんど論議されてこなかった。

本研究では、総仕事量一定、強度漸増負荷法による約10ヶ月間のトレーニングを行い、トレーニングが最大下の一定負荷作業時(または一定 $\dot{V}O_2$)の心拍数を中心とした呼吸循環系反応に及ぼす影響について、経時的変化、個人差、強度との関係を中心に検討を加えた。

2) 研究方法

被検者は健康な成人女子7名で特別な運動プログラムに参加していない、Table 1に被検者年齢、身長、体重、Table 2にトレーニング前後の安静時心拍数、血圧及び $\dot{V}O_2\max$ 、 $\dot{V}O_2\max$ 出現時の心拍数を示した。最大作業時の他の呼吸循環系の反応、身体組成にみられる変化については文献³⁾に示した。

トレーニングプログラム トレーニングにはモナーク社製自転車エルゴメーターを用いた。トレーニング強度は $\dot{V}O_2\max$ の60→75→90%の順で漸増した。各強度でのトレーニング期間は10週間以上とし、同一強度での $\dot{V}O_2\max$ の値にプラトーまたは低下がみられた後、強度を漸増した。頻度、総仕事量はトレーニング全期間を通じて個人内で一定とし、それぞれ2~4日/週、9,000~12,000kpm/日であった。その結果トレーニング時間は60, 75, 90% $\dot{V}O_2\max$ の強度でそれぞれ約20, 15, 10分+ウォーミングアップ時間であった。

最大下の一定負荷に対する反応 最大下作業には自転車エルゴメーターを用いた。自転車には前もって慣れさせておいた。第1, 2回目の測定は150 kpm/min から150 kpm/min づつの漸増負荷で4分おきに3段階の負荷で作業させた後、1分間に75 kpm/min づつ漸増して $\dot{V}O_2\max$ を測定した。3回目以降は150 kpm/min で2分間作業し、その後1, 2回目と同様に漸増し、3段階の固定負荷で作業させた。測定は2~4週間ごとに実施した。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て行った。心拍数は心電図を記録し、毎分45秒からの15秒間の値を1分値に換算した。血圧はRiva-Rocci血圧計を用い間接的に測定した。

3) 結果

(1) 最大下の一定負荷に対する反応

最大下の4段階の負荷作業時の酸素摂取量、換気量、呼吸交換率(R)、心拍数、血圧の平均値、測定日の気温及び湿度のトレーニング経過に伴う変化をFigure 1に示した。心拍数はT60(60% $\dot{V}O_2\max$ でのトレーニング期間)の2~6週でいずれの負荷でも有意に低下したが、その後T75(75% $\dot{V}O_2\max$ でのトレーニング期間)ではほぼ一定で変わらず、T90(90% $\dot{V}O_2\max$ でのトレ

Table 1. Age, physical characteristics, and sports experience before training.

Subj.	Age yrs	Ht cm	Wt kg	Occupation and sports experience
A	22	156	60.0	secretary; nothing
B	26	155	48.9	graduate student; gymnastics (ages 12-20)
C	28	157	69.0	clerk; volleyball (ages 15-17)
D	31	153	41.2	secretary; social dance (ages 18-21)
E	32	158	53.0	graduate student; tennis (ages 15-20)
F	39	159	58.7	clerk; nothing
G	40	158	47.5	housewife; short distance (ages 15-17)
Mean	31	157	54.4	
SD	7	2	9.3	

Table 2. Heart rate at rest and at $\dot{V}O_2$ max and $\dot{V}O_{2max}$ per body weight before and after 44-week training.

Subj.	HR (beats/min)		Max HR (beats/min)		$\dot{V}O_2$ max (ml/kg. min)	
	Before	After	Before	After	Before	After
A	59	54	194	188	27.57	44.47
B	68	57	189	184	34.91	41.86
C	61	54	196	188	26.78	30.70
D	75	55	188	192	31.89	41.14
E	58	52	192	192	29.31	41.70
F	65	59	184	188	25.69	38.90
G	79	52	172	176	29.36	36.95
Mean	66	55*	188	187	29.36	39.39***
SD	8	3	8	6	3.18	4.51

* $p < 0.05$; *** $p < 0.001$.

ーニング期間)に入った後の35~44週に全負荷で有意な低下を示した。収縮期血圧もT60の間に(4~6週),全負荷で有意に低下し,さらにT75の途中の18週目で有意に低下したが,その後は有意な変化はみられなかった。拡張期血圧はT60の2~4に週有意な低下がみられたが,その後はその値を維持した。気温,温度の変化に対応した変化はみられなかった。酸素摂取量($\dot{V}O_2$)はT60の2~7週にかけて有意な低下を示した後,T75の途中(18~25週)まではほぼ一定であったが,T75の最終測定(30週)に至る気温の低下傾向に対応して上昇傾向を示した。その後,T90の最終測定(44週)までに気温の上昇に応じてトレーニング前の状態に近づいた。換気量の変化も $\dot{V}O_2$ とほぼ同じであった。RはT60の4週目で有意な低下を示し,T90の最終測定でさらに有意な低下

を示した。

Figure 2は最大下及び最大作業時の心拍数の時間経過を個人別にトレーニング経過を追ってみたものである。トレーニング前では7名中,subj. A, Cを除く5名で一定作業時(各負荷での1~4分) steady state が成立しなかった。5名中3名は第2回目の測定(2週目)で,残る2名(subj. D, G)はT60の終り(10週)でやっと steady state が成立するようになった。またトレーニング全期間を通じてみると,一定負荷に対する心拍数は7名中5名(subj. A, B, C, E, G)が主にT60で低下を示した。subj. DはT75とT90, subj. FはT90での低下が主であった。

(2) 最大下の一定酸素摂取量に対する反応

Table 3は1l/minの酸素摂取量に対する換気量,炭酸ガス排出量(即ちR),心拍数,収縮期

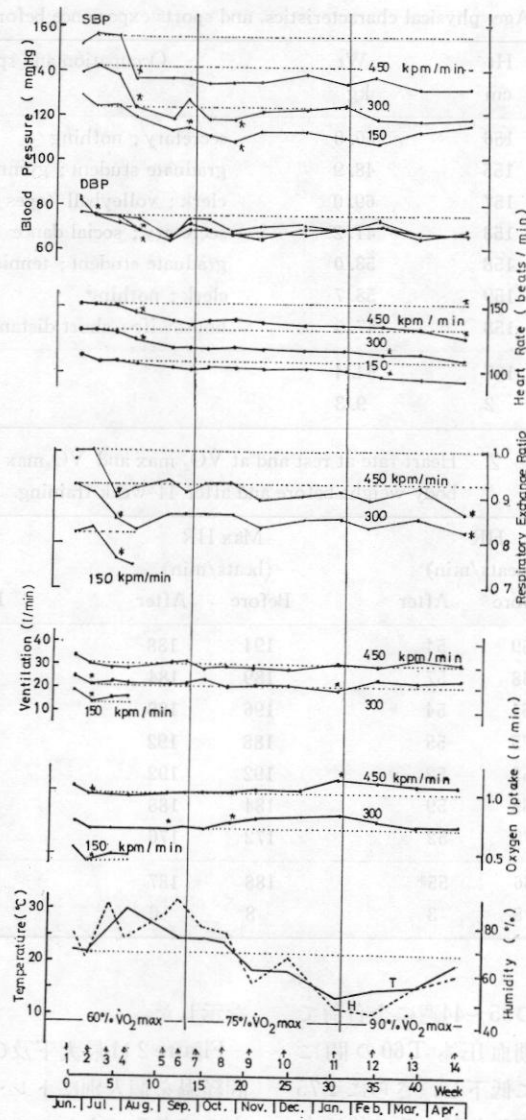


Figure 1. The changes in some physiological responses at some given submaximal work loads, and temperature and humidity at measuring days. Symbol(*) shows significant change ($P < 0.05$) for initial value or preceding symbol(*).

及び拡張期血圧及び RPP の各強度のトレーニング後の平均値と標準偏差及びその有意水準である。換気量に有意な変化はみられなかった。RはT90後、即ち44週後有意な低下を示した。心拍数は各トレーニング期間で有意な減少を示した。しかしT75の有意な低下は $\dot{V}O_2$ の有意な上昇の結果によるものと思われた。血圧は収縮期、拡張期ともにT60のみで有意な減少を示した。

Figure 3 ~ 6 は酸素摂取量に対する心拍数、換気量、血圧及び RPP を個人別に示したものである。図中の回帰直線は全て最大作業時の値を除いて求めた。太い実線は、2 回目の測定から求めたもの（1 回目と 2 回目の値はほぼ同一直線上にのる）、同様に 1 点破線、太い破線、細い実線は各々 T60、T75、T90 の終り 2 回の測定値について回帰直線を求めたものである。なお、終り 2 回

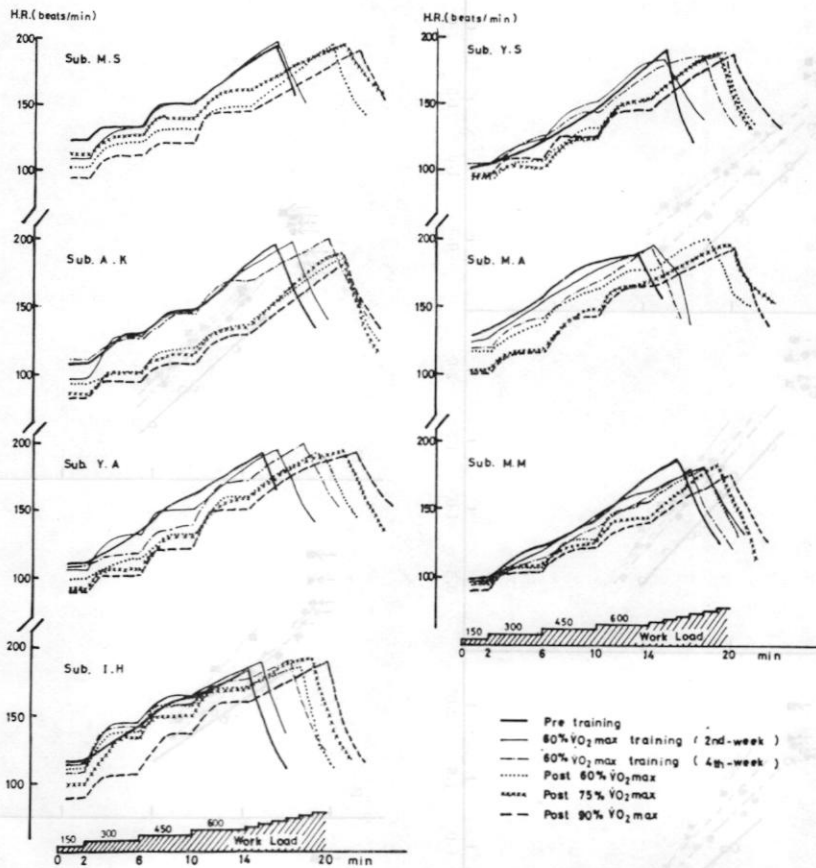


Figure 2. The change of time course of heart rate following training for each subject (A~G).

Table 3. Some physiological responses at a given oxygen uptake of 1 l/min following 44-week training.

	V_E l/min	V_{CO_2} l/min	HR beats/min	SBP mmHg	DBP mmHg	RPP $HR \times SBP \times 10^{-2}$
Mean \pm SD						
T0	31.5 \pm 4.4	.966 \pm .097	156 \pm 15	150 \pm 11	83 \pm 8	238 \pm 27
T60	31.9 \pm 4.1	.931 \pm .048	138 \pm 14	135 \pm 6	74 \pm 7	187 \pm 24
T75	29.8 \pm 2.6	.898 \pm .043	131 \pm 12	132 \pm 11	70 \pm 5	179 \pm 28
T90	30.1 \pm 2.6	.881 \pm .026	126 \pm 10	129 \pm 11	70 \pm 5	163 \pm 25
Significant level of Differences						
T0-T60	NS	NS	***	*	*	***
T60-T75	NS	NS	**	NS	NS	NS
T75-T90	NS	NS	**	NS	NS	*
T0-T75	NS	NS	***	*	***	***
T0-T90	NS	*	***	*	***	***

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$, ns: non significant.

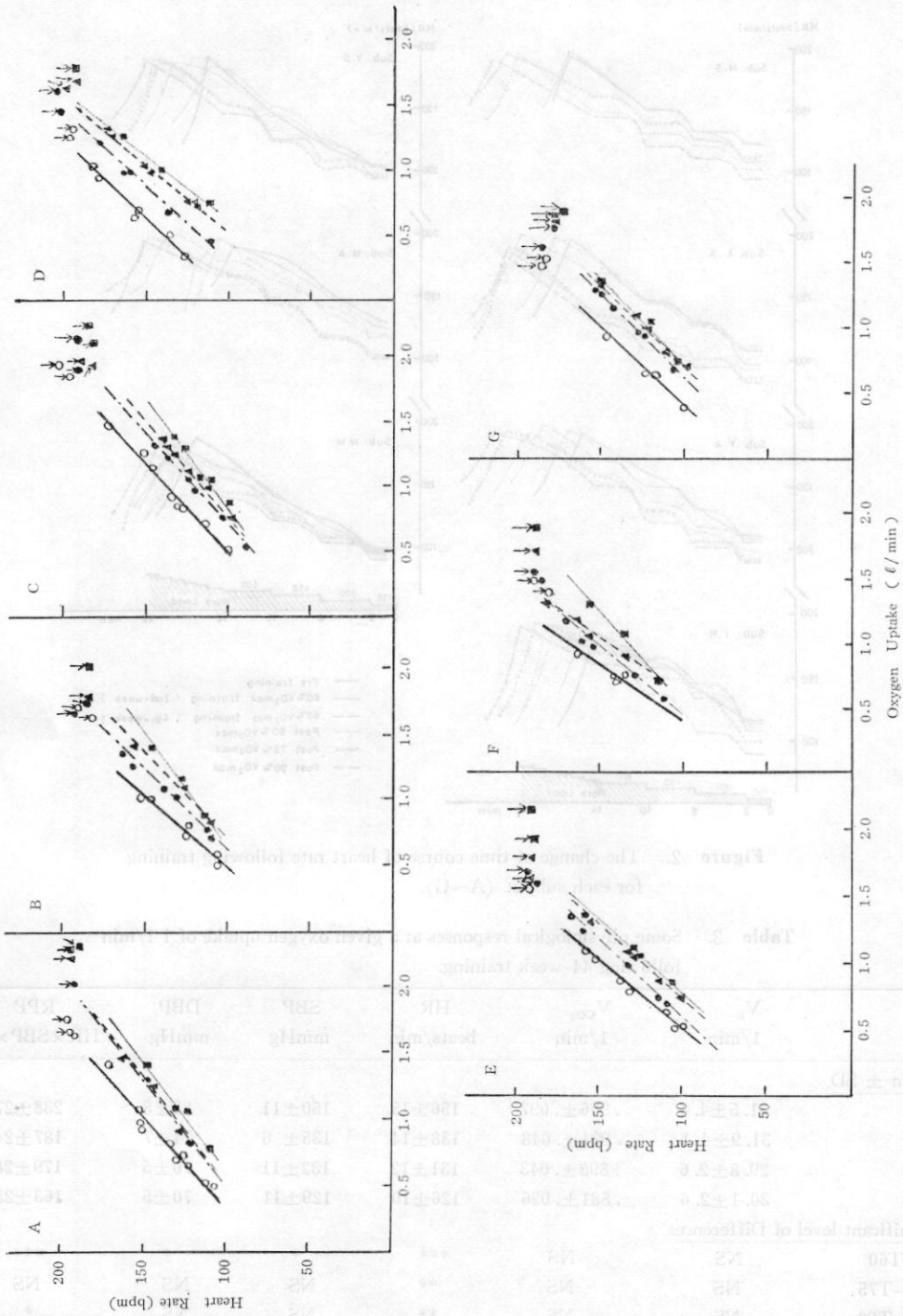


Figure 3. The change in the relationship between oxygen uptake and heart rate following training for each subject. Thick solid line (○), broken line (●), thick dotted line (▲) and thin solid line (■) show the relationship pre-training, post 60, 75 and 90% $\dot{V}O_{2max}$ training, respectively. Arrow shows maximal value. See text.

の回帰直線が明らかに同一直線でないと思われる場合は、最後の測定値を用いて回帰直線を求めた。

全体的には最大下の一定 $\dot{V}O_2$ に対する心拍数はトレーニングの経過に伴い順次減少する傾向を示した。全被検者で T60での低下が大きかったが、subj. A, G 以外では T75, T90でも低下がみられた。 $\dot{V}O_2$ -HR 関係の傾きは7名中5名で全期間ほぼ一定であった。subj. B 及び subj. F では T90で傾きの減少がみられた。 $\dot{V}O_2$ -HR の関係を最大値との関係でみると、第1回目の測定からトレーニング全期間を通じてほぼ直線的であるもの (subj. A, C) とトレーニング初期は最大作業時の値は一直線上にのらず、回帰直線の右方に位置し心拍数のプラトー現象を示すが、トレーニング経過とともに次第に同一直線上にのってくる者 (上記の2名を除く者) がいた。トレーニング初期にみられたこのプラトー現象とは別に、Subj. A, E, G でトレーニング最終測定 (T90の終り) で再びプラトー現象が観察された。

一定 $\dot{V}O_2$ に対する換気量は7名中3名 (subj. B, D, F) で低下する傾向を示した (Figure 4), 一定 $\dot{V}O_2$ に対する収縮期血圧はトレーニングの経過に伴い漸次減少する傾向を示した。subj. B では T60での低下が大きかったがその他の者では一定の傾向はみられなかった。拡張期血圧は全員で低下を示した。T60での低下が大きかった (Figure 5)。一定 $\dot{V}O_2$ に対する RPP は全員で T60での減少が大きかった。subj. B, F ではさらに T90, subj. E では T75でさらに減少がみられた (Figure 6)。トレーニングによるこれらの指標の44週間後の変化量 (黒丸印) はそれぞれのトレーニング前の初期値 (initial value) とのみ有意な相関を示した (Figure 7)。しかし本研究では被検者の年齢、トレーニング頻度またはトレーニング積算日数、総仕事量に差があるのでこれらの要因の影響を除くために偏相関を求めた (これらの要因と変化量との相関は $r=0.087\sim 0.567$ の間であった)。年齢と積算日数を一定にした時

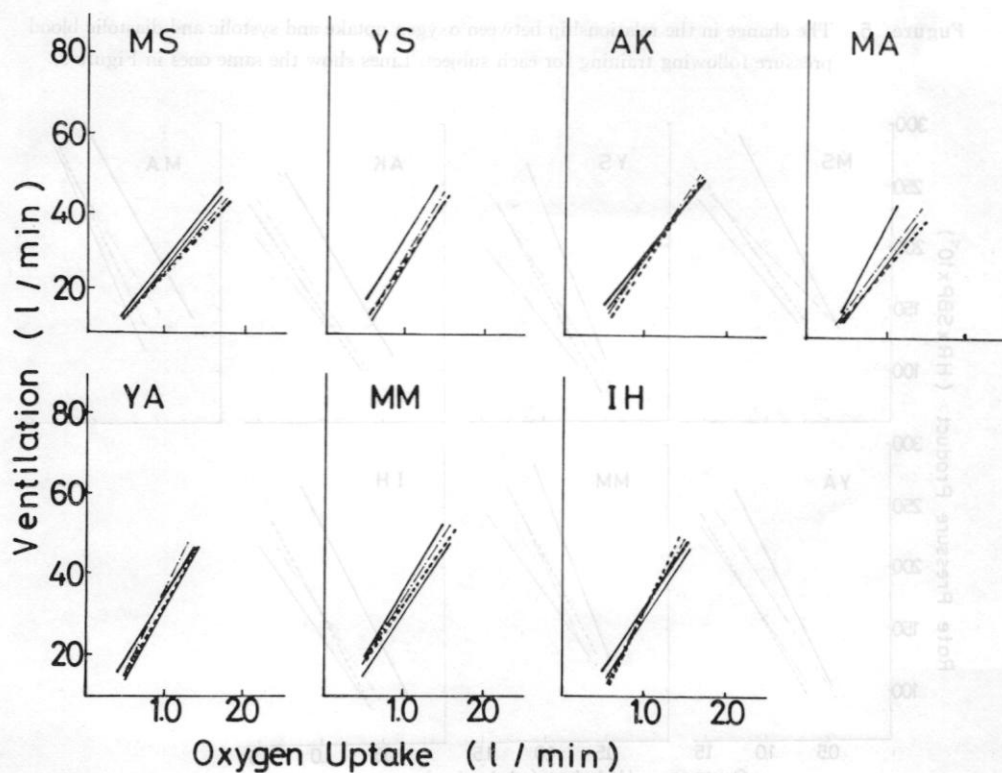


Figure 4. The change in the relationship between oxygen uptake and ventilation following training for each subject. Lines shows the same ones in Fig 2.

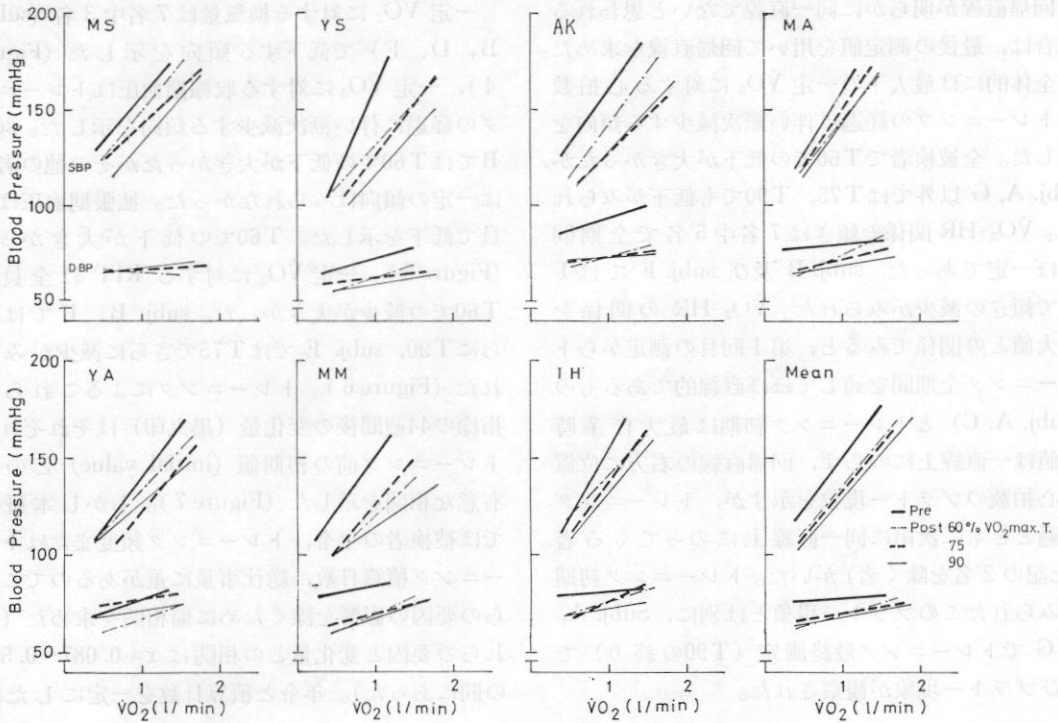


Figure 5. The change in the relationship between oxygen uptake and systolic and diastolic blood pressure following training for each subject. Lines show the same ones in Figure 2.

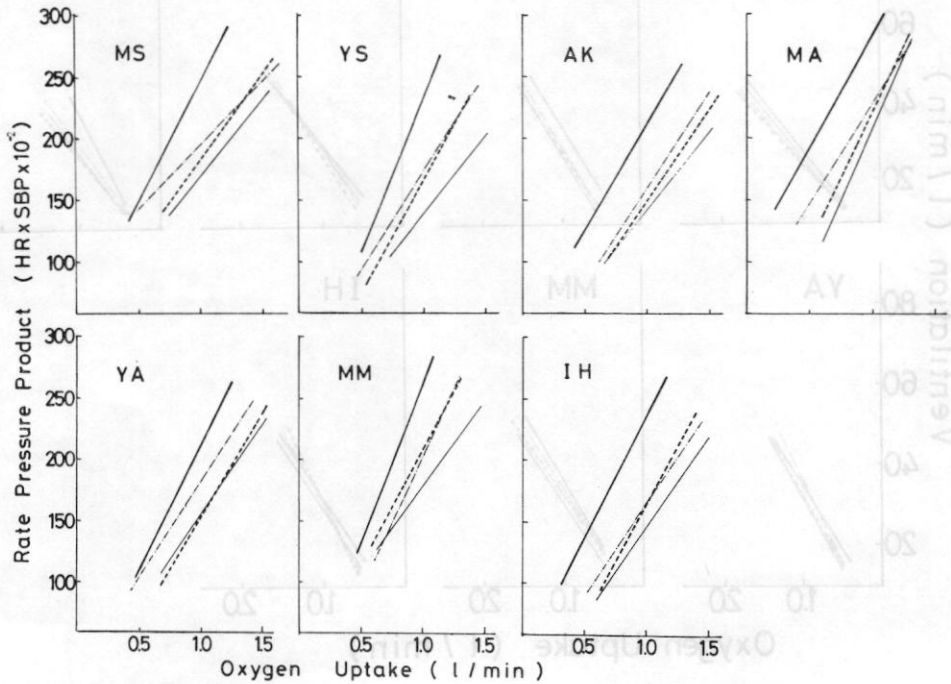


Figure 6. The change in the relationship between oxygen uptake and RPP following training for each subject. Lines shows the same ones in Fig 2.

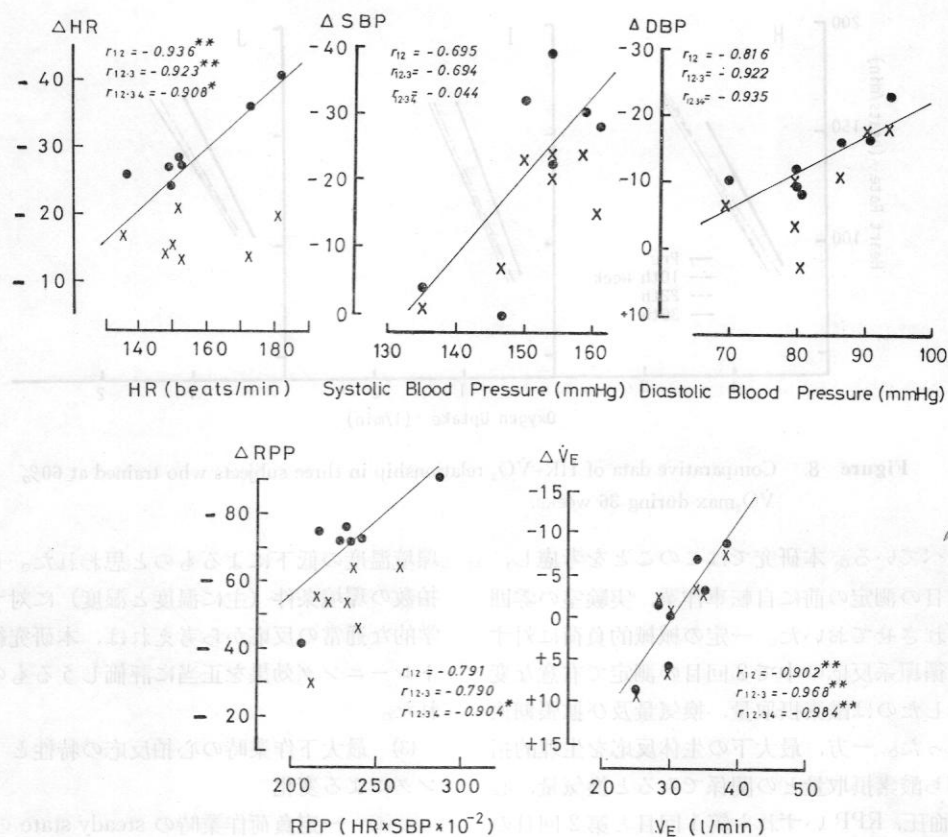


Figure 7. The change of some physiological parameters at 11 l/min of oxygen uptake after 44-week training (●) in relation to their initial values. $r_{12,3}$ and $r_{12,3,4}$ are partial correlation coefficients, keeping statistically the factor (3) of age and/or the factor (4) of the total training days during 44 weeks. x shows the change after 60% $\dot{V}O_2\text{max}$ training.

の初期値と変化量の偏相関 ($r_{12,3,4}$) は心拍数, 拡張期血圧, RPP 及び換気量で有意であった。初期値との関係を T60 後 (x 印) でみると換気量では 44 週後とほぼ同じ関係が得られた。T60 後の収縮期及び拡張期血圧, RPP の変化量は 44 週後に比べて少いが類似の関係が得られた。心拍数は T60 では初期値と有意な関係は得られなかった。心拍数の減少への強度の影響をみるために著者らが行った他のトレーニング実験の被検者のうちの 3 名についてさらにトレーニング期間を延長し継続して測定した資料と比較した。Figure 8 は本実験と同様, 自転車エルゴメーターを用いて 1 日 300 kcal, 60% $\dot{V}O_2\text{max}$ でのトレーニング⁵⁾を 36 週まで続けた 3 名の $\dot{V}O_2$ -HR の関係である。3 名と

も 10 週または 22 週までは一定酸素摂取量に対する心拍数の減少がみられたが, その後はほとんど変化がみられなかった。

4) 論議

- (1) 再現性または慣れ (habituation) の問題: 機械的負荷に対する反応

心拍数は心理的要因や環境条件など様々な要因で変動する。運動時心拍数の再現性については Schröder³³⁾ と Hellström and Holmgren²⁰⁾ が 2 回の測定にそれぞれ有意差を認めず再現性が得られたことを報告している。しかし Shephard³⁴⁾ は特に実験手順への慣れにより一定負荷に対する心拍数が低くなることから, トレーニング効果をみる場合は実験環境への慣れを考慮しなければなら

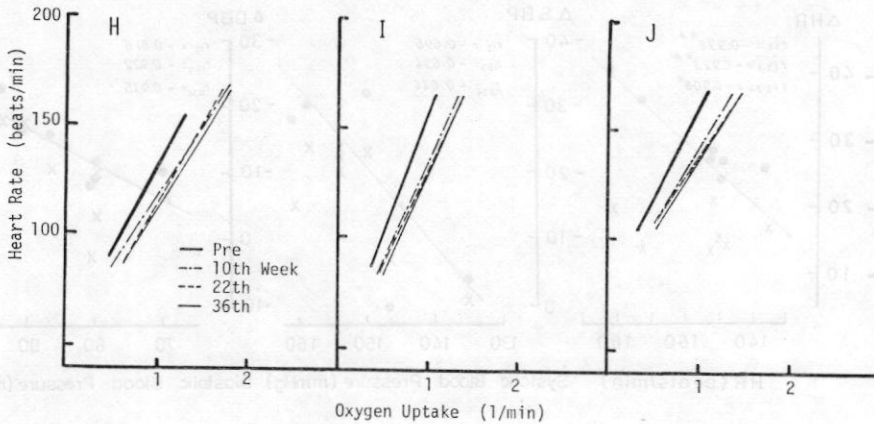


Figure 8. Comparative data of HR- $\dot{V}O_2$ relationship in three subjects who trained at 60% $\dot{V}O_{2max}$ during 36 weeks.

いと述べている。本研究ではこのことを考慮し、第1回目の測定の前に自転車作業、実験室の雰囲気慣れさせておいた。一定の機械的負荷に対する呼吸循環系反応の中で2回目の測定で有意な変化を示したのは酸素摂取量、換気量及び拡張期血圧であった。一方、最大下の生体反応を生理的指標、即ち酸素摂取量との関係でみると換気量、心拍数、血圧、RPP いずれも第1回目と第2回目の間には差がみられなかった。このことから本研究では、慣れは機械的効率の上昇に伴う変化であり、一定酸素摂取量に対する反応で示される生体の生理学的な変化とは区別されるものと推察された。

(2) 季節的要因の影響

最大下の生体の諸反応は環境温度、湿度の変化によって大きく変動する。本研究では、トレーニング期間が6月から翌年4月にわたったので、トレーニングによる最大下の生体反応の変化は環境要因の変化(即ち気候の変化)による影響を考慮して検討する必要がある。しかし生体は気候の変化に対して適応しながら生きているので一定環境の中での観察が運動に対する適応能をみるために必ずしも適しているとはいえないであろう。そこで本研究ではこれらの点に留意しながら結果を検討した。最大下の生体反応のうち環境条件の変化による変化と考えられるのはT75における酸素摂取量、換気量の変化のみであった。T75のこれらの変化はWilliams et al.³⁵⁾が報告しているように

環境温度の低下によるものと思われた。しかし心拍数の環境条件(主に温度と湿度)に対する生理学的な通常反応から考えれば、本研究結果からトレーニング効果を正当に評価しうるものと思われた。

(3) 最大下作業時の心拍反応の特性とトレーニングによる変化

① 一定負荷作業時の steady state の成立

4分間ごとの3段階の漸増負荷作業時の心拍数は10週間のトレーニング(T60)後では、全員が負荷の漸増に伴いすみやかに反応し、steady state が成立するようになった。これはMüller²⁴⁾のいう“endurance limit”がトレーニングにより上昇したことを示している。Hagberg et al.¹⁸⁾はtrainedで酸素摂取量がsteady stateに達するまでのhalf timeが短いことを報告した。Hickson et al.²¹⁾もトレーニングの結果、同様の現象を観察した。このようにsteady stateの早期成立は呼吸循環機能の運動への対応の速さを示すものであり、運動をより有酸素的に遂行できるようになったことを示すものと考えられる^{18), 21), 35), 36)}。

② 最大値付近での $\dot{V}O_2$ -HR 関係の直線性の成立

トレーニング前、 $\dot{V}O_2$ -HR関係は7名中5名で最大値付近で心拍数のプラトー現象が観察された。しかしT60の終りには全員が(subj. AとCでは始めから直線関係がみられた)直線性を示す

ようになった。この最大値付近での漸近傾向について shephard³⁴⁾は高齢者で同様の現象を観察し、その原因は一定負荷作業中適当な一回拍出量を維持できないため、心拍数がより以上に増加することを示した。また青年男女にみられる心拍数のプラトー現象については慣れによってこの現象が消失すると報告した³⁴⁾。Davies et al.¹²⁾は15日間連続の繰り返し最大下及び最大作業を行わせ、当初みられたプラトー現象が4~5日で消失し、直線性が得られるようになることを観察した。この点について、Davies et al.¹²⁾は慣れない作業に対して作業筋に有利に血流を再分配するために利用しうる血流量を増加させ（即ち、内臓の血流量を低下させ）、そのために自律神経を通じて心拍数を増加させるものとした。この考え方は、本研究結果で拡張期血圧が、T60後顕著に低下した、即ちトレーニング初期は末梢抵抗が高かったという現象によって一部裏付けられるものと思われる。このようにトレーニングにより作業筋に必要な血流量を適正に配分し得る調節機構が中枢及び末梢に確立されたもの¹¹⁾と考えることができる。

本研究では一度直線性が得られた後に、数名で $\dot{V}O_2\max$ の増加とともに再度右方へ折れる現象が観察された。このトレーニング後期にみられる心拍数のプラトー現象は、一定酸素摂取量に対する心拍数が十分低下した後なので、その原因はおそらく初期のプラトー現象が少くとも最大下作業時の心拍数が高すぎることにある（即ち最大下作業時の心臓の非効率な働き）と考えられるのに対し、最大作業時の $\dot{V}O_2\max$ を構成する要因（たとえば一回拍出量、動静脈酸素較差など）の変化によるものであると思われた。

(4) 最大下の一定酸素摂取量に対する生体反応の変化：トレーニング期間、強度の影響

一定 $\dot{V}O_2$ に対する生体反応のうち心拍数及び心拍数と収縮期血圧の積であるRPPはT60以外でも有意なトレーニング効果を示した。著者らがこれまで行った10週間程度の比較的短期間のトレーニング実験では、一定負荷または一定酸素摂取量に対する心拍数の減少はトレーニングの前半で有意な低下を示したが、その後は有意な変化はみられなかった^{2),4)}。同様の現象は、Knuttgen et

al.²⁵⁾(インターバルトレーニングで2ヶ月のうち1ヶ月まで)、Hanson and Nedde¹⁹⁾(1時間の柔軟体操やジョギング、ランニングで8ヶ月のうち4ヶ月まで)で観察された。一方、pollock et al.²⁷⁾では80、90% MaxHRの強度での20週間のトレーニングで10週目、20週目ともに有意な低下を示した。さらに長期間のトレーニングでは長沢ら²⁷⁾が3名の男子に70% $\dot{V}O_2\max$ の強度で歩行の50週のトレーニングを行ない、25~30週までは $\dot{V}O_2$ -HR関係の改善がみられたと報告している。また、本研究の比較資料(Figure 8)では36週のうち10~22週までは改善がみられた。これに対して本研究では最大下の心拍数は90% $\dot{V}O_2\max$ トレーニングでさらに有意な低下を示した。Ekbom¹⁵⁾は被検者の1人を51ヶ月間 hard training させた結果、16週目と比べて32ヶ月目では、心拍数の大幅な低下を観察した。これらの心拍数の低下にみられるトレーニング効果の持続を、トレーニング期間、強度などの要因との関係でみると、トレーニング初期では、被検者が sedentary であれば心拍数は一定程度、明らかに低下するが、長期にわたる $\dot{V}O_2$ -HR関係の改善には、トレーニングの運動負荷が漸増的であること、特に強度の level up が必要であることが推察された。

血圧は収縮期、拡張期ともにT60の有意な低下の後には有意な変化はみられなかった。1 l/minの $\dot{V}O_2$ に対する $\dot{V}CO_2$ 、即ちRは44週のトレーニング経過に伴い漸減傾向を示した44週後に有意な低下となった。このRの低下は代謝性RQ(R)²²⁾の低下と乳酸産生の低下(excess CO_2 の低下²²⁾のいずれがより多く寄与しているかは決められないが、おそらく両因子の変化が関与しているであろう。即ち、糖質利用の低下と脂質利用の上昇は必然的に解糖系の利用を低下させ、非代謝性RQ(R) 乳酸の増大に伴う $\dot{V}CO_2$ の増大)を低下させたと考えられる。このRの低下からWasserman^{35,36)}のいう無酸素的閾値 anaerobic thresholdの向上が推定された。

(5) 最大下の心拍数のトレーニング効果にみられる個人差

トレーニング効果の最も顕著であった最大下の心拍数の変化にみられる個人差について考えてみ

よう。作業中の心拍数は交感と副交感神経支配比によって決定される³⁰⁾。この両者の相対的な関係は、心拍数を% $\dot{V}O_2\max$ との関係でみるとトレーニング前後で変わらないことが報告されている¹³⁾。したがって本研究でもトレーニング後 $\dot{V}O_2\max$ が増加したために一定 $\dot{V}O_2$ の強度はトレーニング後相対的に低い強度となりそれだけ交感神経支配比が減少し、副交感神経活動が増強したことになり^{6), 8), 10), 11), 14), 17)}、一定 $\dot{V}O_2$ に対する心拍数は低下したと考えられた。一連の実験結果^{7), 8), 9), 10), 11), 32)}は心臓自体の適応とともにトレーニング作業筋の適応による求心性交感神経刺激が減少することで心拍数が減少することを示している。最大下の換気量、呼吸交換率(R)、血圧の低下も同様に末梢の変化に由来する部分が多いことが報告されている。

本研究では漸増負荷作業中の心拍数の反応、steady stateの達成、 $\dot{V}O_2$ -HR関係の最大値との関係及び心拍数の低下量と強度との関係に個人差がみられた。これらの個人差の原因は定かではないが、トレーニングに伴う様々な心拍反応の変化過程が同一個人内で一定した傾向がみられたことから推察すれば、トレーニング前での自律神経支配体制の相違(たとえば交感神経緊張型とか安定型など)がトレーニング効果にみられる個人差に影響を及ぼしているものと推察された。たとえばsubj. A, Cでは運動経験もほとんどないのに、トレーニング前から安静心拍数は比較的low、steady stateは成立しており、 $\dot{V}O_2$ -HR関係も直線性があり、安定した反応を示した。これに対しsubj. D, Gはトレーニング前の安静心拍数は高く、steady stateの成立にも、直線関係の成立にも10週間件くもかかり、subj. A, Cとは対照的に過緊張型であった。山川³⁸⁾が児童の安静時及び運動時心拍数を縦断的に観察した結果から、心拍数に個人差は大きい、同一個人内での再現性が高いことから、心臓循環中枢を調節する中枢性興奮水準自体が個人固有のものであることを報告している。本研究結果も心拍数に同様の傾向を観察した。

(6) trainabilityにみられる個人差の原因

本研究では最大下の換気量に有意な変化はみら

れなかった。これは一定 $\dot{V}O_2$ に対する換気量の減少した者とかえって上昇したものといたからであった。心拍数や血圧は全員で低下傾向があったがその変化量には個人差がみられた。本研究では換気量、拡張期有意、RPPの個人の変化量とそれぞれの初期値との間に有意な相関関係がみられた。このことはトレーニング効果は、トレーニング前の呼吸循環系の状態やそれを調節する自律神経支配比の状態、さらにその調節作用に影響を及ぼす作業筋の状態によって大きく影響をうけるものと推察された。この初期水準との間に有意な関係があることは逆にtrainabilityに個人差が少いことを示すものである。このほかに ΔHR に影響を及ぼす因子についてはFox et al.¹⁶⁾がトレーニングの運動のエネルギーコストと有意な関係を、著者らがトレーニング頻度との有意な関係を報告している⁴⁾。本研究でも年令の影響を含め、これらの要因との関係もあわせ検討したところ、初期水準とのみ有意な相関が得られた。前二者の報告では初期水準が考慮されていない。またT60後の心拍数には、この関係がみられなかったことから十分なトレーニングがなされなければこの関係はみられないものと思われた。

$\dot{V}O_2\max$ にみられるトレーニング効果は強度と初期水準が最も大きな影響を与えることが明らかにされている。さらに著者らは強度に対する $\dot{V}O_2\max$ の反応性に個人差を観察した³⁾が、同様の現象が最大下の心拍数の反応でもみられた。T60後の心拍数の変化を除き、最大下の生体反応についても同様に各個人のトレーニング前の水準によって影響される面が大きいことが示された。トレーニング前における自律神経支配の傾向が、初期水準にみられる個人差やトレーニング強度に対する心拍数の反応性の違いを形成している一つの要因であろう。

まとめ

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い、最大下の一定負荷または酸素摂取量に対する生体反応の変化についてその長期経過とトレーニング強度の影響を検討した。

一定酸素摂取量に対する心拍数及びRate Pre-

ssure Product (RPP) は60及び90% $\dot{V}O_2\max$ トレーニングで有意に減少した。収縮期及び拡張期血圧の低下は60% $\dot{V}O_2\max$ トレーニングのみで有意であった。呼吸交換率はトレーニング経過に伴い漸減し44週後に有意差がみられた。換気量は有意な変化はみられなかった。これらの最大下作業時の生体反応の変化量とトレーニング前の初期水準との関係を求めると、換気量は拡張期血圧は60, 90% $\dot{V}O_2\max$ トレーニング後で同じ有意な相関関係がえられた。心拍数, RPP は90% $\dot{V}O_2\max$ トレーニング後だけ有意な相関関係がえられた。心拍数の低下にトレーニング強度の影響が推定された。

文 献

- 1) Andersen, K. L. The cardiovascular system in exercise. In Exercise Physiology, edited by H. B. Falls. Academic Press, New York and London, 1968.
- 2) 跡見順子, 伊藤克子, 宮下充正, 中高年女子にみられる有酸素的作業能のトレーニング効果。体育学研究18 : 253-260, 1974.
- 3) 跡見順子, 宮下充正。 $\dot{V}O_2\max$ からみたトレーニング強度の研究。体育学研究24 : 137-148, 1979.
- 4) Atomi, Y., K. Ito, H. Iwasaki and M. Miyashita. Effects of intensity and frequency of training on aerobic work capacity of young females. J. Sports Med. 18 : 3-9, 1978.
- 5) Atomi, Y. and M. Miyashita. Infence of weight reduction on aerobic power and body composition of middle-aged women. J. Sports Med. (to be submitted).
- 6) Barnard, J. Long-term effects of exercise on cardiac function. In Exercise and Sports Sciences Reviews, edited by J. H. Wilmore and J. F. Keogh. 3 : 113-127, 1975.
- 7) Clausen, J. P., T. T. Jensen and N. A. Lassen. The effects of training on the heart rate during arm and leg exercise. Scand. J. clin. Lab. Invest. 26 : 295-301, 1970.
- 8) Clausen, J. P., O. A. Larsen, T. T. Jensen. Physical training in the management of coronary aetery aetery disease. Circulation 40 : 143-154, 1969.
- 9) Clausen, J. P. and T. T. Jensen. Effects of training on the distribution of cardiac output in patients with coronary artery disease. Circulation 42 : 11-624, 1970.
- 10) Clausen, J. P., K. Klausen, B. Rasmussen, and T. T. Jensen. Central and peripheral circulatory changes after training of the arms or legs. Amer. J. Physiol. 225 : 675-682, 1973.
- 11) Clausen, J. P. Circulatory adjustments to dynamic exercise aed effect of physical training in normal subjects and in patients with coronary artery disease. Progress Cardiovasc. Disease 18 : 459-495, 1976.
- 12) Davies, C. U. M., W. Tuxworth and J. M. Yonug. Physiological effects of repeated exercise. Clin. Sci. 39 : 247-258, 1970.
- 13) Ekblom, B., Å. Kilbom, and T. Soltysiak. Physical training, bradycardia and autonomic nervous system. Scand. J. clin. Lab. Invest. 32 : 251-256, 1973.
- 14) Ekblom, B., A. M. Goldbarg, Å. Kilbom, and P-O. Åstrand. Effects of atropine and propranolol on the oxygen transport system during exercise in man. Scand. J. clin. Lab. Invest. 30 : 35-42, 1972.
- 15) Ekblom, B. Effect of physical training on oxygen transport system in man. Acta. Physiol. Scand. Suppl. 328, 1969.
- 16) Fox, E. L., R. L. Bartels, C. E. Billings, R. O'Brien, R. Bason and D. K. Mathews. Frequency and duration of interval training program and changes in aerobic power. J. Appl. physiol. 38 : 481-484, 1975.
- 17) Frick, M. H., R. O. Elovainio and T. Somer. The mechanism of bradycardia evoked dy physical training. Cardiologia. 51 : 46-54, 1967.
- 18) Hagberg, J. M., F. T. Naglen and J. L. Carlson. Transient O_2 uptake response at the onset of exercise. J. Appl. Physiol. : Respirat. Environ. Exercise Physiol. 44 : 90-92, 1978.
- 19) Hanson, Y. S. and W. H. Nedde. Long-term physical training effect in sedentary females. J. Appl. physiol. 37 : 112-116, 1974.
- 20) Hellström, R. and A. Holmgren. On the repeatability of submaximal work tests and the influence of body position on heart rate during exercise at submaximal work loads. Scand. J. clin Lab. Invest. 18 : 479-485, 1966.
- 21) Hickson, R. C., H. A. Bomze and J. O. Holloszy. Faster adjustment of O_2 uptake to the energy requirement of exercise in the trained state J. Appl. Physiol. : Respirat. Environ. Exercise Physiol. 44 : 877-881, 1978.

- 22) Issekutz, B., N. C. Birlhead and K. Rodahl. The use of respiratory quotients in assessment of aerobic work capacity. *J. Appl. Physiol.* 17 : 47-50, 1962.
- 23) 猪飼道夫, 江橋慎四郎. 体育の科学的基礎. 東洋館出版社, 1965, p. 284-288.
- 24) Müller, E. A. The physiological basis of rest pauses in heavy work. *Quart. J. Exper. physiol.* 38 : 205-215, 1953.
- 25) Knuttgen, H. G., L. O. Nordesjo, B. Ollander and B. Saltin. Physical conditioning through interval training with young male adults. *Med. Sci. Sports* 5 : 220-226, 1973.
- 26) Lin, Y. C. and S. M. Horvath. Autonomic nervous control of cardiac frequency in the exercise trained rat. *J. Appl. Physiol.* 33 : 796-799, 1972.
- 27) 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 ($\dot{V}O_2\max$ 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.
- 28) Pollock, M. L., T. Broida, Z. Kendrick, H. S. Miller, JR., R. Janeway and A. C. Linnerud. Effects of training two days per week at different intensities on middle-aged men. *Med. Sci. Sports* 4 : 192-197, 1972.
- 29) Pollock, M. L., H. S. Miller, JR., R. Janeway, A. C. Linnerud, B. Roberertson, and R. Valentino. Effects of walking on body composition and cardiovascular function of middle-aged men. *J. Appl. Physiol.* 30 : 126-130, 1961.
- 30) Robinson, B. F., S. E. Epstein, G. D. Beiser, and E. Braunwald. Control of heart rate by the autonomic nervous system. *Circ. Res.* 19 : 400-411, 1966.
- 31) Robinson, B. F. Relation of heart rate and systolic blood pressure to the onset of pain in angina pectoris. *Circulation* 35 : 1073-1083, 1967.
- 32) Saltin, B., K. Nazar, D. O. Costill, E. Stein, E. Jansson, B. Essen and P. D. Gollnick. The nature of the training response; peripheral and central adaptations to one-legged exercise. *Acta. Physiol. Scand.* 96 : 289-305, 1976.
- 33) Schröder, G. Reproducibility of hemodynamic studies repeated at a few day's interval. *Scand. J. clin. Lab. Invest.* 16 : 559-564, 1964.
- 34) Schephard, R. J. *Physical Activity and Aging.* Croom Helm, London 1978, p. 72-80, 96-98, 183-191.
- 35) Wasserman, K., A. LV. Kessel and G. G. Burton. Interaction of physiological mechanisms during exercise. *Appl. Physiol.* 22 : 71-85, 1967.
- 36) Wasserman, K., B. J. Whipp, S. N. Koyal and W. L. Beaver. Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *J. Appl. Physiol.* 35 : 236-243, 1973.
- 37) Williams 'C. G., G. A. G. Bredell, C. H. Wyndhan, N. B. Strydom, J. F. Morrison, J. Peter, P. W. Fleming, and J. S. Ward. Circulatory and metabolic reactions to work in heat. *J. Appl. Physiol.* 17 : 625-638, 1962.
- 38) 山川純. 心拍数の再現性. *体育の科学* 27 : 227-228, 1977.