



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	全身持久性trainingの呼吸循環機能への効果に関する研究：軽度・中等度強度treadmill走について
Author(s)	中川, 功哉; Nakagawa, Koya
Citation	北海道大學教育學部紀要, 35, 129-146
Issue Date	1980-03
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/29212
Type	departmental bulletin paper
File Information	35_P129-146.pdf



全身持久性 training の呼吸循環機能への効果に関する研究

— 軽度・中等度強度 treadmill 走について —

中 川 功 哉

A Study of General Endurance Training Effect on Respiro-circulatory Functions

— treadmill running at light and middle intensity of work load —

Koya Nakagawa

I 緒 言

今日、体力研究における課題の一つは、体力を強化するための適切な運動処方¹⁾の確立であり、その中でも全身持久性発達の処方に焦点を当てられ、多くの研究が集積されつつある。周知のように training に伴う全身持久性の発達については古くから認められているが、特に performance や呼吸循環機能に与える影響について、運動の強度 intensity、時間 duration、頻度 frequency を規制しながらの検討は比較的近年に至り着手されたものである。

体力は全身持久性においても、性・年齢・素質という基礎的因子に加えて、日常生活における身体活動の集積という後天因子から規制されており、特に中高年者は体力程度にも大きな幅が見られるようになり、尚一層個人の条件に応ずる適切な運動量、運動形態が選択される必要がある。

猪飼 (1970, 1967)¹⁷⁾¹⁸⁾ は、運動処方とは運動の遂行による身体への働きかけを期待して、最も望ましい効果をおこすための運動の質と量の選択であると、同時に WHO が 1968 年に「のぞましき成人の体力とその維持」という課題で行った Symposium の纏めについて述べており、要約すれば、第一は運動不足 Hypokinesia から招来される種々な健康障害の予防であり、第二はそれぞれの職業における身体的負担に対して十分に余裕のある体力を持つことであるとしている。この場合、体力の好ましい至適水準 optimal level については個々人によって異なるにしても、健康を維持増進、かつ人間活動が体力的に余裕を持ちながら為されるための最低限のものはどの人にも共通に求められる水準であろう。

朝比奈 (1950, 1956)⁴⁾⁵⁾ は training が energy の消耗に終らず、その効果が期待されるためには適正な訓練があることを指摘し、もし訓練が過度な場合には病的状態に追い込まれる危険性があるとしている。このことは特に一般非鍛練者が training を開始する時には基本的に留意しなければならないことである。

身体資源 Physical resource からみた全身持久性の最もよい指導である最大 O₂ 摂取量発達のための処方が、project team により検討されているが、最大 O₂ 摂取量の発達を期待できる強度、時間、頻度はそれぞれ 70% $\dot{V}O_2$ max, 5 分間, 3 回/週以上, 5 週間以上の minimal standard が提唱されている。しかしながら submaximal な一定負荷運動に対する生理機能反

応からみるとこれより弱い強度でも効果がある報告も多い。また、一連の運動処方研究では横断的なものも多く、縦断的なものは比較的少ない。

本研究は一般非鍛練者や鍛練者が、運動効率や呼吸循環機能に与える minimal な強度を検討すべく、走行距離を一定にしながら強度を漸増し、training 差を縦断的に検討しようとしたものである。

II 実験方法等

被検者の形態特性及び実験の諸条件について Table 1 に一括して示した。

1) training の方法

training の方法は水平の treadmill 走行であり、原則として第 1 期～第 3 期迄 training はそれぞれ隔日に週 3 回、5～6 週行った。走行の条件としては体力を考慮し、以下のように決定した。

すなわち、非鍛練者 group の training は第 1 期は 120m/min×15分、第 2 期、第 3 期はそれぞれ 150m/min×12分、180m/min×10分であり、各期共に走行距離は毎回 1800m であった。走行速度を第 1 期 120m/min としたのは、この速度は急歩とランニングの境界速度であり、minimal な走速度から開始するという趣旨に沿って規定されたものである。持久時間は呼吸循環系機能の効果を期待する場合、強度が一定以上の時 5～10分以上時間が必要であるとの見解に立ち規定されたもので、最強度の 180m/min 速度で 10 分の持久走となった。

このように training 全経過にわたり、走行距離を一定にし強度を漸増する方法で、3 段階強度について縦断的に検討したものである。

また、第 1 期と第 2 期及び第 2 期と第 3 期の training 休止はそれぞれ 50 日～101 日、41 日～102 日とっている。これは先行実験の training 効果の消失を計り、後続する training に影響しないように配慮したことによるものである。

鍛練者 group の training は第 1 期 120m/min×20分とし、48 日～52 日の休止期をおき第 2 期は強度を一段とあげ、200m/min×12 分の training を行った。この場合、各期の毎回 training は 2400m の走距離である。また 1 名は 200m/min の training に参加し、102 日休止した後 240m/min×10 分を行い、さらに 1 名は 240m/min×10 分の training に参加した。

以上、鍛練者 group も距離を一定にし、強度を漸増する方法で縦断的に検討されたが、被検者の都合により主に 2 段階の検討であった。

2) training の量、強度

training の週は前述の如く原則として各期とも 5～6 週であったが、training 回数及び延走行距離は非鍛練者 group はそれぞれ第 1 期 8～16 回、14.4～28.8km、第 2 期 13～19 回、23.4～35.9km、第 3 期 13～18 回、23.4～33.8km であった。

鍛練者も同様に第 1 期 13～16 回、31.2～38.4km、第 2 期 14～15 回、33.6～36.0km であった。また、第 3 期は 11～18 回、26.4～43.4km であった。

また、各期の走行強度を第 1 期の training 開始初期に測定した最大 $\dot{V}O_2 \max$ からみると、非鍛練者の第 1 期 (120m/min) は 53～63% $\dot{V}O_2 \max$ 、第 2 期 (150m/min) は 66～75% $\dot{V}O_2 \max$ 、第 3 期 (180m/min) は 72～81% $\dot{V}O_2 \max$ であった。

鍛練者の第 1 期 (120m/min) は 51～52% $\dot{V}O_2 \max$ 、第 2 期 (200m/min) は 65～69% $\dot{V}O_2 \max$

Table. 1 Characteristics of the subjects and conditions of training

	Age (year)	Weight (kg)		Training			$\dot{V}O_2$ max before training		% of $\dot{V}O_2$ max	
		before	after	week	session	total distance (km)	l/min	ml/kg/min		
control group 120m/min × 15min n=5	M S·D	25.2	58.6	58.7						
training group (untrained) 120m/min × 15min	No. 1	22	55.0	55.0	6	16	28.8	2.46	44.7	63
	2	33	58.5	58.5	4	8	14.4	2.39	40.9	53
	3	42	73.7	74.0	6	12	21.6	3.20	43.4	63
	M	32	62.4	62.5	5.3	12	21.6	2.68	43.0	60
150m/min × 12min	No. 1		55.0	54.5	5	15	27.0			66
	2		57.0	60.0	6	19	35.9			72
	3		73.5	73.9	6	13	23.4			75
	M		61.8	61.8	5.7	15.7	28.8			71
180m/min × 10min	No. 1		57.2	56.0	6	18	33.8	2.52	44.1	81
	2		58.0	58.0	5	13	23.4	2.39	41.2	72
	3		71.2	71.8	6	14	24.4	3.75	52.7	77
	M		62.1	61.9	5.7	15	27.2	2.89	46.5	77
training group (trained) 120m/min × 20min	No. 4	22	58.0	57.0	6	13	31.2	2.93	50.5	51
	5	24	63.0	64.2	6	16	38.4	3.05	48.4	52
	M	23	60.5	60.6	6	14.5	34.8	2.99	49.4	52
200m/min × 12min	No. 4		59.0	58.0	5	15	36.0			69
	5		63.5	62.4	5	14	33.6			65
	M		61.3	60.2	5	14.5	34.8			67
	No. 7	34	69.5	69.5	5	14	33.6	3.26	46.9	79
240m/min × 10min	No. 6	21	64.8	62.7	5	11	26.4			
	7	34	69.3	68.6	6	18	43.4			
	M		67.1	65.7	5.5	14.5	34.9			

であった。

3) 被検者, 実験時期

被検者はいずれも男子であり training group として22~42歳の非鍛練者3名, 22~34歳の鍛練者4名, 対照 group としては平均年齢25.2歳の非鍛練者5名であった。

training 期間及び気温条件は両 group 共に第1期は主に昭和51年7月下旬(24.0~27.5℃)~9月上旬(21.5~24.5℃), 第2期は同年10月下旬(18.2~20.0℃)~12月上旬(17.5~20.5℃), 第3期は主に52年3月上旬(18.0~21.0℃)~5月上旬(16.7~17.1℃)であり, 対照 group は52年5月上旬(20.5~21.7℃)と下旬(20.8~22.2℃)であった。

4) 機能測定の方法

呼吸はダグラスバックに採気し, 湿式ガスメーターにより換気量を測定し, 被検呼吸は採気管に採取した後労研式大型ガス分析器により分析し, CO₂ 排出量, O₂ 摂取量を算出した。

呼吸数はマスク内に装着したサーミスターによる呼吸曲線より計測した。

心拍数は胸部双極導出による心電図のR棘を30秒間隔で計測し, 毎分値に換算した。

training 効果検討のための呼吸採気および呼吸曲線, 心電図記録はいずれも安静時5分間運動時全経過, 回復時15分間行われた。

得られた測定値から換気量 $\dot{V}E$, O₂ 摂取量 $\dot{V}O_2$ (STPD), 呼吸 O₂ 利用率 O₂ Removal $\dot{V}O_2/\dot{V}E$ (BTPS), 心拍数 H · R, 呼吸数 R · R, O₂ 脈 O₂ pulse $\dot{V}O_2/H \cdot R$ 等を算出した。

また, treadmill speed, 距離を確認するためランニングベルトに装置したマグネットとリードスイッチにより回転パルスを検出し, 4 ch. polygraph に記録した。

Fig. 1 に呼吸循環機能の安静時, 運動時, 回復時の polygraph の一例を, Fig. 2 に training 前後の換気量, O₂ 摂取量, 呼吸 O₂ 利用率の変化の一例を示している。

被検者は全員, 定期健康診断において異常ないことが確認されている健常者であるが, 安全管理のため実験に先立ち, 全員安静心電図を記録し特に異常のないことが確認され, また各期の初回実験時には運動前・中・後の全経過について心電図モニターを行い進行している。

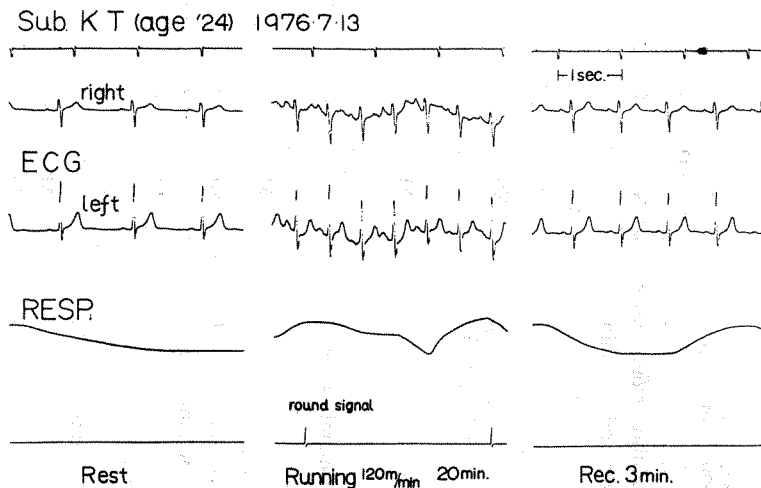


Fig. 1 polygraph of respiro-circulatory functions

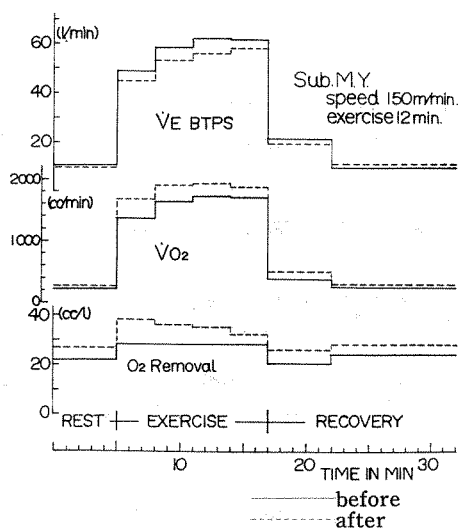


Fig. 2 Respiratory functions of before and after training

III 実験成績

各 group の treadmill 走行 training に伴う呼吸循環指標の変化を Table 2 に示した。各指標の平均値の推移を Fig. 3 に示した。また、training 前を基準として training 後の増減を百分比で Fig. 4 に示した。Fig. 5 に運動時の心拍数、 O_2 脈、呼吸 O_2 利用率の training に伴う個人値の消長について示した。

1. 体重の変化

体重は対照 group では全く変化がなく、training group も平均値からみると鍛練者 group の最強度の $240\text{m}/\text{min} \times 10\text{分}$ training で減少傾向 (1.4kg) があったのみであったが、個人的には幾分変動があった。非鍛練者 group では第 2 期 ($150\text{m}/\text{min} \times 12\text{分}$) training で 1 名が 3.0 kg 増、第 3 期 ($180\text{m}/\text{min} \times 10\text{分}$) で 1 名が 1.2 kg 減であった。鍛練者 group の training で第 2 期 ($200\text{m}/\text{min} \times 12\text{分}$) でも 1.0~1.1kg 減であり、ある程度の強度以上の training で体重は幾分減少する傾向にあった。

2. 心拍数

心拍数は非鍛練 group の第 1 期 training で明らかに減少している。Fig. 6 (a~c) は第 1 期~第 3 期の安静、運動、回復期全経過の心拍数であるが No. 2 No. 3 にその減少が大きく、一般的に安静時心拍数の減少がその後の運動、回復期に影響しているのが分る。

平均値より training による推移をみると、非鍛練者 group では運動時平均第 1 期 ($120\text{m}/\text{min} \times 15\text{分}$) で毎分 145 拍から 16 拍 (11%) 減、第 2 期 ($150\text{m}/\text{min} \times 12\text{分}$) で毎分 150 拍から 9 拍 (6%) 減、第 3 期 ($180\text{m}/\text{min} \times 10\text{分}$) で 165 拍から 8 拍 (5%) の減少があった。

安静時、回復時も同様に減少傾向にあり、3 期を通してそれぞれ前者が 90.3~93.5%、後者は 91.0~92.6% であった。

鍛練者 group では同様に運動時平均が、第 1 期 ($120\text{m}/\text{min} \times 20\text{分}$) では初回、終回がそれぞれ毎分 115 拍、114 拍と殆んど変らなかったが、第 2 期 ($200\text{m}/\text{min} \times 12\text{分}$) では毎分 157

Table 2. Changes in respiro-circulatory functions caused by endurance training (1)

		Heart rate (beat/min)						R·R (breath/min)		VE (l/min)BTPS	
		Rest		Exercise		Recovery		Exercise		Exercise	
		before	after	before	after	before	after	before	after	before	after
control group											
120m/min × 15min	M	70.4	70.8	134.8	133.6	97.8	96.8	26.8	25.1	41.65	40.02
n=5	S·D	7.0	7.9	9.5	14.4	5.5	13.1	8.5	9.5	5.81	6.88
training group (untrained)	No. 1	88.0	92.4	153.2	147.0	100.6	115.2	34.7	32.4	49.86	42.64
120m/min × 15min	2	71.6	61.8	144.1	122.6	111.8	92.8	28.4	28.9	35.33	34.06
	3	66.0	53.8	138.3	116.8	98.8	84.4	26.2	24.1	59.42	56.47
	M	75.2	69.3	145.2	128.8	103.7	97.5	29.8	28.5	48.20	44.39
	S·D	11.4	18.2	7.5	16.0	7.0	15.9	4.4	4.2	12.13	11.31
150m/min × 12min	No. 1	83.6	81.2	152.1	149.6	115.4	106.0	35.1	35.1	47.13	44.04
	2	75.6	63.4	142.6	128.7	107.0	104.0	33.4	28.3	45.34	42.91
	3	61.6	61.2	153.0	143.6	112.4	96.8	29.5	28.3	68.68	60.20
	M	73.6	68.6	149.2	140.6	111.6	102.3	32.7	30.6	53.72	49.05
	S·M	11.1	11.0	5.8	10.8	4.3	4.8	2.9	3.9	12.99	9.67
180m/min × 10min	No. 1	81.1	84.2	168.3	168.5	119.0	122.8	38.5	—	68.93	66.47
	2	76.0	62.2	162.7	150.5	117.2	108.4	33.1	36.0	49.13	53.13
	3	64.6	54.2	163.5	149.8	116.2	95.4	33.3	27.2	92.19	87.97
	M	73.9	66.9	164.8	156.3	117.5	108.9	35.0		70.08	69.19
	S·M	8.4	15.5	3.0	10.6	1.4	13.7	3.1		21.55	17.58
training group (trained)	No. 4	61.6	54.4	116.7	113.1	73.6	73.2	24.6	24.4	41.40	39.78
120m/min × 20min	5	65.2	73.0	113.1	114.6	75.2	90.0	38.5	31.7	45.46	39.46
	M	63.4	63.7	114.9	113.9	74.4	81.6	31.6	28.1	43.43	39.62
200m/min × 12min	No. 4	57.6	64.8	163.8	164.1	97.4	104.6	32.6	32.3	65.61	57.35
	5	70.0	58.8	150.1	139.8	102.8	91.8	60.7	39.2	78.70	63.56
	M	63.8	61.8	157.0	152.0	100.1	96.7	46.7	35.8	72.16	60.46
	No. 7	56.0	53.4	169.2	143.9	100.0	93.8	38.1		69.91	72.61
240m/min × 10min	No. 6	71.4	62.2	173.9	166.0	119.4	114.4	47.5	39.1	89.06	82.10
	7	62.8	54.6	162.6	157.0	118.0	108.6	43.4	43.3	91.37	91.64
	M	67.1	58.4	168.3	161.5	118.7	111.5	45.4	41.2	90.22	86.57

Table. 2 Changes in respiro-circulatory functions caused by endurance training (2)

		$\dot{V}O_2$ (l/min) S T P D		O ₂ Removal (ml/l)		O ₂ Pulse (ml/beat)		Tidal Volume (l/beat)		Rate of oxygen debt (%)	
		Exercise before	Exercise after	Exercise before	Exercise after	Exercise before	Exercise after	Exercise before	Exercise after	Exercise before	Exercise after
control group 120m/min × 15min n=5	M	1.555	1.487	37.8	38.3	11.5	11.1	1,626	1,758	4.1	5.5
	S·D	0.225	0.153	6.6	8.4	1.5	1.6	0.312	0.572	2.0	2.1
training group (untrained) 120m/min × 15min	No. 1	1.556	1.443	31.2	33.8	10.1	9.8	1.409	1.291	4.0	2.0
	2	1.267	1.237	35.9	36.3	8.8	9.7	1.231	1.164	1.3	5.3
	3	2.017	1.573	34.0	27.9	14.6	13.5	2.274	2.287	5.8	6.9
	M	1.613	1.418	33.7	32.7	11.2	11.0	1.638	1.581	3.7	4.7
	S·D	0.378	0.169	2.4	4.3	3.0	2.2	0.558	0.615	2.3	2.5
150m/min × 12min	No. 1	1.619	1.844	34.4	41.9	10.6	12.3	1.657	1.514	5.1	8.0
	2	1.712	1.633	37.8	38.2	12.0	12.7	1.364	1.520	8.4	6.9
	3	2.411	2.420	35.1	40.2	15.8	16.7	2.827	2.624	10.4	6.4
	M	1.914	1.967	35.8	40.1	12.8	13.9	1.949	1.886	8.0	7.1
	S·D	0.433	0.405	1.8	1.9	2.7	2.4	0.774	0.639	2.7	0.8
180m/min × 10min	No. 1	2.044	2.377	29.7	35.8	12.1	14.1	1.795	—	14.5	13.4
	2	1.710	1.763	34.8	33.2	10.5	11.7	1.484	1.476	11.4	11.0
	3	2.887	2.903	31.3	33.2	17.6	19.4	2.760	3.216	9.7	10.6
	M	2.214	2.348	31.9	34.1	13.4	15.1	2.013	—	11.9	11.7
	S·D	0.607	0.571	2.6	1.5	3.7	3.9	0.665	—	2.4	1.5
training group (trained) 120m/min × 20min	No. 4	1.483	1.353	35.8	34.0	12.3	12.0	1.686	1.632	5.0	4.5
	5	1.596	1.147	35.1	29.0	14.0	10.0	1.187	1.388	4.4	4.7
	M	1.540	1.250	35.5	32.0	13.4	11.0	1.437	1.510	5.0	4.6
200m/min × 12min	No. 4	2.107	2.175	32.1	37.9	12.9	13.3	2.031	1.779	7.1	2.0
	5	1.983	2.268	25.2	35.7	13.2	16.2	1.305	1.645	8.2	8.8
	M	2.045	2.222	28.7	36.8	13.1	14.8	1.668	1.712	7.6	5.6
	No. 7	2.571	2.532	36.8	34.9	15.2	17.6	1.832	—	10.0	4.8
240m/min × 10min	No. 6	2.855	2.751	31.8	33.5	16.8	17.0	1.962	1.993	13.0	13.3
	7	3.234	3.231	35.4	35.5	19.9	20.6	1.992	2.100	14.7	14.9
	M	3.035	2.991	33.6	34.5	18.4	18.6	1.977	2.046	13.9	14.2

拍から5拍（更に1名は169拍から25拍，15%の減少）の減少，第3期（240m/min×10分）では毎分168拍から6拍（4%）の減少があった。

従って，軽度負荷でも運動時心拍数が毎分140～150拍の水準まで亢進すると training によって減少するが，110～120拍の上昇では減少しない傾向があった。また，強度の増加による心拍数増加が一段と多くなっても，それに伴って減少程度も大きくなる傾向はなかった。

training による心拍数減少は運動時のみならず，安静時にも回復時にも強く反映する傾向があった。

尚，対照 group は前後2回の測定で，安静，運動，回復時平均は毎分それぞれ70. 71拍，135. 134拍，98. 97拍であり，いずれも1%以内の変動であった。

3. 換気量

換気量は運動時平均，非鍛練者 group で第1期（120m/min×15分）は毎分48.2ℓから

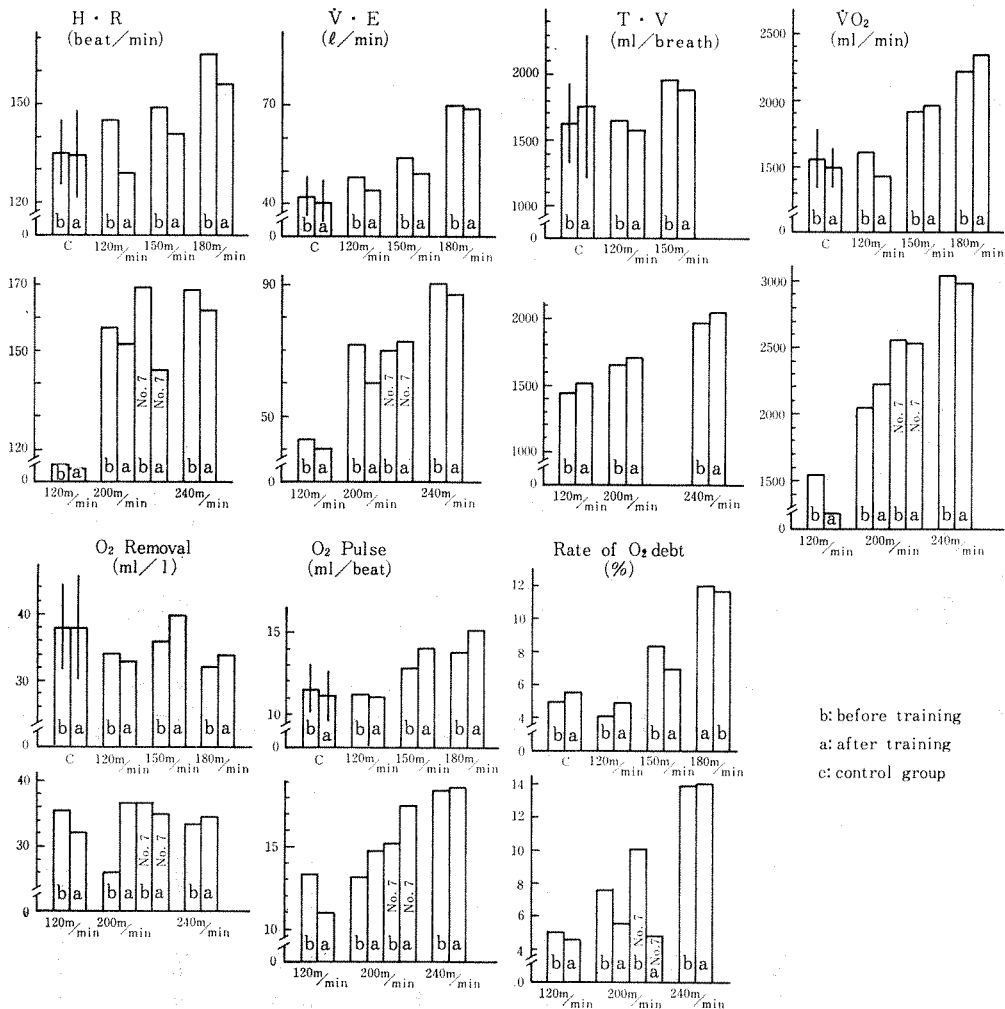


Fig. 3 Mean values for respiro-circulatory functions in exercise before and after the endurance training

44.4 l と 8% 減, 第 2 期 (150m/min × 12分) は毎分 53.7 l から 49.1 l と 9% の減少であったが, 第 3 期 (180m/min × 10分) では毎分 70.1 l から 69.0 l と殆んど変化はない。

鍛練者 group でも第 1 期 (120m/min × 20分) では毎分 43.4 l から 39.6 l と 9% の減少, 第 2 期 (200m/min × 12分) では毎分 72.2 l から 60.5 l と 12% の減少であったが, 第 3 期 (240m/min × 10分) では特に変化はなかった。従って, 両 group 共比較的軽度の training では減少傾向にあるが, 中等度強度 training での換気量の減少は大きくない。

4. O₂ 摂取量

運動時 O₂ 摂取量は非鍛練者, 鍛練者 group 共に軽度負荷 training で減少したが, 中等度強度負荷 training では変わらず, 特に非鍛練者 group では増加傾向があった。すなわち非鍛練者 group の training では運動時平均, 第 1 期 (120m/min × 15分) は毎分 1.613 l から

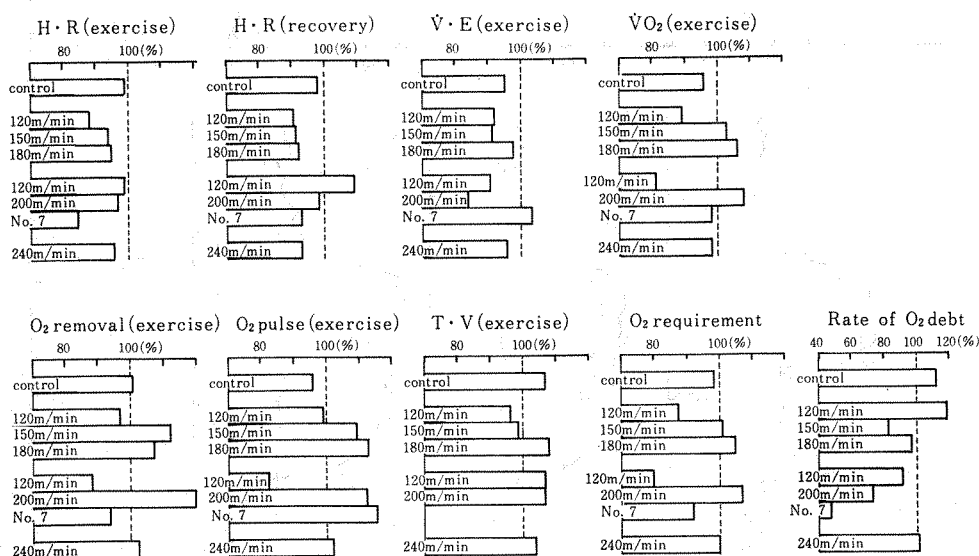


Fig. 4 Rate of increase and decrease in cardio-respiratory functions from the before training level

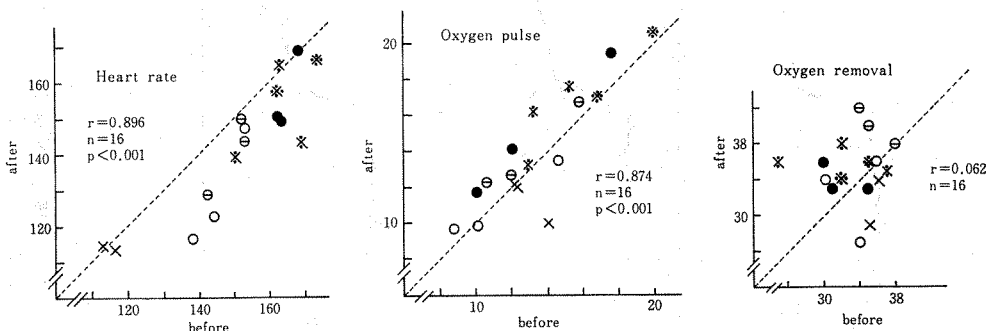


Fig. 5 Individual values for heart rate, oxygen pulse and O₂ removal at exercise before and after the endurance training

	120m/min	150m/min	180m/min
No. 1, 2, 3	○	⊖	●
No. 4, 5	×	*	⊛
No. 6			*
No. 7		×	*

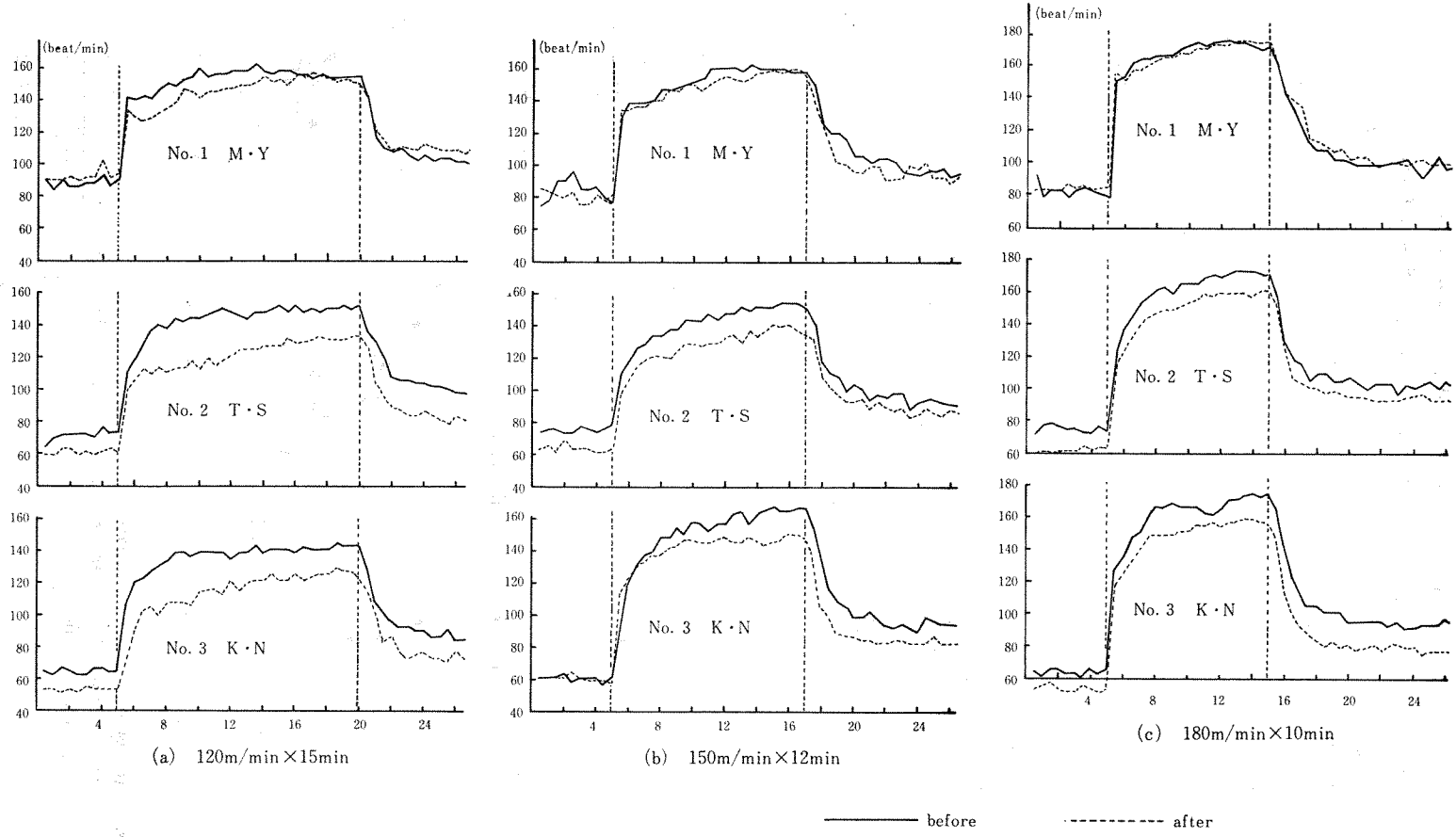


Fig. 6 Changes in heart rate during rest, exercise and recovery caused by endurance training

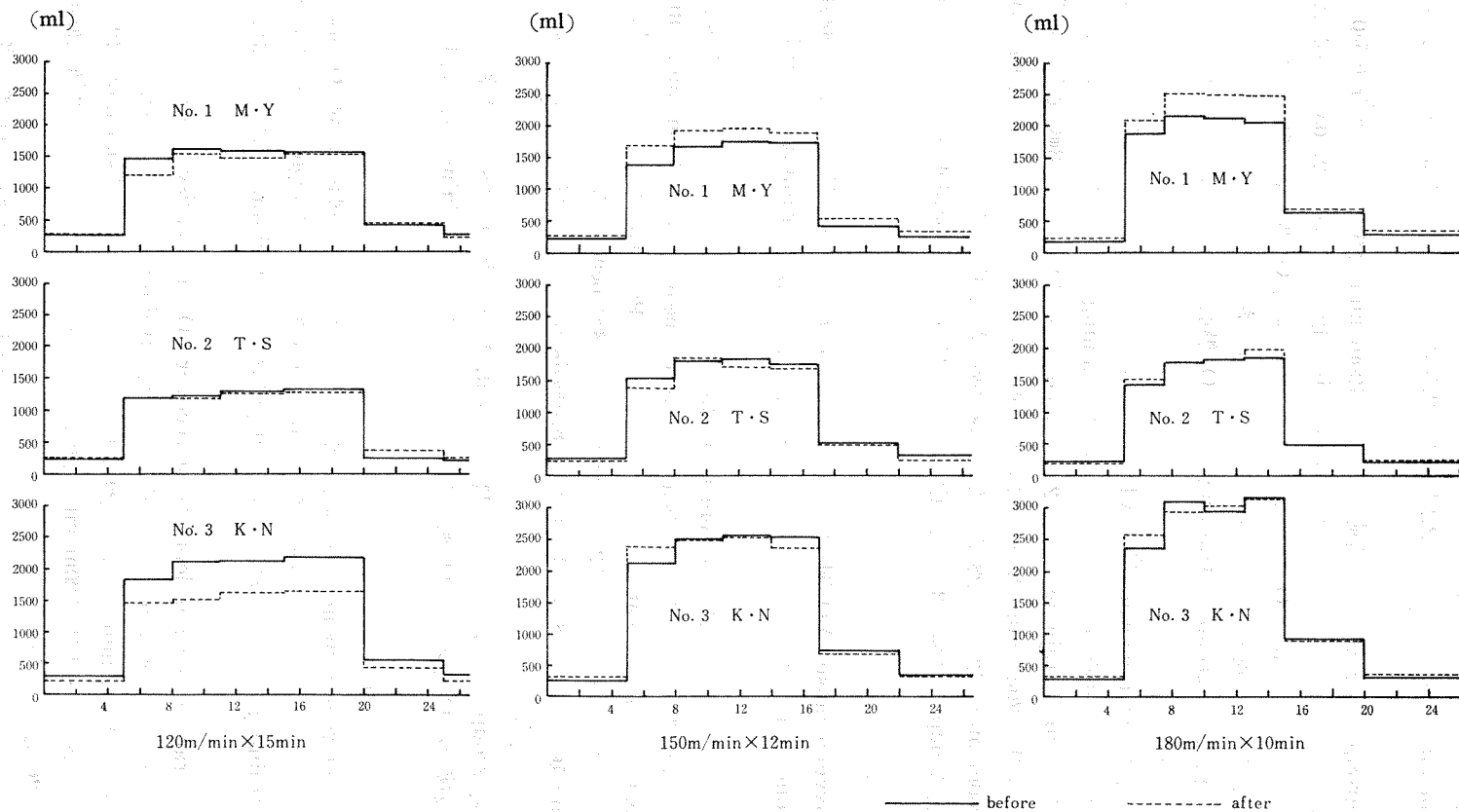


Fig. 7 Changes in oxygen uptake during rest, exercise and recovery caused by endurance training

1.418 l と 12% の減少であったが、第 2 期 (150m/min × 12分) では毎分 1.914 l から 1.967 l、第 3 期 (180m/min × 10分) では毎分 2.214 l から 2.348 l とそれぞれ 3%、6% の増加であった。

鍛練者 group でも同様に軽度負荷の第 1 期 (120m/min × 20分) では毎分 1.540 l から 1.250 l と 18% の減少があったが、第 2 期 (200m/min × 12分) では毎分 2.405 l から 2.222 l と 9% 増であった。両 group の O₂ 摂取水準からみて、運動時 O₂ 摂取量が約毎分 2 l 以上の強度の training ではこの運動量では減少しないことが分った。

Fig. 7 に非鍛練者 group の training に伴う O₂ 摂取量の個人の消長を示している。

5. 呼吸 O₂ 利用率

呼吸 O₂ 利用率 O₂ Removal ($\dot{V}O_2/\dot{V}E$) は単位換気量から摂取し得る O₂ 量であり、肺呼吸効率の指標である。呼吸 O₂ 利用率も中等度強度 training で増加する傾向にあった。すなわち、非鍛練者 group の training では第 2 期 (150m/min × 12分) で 35.8ml/l から 40.1ml/l と 12% 増、第 3 期 (180m/min × 10分) で 31.9ml/l から 34.1ml/l と 7% 増、鍛練者 group では第 2 期 (200m/min × 12分) で 28.7ml/l から 36.8ml/l と 28% 増であった。

尚、対照 group では前後 2 回の測定でそれぞれ 37.8ml/l、38.3ml/l と 1% の変化であった。

6. O₂ 脈

O₂ 脈 oxygen pulse ($\dot{V}O_2/H.R$) はいわゆる一拍動当りの O₂ 量であり、一回心拍出量 stroke volume と相関性の強い指標である。O₂ 脈は中等度強度 training で増加する傾向にあった。

すなわち、非鍛練者の第 1 期 (120m/min × 15分) では変化はなかったが、運動時平均第 2 期 (150m/min × 12分) では 12.8ml/beat から 15.0ml/beat、第 3 期 (180m/min × 10分) では 13.4ml/beat から 15.1ml/beat とそれぞれ 9%、13% (P < 0.05) 増であった。鍛練者でも中等度強度の第 2 期で運動時平均 13.1ml/beat から 14.8ml/beat と 13% 増であった。第 3 期 (240m/min × 10分) では 18.4ml/beat から 18.6ml/beat となり、O₂ 脈は大きくなったが、training による増加はなかった。

尚、対照 group は前後でそれぞれ 11.5ml/beat、11.8ml/beat で 3% の変化であった。Fig. 8 に非鍛練者の O₂ 摂取量と O₂ 脈の相関を示しているが、training 後には同一の O₂ 量摂取に O₂ 脈の増大のあることが分る。

7. O₂ 需要量並びに O₂ 負債率

O₂ 需要量 O₂ requirement は運動時、回復時の総 O₂ 量とその間の安静時 O₂ 量の差で、運動のための需要量である。この O₂ 需要量は両 group 共に第 1 期 (120m/min × 10 or 20分) の軽度負荷 training で大きく減少したが、中等度強度負荷 training では特に変化はなかった。

O₂ 負債率 rate of oxygen debt (O₂ in recovery/O₂ in exercise) は強度の増大と共に増加したが、軽度負荷 training よりも中等強度負荷 training で減少する傾向にあった。非鍛練者の第 1 期 (120m/min × 15分) は 20% 増であったが、第 2 期 (150m/min × 12分) では 17% 減、また鍛練者の第 1 期 (120m/min × 20分) では 8% 減であったが、第 2 期 (200m/min × 12分) では 26% 減少があった。

以上、総括的にみると比較的強度の低い持久性 training では運動時 O₂ 摂取量は減少し、

中等度強度の持久性 training では運動時 O₂ 摂取量はむしろ増加するようになり、同時に回復期の O₂ 量は相対的に減少する傾向にあるといえよう。

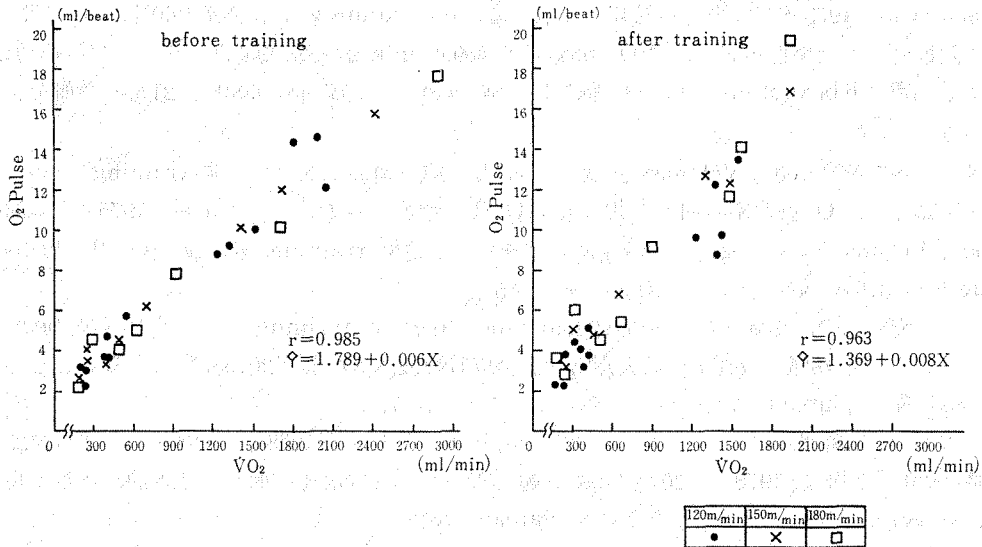


Fig. 8 Correlation between oxygen uptake and oxygen pulse at before and after endurance training

IV 考 察

軽度・中等度強度の全身持久性 training による O₂ 運搬機能の効果の検討は、特に一般非鍛練者の場合基礎的な課題であると考えられる。それは日常とくに持久運動を行わず、走ることに不慣れた非鍛練者が初めて実施する場合、jogging から開始し、training が進行するにつれて強度を漸増するのが一般的であり、そしてこの漸増負荷は安全性の上からもすすめられるものである。そのような軽度・中等度持久運動が単に energy に消耗に終らず、少しでも O₂ 運搬系機能の発達を促進するならばその意義は大きいといえよう。

一般的に training が進行すると、先づ心拍数の減少を認める報告が多いが、比較的軽度の短期間の training により減少が認められている。特に本法と同様 treadmill 持久走の training においても submaximal な一定負荷運動時に、10代~20代の青年にも¹⁻³⁾⁷⁻⁸⁾¹⁹⁻²⁰⁾³¹⁻³³⁾³⁶⁾ 30代以上の中高年においても²⁵⁻²⁶⁾³⁰⁾³⁴⁻³⁵⁾³⁷⁻³⁹⁾ 認められる。

本研究においても第1期から第3期の軽度・中等度 training を通して運動時、非鍛練者 group で 5~11%、鍛練者 group で 4~15%の減少があったが、特に第2期・第3期の中等度 training により O₂ 脈が増大する傾向があった。

O₂ 脈 Oxygen pulse ($\dot{V}O_2/\text{Heart rate}$) は相対的な一回心拍出量 stroke volume を示すことは Reindell (1956),⁴²⁾ Ostrand (1955), Hormgren (1967) 等により指摘されている。

この O₂ 脈は形態、特に体重等と比例し本研究例では運動平均 O₂ 脈と体重で $r = 0.659 \sim 0.730$ ($n = 23$) と高い有意の相関が得られた。この training 時期における体重減少が特別大きくないことを考えれば、この O₂ 脈の増大は一回心拍出量の増加を十分に裏づけるものであ

り、中等度 training により心機能発達が十分に認められるものである。

Pollock et al(1971)⁴¹⁾ は平均年齢48.9才の中年者16名について、40分程度の歩行 training を週4回、20週継続することにより、 $\dot{V}O_2 \max$ に28%、 O_2 脈に21%の増加を認めている。Kasch et al (1973)²⁹⁾ は平均年齢47才の中年者に軽い running や体操等を60分、週3回、2カ年間継続した効果を検討し、 $\dot{V}O_2 \max$ は2.589 l/min から3.03 l/min. と17%の増加、最大心拍数は6 beat/min 減少、 O_2 脈は14.4ml/beat から17.4ml/beat と21%の増加を認めている。

加藤ら (1975)³⁰⁾ は60% $\dot{V}O_2 \max$ 強度で5分間、3日/週のグラウンド走 training を10週継続することで、 O_2 摂取率の向上と共に最大 O_2 脈の増加をみている。小川ら (1975)²¹⁾ も同様に60% $\dot{V}O_2 \max$ 強度で30分、3回/週のグラウンド走の training 後の最大 O_2 脈が12.5ml/beat から13.5ml/beat の有意の増加をみている。

本研究の場合、鍛練者の第3期(240m/min×10分)の training では平均18.6ml/beat と伸びているが、外国一般青年の最大定常状態形成時の最大 O_2 脈が20.0程度であることを考えるとある程度 plateau に近づいているものと考えられる。

本邦一流長距離選手の最大 O_2 脈は23.0ml/beat (黒田ら. 1968)、大学ポート部員で22~24ml/beat (中川ら. 1978) と20ml/beat を超えるが、これは前述の如く、基本的に体格に規制されるものであることを考えるとやはり plateau に接近していることが伸びない理由の一つと考えられる。

宮村ら (1966) は8名の一般成人男子の $\dot{V}O_2 \max$, Cardiac Output と共に最大 O_2 脈を調べた結果、持久力限界時 all out の最大 O_2 脈は15~18ml/beat であった。

Holmgren (1950) は最大心拍出量と O_2 摂取量と高い相関を認めているが、同時に指摘している如く、心拍出量は一定でも動静脈 O_2 較差によって O_2 摂取量は変るので心拍出量と O_2 摂取量は完全に一致しないが動静脈 O_2 較差が一定であればよく比例する。

比較的短期間の training に伴う $\dot{V}O_2 \max$ の発達とこれに関与する心拍出量、動静脈 O_2 較差の研究も多い。

Cunningham et al (1975)⁹⁾ は平均年齢31才の女子17名の training で $\dot{V}O_2 \max$ に34%、一回心拍出量に28%の増加があった時に、動静脈 O_2 較差は不変であることを認めている。Eklom et al (1968)¹²⁾ は8名の男子について16週間の training で $\dot{V}O_2 \max$ は3.15 l/min から3.68 l/min の増加を認め、この増加は動静脈 O_2 較差と分時拍出量の増加であるとしたが、特に最大心拍数に変化がないので分時拍出量の増加は一回拍出量の増加によるとしている。猪飼ら (1973)¹⁹⁾ も70% $\dot{V}O_2 \max$ で10分間、週3回、10週の training により最大心拍出量、一回拍出量に有意の増加を認めたが、動静脈 O_2 較差には増加を認めていない。

本実験結果では末梢 O_2 利用が不明であるが、training 強度や期間からみて、末梢 O_2 利用の増加より心機能改善の方がより確かであると考えられる。

尚、文献上、 O_2 摂取量、心拍数から O_2 脈と一回拍出量の相関を検討した結果 $r = 0.713(n = 225)$ と高い相関が得られた。¹⁰⁾¹²⁾¹⁴⁾¹⁵⁾⁴³⁾

軽度・中等度強度負荷 training でも一般的に submaximal 一定負荷運動時の O_2 、 O_2 需要量は減少傾向を示し運動効率が向上するという報告も多い。¹⁾²²⁻²³⁾³⁰⁻³¹⁾³⁴⁻³⁵⁾⁴⁵⁻⁴⁷⁾

金子 (1974)³¹⁾ は青年の70% $\dot{V}O_2 \max$ 強度、5分間のフィールド走を3回/週、10週の training により、 $\dot{V}O_2 \max$ の増加はなかったが、submaximal 一定負荷運動時の $\dot{V}O_2$ は有

意の減少をみている。また松井 (1974)³¹⁻³³、伊藤ら (1973)²⁵、加藤ら (1973)³⁰ は中高年者の70% $\dot{V}O_2$ max 強度の treadmill 走行 training により一様に運動効率の向上を認めている。この treadmill 走行方法は基本的にいわゆる Balke, B (1952) が採用している方法であり、原法では走行 speed を 3.4 miles/時 (91.5m/分) とし、treadmill 傾斜は0%から始め2分以後は毎分1%ずつ漸増し、被検者が持続できれば24% (約15°) まで上斜するというものである (加藤ら、1973)¹⁶。しかし日本にある treadmill は斜度限界があり、Modified Balk Method によっており、松井 (1974)³¹⁻³³ は 94 m/分・水平から開始し、1分毎に1%ずつ斜度を高め17%以後は歩行速度を10m/分ずつ増し、exhaustion に導き $\dot{V}O_2$ max を測定している。この方法での training は、一般中高年者にとり安全性の点で優れている。

更に強度が低くとも運動時間が長い training で運動効率に与える効果が認められている。山本ら (1976)⁴⁷ は 21~33 才を対象に RMR 約 2.5 (約31%~46% $\dot{V}O_2$ max) の踏み台昇降運動 (台高10cm, 速度 27回/分のリズムで、20分運動10分休憩を1セットとし、1日に4セット負荷とする) を 1~3 日おきに総計 8 回 training を行った結果、submaximal 一定負荷運動時の心拍数には変化はなかったが $\dot{V}O_2$ には明らかな減少が認められ、効率の向上があった。進藤ら (1974)⁴⁹ も 40~65 才の中高年男子で 50% $\dot{V}O_2$ max 強度の自転車エルゴメーター運動を 1 時間、週 3 回、10 週の training により exhaustive time の延長と共に submaximal 一定負荷運動時の効率向上を認めている。

本研究でも非鍛練者、鍛練者共に第 1 期の比較的軽い負荷の training で明らかに運動時 O_2 の減少があり、運動時効率の向上があった。しかし、特に非鍛練者の第 2 期、第 3 期の更に強度の強い training においては、運動時 O_2 量は増加し、有 O_2 の強化の方向に進行する傾向があった。このような運動時 O_2 の増加という現象は有 O_2 運動 aerobic exercise では有利に働らく方向でもある。十分な O_2 供給は生体の無 O_2 状況を減少させ、乳酸等の疲労物質の発生を軽減させるものである。

また運動時の運動効率の向上と共に O_2 需要量の減少が考えられるが、両 group 共に第 1 期の training で減少している。第 1 期から第 3 期まで強度を変えた方法であるので、回復期の O_2 の動きを O_2 負債率 ($\dot{V}O_2$ in recovery/ $\dot{V}O_2$ in exercise) で検討してみると、非鍛練者、鍛練者共に第 2 期、第 3 期では減少しており、中等度 training における効果の現れ方は、運動時 O_2 の摂取の強化であるが、合理的な動態とみることができよう。

石井ら (1974)²³ は 60% $\dot{V}O_2$ max, 5 分, 3 回/週, 10 週の training 前後で O_2 負債量の 42.2% の減少を認め、 O_2 需要量の減少には主に O_2 負債量の減少の大きいことを指摘している。

呼吸効率の向上も軽度・中等度負荷 training で認められている。¹⁹⁾²⁷⁾³¹⁾³⁹⁾

猪飼 (1973)¹⁹ は一般成人男子 (23~31 歳) の 70% $\dot{V}O_2$ max 強度で 10 分間, 3 回/週, 10 週の treadmill training で $\dot{V}O_2$ max 時の呼吸 O_2 利用率 oxygen removal が 4 名中 3 名に増加をみている。伊藤ら (1975)²⁷ も中年者の 60% $\dot{V}O_2$ max 強度で 20 分間, 6 回/週, 6 週の training 後 submaximal 一定負荷運動時に O_2 利用率の増加を認めている。

本実験においても呼吸効率は両 group 共に向上があった。呼吸効率の向上に関与する因子は多く、活動性肺胞の増加、肺血流量増加、肺毛細管の発達、肺拡散機能発達等の呼吸性因子、R・C、Hb 等の血液的因子等種々の要因の相乗効果が考えられる。また特に一回換気量の増加は dead space の相対的減少から O_2 利用率の向上が考えられるが、本研究例でも特に第 1 期の No. 3 では大きく増加していた。

しかしながら高い換気が要求される時には呼吸数も一回換気量の増大も望ましいが、呼吸数の増加による換気量増大の報告も多い。

Kilbom et al (1969)²⁹⁾ は 8~10週の training による submaximal test で換気量の増大に呼吸数増加が強く関与することを認めている。

終りに、軽度・中等度強度の全身持久性 training が O₂ 運搬系機能に及ぼす効果の検討から、必ずしも強度の増強に伴って効果の発現は大きいということとはなかった。このことは training 期間や頻度にも影響されていることが考えられる。

また、特に一般非鍛練者においては軽強度の持久 training で O₂ 運搬系機能や運動効率の向上も認められた。

現在、比較的軽度な持久性 training が O₂ 運搬系機能をはじめ、種々の健康・生理指標に及ぼす影響が精力的に検索されつつあり、やがてどの人にも共通に求められるべき適切な運動処方次第に確立されて行くものと考えられる。

V 要 約

全身持久性 training に関与する因子の内、主に強度による効果を検討する目的で、運動距離を一定にして実験を行った。被検者は全て男子で、非鍛練者 group は年齢 22~42歳の 3名であり、鍛練者 group は年齢 22~34歳の 4名である。

前者は 120m/min × 15分, 150m/min × 12分, 180m/min × 10分 の速度と時間の training が縦断的に行われた。後者は 120m/min × 20分, 200m/min × 12分, 240m/min × 10分 の training が縦断的に行われた。control group として 5名について、120m/min × 20分の treadmill 持久走における呼吸循環反応の両現性が検討された。

training 頻度・期間は原則として隔日に 3回/週, 4~6週であり、各期の training 休止期は先行効果の消失を計るため十分にとられた。

1) 非鍛練者 group では比較的軽い強度 (120m/min × 15min, 53~63% $\dot{V}O_2$ max) の運動でも心拍数の増加は顕著で、また training によって大きく減少した。運動時 O₂ 摂取量, O₂ 需要量も減少し運動効率の向上があった。

さらに強度を強めた (150m/min × 12min, 66~75% $\dot{V}O_2$ max), (180m/min × 10min, 72~81% $\dot{V}O_2$ max) training でも心拍数は減少傾向にあったが、運動 O₂ 摂取量は増加傾向にあり、O₂ 需要量は特に変化はなかった。しかしながら O₂ 負債率では減少傾向がみられた。従って、中等度強度運動の training 効果は運動時の O₂ 供給を増す方向に進行し、有 O₂ 過程が強化される傾向にあった。この時期には O₂ 脈も増大し (9%~13%) P < 0.05, 心機能の強化があった。

2) 鍛練者 group では軽度 (120m/min × 20min, 51~52% $\dot{V}O_2$ max) 運動による心拍数増加は少く、training により減少することにはなかった。運動時 O₂ 摂取量は training により大きく減少し、また O₂ 需要量も減少し運動効率の向上があった。

さらに強い強度 (200m/min × 12min, 65~69% $\dot{V}O_2$ max) の training では心拍数の減少傾向はあったが、O₂ 需要量に変化はなく運動効率の向上はなかった。また、運動時 O₂ 摂取量は増加傾向にあったが、O₂ 負債率は大きく減少し、非鍛練者の training と同様に、有 O₂ 過程の強化があり、同時にこの時期には O₂ 脈の増加があった。

本論文の要旨は第28回日本体育学会（昭和52年）及び北海道体育学会（昭和51年、52年）に於いて発表した。

終りに本研究は本学部 須田力講師をはじめ、伊藤修司（昭和52年度卒、現平取高校教諭）谷口公二（昭和52年度卒、現室蘭工大助手）、横田公元（昭和53年度卒、現札幌市役所）、畑野倫（現北農健保組合）各氏の協力によって行われたものであり、改めて感謝申し上げます。

また体育学研究室の諸先生方にも種々実験の御協力を頂いたことに対しても記して謝意を表わすものである。

文 献

- 1) 青木純一郎, 高岡郁夫, 前嶋孝: 最大酸素摂取量の80%および65%トレーニングの performance, 最大酸素摂取量, 血中乳酸濃度および心拍数に及ぼす効果, 体育科学 1: 81—90, 1973.
- 2) 青木純一郎, 高岡郁夫, 前嶋孝: トレーニング効果の再現性について, 体育科学 2: 132—138, 1974.
- 3) 青木純一郎, 高岡郁夫: 持久性トレーニングによる血液の変化, 体育科学 3: 139—145, 1975.
- 4) 朝比奈一男: 症状よりみた訓練の適正度, 体力科学 1 (1), 1950.
- 5) 朝比奈一男: スポーツと疲労, スポーツ医学, 杏林書院, 1956.
- 6) 朝比奈一男, 浅野勝己訳: P.-O. オストランド, K. ラダール運動生理学, 大修館書店, 1976.
- 7) 浅見俊雄, 山本恵三, 広田公一: 全身持久性のトレーニング処方に関する研究(1)頻度の違いによるトレーニング効果について, 体育科学 1: 35—40, 1973.
- 8) 浅見俊雄, 山本恵三, 北川薫, 佐野裕司: 全身持久性のトレーニング処方に関する研究(2)強度と時間の違いによるトレーニング効果について, 体育科学 2: 117—122, 1974.
- 9) Cunningham, D. A, and J. S. Hill: Effect of training on cardiovascular response to exercise in man. J. Appl. Physiol. 39 (6): 891—895, 1975.
- 10) Douglas, F. G. V: Effect of seasonal training on maximal cardiac output. J. Appl. Physiol. 25 (5): 600—605, 1968.
- 11) Ekblom, B: Effect of physical training on oxygen transport system in man. Acta Physiologica Scandinavica Suppl: 328: 1—44, 1969.
- 12) Ekblom, B., P-O Åstrand, B. Saltin, J. Stenberg, and B. Wallström: Effect of training on circulatory response to exercise. J. Appl. Physiol. 24 (4): 518—528, 1968.
- 13) 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 (3): 481—484, 1975.
- 14) Freedman, M. E.: Effects of training on response of cardiac output to muscular exercise in athletes. J. Appl. Physiol. 8: 37—47, 1955.
- 15) Hartley, L. H., G. Grimby: Physical training in sedentary middle-aged and older man (Ⅲ). Scand. J. Clin. Lab. Invest. 24: 335—344, 1969.
- 16) Hansen, J. S., B. S. Tabakim, A. M. Levy, and W. Nedde: Long-term physical training and cardiovascular dynamics in middle-aged men. Circulation 38: 783—799, 1968.
- 17) 猪飼道夫: 運動処方, 体育の科学 21 (4): 236—239, 1973.
- 18) 猪飼道夫: 望ましき成人の体力とその維持—WHOの会議から—, 体育の科学 18 (12): 739—743, 1968.
- 19) 猪飼道夫, 福永哲夫, 芳賀脩光: 心拍出量からみた70% $\dot{V}O_2$ max 強度による持久性トレーニング効果の検討, 体育科学 1: 67—72, 1973.
- 20) 猪飼道夫, 江橋慎四郎, 加賀谷照彦: トレッドミル法による青少年の運動処方に関する研究 (第3報) 体育学研究 12 (1) —, 1967.
- 21) 猪飼道夫: スポーツと循環機能, スポーツ医学入門, 南山堂, 1964.
- 22) 石河利寛, 前嶋孝, 青木純一郎, 浪越信夫: 全身持久力向上のための強い強度—短時間運動および弱い強度—長時間運動プログラムの効果, 体育科学 4: 13—19, 1976.
- 23) 石河利寛, 清水達雄, 佐藤佑: 勤労青少年の作業能力向上のための至適運動強度について, 体育科学 1: 73—80, 1973.
- 24) 石井喜八, 堀居明: 全身持久性の運動処方に関する研究, 体育科学 2: 123—131, 1974.
- 25) 伊藤他8名: 歩行トレーニングによる中・高年層の全身持久性の向上について, 体育科学 1: 134—143, 1973.

- 26) 伊藤稔他 8 名: 歩行トレーニングによる中・高年者の全身持久性の向上について (第 2 報) 体育科学 2: 179—189, 1974.
- 27) 伊藤朗, 鈴木政登, 金刺喜美子, 井川幸雄: 中年者の 60% $\dot{V}O_2$ max トレーニングの生化学的研究 体育科学 3: 96—111, 1975.
- 28) 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 (1): 53—57, 1973.
- 29) Kilbom, A., L. H. Hartley, B. Saltin, J. Bjure, G. Grimby and I. Åstrand: Physical training in sedentary middle-aged and older men. *Scand. J. Clin. Lab. Invest.* 24: 315—322, 1969.
- 30) 加藤橋夫, 金子公有, 豊岡示朗: 中年男子の全身持久性に及ぼすトレーニング効果. 体育科学 3: 112—117, 1975.
- 31) 金子公有, 加藤橋夫, 豊岡示朗, 宮側敏明, 末井健作: 全身持久性に及ぼすフィールド走トレーニング (60—100% $\dot{V}O_2$ max.) の効果. 体育科学 2: 167—173, 1974.
- 32) 加賀谷照彦: 持久性トレーニングの至適強度選定に関する研究(1)—80% $\dot{V}O_2$ max 負荷のトレーニング効果一. 体育科学 1: 58—66, 1973.
- 33) 加賀谷照彦: 持久性トレーニングの至適強度選定に関する研究(2) 体育科学 2: 153—160, 1974.
- 34) 松井秀治他 8 名 健康成人の Aerobic Work Capacity のトレーニング. 体育科学 1: 125—133, 1973.
- 35) 松井秀治, 宮下充正, 小林寛道, 星川保: 健康成人の Aerobic Work Capacity のトレーニング第 2 報 中年者如 70% $\dot{V}O_2$ max レッドミル歩行トレーニングの全身持久性におよぼす効果. 体育科学 2: 197—206, 1974.
- 36) 宮下充正, 芳賀脩光, 水田拓道, 福永哲夫: 青年にみられる有酸素的作業能力の改善. 体育科学 2: 161—166, 1974.
- 37) 宮下充正, 芳賀脩光, 水田拓道: 中高年者における全身持久性トレーニング終了 6 カ月後の有酸素的作業能および呼吸循環機能の変化. 体育科学 4: 52—59, 1976.
- 38) 宮下充正, 芳賀脩光, 水田拓道: 中高年者にみられる有酸素的作業能の改善. 体育科学 2: 174—178, 1974.
- 39) 宮下充正, 芳賀脩光, 水田拓道: 持久性運動に対する呼吸循環機能の適応の個人差. 体育科学 3: 15—21, 1975.
- 40) 小川新吉, 古田善伯, 小原達朗, 大神八太郎: ランニングトレーニングの中高年者の有酸素的作業能に及ぼす影響. 体育科学 4: 6—12, 1976.
- 41) Pollock, M. L., H. S. Miller, J. R. Janeway, A. C. Linnirud, B. Robertson, and R. Valentino: Effect of walking on body composition and cardiovascular function of middle-aged men. *J. Appl. Physiol.* 30 (1) 126—130, 1971.
- 42) ラインデル: インターバルトレーニング, 東京オリンピックスポーツ科学研究報告. 1965.
- 43) Schneider, E. C.: A comparison of some respiratory and circulatory reactions of athletes and non-athletes. *Am. J. Physiol.* 136: 165—170.
- 44) Siegel, W., G. Blomqvist, J. M. Mitchell: Effect of a quantitated Physical training program on middle-aged sedentary men. *Circulation*. XLI: 19—29, 1970.
- 45) 進藤宗洋, 田中宏暁, 小原史朗, 徳山郁夫: 中高年者の自転車エルゴメーターによる 50% $\dot{V}O_2$ max 強度の 60 分間トレーニング. 体育科学 2: 139—152, 1974.
- 46) 山岡誠一, 辻田純三, 平川和文: 中高年者に対する持久性のトレーニング効果ならびに持久能評価尺度相互間の関係. 体育科学 3: 22—30, 1975.
- 47) 山本高司, 沼尻幸司: 中等度トレーニング負荷が呼吸循環機能におよぼす影響. 体育科学 4: 111—114, 1976.