

最大及び最大下作業中の非鍛練者と 鍛練者の生理的反応の相違 (I)

—呼吸機能について—

山 地 啓 司

The Physiological Responses to Maximal and Submaximal Work on Non-athletes and Athletes (I)

……with special reference to respiratory functions……

Keiji Yamaji

(Dept. of Physical Education, Faculty of Education, University of Tokyo)

The present study was intended to investigate the work capacity of the athletes (middle- and long-distance runners) in comparison with the sedentary persons from the view point of respiratory functions. The work was given to the subjects on a bicycle ergometer with the progressively increasing load up to nearly the maximal level $\dot{V}O_2$, \dot{V}_E , V_T and D_{Lco} were determined during submaximal and maximal work on non-athletes and athletes. To determine pulmonary diffusing capacity (D_{LCO}), Filley's steady state method was used. The subjects were 10 ordinary healthy males (aged 29~32 years), and 6 trained middle- and long-distance runners (aged 20~25 years).

The results obtained in this study were as follows;

- 1) $\dot{V}O_2$ for non-athletes was always greater than that for athletes at the same work intensity. The mean value of maximal oxygen uptake for athletes was significantly greater than that for non-athletes.
- 2) Pulmonary ventilation (\dot{V}_E), respiratory rate (RR) and tidal volume (V_T) for non-athletes were always greater than those for athletes at the same $\dot{V}O_2$. In other words, respiratory efficiency for athletes was higher than that for non-athletes.
- 3) Pulmonary diffusing capacity (D_{Lco}) for athletes was always larger than that for non-athletes at the same work intensity.

目 次

英文抄録

I. 緒論

II. 方法

III. 結果

1. 作業強度と $\dot{V}O_2$
2. $\dot{V}O_2$ と \dot{V}_E 及び \dot{V}_A
3. $\dot{V}O_2$ と酸素摂取率 (O_2R)
4. 呼吸数 (RR) と一回換気量 (V_T)

5. 肺拡散容量 (D_{Lco})

6. % of max $\dot{V}O_2$ と \dot{V}_E 及び O_2R

IV. 考察

V. 要約

VI. 引用文献

I 緒論

作業強度の増加とともに筋の活動は高まり、呼吸・循

環機能の活動は促進される。この呼吸・循環機能の活動水準の指標としては酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$) が採用されている。Holmgren (1967)⁽⁴⁰⁾ は $\dot{V}O_2$ には数多くの因子がきわめて複雑な相互依存の関係を保ちながら関与しているものとし、それらの因子を以下のごとく列挙している。(1)換気系：換気量 (\dot{V}_E)、肺活量 (VC)、全肺容量 (TLC)、残気量 (FRC)、一秒量 (FEV_{1.0})、40秒間の最大換気量 (MVV₄₀) (2)肺容量拡散 (D_{Lco})、(3)心臓血管系：総ヘモグロビン量 (THb)、血液量 (BV)、心臓容積 (HV)、心拍出量 (\dot{Q})、一回拍出量 (SV) (4)組織拡散容量 (D_{Tco})、(5)組織量：身長 (Ht)、体重 (Wt)、体表面積 (BSA) 等である。以上の諸因子は物理的に等しい仕事を行なっても、個人の持つ作業能によって $\dot{V}O_2$ に関与する程度が異なってくる。例えば、Grimby (1969)⁽⁴¹⁾ は同一量の酸素を摂取する時、非鍛練者が鍛

練者に比較して \dot{V}_E が大きいことを報告している。

本研究は物理的に同一強度の運動を行なう時あるいは同一量の酸素を摂取する時の呼吸機能の活動水準の相違について、一般成人 (非鍛練者) と全身持久性に優れた能力を持っていると思われる中、長距離選手 (鍛練者) とを比較検討しようとするものである。

表 I 被検者の体格

		n	Age (years)	Height (cm)	Weight (kg)	Surface area (m ²)
Non-Athletes	mean	10	26.1	166.5	62.9	1.68
	S. D		3.1	11.6	16.0	0.38
Athletes	mean	6	22.0	170.8	60.5	1.72
	S. D		1.8	5.7	3.0	0.01

表 2 非鍛練者及び鍛練者の max $\dot{V}O_2$ (l/min 及び ml/kg·min), RR (f/min), V_T (l)

			Rest	Work (kgm/min)									Max. work
				180	360	540	720	900	1080	1260	1440	1620	
max $\dot{V}O_2$ (l/min)	Non-athletes	n	10	10	10	10	10	10	9	7	5		10
		\bar{X}	0.25	0.74	1.07	1.36	1.60	2.03	2.53	2.79	2.88		2.72
	S. D.	0.04	0.15	0.11	0.13	0.12	0.15	0.37	0.19	0.26		0.42	
	Athletes	n	6	6	6	6	6	6	6	6	6	5	6
\bar{X}	0.28	0.63	0.92	1.13	1.48	1.81	2.13	2.52	3.01	3.20	3.07		
S. D.	0.04	0.03	0.03	0.02	0.13	0.16	0.16	0.06	0.32	0.19	0.21		
max $\dot{V}O_2$ (ml/kg·min)	Non-athletes	n	10	10	10	10	10	10	9	7	5		10
		\bar{X}	4.02	11.8	17.1	21.8	25.7	32.5	40.2	45.4	45.5		43.4
	S. D.	0.7	2.2	2.1	2.6	3.1	3.5	3.4	3.5	1.7		6.4	
	Athletes	n	6	6	6	6	6	6	6	6	6	5	6
\bar{X}	4.7	10.5	15.2	18.7	23.3	28.0	35.2	41.7	49.8	52.5	51.0		
S. D.	0.4	1.0	1.3	1.3	3.1	2.4	2.4	1.8	4.5	3.4	5.0		
RR (f/min)	Non-athletes	n	10	10	10	10	10	10	9	7	5		10
		\bar{X}	16.1	29.0	27.2	29.3	30.6	34.4	35.9	41.1	51.2		50.8
	S. D.	0.7	13.6	9.9	5.6	10.3	9.6	8.5	10.9	8.6		8.4	
	Athletes	n	6	6	6	6	6	6	6	6	6	5	6
\bar{X}	15.3	21.7	24.2	23.0	22.5	27.5	30.5	30.2	35.8	45.0	50.0		
S. D.	4.8	4.7	17.3	6.5	4.0	16.2	1.0	6.1	10.8	7.0	10.6		
V _T (l)	Non-athletes	n	10	10	10	10	10	10	9	7	5		10
		\bar{X}	0.67	1.00	1.36	1.42	1.73	2.01	2.33	2.47	2.30		2.14
	S. D.	0.20	0.27	0.34	0.31	0.32	0.23	0.24	0.44	0.13		0.46	
	Athletes	n	6	6	6	6	6	6	6	6	6	5	6
\bar{X}	0.76	0.92	1.18	1.39	1.60	1.89	1.79	2.17	2.44	2.30	2.18		
S. D.	0.25	0.12	0.29	0.36	0.23	0.52	0.44	0.23	0.30	0.16	0.48		

II. 方法

被検者は健康な日本人の一般成人男子10名(23~29歳)と大学在学中の中・長距離選手6名(20~25歳)である。両グループの身体的特性を表1に示した。

作業はモナーク社製自転車エルゴメーターで行なった。最大下作業の生理的強度の決定に当っては、一定負荷法(0.5 kp, 1.0 kp, 1.5 kp, 2.0 kp……)で5分間運動を行なわせ、運動開始後4分から5分までの1分間の呼気をDouglas bag法で採集し、その時の酸素摂取量とした。各負荷は5分間続けられなくなる負荷までを0.5 kpずつ増加した。最大作業能力の決定に当っては4~7分でall-outになるように最初の負荷を定め、1分ごとの0.5 kpの漸増負荷法で行なった。採気はall-out 2~3分前から行ない、最大酸素摂取量(max $\dot{V}O_2$)を求めた。肺換気量はガスメーターで測定し、さらにBohrの公式から有効換気量($\dot{V}A$)を算出した。DLcoはFillyの公式から有効換気量($\dot{V}A$)を算出した。DLcoはFillyのsteady state法⁽⁷⁾で行なった。すべての運動のペタルの回転数はメトロノームに合わせて60 rpmとした。また、作業に先きだち、2.0 kpの負荷で3分間ウォーミングアップを行ない、3分間の休息後作業を行なった。なお、15分間の椅座の後最大下及び最大作業の時と同様の項目について測定し、安静時の値とした。

III. 結果

1. 作業強度と $\dot{V}O_2$

非鍛練者及び鍛練者の $\dot{V}O_2$ は作業強度の低い間は強度に比例して増加するが、作業強度が高くなると徐々に定常状態になる傾向を示した(表2)。この定常状態がみられるのは非鍛練者では作業強度が低い水準(1080 kgm/min)であり、鍛練者では高い水準(1440 kgm/min)であった。また、低い作業強度の時非鍛練者と鍛練者との $\dot{V}O_2$ を同一負荷で比較すれば、非鍛練者の方が多かった。max $\dot{V}O_2$ では、鍛練者が非鍛練者よりも有意($P < 0.01$)に大きかった。

2. $\dot{V}O_2$ と $\dot{V}E$ 及び $\dot{V}A$

$\dot{V}O_2$ と $\dot{V}E$, $\dot{V}A$ は安静時から負荷の増大に対しほぼ直線的に増加するが、 $\dot{V}O_2$ のある水準から過剰換気傾向を示した(図1)。この水準は鍛練者の方の値が大きかった。また、同一量の酸素を摂取する時の呼吸機能の活動水準を非鍛練者と鍛練者について比較してみると、 $\dot{V}O_2$ が2.0 l/minの時、非鍛練者の $\dot{V}E$, $\dot{V}A$ は58 l/min, 48 l/min, 鍛練者のそれは45 l/min, 35 l/minとなり、鍛練者の方が非鍛練者よりも少ないことが認めら

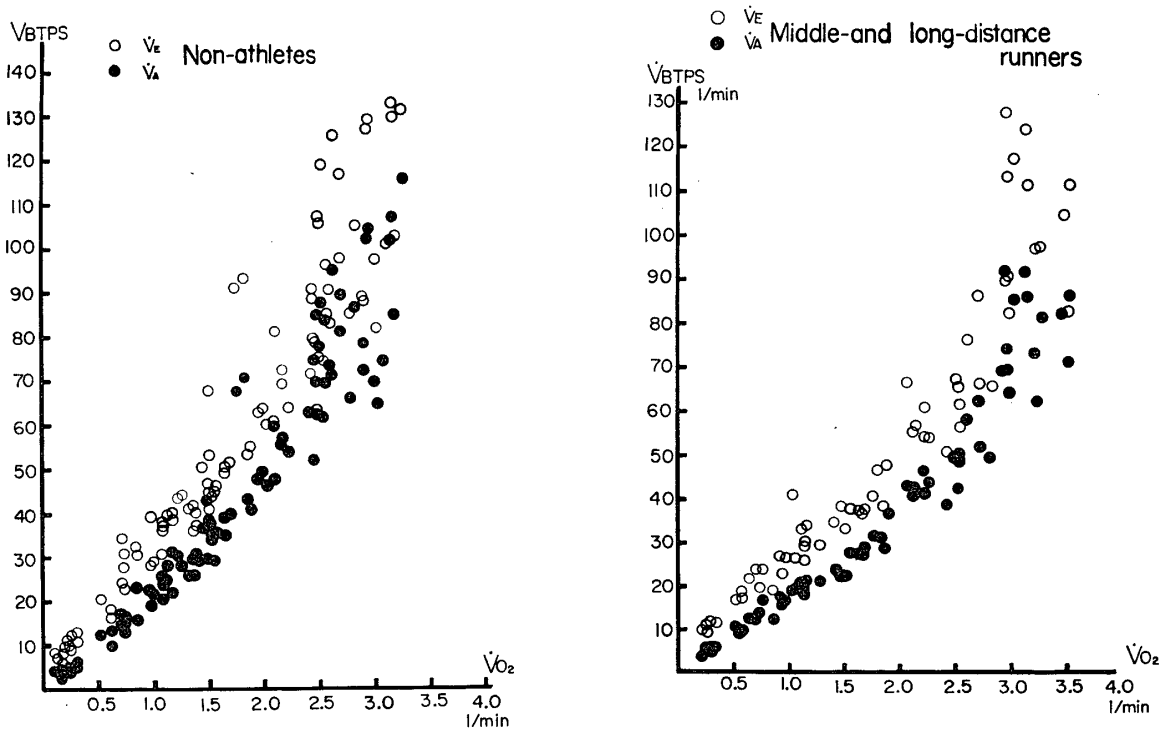


図1 非鍛練者と鍛練者の $\dot{V}O_2$ と $\dot{V}E$ 及び $\dot{V}A$ との関係

【注】 1名につき6~9個のプロットとなる。

れた。しかし、 $\max \dot{V}_E$ では両者の間には有意な差 ($P > 0.05$) が認められなかった。

3. \dot{V}_{O_2} と酸素摂取率 (O_2R)

同一量の酸素を摂取する時非鍛練者と鍛練者の O_2R を比較すると鍛練者の O_2R は非鍛練者の O_2R よりも高いことが認められた (図2)。非鍛練者の O_2R は \dot{V}_{O_2} が 1.36 l/min の時 41.4 ml/l と一番高く、鍛練者では 1.81 l/min の時 50.5 ml/l と最高値を示した。また、最大作業中の O_2R においても、非鍛練者が 31.8 ml/l 、鍛練者が 35.9 ml/l となり、鍛練者の方が高い値を示した。

4. 呼吸数 (RR) と一回換気量 (V_T)

RR は個人差が著しく平均値のみで比較することは危険ではあるが、物理的に等しい強度の作業では鍛練者の RR 及び V_T が非鍛練者よりも少ない傾向を示した (表2)。また、同一量の酸素を摂取する時鍛練者の RR 及び V_T は非鍛練者よりも少ないことを認めた (表2)。

5. 肺拡散容量 (D_{LCO_2})

すべての被検者において肺胞における CO 分圧 (P_{Aco}) は \dot{V}_E の増加にもなって増加するが、 \dot{V}_E が 40 l/min を越えると定常状態が徐々に現われ、 \dot{V}_E の増加にもかかわらず増加しなくなる傾向を示した (図3)。また、非鍛練者と鍛練者の P_{Aco} を比較すると同量の \dot{V}_E では非鍛練者の方が高い傾向を示した。さらに、同一量の CO が体内に入る時、非鍛練者の P_{Aco} は鍛練者の P_{Aco} よりも高くなければならないことが認められた (図4)。 D_{Lco} は物理的作業強度及び \dot{V}_{O_2} の増加に比例して増加する傾向を示した (図5)。さらに、同一

量の酸素を摂取する時鍛練者の D_{Lco} が非鍛練者のそれよりも高いことが認められた。

6. % of $\max \dot{V}_{O_2}$ と \dot{V}_E 及び O_2R

$\max \dot{V}_{O_2}$ に対する最大下作業中の \dot{V}_{O_2} の割合、すなわち相対的酸素摂取量 (% of $\max \dot{V}_{O_2}$) と \dot{V}_E との関係において、非鍛練者との鍛練者との間に差が認められない (図6)。さらに、80% of $\max \dot{V}_{O_2}$ まで直線関係が認められるが、以後過剰換気の傾向を示した。

非鍛練者の \dot{V}_{O_2} が最大の 30~80% の時 O_2R は約40

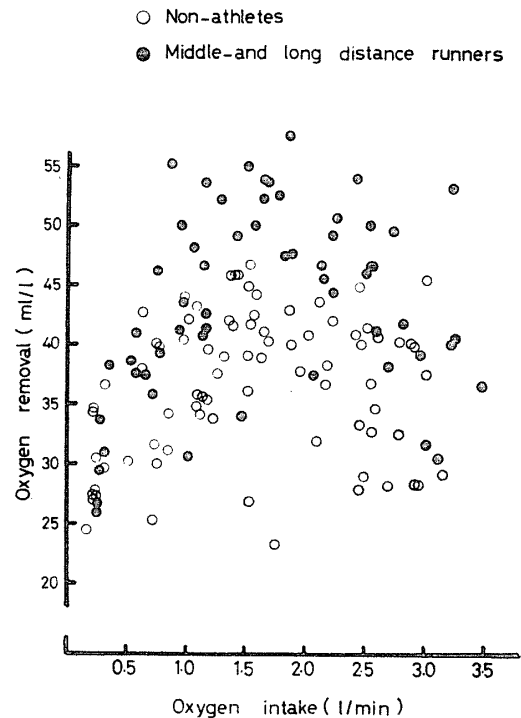


図2 非鍛練者と鍛練者の \dot{V}_{O_2} と O_2R との関係

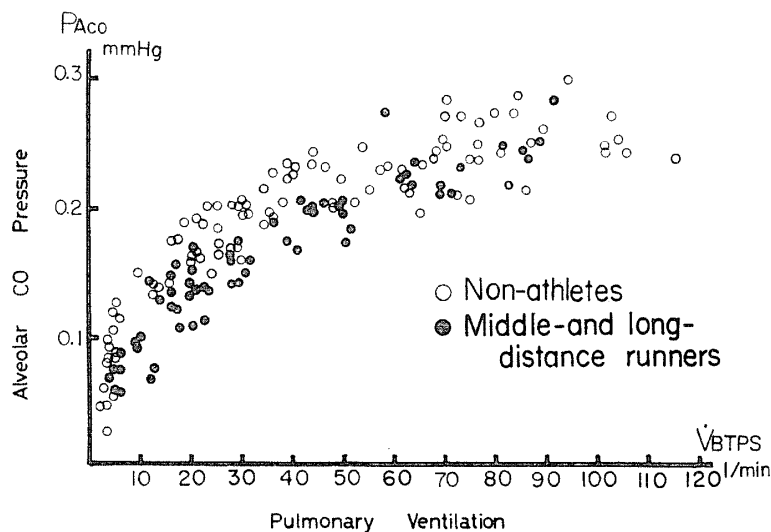


図3 非鍛練者と鍛練者の \dot{V}_E と P_{Aco} との関係

ml/l を示した。鍛練者では% of max $\dot{V}O_2$ が30~70%の時 O_2R は約 50 ml/l を示した。さらに、同一の% of max $\dot{V}O_2$ の時非鍛練者の O_2R よりも鍛練者の O_2R が高いことを認めた。

IV. 考察

運動強度の増加とともにエネルギー代謝量は増加するが、それは年齢、個人の持つ作業能等によって増加の傾向が変わってくる (Wilmore たち, 1967⁽¹⁷⁾, Douglas たち, 1968⁽⁶⁾)。本研究において、物理的な同一作業強度における $\dot{V}O_2$ は鍛練者の方が非鍛練者よりも少ないこ

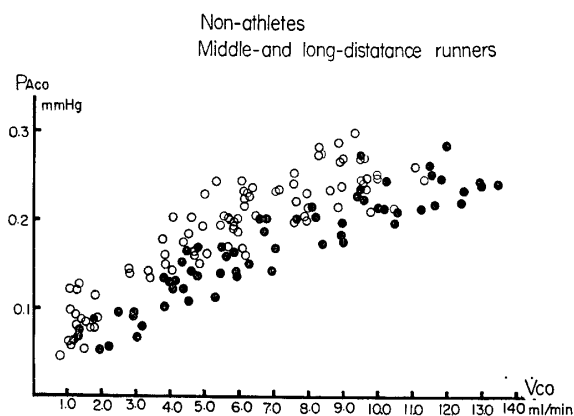


図4 非鍛練者と鍛練者の $\dot{V}CO_2$ と P_{ACO_2} との関係

とを認めた。さらに、 $\dot{V}O_2$ を決定する諸因子のうち呼吸機能の活動水準においても両者に差のあることが認められた。

\dot{V}_E は呼吸機能の活動水準の指標としてこれまで採用されてきた。量的にみれば、 \dot{V}_E はRRと V_T の積によって決定される。また、質的にみれば、 \dot{V}_E は肺におけ

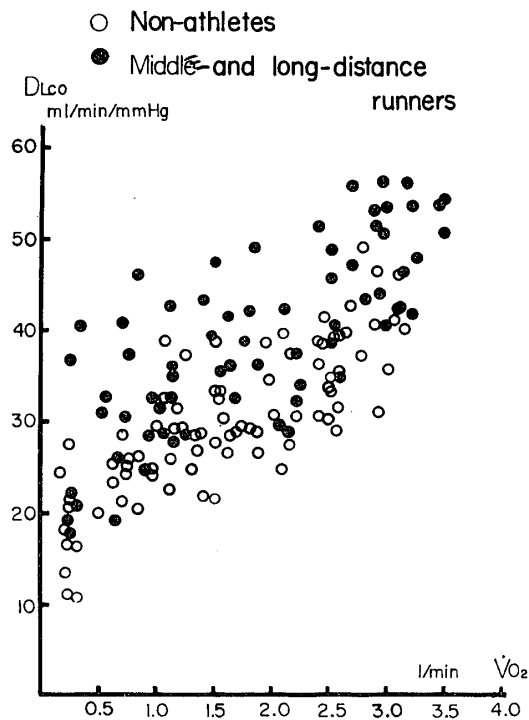


図5 非鍛練者及び鍛練者の $\dot{V}O_2$ と D_{LCO} との関係

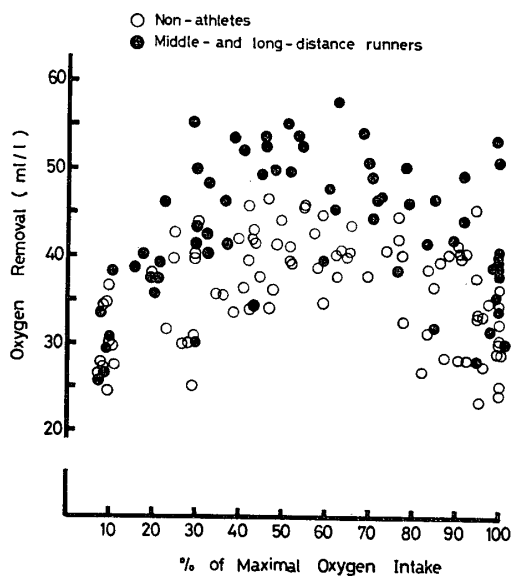
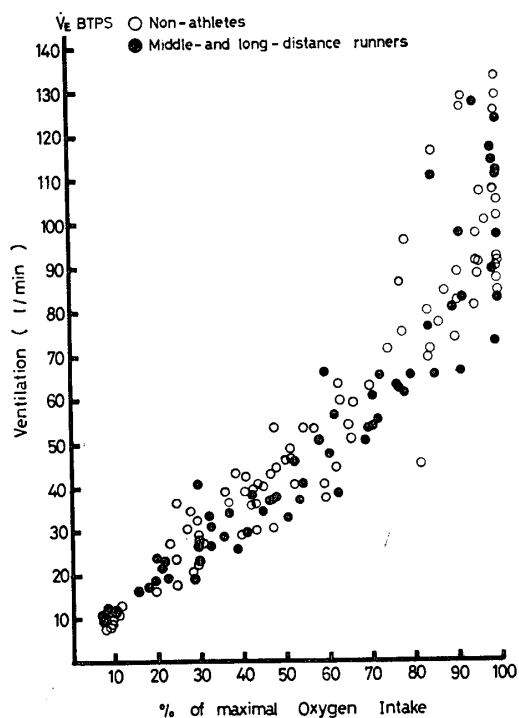


図6 非鍛練者及び鍛練者の% of max $\dot{V}O_2$ と \dot{V}_E , O_2R との関係

るガス交換に直接関与している部分 (\dot{V}_A) とガス交換に直接関与していない部分 (無効換気量: \dot{V}_D) とに分けられる。この \dot{V}_A と \dot{V}_D を決定するのは呼吸の深さによるものと考えられる。本研究において、同一量の酸素を摂取する時鍛練者は非鍛練者に比較して少ない \dot{V}_E 及び \dot{V}_A でよいことが認められた。この結果は Grimby (1962)⁽⁶⁾ の報告と一致している。Nielsen (1936)⁽¹³⁾ は非鍛練者の呼吸に要するエネルギー量を算出している。これによると、呼吸に要するエネルギー量は \dot{V}_E が 60 l/min の時全エネルギー量の 4%, 110~120 l/min の時 9% であると述べている。この値を本研究結果にあてはめ呼吸筋以外で消費される酸素量を求めると、 \dot{V}_E が 60 l/min 及び 110~120 l/min の時非鍛練者は約 1.7 l/min 及び 2.5 l/min となった。一方、鍛練者に Nielsen (1936)⁽¹³⁾ の値を直接採用することはできないが、鍛練者の呼吸の効率が著しく悪いと仮定してそのまま採用してみると約 2.3 l/min と 3.0 l/min となる。従って、同一量の \dot{V}_{O_2} の時非鍛練者と鍛練者との \dot{V}_E の相違は単に呼吸に要するエネルギー量の相違だけによるものではないものと推察される。

% of max \dot{V}_{O_2} と \dot{V}_E との関係では鍛練者と非鍛練者との間にほとんど差が認められなかった。両者の % of max \dot{V}_{O_2} が 80% を越えると過剰換気が出現することから、呼吸機能からみた至適な作業の上限は max \dot{V}_{O_2} の 80% と考えられる。これは朝比奈たち (1971)⁽¹¹⁾ の見解と一致するものである。

\dot{V}_{O_2} は \dot{V}_E と O_2R によって決定される。本研究において、同一量の酸素を摂取する時鍛練者の O_2R は全体的に非鍛練者よりも高い。これは先述したように、同一量の酸素を摂取する時非鍛練者の \dot{V}_E が鍛練者よりも高いことからもうなずける。猪飼たち (1966)⁽¹¹⁾ は長距離走者が一般成人よりも走時の O_2R が高いことを認めている。この報告は本研究結果と一致するものである。

同一の % of max \dot{V}_{O_2} の時鍛練者の O_2R は非鍛練者よりも高い傾向を示した。この事は、鍛練者の呼吸効率が非鍛練者よりも優れていることを示唆している。呼吸効率は呼吸様式と肺胞におけるガス交換とによって左右されるものと考えられる。

呼吸様式は個人によって著しく異なってくるものと考えられる。本研究の RR には大きなバラッキがある (表 2)。この RR の平均値で鍛練者と非鍛練者とを比較することは危険であるが、全体的にみて物理的に等しい強度の作業では非鍛練者の RR が鍛練者よりも多い傾向を示すが、 V_T では両者の間にほとんど差がない。また、同一量の酸素を摂取する時鍛練者は非鍛練者より

も \dot{V}_E , RR 及び V_T が高い。従って、非鍛練者は等しい量の酸素を摂取するために鍛練者よりも RR 及び V_T を高めることによって \dot{V}_E を増加させているものと考えられる。

\dot{V}_E の増大は肺胞の O_2 分圧 ($P_{A_{O_2}}$) を高め、一方において、肺胞の CO_2 分圧 ($P_{A_{CO_2}}$) を低下させている。Asmussen (1969)⁽²⁾, 筆者たち (1972)⁽¹⁹⁾ は最大及び最大作業に近い作業では十分な換気にとまらぬ $P_{A_{CO_2}}$ の上昇にもかかわらず、肺の酸素の血液への拡散が充分行なわれていないことを報告している。さらに、同一量の酸素を摂取する時非鍛練者の $P_{A_{O_2}}$ が鍛練者よりも高い傾向を認めている。

肺胞の酸素分圧の高まりは酸素の血液中への拡散を容易にするものと考えられる。本研究では、 $P_{A_{O_2}}$ を適確に把握するために $P_{A_{CO_2}}$ を調べた。 $P_{A_{CO_2}}$ は $P_{A_{CO_2}}$ から Bohr の公式より算出したものである。同一量の \dot{V}_E の時非鍛練者の $P_{A_{CO_2}}$ は鍛練者よりも高い (図 3)。また、同一量の一酸化炭素を摂取する時鍛練者の $P_{A_{CO_2}}$ が非鍛練者のそれよりも高い (図 4)。従って、 $D_{L_{CO}}$ が CO 摂取量を $P_{A_{CO_2}}$ で除した商であることから、鍛練者の $D_{L_{CO}}$ は非鍛練者よりも高いものと推察される。すなわち、肺胞における CO 分圧が鍛練者では低いにもかかわらず、同一量の CO が血液の中へ拡散していることを示している。

$D_{L_{CO}}$ は \dot{V}_{O_2} と比例して増加することが明らかとなった。また、同一量の酸素を摂取する時鍛練者の $D_{L_{CO}}$ は非鍛練者よりも高いことを認めた。この結果は Banister たち (1960)⁽⁹⁾ の報告と一致するものである。

同一量の酸素を摂取する時非鍛練者の \dot{V}_E は鍛練者よりも高く、一方、 O_2R 及び $D_{L_{CO}}$ は鍛練者の方が非鍛練者よりも高い。この事は、鍛練者の肺胞に取り入れた酸素の拡散が非鍛練者よりもより容易に行なわれていることによるものと考えられる。この拡散を容易にしているのは肺胞膜の拡散 (D_M) と肺毛細管血量 (V_C) によるものと推察される。Reddan たち (1963)⁽¹⁶⁾ は運動選手の $D_{L_{CO}}$ が高いのは D_M と V_C に原因していると報告している。また、DeGraff たち (1965)⁽⁶⁾ は高地民族の D_M が平地民族よりも大きいことを報告している。山地たち (1971)⁽²¹⁾ は同一量の酸素を摂取する時、中距離選手の D_M 及び V_C が一般成人よりも高いことを認めている。従って、本研究 鍛練者の肺における酸素の拡散を容易にしているのは鍛練者の D_M 及び V_C が大きいことに起因しているものと推測される。

これまで多くの研究者によって、全身持久性の限界因子の追求がなされてきた。例えば、Nielsen (1936)⁽¹³⁾,

Otis たち (1954)⁽¹⁴⁾ は all-out 直前の \dot{V}_E の急激な増加が呼吸増加にともなう呼吸筋の酸素消費の増加に必要な \dot{V}_E よりもはるかに大きいことから、 \dot{V}_E が限界因子として考えられないとしている。Newman たち (1962)⁽¹²⁾、Pirnay たち (1969)⁽¹⁵⁾ は \dot{V}_{O_2} と D_{Lco} との間に直線関係が成り立つことから、 D_{Lco} が限界因子と考えられないとしている。しかし、Dill たち (1930)⁽⁹⁾ は動脈血酸素分圧 (P_{aO_2}) が強度の作業によって低下することから、肺における拡散の不充分さを挙げている。本研究において、非鍛練者の \dot{V}_E が充分にもかかわらず酸素が血液へ移行しない現象が認められた。鍛練者に比べ、非鍛練者の酸素が血液移行するのをさまたげているのは、拡散面積、肺胞膜の透過性、肺毛細血管量、心拍出量及び THb 量等によるものと推察されるが、この点に関してはまだ明らかでない。

V. 要約

一般成人男子10名(非鍛練者)と中・長距離選手6名(鍛練者)について、最大及び最大下作業中の吸呼機能の活動水準を測定した。その結果、

- (1) 物理的に同一作業負荷の時非鍛練者は鍛練者よりも多くの \dot{V}_{O_2} が必要である。さらに、作業強度の増加に比例して \dot{V}_{O_2} は増加するが、ある水準を越えると \dot{V}_{O_2} に定常状態の傾向を示した。このある水準は非鍛練者に早く出現し、鍛練者に遅く出現する傾向を認めた。
 - (2) 同一量の \dot{V}_{O_2} の時、鍛練者は非鍛練者に比較して \dot{V}_E 及び \dot{V}_A が少ない事を認めた。
 - (3) 従って、同一量の \dot{V}_O 時鍛練者の O_2R は非鍛練者よりも高いことが認められた。
 - (4) 同一物理的負荷作業及び同一量の \dot{V}_{O_2} の時非鍛練者の \dot{V}_E , RR 及び V_T は鍛練者よりも高い。
 - (5) D_{Lco} は物理的作業強度及び \dot{V}_{O_2} の増加に比例して増加する傾向を示した。さらに、同一量の \dot{V}_{O_2} の時、鍛練者の D_{Lco} が非鍛練者のそれよりも高いことを認めた。
 - (6) 最大作業では鍛練者の $\max \dot{V}_{O_2}$, O_2R , D_{Lco} は非鍛練者のそれらよりも高い。しかし、 \dot{V}_E , \dot{V}_A , RR, V_T ではほとんど両者の間に差が認められなかった。
 - (7) % of $\max \dot{V}_{O_2}$ と \dot{V}_E との関係において、非鍛練者と鍛練者との間に差が認められないが、% of $\max \dot{V}_{O_2}$ に対する鍛練者の O_2R は非鍛練者のそれよりもわずかに高い傾向が認められた。
- 以上の結果から、

物理的に同一作業強度及び同一量の \dot{V}_{O_2} の時、非鍛練者の呼吸機能の中で \dot{V}_E , RR 及び V_T は鍛練者よりも高いことから、肺レベルから循環レベルへの酸素移行のために、非鍛練者は鍛練者に比較して量でおきなっているものと推察される。また、% of $\max \dot{V}_{O_2}$ に対する非鍛練者の呼吸機能の活動水準は鍛練者とほとんど変わらない。従って、 $\max \dot{V}_{O_2}$ に応じた活動が呼吸機能でなされているものと推察される。

VI. 引用文献

- (1) 朝比奈一男, 浅野勝己, 草野勝彦, 砂本秀義, (1971): 作業強度の生理的基準について, 20: 190-194.
- (2) Asmussen, E., (1969): Respiration. Acta Physiol. Scand. Suppl. 330. 6.
- (3) Bannister, B. G., J. E. Cotes, R. S. Jones, and F. Meade. (1957): Pulmonary diffusing capacity on exercise in athletes and non-athletic subjects. J. Physiol. 152: 66-67.
- (4) DeGraff, A. C., R. F. Grower, J. W. Hammond, J. M. Miller, and R. L. Johnson, (1965): Pulmonary diffusing capacity in persons native to high altitude. Clin. Res. 13: 346-347.
- (5) Dill, D. B., J. H. Jalbott, and H. T. Edwards, (1930): Studies in muscular activity. J. Physiol. 69: 267-305.
- (6) Douglas, F. G. V., and M. R. Becklake, (1968): Effect of seasonal training on maximal cardiac output. J. Appl. Physiol. 25: 600-605.
- (7) Filley, G. F., D. J. MacIntosh, and G. W. Wright, (1954): Carbon monoxide uptake and pulmonary diffusing capacity in normal subjects at rest and during exercise. 33: 530-539.
- (8) Grimby, G., (1952): Exercise in man during pyrogen-induced fever. Scand. J. Clin. Lab. Invest. Suppl. 67, 1-112.
- (9) Grimby, G., (1969): Respiration in exercise. Med. and Sci. in Sports. 1: 9-14.
- (10) Holmgren, A., (1967): Cardiorespiratory determinants of cardiovascular fitness. Canad. Ass. J. 96: 679-702.
- (11) 猪飼道夫, 江橋慎四郎, 加賀谷黒彦たち, (1955): 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2報, 体育学研究. 8: 61-71.
- (12) Newman, F., B. F. Smalley, and M. L. Johnson, (1962): Effect of exercise, body and lung size on CO diffusion in athletes and non-athletes. J. Appl. Physiol. 17: 649-655.
- (13) Nielsen, M., (1936): Die Respirationsarbeit bei Korperruhe und bei Muskelarbeit. Skand. Arch. Physiol. 74: 299-316.
- (14) Otis, A. B., (1936): The work of breathing. Physiol. Rev. 34: 449-458.
- (15) Pirnay, F., A. Fassotte, J. Gazon, R. Peroanne, et J. M. Petit, (1969): Diffusion Pulmonaire au cours de l'exercice musculaire. Int. Z. Angew. Physiol. 26:

31-37.

- (16) Reddan, W., F. Bongiorno, J. Burpee, P. Reuschlein, B. Gee, J. Rankin, (1963) : Pulmonary function in endurance athletes. *Feder. Proce.* 22 : 396.
- (17) Wilmore, J. H. and P. O. Sigerseth, (1967) : Physical work capacity of young girls, 7~13 years of age. *J. Appl. Physiol.* 22 : 923-928.
- (18) 山地啓司, 猪飼道夫, (1971) : 作業中の肺胞膜拡散能

力 (DM) と肺毛細管血量 (VC) について, 第25回日本体力医学会総会報告書. p. 32.

- (19) 山地啓司, 猪飼道夫, (1972) : 有酸素的作業能の一因子としての肺拡散容量, *体育学研究* 17 : 7-16.