

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 (Ⅱ)

—循環機能について—

山 地 啓 司

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

……with special reference to circulatory functions……

Keiji Yamaji

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

It has been suggested that cardiac output is an important factor in oxygen transport system to determine the magnitude of oxygen uptake. Cardiac output occupies a central position in the discussion of oxygen transport from the lungs to the tissues in exercise.

This study was conducted to determine max \dot{V}_{O_2} cardiac output (\dot{Q}), stroke volume (SV), heart rate (HR) and arterio-venous oxygen differences ($A\bar{V}O_2D$) during submaximal and maximal work on non-athletes and athletes. Cardiac output was measured by CO_2 method. The subjects were 10 ordinary healthy males (aged 23~29 years), and 6 trained middle-and long-distance runners (aged 20~25 years). The following results were obtained.

- 1) At submaximal work, athletes showed greater \dot{Q} and SV than those in non-athletes at the same level of \dot{V}_{O_2} . $A\bar{V}O_2D$ for athletes were smaller than that for non-athletes.
- 2) At maximal work, athletes had significantly greater max \dot{V}_{O_2} , max \dot{Q} and max SV than those in non-athletes.

In previous study (20), it was found that athletes had lower values for \dot{V}_E , V_T and RR than those for non-athletes at the same work intensity. While, in turn DL_{CO} was larger on athletes. Namely, athletes had higher qualitative capacity of respiratory function on lung level.

From those data on this report, it would be said that athletes had greater quantitative capacity (\dot{Q} , SV) for oxygen transport both during submaximal and maximal work than those of non-athletes.

目 次

英文抄録

I. 緒論

II. 方法

III. 結果

1. \dot{V}_{O_2} と \dot{Q}
2. \dot{V}_{O_2} と HR

3. \dot{V}_{O_2} と SV

4. \dot{V}_{O_2} と $A\bar{V}O_2D$

5. % of max \dot{V}_{O_2} と \dot{Q} , SV, $A\bar{V}O_2D$

6. % of max \dot{V}_{O_2} と % of max \dot{V}_E , % of max DL_{CO} , % of max \dot{Q}

IV. 考察

V. 要約

VI. 引用文献

I. 結論

酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$) に関与する因子のうち、循環機能の働きについては多くの研究者によって明らかにされてきた。例えば、Åstrand たち (1964)⁽²⁾、猪飼たち (1967)⁽¹⁰⁾ は最大及び最大下作業中の $\dot{V}O_2$ と心拍出量 (\dot{Q})、一回拍出量 (SV)、心拍数 (HR) 及び動静脈酸素較差 ($A\bar{V}O_2D$) との間の関係を明らかにしている。また、Ekblom たち (1968)⁽⁴⁾ は心臓容積 (HV) と $\max \dot{V}O_2$ との間、Åstrand (1956)⁽¹⁾、堀居たち (1971)⁽⁷⁾ は総ヘモグロビン (THb) と $\max \dot{V}O_2$ との間に密接な関係があることを報告している。

山地たち (1973)⁽²⁰⁾ は一般成人 (非鍛練者) と中・長距離選手 (鍛練者) が同一量の酸素を摂取する時の呼吸機能の活動状態を比較検討をしている。その中で、同一量の酸素を摂取する時、鍛練者の肺換気量は非鍛練者よりも少ないことを明らかにしている。その原因として、肺拡散容量 (DL_{CO}) の相違とみなした。 DL_{CO} は呼吸系因子と同時に循環系因子によって左右される。特に肺毛細管血量 (VC) の増大が血液への酸素の拡散を容易にしているものと考えられている。

そこで本研究は先の報告と同一被検者について、物理的に同一の作業強度及び同一量の $\dot{V}O_2$ の時の \dot{Q} , HR, SV, $A\bar{V}O_2D$ 等の循環系諸因子との関係を見ることによって、 $\max \dot{V}O_2$ を制限している原因の所在を探求しようとするものである。

II 方法

被検者は本研究 (I)⁽²⁰⁾ と同一の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。最大及び最大下作業はすべて前報と同じであった。心拍出量は CO_2 法⁽¹²⁾ で運動後ただちに測定された。

III 結果

1. $\dot{V}O_2$ と \dot{Q}

$\dot{V}O_2$ と \dot{Q} との関係において、非鍛練者の場合 $\dot{V}O_2$ が 2.0 l/min に達するまで、 \dot{Q} はほぼ直線的に増加するが、以後、 $\dot{V}O_2$ の増加にもかかわらず \dot{Q} の増加率は低下する傾向を示した。一方、鍛練者の場合はその変移

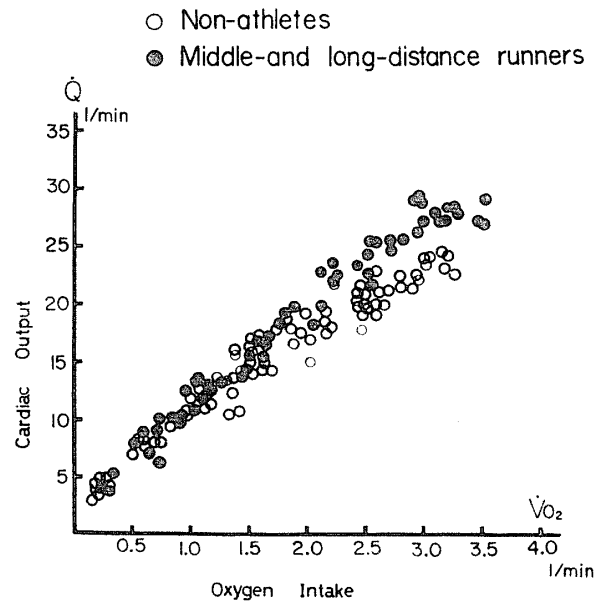


図1 非鍛練者及び鍛練者の $\dot{V}O_2$ と \dot{Q} との関係

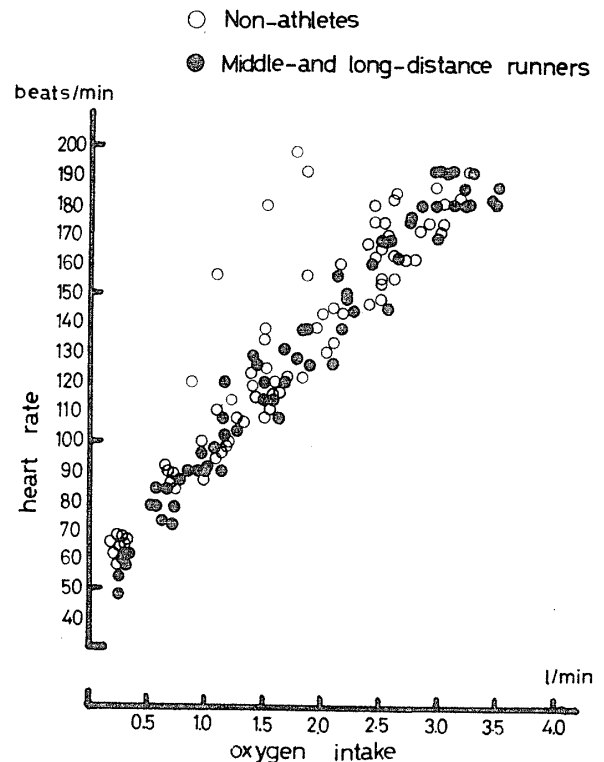


図2 非鍛練者及び鍛練者の $\dot{V}O_2$ と HR との関係

点が $\dot{V}O_2$ の 2.5~3.0 l/min とやや多い傾向を示した。従って、 $\dot{V}O_2$ が 2.0 l/min 以上では $\dot{V}O_2$ の増加につれて、鍛練者の \dot{Q} は非鍛練者よりも高い傾向を示した。最大作業中の \dot{Q} は鍛練者が 28.1 l/min となり、非鍛練者の 21.5 l/min よりも高かった。

2. $\dot{V}O_2$ と HR

HR は $\dot{V}O_2$ の増加とともに直線的に上昇する傾向を

示した(図2)。そして、同一量の酸素を摂取する時、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。しかし、物理的に同一強度での作業中のHRは非鍛練者が鍛練者よりも高い傾向を示した。また、最大作業中の鍛練者の心拍数は非鍛練者よりも高い傾向を示した。

3. $\dot{V}O_2$ と SV

SV は $\dot{V}O_2$ の増加につれて増加するが、その増加率は軽い強度の作業の時大きく、強度が高まるにつれて徐々に小さくなる傾向を示した(図3)。非鍛練者では $\dot{V}O_2$ が 1.5 l/min の時、鍛練者では 2.0 l/min ごろから SV に定常状態の傾向が認められた。同一量の酸素を摂取する時、鍛練者の SV は非鍛練者よりも大きいことが認められた。

4. $\dot{V}O_2$ と $A\bar{V}O_2D$

$\dot{V}O_2$ の増加につれて $A\bar{V}O_2D$ は増加するが、その増加率は軽い負荷の時大きく、負荷が増加するに従って徐々に低下してくる傾向を示した(図4)。 $\dot{V}O_2$ が 0.2 l/min から 1.5~2.0 l/min まで鍛練者と非鍛練者の $A\bar{V}O_2D$ との間に差が認められないが、以後、 $\dot{V}O_2$ が高まるにつれて、鍛練者の $A\bar{V}O_2D$ は非鍛練者よりも低いことを認めた。さらに、最大作業中の非鍛練者の $A\bar{V}O_2D$ は鍛練者よりも高いことを認めた。

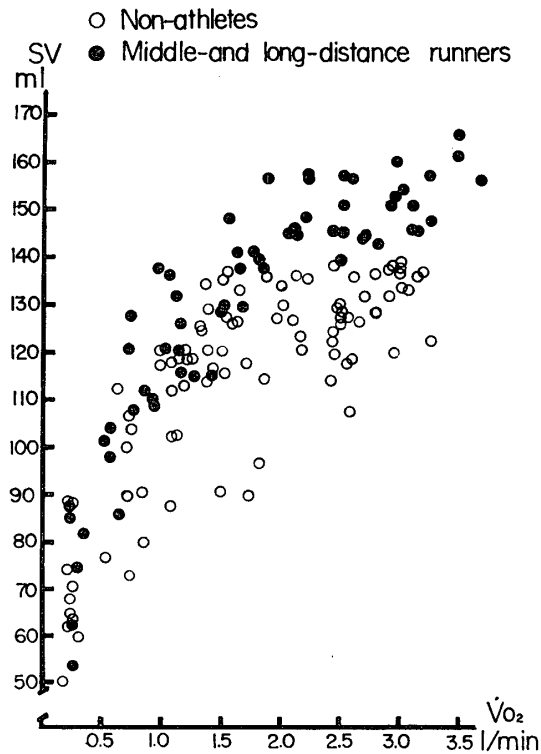


図3 非鍛練者及び鍛練者の $\dot{V}O_2$ と SV との関係

5. % of max $\bar{V}O_2$ と \dot{Q} , $S\bar{V}$, $A\bar{V}O_2D$

% of max $\dot{V}O_2$ が 40% まで鍛練者及び非鍛練者への \dot{Q} , $S\bar{V}$, $A\bar{V}O_2D$ との間に差が認められないが、40% 以上の % of max $\dot{V}O_2$ の時 \dot{Q} 及び $S\bar{V}$ は非鍛練者よりも鍛練者が、 $A\bar{V}O_2D$ は鍛練者よりも非鍛練者が高い傾向を示した(図5, 6, 7)。

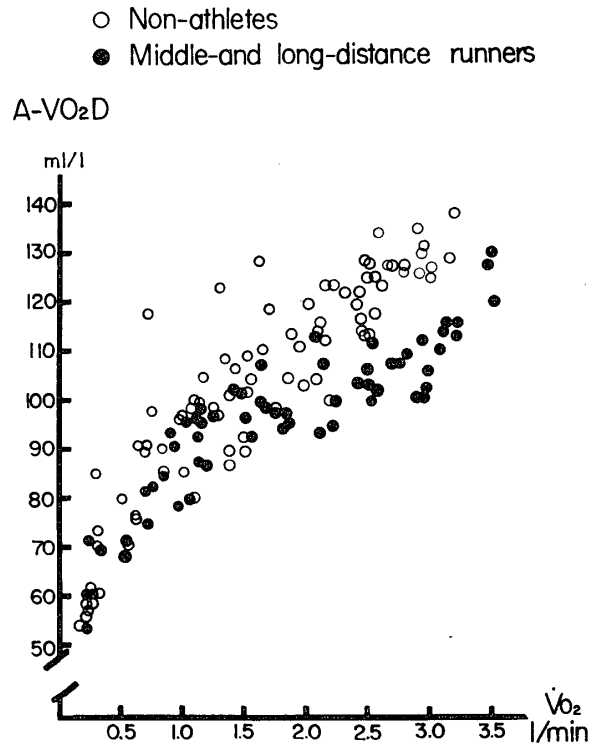


図4 非鍛練者及び鍛練者の $\dot{V}O_2$ と $A\bar{V}O_2D$ との関係

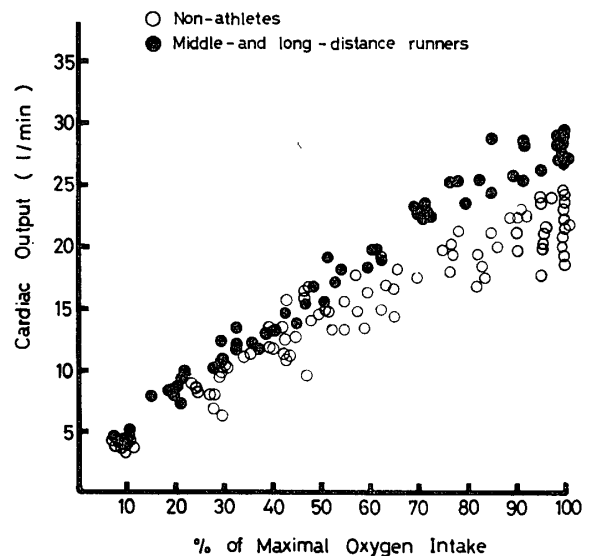


図5 非鍛練者及び鍛練者の % of max $\dot{V}O_2$ と \dot{Q} との関係

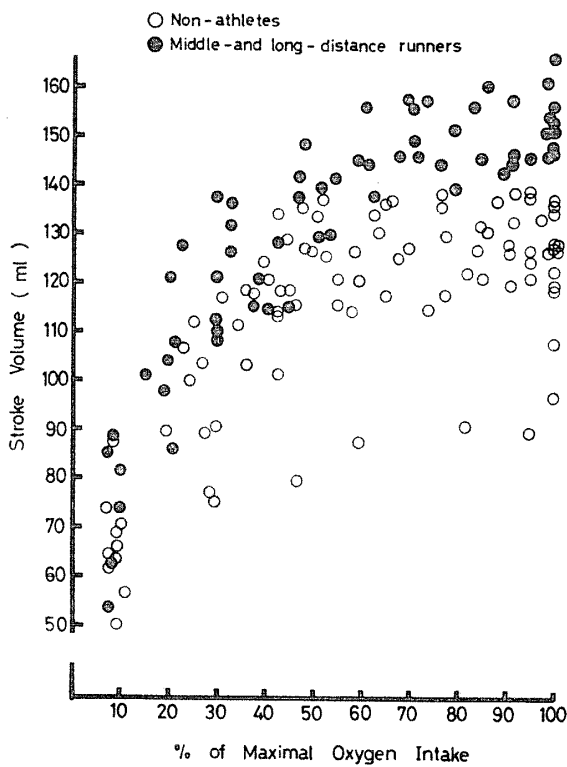


図6 非鍛練者及び鍛練者の % of max $\dot{V}O_2$ と SV との関係

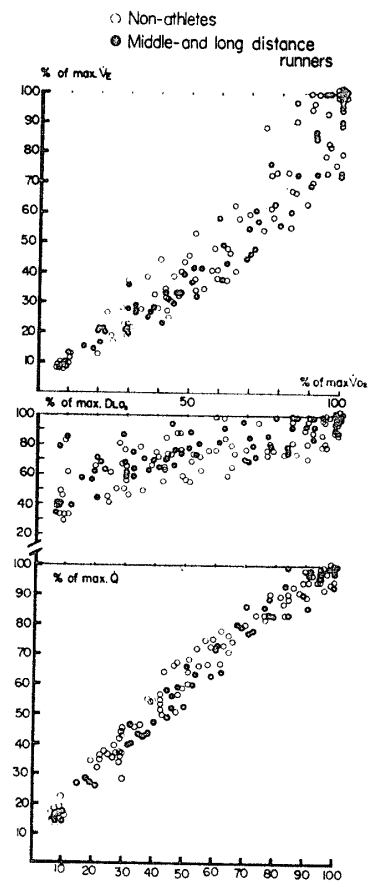


図8 非鍛練者及び鍛練者の % of max $\dot{V}O_2$ と % of max $\dot{V}E$, % of max D_{Lco} , % of max \dot{Q} との関係

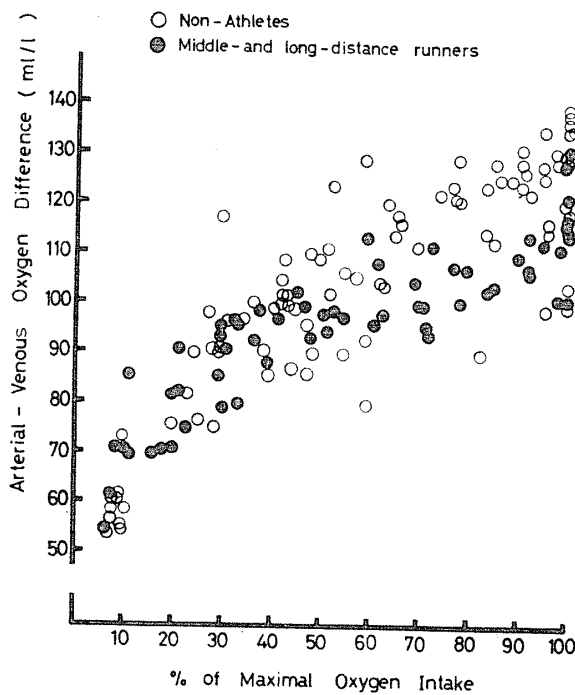


図7 非鍛練者及び鍛練者の % of max $\dot{V}O_2$ と $\bar{A}\dot{V}O_2D$ との関係

6. % of max $\dot{V}O_2$ と % of max $\dot{V}E$, % of max D_{Lco} , % of max \dot{Q}

% of max $\dot{V}O_2$ と % of max \dot{Q} 及び % of max D_{Lco} との間にはほぼ直線的な関係が認められた (図8)。% of max $\dot{V}E$ は % of max $\dot{V}O_2$ が約20%までは直線的に増加するが、以後、わずかに上向きの傾向を示した。呼吸・循環機能の主要因子の活動水準を最大に対する割合で示すと、非鍛練者と鍛練者との間にほとんど同じような曲線を描くことが認められた。

IV. 考察

物理的な作業強度の増加につれて、消費されるエネルギー量は増加する。しかし、その増加の仕方はその個人の持つ作業能によって異なってくる。本研究 (I)⁽²⁰⁾ において、物理的に同一作業を行なった時、鍛練者の $\dot{V}O_2$, $\dot{V}E$, D_{Lco} の活動水準に余裕があることを明らかにした。そこで本研究では、生理的な強度、すなわち $\dot{V}O_2$ を等しくすることによって鍛練者と非鍛練者の循環機能の相

違を明らかにしようとした。

作業強度の増加につれて心臓の活動は高まり、HR 及び SV の増加によって \dot{Q} が増加してくる。心臓から送り出される血液量の増加は肺泡毛細血管を通過する血流量を増大させ、肺泡からの酸素の拡散を高め、さらに組織への酸素運搬を容易にするものと考えられる。本研究結果は $\dot{V}O_2$ が \dot{Q} の影響を大きく受けることを明らかにした。また、非鍛練者と鍛練者の \dot{Q} は同一量の酸素を摂取する時ほぼ等しいことが認められた。しかし、 $\dot{V}O_2$ が 1.5~2.0 l/min よりも高くなると、鍛練者の \dot{Q} が非鍛練者の \dot{Q} よりも高い傾向を示した (図1)。この事は Åstrand たち (1964)⁽²⁾ の報告と一致している。従って、非鍛練者の \dot{Q} が鍛練者よりも速く最大値に到達することによって、 $\dot{V}O_2$ の増加を制限するものと考えられる。これまで、max $\dot{V}O_2$ と max \dot{Q} との間に高い相関関係があることが明らかにされている (Åstrand たち: 1964⁽²⁾, 猪飼たち: 1967)⁽¹⁰⁾。本研究においても max $\dot{V}O_2$ が高い鍛練者の最大作業中の \dot{Q} は max $\dot{V}O_2$ が低い非鍛練者よりも高いことが認められた。

本研究において、 $\dot{V}O_2$ と HR との間に直線関係が成り立つことを認めた。また SV は max $\dot{V}O_2$ の 50~60% まで急激に上昇するが、以後あまり増加しない⁽⁹⁾。 \dot{Q} は HR と SV との積によって決定されることから、max $\dot{V}O_2$ の 50~60% までは HR と SV の増加によって高められるが、以後主に HR の増加に依存しているものと考えられる。本研究における $\dot{V}O_2$ と \dot{Q} との直線関係がくずれの原因として \dot{Q} の低下が考えられ、 \dot{Q} の低下は SV の増加率の低下によるものと推察されるがこの点についてまだ明らかでない。

同一量の $\dot{V}O_2$ の時、鍛練者の HR と非鍛練者の HR との間に差が認められない。しかし、鍛練者の SV は非鍛練者の SV よりも $\dot{V}O_2$ が 1.0~1.5 l/min 以上になると高くなる。一般に、同一年齢における最大作業中の HR は鍛練者と非鍛練者に差がないことから、 \dot{Q} の大小の差は SV に依存するところが大きいと報告されている⁽⁵⁾。

鍛練者と非鍛練者の SV の相違は主に HV の相違に起因しているものと考えられる。筆者 (1973)⁽¹⁰⁾ は心臓容積 (HV) と SV 及び \dot{Q} との間に高い相関があることを認めている。さらに、非鍛練者と鍛練者の HV との間に有意な差 ($P < 0.01$) を認めている。従って、HV の増大が SV 及び \dot{Q} を高める大きな要因と考えられる。血液量だけでなく血液中の質の変化、すなわち総ヘモグロビン量の多少によっても運動が制限されるものと考えられる。堀居たち (1971)⁽¹⁰⁾ は max $\dot{V}O_2$ と総ヘモ

グロビン量 (THb) との間に高い相関があることを報告している。このことから酸素と結合し、組織へ多くの酸素を運搬する THb が非鍛練者と比較して鍛練者により多く存在するものと推察される。

$\dot{V}O_2$ は \dot{Q} と $A\bar{V}O_2D$ との積である。従って、同一量の酸素を摂取する時鍛練者の \dot{Q} が非鍛練者よりも高いことは、逆に、 $A\bar{V}O_2D$ が低いことになる。Rowell (1969)⁽¹⁶⁾ も同じ結果を報告している。しかし、Rowell (1969)⁽¹⁶⁾ は最大作業中の鍛練者の $A\bar{V}O_2D$ が非鍛練者よりも高いことを報告している。本研究では、非鍛練者の $A\bar{V}O_2D$ が 125.8 ml/l となり、鍛練者の 109.8 ml/l よりも有意 ($P < 0.01$) に高いことを認め、Rowell (1969)⁽¹⁶⁾ の報告と一致しなかった。その原因として、自転車エルゴメーターという動作様式においては鍛練者は非鍛練者よりも十分循環機能を活動させ得ないことが考えられる。例えば、Miura et al (1971)⁽¹⁴⁾ は 5,000 m を 15~16 分台で走破出来る中・長距離選手のトレッドミルでの max $\dot{V}O_2$ の平均が 60~65 ml/min·kg であると報告している。Ikai et al (1970)⁽⁹⁾ はトレッドミルでの一般成人男子の max $\dot{V}O_2$ が 49 ml/min·kg であることを報告している。これらの報告と本研究の max $\dot{V}O_2$ とを比較すると、鍛練者が 18~27%、非鍛練者が 13% 本研究の max $\dot{V}O_2$ の方が低いことになる。鍛練者は非鍛練者よりも活動様式による max $\dot{V}O_2$ の値に大きな差が生ずるものと考えられる。この結果は Hermansen たち (1969)⁽⁶⁾, Macnab たち (1969)⁽¹³⁾, Pugh (1972)⁽¹⁵⁾ らの報告と一致する。

Åstrand たち (1964)⁽²⁾ は若者の $\dot{V}O_2$ と \dot{Q} との関係を明らかにし、max $\dot{V}O_2$ の 70% まで直線的に増加することを指摘している。本研究では非鍛練者が 70~80% まで直線的に増加することを認め、Åstrand たち (1964)⁽²⁾ の報告とほぼ一致した。また、max $\dot{V}O_2$ の 50~60% まで鍛練者と非鍛練者の \dot{Q} との間にほとんど差がなく増加するが、それ以上の $\dot{V}O_2$ の時鍛練者の \dot{Q} は非鍛練者の \dot{Q} よりも高い。しかし、本研究において、鍛練者と非鍛練者の % of max $\dot{V}O_2$ と % of max \dot{Q} との間に直線関係が成り立ち、% of max $\dot{V}O_2$ と % of max \dot{Q} との間に、ほぼ同じような曲線を描くことが認められた。従って、最大値に見合った循環機能の働きをする場合、鍛練者・非鍛練者の % of max $\dot{V}O_2$ はほぼ等しいことになる。

Eklom たち (1968)⁽⁵⁾, Saltin たち (1968)⁽¹⁷⁾ はトレーニングによって max $\dot{V}O_2$ が増加することを認めている。その原因として、 \dot{Q} , SV, HV の改善を挙げている。本研究の非鍛練者と鍛練者の max $\dot{V}O_2$ 及び循環

系の諸因子の相違がトレーニングによるものか否かについては明らかでない。

これまで多くの研究者によって全身持久性の限界因子について循環系の諸因子から追求されてきた。Holmgren (1967)⁽⁶⁾ は、作業負荷の増大とともに \dot{V}_{O_2} 及び \dot{Q} は増加するが、ある一定負荷以上になると \dot{V}_{O_2} の増加にもかかわらずそれ以上 \dot{Q} が増加しなくなることから、呼吸系よりも循環系にその限界因子を予測している。さらに、Bates (1967)⁽⁸⁾ は \dot{Q} に増加がみられなくなった時点以後にみられる \dot{V}_{O_2} の増加が呼吸筋の \dot{V}_{O_2} の増加に一致することから、 \dot{Q} を限界因子とみなしている。

同一量の酸素を摂取する時、非鍛練者と鍛練者の呼吸機能の相違は非鍛練者の呼吸機能の活動水準が鍛練者よりも高いところにある。これは、非鍛練者が鍛練者よりも過呼吸をすることによって肺泡の O_2 分圧 (PAO_2) を高めるが、それでも十分酸素が血液へ拡散しないことにある。その要因として、 DL_{Co} 、肺胞膜の拡散容量 (DM)、肺毛細管血量 (V_C) 等が考えられる。筆者たち (1971)⁽¹⁸⁾ は中距離選手の DL_{Co} 、 DM 、 V_C が一般人よりも高いことを認めている。従って、非鍛練者と鍛練者の $\max \dot{V}_{O_2}$ の相違の要因として呼吸機能より、むしろ DL_{Co} 及び循環機能にあるものと推察される。

$\% \text{ of } \max \dot{V}_{O_2}$ と $\% \text{ of } \max \dot{V}_E$ 、 $\% \text{ of } \max DL_{Co}$ 及び $\% \text{ of } \max \dot{Q}$ との関係を見ると、非鍛練者と鍛練者との間にほとんど差が認められない。この事は、たとえ作業能に優劣があっても呼吸・循環機能の最大値に対する相対的強度が等しいならば、身体に受ける生理的作業強度が等しいことを意味している。さらに、最大作業においては $\max \dot{V}_{O_2}$ に見合った循環機能の活動能を有しているものと考えられる。 \dot{V}_{O_2} は数多くの呼吸・循環機能の因子が統合されたものであり、これらの諸因子の相互の関連のもとに成立しているため、一つの因子でも低下することがあれば、他の呼吸・循環系の諸因子に作用し、 $\max \dot{V}_{O_2}$ を低下させるものと推察される。

V. 要約

非鍛練者10名、鍛練者6名について、最大及び最大下作業中の循環機能 (\dot{Q} , HR, SV, $A\bar{V}O_2D$) の活動水準の相違を明らかにすることによって、有酸素的作業能の制限因子を明らかにする基礎的研究を行なった。その結果、

(1) 物理的作業強度及び \dot{V}_{O_2} の増加に比例して \dot{Q} は増加する。しかし、ある時点(変移点)を越えると \dot{Q} の

増加率は徐々に低下してくる。ある時点とは非鍛練者では \dot{V}_{O_2} が 2.0 l/min, 鍛練者では 2.5~3.0 l/min となった。

(2) HR は \dot{V}_{O_2} の増加とともに直線的に増加する。同一量の \dot{V}_{O_2} の時、HR 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。しかし、物理的同一強度での作業中の HR は非鍛練者が鍛練者よりも高い傾向を示した。

(3) SV 及び $A\bar{V}O_2D$ は \dot{V}_{O_2} の増加につれて増加する。その増加率は徐々に小さくなる傾向を示した。非鍛練者では \dot{V}_{O_2} が 1.5 l/min, 鍛練者では \dot{V}_{O_2} が 2.0 l/min ころから SV に定常状態の傾向が認められた。 $A\bar{V}O_2D$ では \dot{V}_{O_2} が 1.5~2.0 l/min まで鍛練者と非鍛練者との間に差が認められないが、以後 \dot{V}_{O_2} の増加につれて非鍛練者の $A\bar{V}O_2D$ は鍛練者よりも高い傾向が認められた。

(4) 最大作業中の \dot{V}_{O_2} 、 \dot{Q} 、HR、SV、 $A\bar{V}O_2D$ の中、 $A\bar{V}O_2D$ を除いて鍛練者は非鍛練者よりも高いことが認められた。

(5) $\% \text{ of } \max \dot{V}_{O_2}$ と \dot{Q} 、SV、 $A\bar{V}O_2D$ との間では $\% \text{ of } \max \dot{V}_{O_2}$ が 40% まで、鍛練者と非鍛練者との間に差が認められないが、それ以上になると \dot{Q} 及び SV では非鍛練者よりも鍛練者が、 $A\bar{V}O_2D$ では鍛練者よりも非鍛練者が高い傾向を示した。

(6) 鍛練者と非鍛練者の $\% \text{ of } \max \dot{V}_{O_2}$ と $\% \text{ of } \max \dot{Q}$ 、 $\% \text{ of } \max \dot{V}_E$ 、及び $\% \text{ of } \max DL_{Co}$ との間にほとんど同じような曲線を描くことが認められた。

以上の事から、循環機能の活動水準の高まりは呼吸機能の活動水準とともに高まり、肺胞から血液への酸素の移行及び組織への酸素運搬を容易にしているものと考えられる。循環機能の中でも \dot{Q} は重要な因子であり、さらに \dot{Q} の重要な因子として SV、SV の重要な因子として心臓の大きさ等が推察される。また、有酸素的作業能の優劣にもかかわらず、呼吸・循環機能の最大値に対する相対的強度が等しいならば、身体に受ける生理的作業強度も等しいものと考えられる。

VI. 引用文献

- (1) Åstrand, P. O., (1956): Human physical fitness with special reference to sex and age. *Physical. Rev.* 36: 307-335.
- (2) Åstrand, P. O., T. E. Cuddy, B. Saltin, and J. Stenberg, (1964): Cardiac output during submaximal and maximal work. *J. Appl. Physiol.* 19: 268-274.
- (3) Bates, D. V., (1967): Commentary. *Canad. Med.*

Ass. J. 86 : 704.

- (4) **Eklblom, B., P. O. Åstrand, B. Saitin, J. Stenberg, and B. Wallström, (1968)** : Effect of training on circulatory response to exercise. *J. Appl. Physiol.* 24 : 518-528.
- (6) **Hermansen, L., and B. Saltin, (1969)** : Oxygen intake during maximal treadmill and bicycle exercise. *J. Appl. Physiol.* 26 : 31-37.
- (7) 堀居昭, 猪飼道夫 (1971) : 人体総ヘモグロビン量からみた全身持久性の研究, *体育学研究*. 16 : 215-222.
- (8) **Holmgren, A., (1967)** : Cardiorespiratory determinants of cardiovascular fitness. *Canad. Med. Ass. J.* 96 : 697-705.
- (9) **Ikai, M., M. Shindo, and M. Miyamura, (1970)** : Aerobic work capacity of Japanese people. *Res. J. Physical Ed.* 14 : 137-142.
- (10) 猪飼道夫, 宮村実晴 (1967) : 心拍出量からみた全身持久性, *体育の科学*. 17 : 344-349.
- (11) 猪飼道夫, 山地啓司 (1971) : 心拍数からみた運動強度—運動処方の研究資料として—*体育の科学*, 21 : 589-593.
- (12) **Klausen, K., (1865)** : Comparison of CO rebreathing and acetylene methods for cardiac output. *J. Appl. Physiol.* 20 : 763-766.
- (13) **Macnab, R. B.J., P. R. Conger, and P. S. Tayloy, (1969)** : Differences in maximal and submaximal work capacity in men and women. *J. Appl. Physiol.* 27 : 644-648.
- (14) **Miura, M., H. Matsui, M. Miyashita, K. Kobayashi, T. Hoshikawa, and H. Sodeyama, (1971)** : A study on the relationship between physical performance and physical resource. *Res. J. Physical Ed.* 15 : 231-235.
- (15) **Pugh, L. G. C. E. (1972)** : Maximam oxygen intake in himalayan mountaineers. *Ergonomics.* 15 : 133-137.
- (16) **Rowell, L. B., (1969)** : *Circulation. Med. Sci. Sports.* 1 : 15-22.
- (17) **Saltin, B., G. Blongvist, J. H. Mirhell, R. L. Jonson, K. Wildenthal, and C. B. Chapman. (1968)** : Response to submaximal and maximal exercise after bedrest and training. *Cir.* 38 Suppl. 7 : 1-78.
- (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回日本体力医学総会報告書. p. 32.
- (19) 山地啓司 (1973) : 最大作業時の日本人一般成人と中・長距離選手の呼吸循環機能—心臓容積を中心として—*体育学研究*投稿中.
- (20) 山地啓司 (1974) : 最大及び最大下作業中の非鍛練者の生理的反応の相違 (I) —呼吸機能について—*東京大学教育学部紀要*.