

情動的興奮時における心拍出量

芳賀脩光 宮下充正

Effect of Emotional Stress on Cardiac Output

Shuko Haga and Mitsumasa Miyashita

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

The effect of emotional stress on cardiac output was studied on 5 healthy male adults, while cardiac output was determined by CO₂ rebreathing method, heart rate obtained by continuous recording of ECG, and stroke volume calculated by heart rate and cardiac output.

For the reproduction of emotional stress has been applied electric stimulation (frequency: 50 C, voltage: 50 V, duration: 500 msec) to calf muscles with electrodes over the skin; and for the physical stress bicycle ergometer. Moreover, work load was adjusted so that the heart rate increased to the same level as was increased by the emotional stress. Based upon this studies we established that:

- a) Heart rate at rest increased on an average 33% lasting for 3 or 4 minutes.
- b) The mean value of heart rate was 68 beats/min at rest, 90 beats/min under emotional stress and 93 beats/min during work.
- c) The mean value of cardiac output was 5.2 l/min at rest, 5.5 l/min under emotional stress and 10.4 l/min during work.
- d) The mean value of stroke volume was 77 ml/beat at rest, 61 ml/beat under emotional stress and 110 ml/beat during work.

Thus, since cardiac output under emotional stress was on an average 53% of the value during work under the same level of heart rate, we may conclude that emotional stress effects only on the rate of heart activity, but not on the stroke volume.

目 次

- I 研究目的
- II 研究方法
 - 1 心拍出量の測定方法
 - 2 測定条件
 - (1) 安静時における心拍出量の測定
 - (2) 情動的興奮時における心拍出量の測定
 - (3) 運動時における心拍出量の測定
 - 3 被検者
- III 研究結果
- IV 論議
 - …おわりに…
 - 参考文献

I 研究目的

心臓は循環系の中枢であり、身体各部の組織へ血流を送るポンプの作用を営んでいる。従って、このポンプ作用の重要な指標は、心臓から単位時間内に送り出される血液量、すなわち心拍出量 (\dot{Q}) である。

この心拍出量は一般に次のような要因により生理的変動をきたす。

体位による変動：起立時は臥位時に比較して心拍出量が20~40%減少する。(Bevegård et al. 1960⁽²⁾, Naimark and Wasserman. 1962⁽¹²⁾, Reeves et al⁽¹⁵⁾, Wang et al. 1960⁽²⁶⁾)。

酸素欠乏による変動：平地にいた人が高地に移動すると心拍出量が増加する (Penaloza et al.⁽¹³⁾, Rotta et al. 1956⁽¹⁴⁾)。

気温による変動：高温環境においては心拍出量が増加し、低温環境においては減少する (Kaufmann et al. 1960⁽⁶⁾, Sancetta et al. 1958⁽¹⁸⁾, Wezler et al. 1943⁽²¹⁾)。

運動による変動：運動中はその運動強度に応じて心拍出量は増加する (Mitchell et al. 1958⁽¹¹⁾, Rushmer and Smith. 1959⁽¹⁷⁾, Rushmer et al. 1959⁽¹⁶⁾, 猪飼ら 1973⁽⁷⁾)。

以上のように種々の要因により心拍出量が増加するが、この変動は心拍数 (HR) と一回拍出量 (SV) とによって基本的には決定される。すなわち、生理的な運動強度 ($\dot{V}O_2$) が増大するにつれて心拍出量は増加するが、その強度が比較的弱い場合には一回拍出量の増加が、又運動強度が比較的強い場合には心拍数の増加がそれぞれ主役となって心拍出量の増加をきたす (Åstrand et al. 1964⁽¹⁾)。

この心拍数、及び一回拍出量の変化に影響を与えるものとしては迷走神経作用 (抑制作用)、交感神経作用 (促進作用) という外因性の機序と内因性の自己調節的機序とがある。

しかし、一つ一つの調節機序がどのように関与しているかを、個々の場合について判定することは不可能であるといわれている (伊藤. 1969⁽⁸⁾)。

人間の情動的反応は身体各部の諸器官に現われる。例えば、口頭試問を受けている時に「口の渇き」を覚えたり、突然の驚きに「冷や汗」をかいたりする。そして多くの場合、心拍数の上昇が併発する。すなわち、「頻脈」となる。このことは我々の情動脳からの刺激が上記の心臓調節神経の中枢に影響を及ぼして迷走神経作用の減弱、又は交感神経作用の増強、あるいはこの両者によって心拍数が増加するものと思われる。

先に述べたように心拍出量は心拍数と一回拍出量とにより決定されるが、情動的興奮によってもたらされる心拍数の増加が心臓機能の重要な作用の指標である心拍出量の増加をもたらすものかどうかを検討しようとするものである。

II 研究方法

1 心拍出量の測定方法

心拍出量の測定は1965年 K. Klausen⁽¹⁰⁾ によって確

立された CO_2 法を用いておこなった。すなわち、Fick の原理による式を変形した次式によって心拍出量を求めた。

$$\dot{Q} = \frac{\dot{V}CO_2}{C\bar{v}CO_2 - CACO_2}$$

\dot{Q} : 毎分心拍出量 (l/min)

$C\bar{v}CO_2$: 混合静脈血炭酸ガス含有量 (Vol %)

$CACO_2$: 動脈血炭酸ガス含有量 (Vol %)

$\dot{V}CO_2$: 毎分炭酸ガス排出量 (l/min)

混合静脈血炭酸ガス含有量の測定は、安静時、情動的興奮時、運動時において、呼気ガス採気後 3~4 l の混合ガス (CO_2 : 4~5%, O_2 : 96~95%) を再呼吸させ、その時の混合静脈血炭酸ガス分圧 ($P\bar{v}CO_2$) を測定し、更に炭酸ガス解離曲線によって求めた。

動脈血炭酸ガス含有量は End-Tidal 法により肺胞ガスから肺胞炭酸ガス分圧 ($PACO_2$) を測定し炭酸ガス解離曲線から求めた。

呼気ガスはダグラスバック法によって採気し、換気量は湿式ガスメーターを用いて測定した。又、その濃度はショランダー微量ガス分析器によって分析し、炭酸ガス排出量 ($\dot{V}CO_2$) を算出した。酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$) もこの濃度を分析した値を用いた。

動静脈酸素較差 ($A - \bar{V}O_2D$) は次の式から算出した。

$$A - \bar{V}O_2D = \frac{\dot{V}O_2}{\dot{Q}}$$

$A - \bar{V}O_2D$: 動静脈酸素較差

$\dot{V}O_2$: 酸素摂取量

心拍数の測定は胸部誘導法により記録した。

2 測定条件

(1) 安静時における心拍出量の測定

安静時は測定前30分間ゆったりとした楽な姿勢で座位をとらせ、その後5分間安静時の呼気ガスを採気し、上記した方法で再呼吸をおこない心拍出量を測定した。

(2) 情動的興奮時における心拍出量の測定

情動的興奮を発現するために、被検者の右下腿部 (M. Soleus) に電極を貼布し、電気刺激用装置を用いて刺激を与えた (図1)。

電気刺激条件は1秒間50サイクルの周波数で50ボルトの電圧をかけ、刺激時間は0.5秒間で被検者が筋にわずかの痛みを感じる程度とした。呼気ガスの採気は3分間でその間3~4度刺激を与えた。なお、被検者は椅子に腰をかけ、安静時と同様の姿勢とした。

心拍出量はこの状態で測定を行なった。

(3) 運動時における心拍量の測定

運動はモナーク製自転車エルゴメーターによって行われた。運動の強度は情動的興奮の心拍数と同程度になるように調節した。

採気は心拍数が上記のように情動的興奮時と同程度になった時の運動負荷を3分間継続させ最後の1分間とした。その直後に心拍量を測定した。

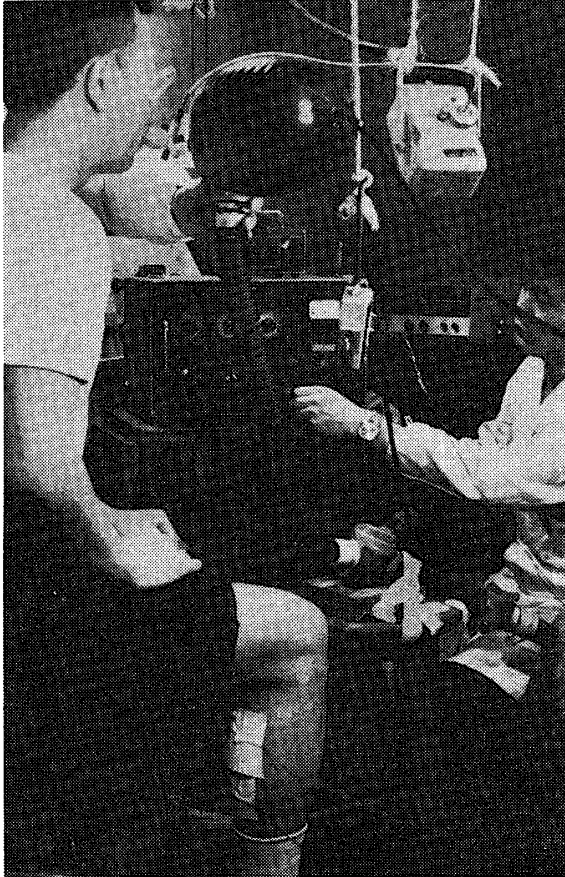


Fig. 1 Measuring apparatus for cardiac output under emotional stress.

3 被検者

被検者は健康な一般青年男子（年齢18～25歳）5名である。

III 研究結果

情動的興奮時における心拍数と時間との関係を図2に示した。被検者に刺激装置をとりつけてから刺激する方法を説明すると急激な心拍数の増加がみられた。

心拍数について、安静時、情動的興奮時、運動時についてそれぞれ被検者毎に比較したものが図3である。安

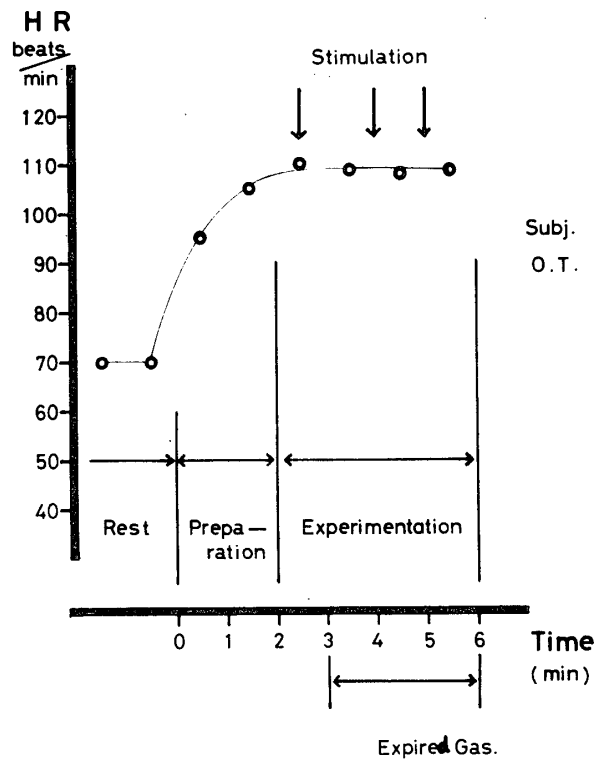


Fig. 2 Heart rate under emotional stress.

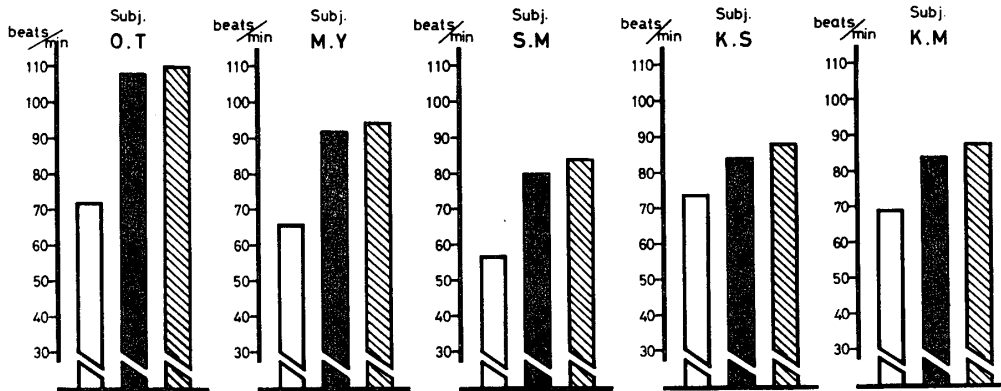


Fig. 3 Heart rate under rest (□), emotional stress (■) and work (▨),

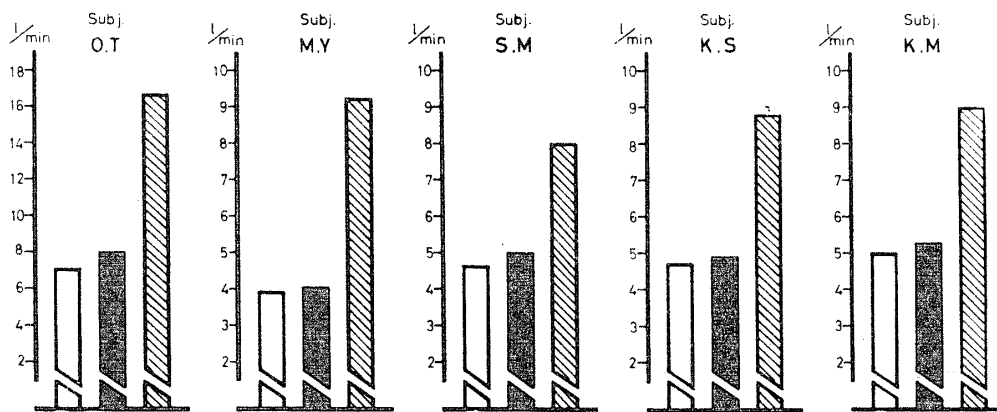


Fig. 4 Cardiac output under rest (□), emotional stress (■) and work (▨).

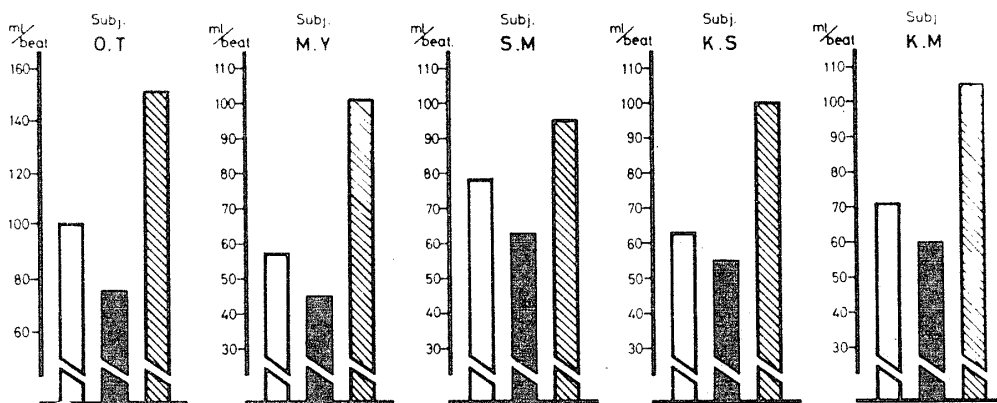


Fig. 5 Stroke volume under rest (□), emotional stress (■) and work (▨).

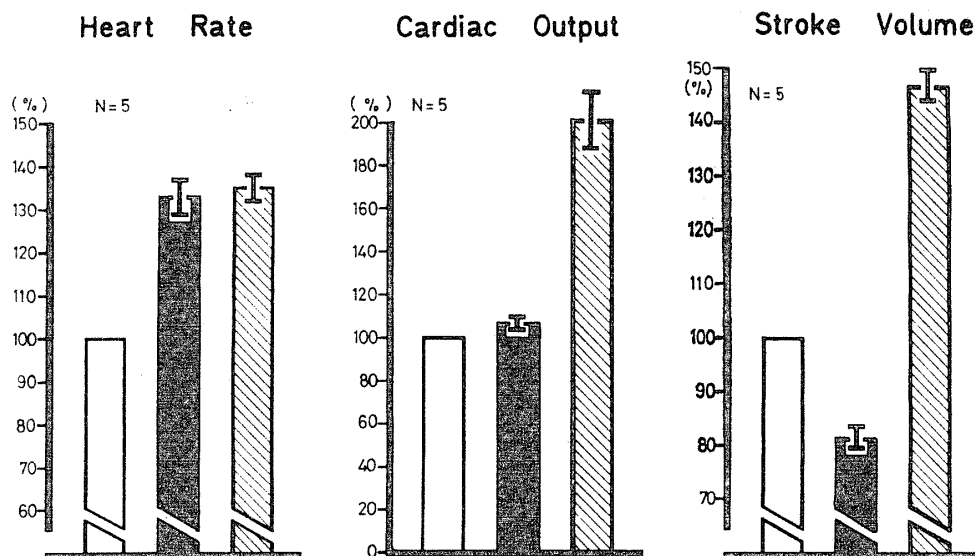


Fig. 6 The mean values in % for heart rate, Cardiac output and stroke volume.

静時では 57~74 beats/min の範囲であり、平均値で 68 beats/min であった。情動的興奮時では 80~108 beats/min まで上昇し、平均値で 90 beats/min であった。

このように情動的興奮時の心拍数の増加は被検者全員にみられた。安静時と比べてみると、その差の少ない被検者で 10 beats/min、多い被検者で 36 beats/min であっ

た。運動中の心拍数は全被検者においてはほぼ情動的興奮時と同じであり、平均値は 93 beats/min であった。

安静時、情動的興奮時、運動時の心拍出量は各被検者毎に図 4 に示した。安静時で 4~8 l/min、又、情動的興奮時においても 4~8 l/min であり、平均値でみてもそれぞれ、5.2 l/min、5.5 l/min とほぼ同じ値を示し

た。

更に、安静時と情動的興奮時の差は0.1~0.5 l/minであり極めて小さかった。これに対し、運動では8~17 l/minとなり、平均値では10.4 l/minであった。運動時と安静時との差は最も小さい例で4.1 l/min、又最大値で8.6 l/minと大きかった。

安静時、情動的興奮時、運動時の一回拍出量の測定値を被検者ごとに図5に示した。安静時では63~112 ml/beatの範囲で、平均値では77 ml/beatであった。情動的興奮時では58~76 ml/beatとなり、平均値では61 ml/beatと減少した。この減少量について差の最大値でみると36.4 ml/beatの減少を示した。又、運動時では95~152 ml/beatの範囲であり、平均値では110 ml/beatであった。すなわち、安静時や情動的興奮時に比し著しい増加を示した。

これらの各測定値を安静時の値を基準として被検者ごとに求め、その増減を%であらわし、平均値で比較すると図6のごとくである。安静時の値を100%として比較した。心拍数について、情動的興奮時では133%とな

り、即ち安静時より33%の増加を示した。情動的興奮時の心拍出量については107%であり、安静時とほとんど変化なかったが、しかし運動時では201%の増加を示し安静時の心拍出量の2倍であった。

一回拍出量は、情動的興奮時では安静時の82%となり、即ち18%の減少を示した。これに対し、運動時では147%と顕著な増加を示した。

心拍出量測定中の酸素摂取量についてみると(表1)、安静時と情動的興奮時では個人別にみても被検者O. T., M. Y.の2名はわずかに増加しているが、他の被検者においては著明な変化はなく、平均値で比較してもほとんど同じである。しかし運動時ではいずれの被検者においても増加した。又、動静脈酸素較差についても同様の傾向を示した。(表2)。

IV 論議

心臓カテール法を用いて、医師、医学生及び心疾患者の心拍出量を測定した実験においてAnxietyの時の心拍出量は有意に増加することがSteadら⁽¹⁹⁾(1945)によって見出された。しかし、その後、Hickmanら⁽⁵⁾(1948)はそのような状態での心拍出量の測定をみた結果、心拍数は増加するが心拍出量は増加しないことを報告している。

本研究はこのような情動的興奮時の心拍出量の変化を明らかにしようとした。そこで、先ず問題となるのは情動的興奮を実験的に引き起すことにあった。本研究においては、大腿の筋群に電気刺激を間歇的に与えることによって興奮をおこそうとした。その結果、心拍数を安静時に比較して33%程度増加させた状態にすることができた。さらに、情動的興奮時と同程度の心拍数水準を保った強度の運動負荷を与えた場合について両者における心拍出量の比較をおこなった。結果は安静時を基準にすれば、運動という刺激は心臓に対し心拍数の増加と共に心拍出量の増加をもたらしたが、情動的興奮という刺激は心拍数の増加、そして一回拍出量の減少をきたした。その結果、心拍出量にはほとんど量的に変化を与えなかった。

運動というストレスは骨格筋の代謝を促進する。このため組織の内的条件を一定に保つために循環血液量の増加、即ち、心拍出量の増加となりあらゆる心臓調節機序に促進的影響を与えるものと思われる。

運動時の心拍出量の増加は心拍数と一回拍出量の2因子によって決定される。運動時の心拍数の増加は視床下部の活動により心臓抑制中枢が抑制され、心臓迷走神経

Table 1. Oxygen Intake

Subj	Rest	Emotional Stress	Work
	ml/min	ml/min	ml/min
O. T.	280.3	378.5	1502.2
M. Y.	177.6	289.6	669.6
S. M.	227.7	275.6	838.5
K. S.	218.2	262.7	540.0
K. K.	240.9	216.7	732.0
M (S. D)	228.9 (33.3)	284.6 (52.9)	856.6 (337.2)

Table 2. A- $\bar{V}O_2$ Difference

Subj	Rest	Emotional Stress	Work
	ml/l	ml/l	ml/l
O. T.	38.4	47.0	90.0
M. Y.	47.4	69.4	67.9
S. M.	50.1	54.4	107.6
K. S.	46.5	53.8	61.7
K. K.	48.9	40.7	80.6
M (S. D)	46.3 (4.1)	53.1 (9.5)	81.6 (16.3)

の発射インパルスの減少となり、交感神経が促進するという中枢の場合と、さらにその他に、肺静脈及び心房壁受容器の Bainbridge 反射⁽⁸⁾によるものとされる。又、第2の因子としては一回拍出量の増加である。これは心筋線維の長さに応じて収縮の強さが変化するという Starling⁽⁹⁾の法測によって現われる調節機序である。また、運動による大動脈圧が上昇すると心筋の収縮力が増大するという「Anerp 効果⁽¹⁰⁾」、頻脈が生じることにより心筋収縮力が増すという「Bowditch 効果⁽¹¹⁾」がある。これらの機序によって一回拍出量は運動時に増加する。これらのメカニズムの基盤として考えられることは、まず、運動時には活動筋の収縮が機械的にその部の血管を圧迫して血液を静脈に送り出すという「静脈の乳しぼり効果⁽¹²⁾」と筋肉内の毛細血管の拡張と開帳 (capillarization) によって大静脈の血流が増加し、還流量を増加させる。又、これによって心拍出量が増加する。そしてその後においてはこれらが原因となり結果となって運動時には静脈還流量 (Venous Return) が増すということが大きな特徴である。

一方、情動的興奮による心拍数の上昇は神経を介在とした機序のみが促進的に作用するものではないかと思われる。心拍出量について心拍数と一回拍出量の関係をみた実験で Homer や Alan⁽⁶⁾は次のようにのべている。7匹の雑犬を用いた実験で、右心室に電気刺激装置をとりつけカテーテル法により心拍出量の測定を行った。その結果、安静時において、心拍数を 90~240 beats/min まで高めたが心拍出量は変化しなかった。そして一回拍出量は心拍数の増加と共に逆比例的に減少することをみだしている。

おそらく、情動的興奮によって引き起こされる心拍数、心拍出量、一回拍出量の関係はこれと類似の現象と推察される。しかし、心拍出量が安静時とほとんど変わらなかったということについては、情動的興奮の場合は運動時と違い骨格筋の活動がおこなわれないことから静脈還流は安静時と変わらないものと思われる。このことについて後藤⁽⁴⁾は運動の開始以前にそれを予測しただけで心拍促進があげられるが、これは中枢性の交感神経の緊張増加によるもので酸素需要や代謝の速度とは直接関係ないと述べている。

このように、運動時と情動的興奮時の心拍出量、一回拍出量の変化は静脈還流量の相違によるものと推察されるが、詳細は今後の研究を待たねばならないであろう。

おわりに、本研究を遂行するにあたり元東京大学教育学部教授故猪飼道夫先生、並びに東京大学教養学部教授

黒田善雄先生に多大の御指導・御助言を賜りました。茲に深く謝意を表します。

参考文献

- (1) Åstrand, P. O., T. E. Cuddy, B. Saltin and J. Stenberg: Cardiac Output during submaximal and maximal work. *J. Appl. Physiol.* 19. 269-274. 1964.
- (2) Bevegård, S., A. Holmgren, and B. Jonsson: The effect of body position on the circulation at rest and during exercise with special reference to the influence on the stroke volume. *Acta. Physiol. Scand.* 49. 279-298. 1960.
- (3) Björn Folkow and Eric Neil. 入内島十郎訳: 循環 p. 362. 1973. 真興交易医書出版部。
- (4) 後藤昌義: 循環生理学。一心臓と幹循環— 275. 1971. 朝倉書店。
- (5) Hicman, J. B., W. H. Cargill and A. Golden: Cardiovascular reaction to emotional stimuli: effect on cardiac output, arteriovenous oxygen difference, arterial pressure and peripheral resistance. *J. Clin. Invest.* 27. 290-298. 1948.
- (6) Homer, R. W. and F. Alan.: Regulation of cardiac output through stroke volume. *Circulation. Res.* 8. 549-552. 1960.
- (7) 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.
- (8) 伊藤巖, 心拍出量, 生理学大系 (III). 347-358. 1971. 医学書院。
- (9) Kaufmann, W., H. Hundeshagen, J. G. Schlitter and E. H. Craul: Die Regulation des Herzzeitvolumens bei thermischen Belastungen in der Klimakammer. *Arch. Physik. Therapie.* 12. 175-184. 1960.
- (10) Klausen, K.: Comparison of CO_2 rebreathing and acetylene method for cardiac output. *J. Appl. Physiol.* 20. 763-766. 1965.
- (11) Mitchell, J. H., B. J. Sproule and C. B. Chapman: The physiological meaning of the maximal oxygen intake test. *J. Clin. Invest.* 37. 538-547. 1958.
- (12) Naimark, A. and K. Wasserman: The effect of posture on pulmonary capillary blood flow in man. *J. Clin. Invest.* 41. 949-954. 1962.
- (13) Penalzoza, D., F. Sime, N. Banchemo, R. Gamboa, J. Cruz and E. Marticorena: Pulmonary hypertension in healthy men born and living at high altitude. *Am. J. Cardiol.* 11. 150-157. 1963.
- (14) Potta, A., A. Canepa, A. Hurtado, T. Velazquez, and R. Chavez: Pulmonary circulation at sea level and high altitude. *J. Appl. Physiol.* 9. 328-336. 1956.
- (15) Reeves, J. T., R. F. Grover, S. G. Blount and G. F. Filley: Cardiac output response to standing and treadmill walking. *J. Appl. Physiol.* 16. 283-288. 1961.
- (16) Rushmer, R. F.: Postural effects on the baseline of ventricular performance. *Circulation* 20. 897-905. 1959.
- (17) Rushmer, R. F. and O. Smith: Cardiac control. *Physiol. Rev.* 39. 41-68. 1959.
- (18) Sancetta, S. M., J. Kramer and E. Husni: The effects of dry heat on the circulation of man. I General hemodynamics. *Am. Heart. J.* 56. 212-221. 1958.

- (19) Stead, E. A., Jr., J. r Warren., A. J. Merrill and E. S. Brannon: Cardiac output in male subjects as measured by technic of right arteriol catheterization.: normal values with observation on effect of anxiety and tilting. J. Clin. Invest. 24. 326-331. 1945.
- (20) Wang, Y., R. J. Marshall and J. T. Shephard: The effect of changes in posture and of gradual exercise on stroke volume in man. J. Clin. Invest. 39. 1051-1061. 1960.
- (21) Wezler, K. and R. Thaver: Der Kreislauf im Dienste der Wärmeregulation. Z. Ges. Exptl. Med. 114. 345. 1945.