

20°C, 30°C, および40°Cにおける30分間運動中の
心拍出量, 一回拍出量, および心拍数について

勝浦哲夫

千葉大学工学部工業意匠学科人間工学教室

**Cardiac Output, Stroke Volume, and Heart Rate during 30 min of Exercise in
20°C, 30°C, and 40°C.**

Tetsuo KATSUURA

Department of Industrial Design, Faculty of Engineering, Chiba University

Yayoi-cho, Chiba, 260 Japan

Cardiovascular responses during 30 min of exercise in 20°C, 30°C, and 40°C (R.H.50%) were measured in six male Japanese. The subjects exercised on a bicycle ergometer at the two kinds of work loads, i.e., 300 and 600 kgm/min. Cardiac output (\dot{Q}) was determined with the CO₂ rebreathing method at the 5th, 15th, and 30th min of exercise. Oxygen uptake ($\dot{V}O_2$), heart rate (HR), rectal temperature (Tr), and mean skin temperature (\bar{T}_s) were also measured. $\dot{V}O_2$ and \dot{Q} did not change significantly during exercise in all environments. Analysis of variance showed that the factor of ambient temperature had no significant effects on $\dot{V}O_2$ and \dot{Q} . HR increased with time and SV decreased with time during exercise. The largest change in HR and SV occurred between the 5th min and the 15th min of exercise. Tr increased with time during exercise. The marked increase in Tr occurred between the 15th min and 30th min of exercise. The regression equations of HR on \dot{Q} and SV on \dot{Q} in each time of exercise were calculated. The analysis of covariance showed that the elevation of regression line of HR on \dot{Q} in the 5th min of exercise was significantly lower than those in the 15th min and the 30th min of exercise. Similarly, the elevation of regression line of SV on \dot{Q} in the 5th min of exercise was significantly higher than those in the 15th min and the 30th min of exercise. From the regression equation of SV on Tr the adjusted values of SV for each time of exercise were calculated in order to exclude differences in Tr. The adjusted values of SV in the 5th min of exercise was significantly higher than those in the 15th min and the 30th min of exercise. So the alterations in HR and SV observed between the 5th min and the 15th min of exercise may be accounted for by other than the change in internal body temperature.

日本人の耐暑性を検討するためには、耐暑性の指標となるべきものの諸性質を十二分に把握しておくことが肝要であると思われる。従来、耐暑性の指標として発汗量、体温上昇度とならんで、心拍数の増加度が用いられてきた(Hori, 1978)。心拍数は循環機能水準の

指標として重要だが、心臓からの血液拍出量に関する情報が不足している。そこで、本研究では、直腸温、心拍数と共に心拍出量を測定し、高温環境下作業中の態度を明らかにすると共に、作業の経続に伴う循環機能相互の関係、あるいは代謝量、体温と循環機能の関

係の変化を検討することを目的としている。

方法

被検者は健康な成人男性6名であった (Table 1)。実験は気温20°C, 30°Cおよび40°C (相対湿度はいずれも約50%) に設定した人工気象室内で行った。自転車エルゴメータ上での安静の後, 300kgm/minと600kgm/minの2強度の作業を実施した。安静8~10分目, 作業5~7分目, 作業15~17分目, 作業30~32分目に呼気をダグラスバッグに採取した。呼気量を乾式ガスメータにより測定し, 呼気成分をレスピライザーにより分析し, 酸素摂取量を算出した。呼気採取中の心拍数を胸部誘導心電図より求め, 同時にこの期間の直腸温と皮膚温を測定した。直腸温は直腸の約10cmの深さに挿入したサーミスタ温度計により得られた。熱電対により求められた胸部・上腕部・大腿部・下腿部の皮膚温から, Ramanathan(1964)の式を用いて平均皮膚温を算出した。呼気採取後, 直ちにCO₂再呼吸法により心拍出量を求めた。すなわち, 動脈血CO₂分圧は終末呼気CO₂分圧と等しいものと仮定し, 再呼吸中の呼気CO₂濃度の上昇から Defares (1958), Jernérus *et al.* (1963), および Klausen (1965) の方法により混合静脈血CO₂分圧を算出した。得られた動脈血CO₂分圧と混合静脈血CO₂分圧から, Root (1958) の表により動脈血CO₂含量と混合静脈血CO₂含量を求め, Fickの式により心拍出量を算出した。呼気CO₂濃度の分析は赤外線CO₂分析器(AIKA, RAS-41)により行った。再呼吸はメトロノームに合わせて毎分50回

の割合で10回程度行った。再呼吸に用いた混合気の成分は約95%O₂と5%CO₂であった。一回拍出量は心拍出量を心拍数で除すことにより求めた。同一被検者の実験は1日に1条件のみ行い, 実験条件の順序は無作為化した。

結果と考察

酸素摂取量, 心拍出量, 心拍数, 一回拍出量, 直腸温, 平均皮膚温の経時的变化を6名の被検者の平均値により, 気温条件別, 作業強度別に Fig. 1 に示した。各時点の気温条件間の差, および各気温条件における経時的变化は対応のあるt検定により検討した。また, 作業30~32分目の値に対する, 気温条件, 被検者, 作業強度の3要因の影響は分散分析により検討した。

酸素摂取量および心拍出量は気温により異ならず, また経時的变化も認められなかった。心拍数に対する気温因子の効果は有意 ($P < 0.01$) で, 気温の上昇に伴い増加する傾向が認められた。以前の報告 (Saltin & Stenberg, 1964; Grimby *et al.*, 1966; MacDougall *et al.*, 1974; Katsuura, 1981) と一致して, 心拍数は作業の経過に伴い上昇する傾向が認められた。特に作業5分目から15分目の上昇が大きいことが認められた。一回拍出量に対する気温の効果は有意 ($P < 0.05$) で, 高温条件下で減少する傾向が認められた。この高温条件における一回拍出量の低下傾向は以前の報告 (勝浦, 1974; 勝浦, 1976; 勝浦, 1979; Katsuura, 1981) と一致するものである。また, 一回拍出量は作業の経過に伴い減少する傾向が認められた。特に作業5分目から15分目の減少が大きいことが認められた。直腸温は作業の経過と共に増加する傾向が認められたが, 心拍数や一回拍出量とは異なり, 5分目から15分目の増加より15分目から30分目の増加が大きかった。またその傾向は作業強度が大きい程, また気温が高い程顕著であった。作業30分目の直腸温に対する分散分析によれば, 気温と作業強度の両因子の交互作用に有意性が認められ ($P < 0.05$), 作業強度により気温因子の効果が異なることが示された。平均皮膚温は気温により大きく影響され, 経時的变化や作業強度による差は極わずかであった。

酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$; ml/min) に対する心拍数 (HR; beats/min) の回帰を気温条件をこみにして作業の経過時間毎に求め, Fig. 2 に示した。これらの回帰直線

Table 1. Physical characteristics of the subjects.

Subject	Age(yrs)	Height(cm)	Weight(kg)	BSA(m ²)
A	22	168.0	60.8	1.644
B	23	170.4	69.7	1.763
C	23	170.0	57.2	1.613
D	24	179.2	66.4	1.785
E	27	165.0	56.8	1.576
F	31	169.5	58.5	1.626
mean	25	170.4	61.6	1.668
SD	3.4	4.76	5.32	0.0855

BSA = body surface area, calculated from the formula of Fujimoto *et al.* (1968)

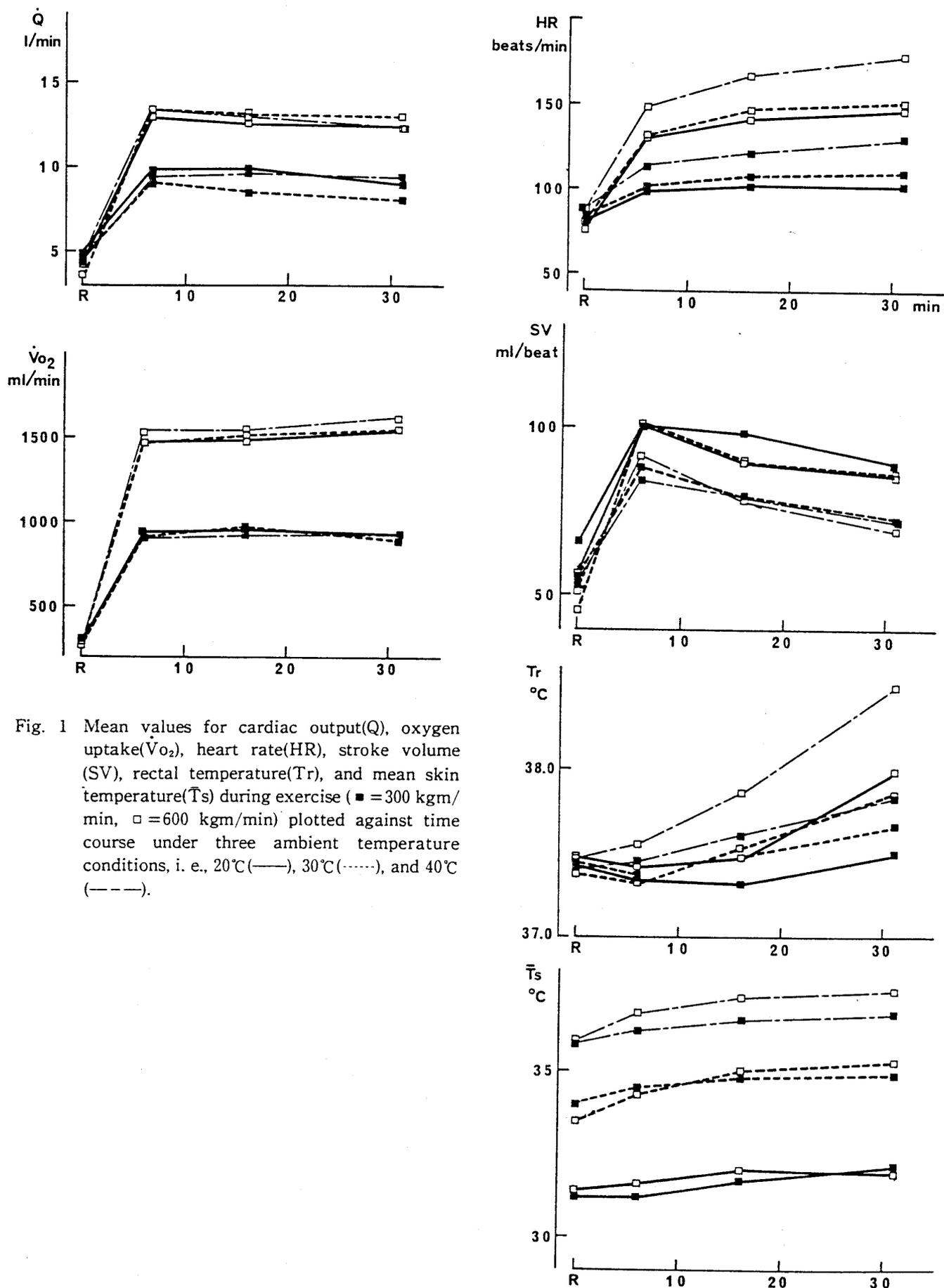


Fig. 1 Mean values for cardiac output(Q), oxygen uptake($\dot{V}O_2$), heart rate(HR), stroke volume (SV), rectal temperature(T_r), and mean skin temperature(\bar{T}_s) during exercise ($\blacksquare = 300 \text{ kgm/min}$, $\square = 600 \text{ kgm/min}$) plotted against time course under three ambient temperature conditions, i. e., 20°C (—), 30°C (.....), and 40°C (-----).

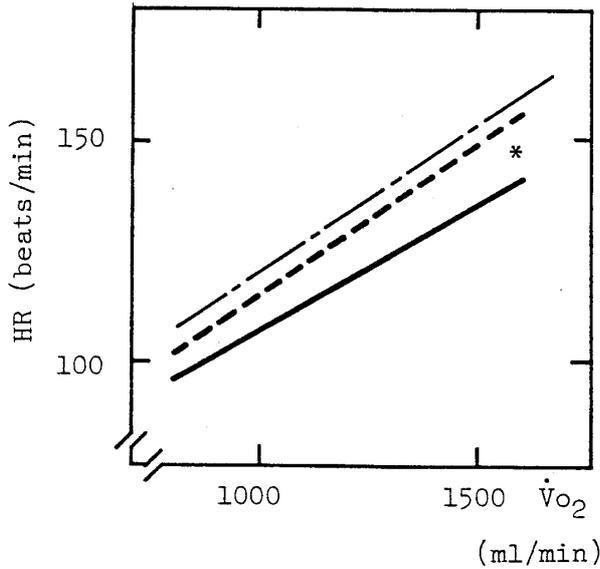


Fig. 2 Regression lines of heart rate(HR) on oxygen uptake($\dot{V}O_2$) at 5th min (—), 15th min(---) and 30th min(-·-·-) of exercise.
*, $P < 0.01$.

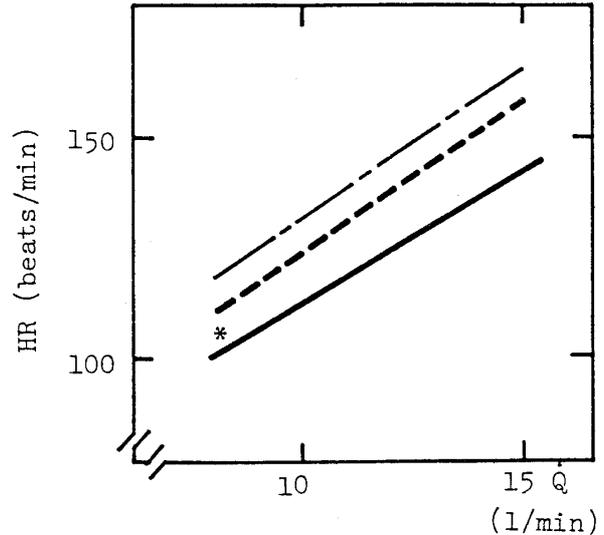


Fig. 3 Regression lines of heart rate(HR) on cardiac output(\dot{Q}) at 5th min(—), 15th min(---), and 30th min(-·-·-) of exercise.
*, $P < 0.01$.

の比較を共分散分析により行った。その結果、作業15分目と作業30分目の回帰直線には有意差は認められないが、それらの回帰直線と作業5分目の回帰直線の高さが有意($P < 0.01$)に異なること、すなわち作業5分目の心拍数は15分目あるいは30分目より低いことが示された。同様に、心拍出力に対する心拍数の回帰を気温条件をこみにして作業の経過時間毎に求め、Fig. 3に示した。共分散分析の結果、作業15分目と30分目の回帰直線には有意差は認められず、それらと作業5分目の回帰直線の高さが有意($P < 0.01$)に異なることが示された。さらに、心拍出力に対する一回拍出力の回帰を気温条件をこみにして経過時間毎に求めると、Fig. 4に示される如く、作業15分目と30分目の回帰直線は有意に異ならず、それらと作業5分目の回帰直線の高さに有意差($P < 0.01$)が認められた。酸素摂取量—心拍数関係、心拍出力—心拍数関係、および心拍出力—一回拍出力関係が作業の時間経過で異なるのは、体温水準の違いの一部は帰せられるものと思われる(志水ら, 1976; 大中ら, 1977)。しかしながら、直腸温の作業の経続に伴う変化は作業の前半よりも後半に大きいことが認められており、作業前半に大きく変化する酸素摂取量—心拍数関係、心拍出力—心拍数関係、および心拍出力—一回拍出力関係を直腸温の違いだけで説明することは出来ないように思われる。ここで、直腸温に対する一回拍出力の回帰を気温条件、経過時

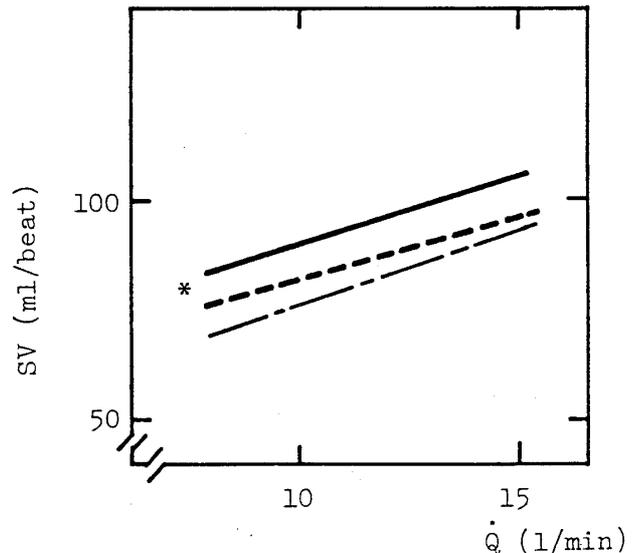


Fig. 4 Regression lines of stroke volume(SV) on cardiac output(\dot{Q}) at 5th min(—), 15th min(---), and 30th min(-·-·-) of exercise.
*, $P < 0.01$.

間をこみにして求め、各経過時間における一回拍出力の修正平均と共に Fig. 5に示した。修正平均間の有意差検定の結果、作業15分目と30分目の修正平均間には有意差は認められず、それらと作業5分目の修正平均間に有意差($P < 0.05$)が認められた。このことは、同一心拍量水準における作業5分目の一回拍出力が作業15分目、30分目のものより高いこと、そして恐らく同一心拍量水準、同一酸素摂取量水準において作業

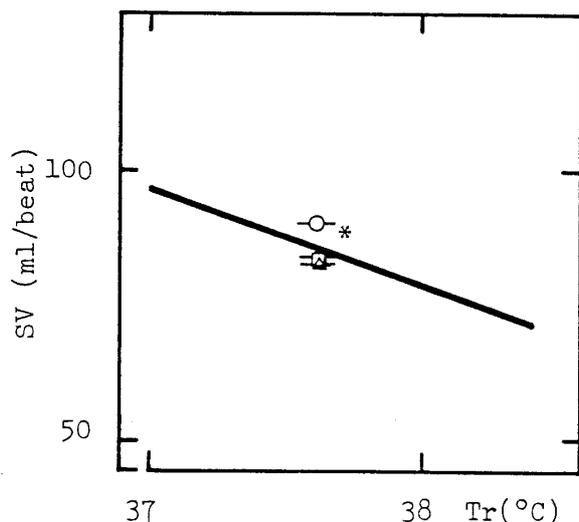


Fig. 5 Adjusted means of stroke volume(SV) at 5th(○), 15th(□), and 30th(△) min of exercise and regression line of stroke volume(SV) on rectal temperature(Tr).

*, $P < 0.05$.

5分目の心拍数が低いことの原因が体温水準の違いだけでは説明できないことを示している。Zitnik *et al.* (1971)は360kgm/minの運動を行い、運動開始と共に皮膚静脈の反射性の収縮と皮膚血流の減少を認めた。そして、運動開始4分～8分に体温上昇と共に皮膚静脈の収縮は減弱し、皮膚血流が増加することを報告している。今回認められた作業初期の心拍数、一回拍出量が作業後半のものと異なる原因としては、この運動開始時の反射性の皮膚静脈収縮が関連しているものと思われる。

文 献

- Defares, J. G., 1958: Determination of $PvCO_2$ from the exponential CO_2 rise during rebreathing. *J. Appl. Physiol.*, 13(2) 159-164.
- Grimby, G., N. J. Nilsson, & H. Sanne, 1966: Repeated serial determination of cardiac output during 30min exercise. *J. Appl. Physiol.*, 21(6): 1750-1756.
- Hori, S. 1978: Methods for the Assessment of Heat Tolerance. *J. Anthrop. Soc. Nippon*, 86(2): 35-49.
- Jernérus, R., G. Lundin, & D. Thomson, 1963: Cardiac output in healthy subjects determined with CO_2 rebreathing method. *Acta Physiol. Scand.*, 59: 390-399.
- 勝浦哲夫, 1974: 姿勢と心拍出量. *人類学雑誌*, 82(3): 220-221.
- 勝浦哲夫, 1976: 温熱環境が呼吸循環機能に及ぼす影響について. *人類学雑誌*, 84(1): 80.
- 勝浦哲夫, 1979: 心拍出量に及ぼす姿勢と気温の影響. *人類学雑誌*, 87(2): 146-152
- Katsuura, T., 1981: Alterations of Cardiac Output, Stroke Volume, and Heart Rate during 3 Hours of Exercise in Different Ambient Temperatures. *J. Anthrop. Soc. Nippon*, 89(3): 351-362.
- Klausen, K., 1965: Comparison of CO_2 rebreathing and acetylene methods for cardiac output. *J. Appl. Physiol.*, 20(4): 763-766
- MacDougall, J. D., W. G. Reddan, C. R. Layton, & J. A. Dempsey, 1974: Effects of metabolic hyperthermia on performance during heavy prolonged exercise. *J. Appl. Physiol.*, 36(5): 538-544.
- 大中忠勝, 榎木暢雄, 橋本昭夫, 高崎裕治, 山崎昌広, 志水 巖, 1977: 長時間筋作業に伴う PWC_{120} , PWC_{150} 及び PWC_{170} で表わした作業容量の変動. *人類学雑誌*, 85(2): 159-162
- Ramanathan, N. L., 1964: A new weighting system for mean surface temperature of the human body. *J. Appl. Physiol.*, 19(3): 531-533.
- Root, R. W., 1958: Blood CO_2 absorption as function of CO_2 pressure. In: Dittmer, D. S. & R. M. Grebe: *Handbook of respiration*. 65, W. S. Saunders Company, Philadelphia & London.
- Saltin, B. & J. Stenberg, 1964: Circulatory response to prolonged severe exercise. *J. Appl. Physiol.*, 19(5): 833-838.
- 志水 巖, 橋本昭夫, 大中忠勝, 榎木暢雄, 高崎裕治, 山崎昌広, 1976: 長時間筋活動が酸素摂取量と心拍数及び両者の関係に及ぼす影響について. *人類学雑誌*, 84(2): 114-120.
- Zitnik, R. S., E. Ambrosioni, & J. T. Shepherd, 1971: Effect of temperature on cutaneous venomotor reflexes in man. *J. Appl. Physiol.*, 31(4): 507-512.

(1982年12月15日受付)