最大自転車駆動と走運動にみられる呼吸 ・循環機能の反応の違いに関する研究

山 地 啓 司* 宮 下 充 正**

(昭和50年10月9日 受付)

A Study on the Difference in Cardio-Respiratory Responses to the Maximum Work between Cycling and Running

Keiji Yamaji (Faculty of Education, Toyama University)

Mitsumasa Miyashita (Faculty of Education, University of Tokyo)

Abstract

The present study was intended to compare cardio-respiratory responses to the maximal exercise on bicycle with those on treadmill. The progressive loading method was adopted for both bicycle exercise and treadmill running (resistance for bicycle and speed for treadmill). The subjects were 28 well-trained middle and long distance male runners, aged 18 to 25 years. Douglas bags and Scholander's apparatus were used to determine the maximal oxygen uptake. The modified Filley's steady state method was adopted for the determination of pulmonary diffusing capacity, and CO₂ rebreathing method was for the determination of cardiac output. The results obtained in this study were summarized as follows;

1) The maximal oxygen uptake (3.93 ± 0.47 l/min) obtained by treadmill running was significantly greater than that (3.36 ± 0.50 l/min) by bicycle exercise.

2) The larger maximal oxygen uptake by treadmill running was due to the higher pulmonary diffusing capacity, ventilation, heart rate and/or arterial-venous oxygen difference than those by bicycle exercise.

(Keiji Yamaji and Mitsumasa Miyashita: A Study on the Difference in Cardio-Respiratory Responses to the Maximum Work between Cycling and Running. *Jap. J. Phys. Educ.*, Vol. 22, No. 4, Nov., 1977, pp. 179~187)

I 緒 論

全身持久生の作業能力の最良の指標の一つとしてみられている最大酸素摂取量は、測定を行なう環境状態(気圧^{13,14,56,57,70}、温度^{12,54}、湿度^{71,75})、作業様式(トレッドミル走^{18,42,59}、自転車駆動^{9,11}、踏み台昇降運動^{6,19,65,68}、水泳⁴¹等)、測定さ

れる被検者の身体的・精神的状態^{1,48,49,61,62,63}等によって異なってくる。これまで、これらの最大酸素摂取量を増減させる機序を究明する試みがなされてきたが、かならずしも一致した見解が得られていない。^{3,10,16,17,24,26,38,43,47,64}

本研究は中・長距離選手を対象として、自転車駆動とトレッドミル走とにみられる呼吸・循環機

* 富山大学教育学部

** 東京大学教育学部

能の反応の相違を総合的に検討することによって、酸素摂取量の生理的機序を明らかにしようとするものである。

研究方法

(1) 被検者

本研究の被検者は大学中・長距離選手(18~25歳)の男子28名である。その身体的特性は Table 1のごとくである。なお、被検者はすべて非喫煙者である。

Table 1. Physical characteristics of the subjects.

		Height (cm)	Weight (kg)	B.S.A. (m ²)	VC (l)
Athletes	mean	168.5	58.3	1.67	4.48
(28 male)	S.D.	4.4	4.5	0.09	0.60

(2) 測定方法

(a) 作業方法

トレッドミル走は、まず最初の負荷(180~210 m/min)で2分間行ない、以後連続して1分ごとに10mずつスピードを高める負荷漸増法で行なった。なお、トレッドミルの傾斜は5度(8.6%)とした。

自転車駆動は、まず最初の負荷(720~1080 kg m/min)で2分間行ない、以後連続して1分ごとに180kgm/min ずつ漸増する負荷方法で行なった。なお、使用した自転車はモナーク社製で、ペダルの回転数は60 rpmとした。両作業におけるexhaustionはすべての被検者において運動開始後5分から8分以内に認められた。

(b) 最大酸素摂取量

exhaustion 2~3分前からexhaustionに達するまで、1分ごとに呼気ガスをダグラスバッグに採集した。採集した呼気ガスを乾式ガスメーターで、O₂およびCO₂濃度をScholander微量ガス分析器で分析することによって最大酸素摂取量を算出した。

(c) 肺拡散容量(D_{Lo2})

酸素摂取量の測定と同期して行なった、exhaustion 1~2分前からCO混合ガス(空気ガス+0.05%の一酸化炭素)を吸わせた。吸気および呼気ガスCO濃度はBeckman CO Analyzerで分析

を行ない、前記の肺換気量からCO摂取量($\dot{V}_{CO}$)を算出した。exhaustion後ただちに、LB-1 CO₂ Analyzerを用い、Haldane-Priestly法によって肺胞のCO₂分圧(P_{Aco2})を求め、さらに、Bohr*の呼吸死腔量の式から肺胞CO濃度(F_{Aco})を算出した。そして、肺胞CO分圧(P_{Aco})に変換し、次の式に代入して一酸化炭素肺拡散容量(D_{Lo2})を算出した²⁰⁾。

$$D_{Lo2} = \dot{V}_{CO} / (P_{Aco} - P_{\bar{CO}}) \dots\dots(1)$$

(ただし、平均肺胞毛細管血中のCO濃度(P_{CO})は零とみなした²⁰⁾)。さらに、次の式に代入して酸素肺拡散容量(D_{Lo2})に変換した。

$$D_{Lo2} = D_{Lo2} \times 1.23 \dots\dots(2)$$

(d) 心拍出量(Q)

酸素摂取量の測定と同期し、炭酸ガス排出量($\dot{V}_{CO2}$)を求めた。前記の方法によって肺胞CO₂分圧(P_{Aco2})を求め、その後混合ガス(CO₂: 4~5%, O₂: 96~95%)の再呼吸を行なわせ、混合静脈血CO₂分圧(P_{Vco2})を求めた。さらにCO₂解離曲線から動脈血CO₂含量(C_{aCO2})および混合静脈血CO₂含量(C_{Vco2})を求め、次式に代入して毎分心拍出量を求めた²⁰⁾。

$$Q = \dot{V}_{CO2} / (C_{Vco2} - C_{aCO2}) \dots\dots(3)$$

また、一回拍出量(SV)と動静脈酸素較差(a- $\bar{v}$ O₂ diff.)を次の式によって算出した。

$$SV = Q / HR \dots\dots(4)$$

$$a - \bar{v} O_2 \text{ diff.} = \dot{V}_{O2} / Q \dots\dots(5)$$

(e) 心拍数(HR)

心拍数はexhaustion前15秒間胸部誘導から心電図法で測定し、1分間の値に換算したものを採用した。

結 果

トレッドミル走および自転車駆動での最大作業時の呼吸・循環機能の反応の平均値をTable 2に示した。

(1) 最大酸素摂取量

トレッドミル走における最大酸素摂取量は自転車駆動で得られた値よりも統計的に有意に高かった。トレッドミル走での最大酸素摂取量に対する

* 呼気全量($\dot{V}_E$) = 呼出肺胞気量($\dot{V}_A$) + 死腔気量($\dot{V}_D$)

Table 2. Mean values for cardio-respiratory responses to the maximal exercises on both bicycle and treadmill.

		$\max \dot{V}O_2$ (l/min)	$\max \dot{V}O_2$ (ml/kg. min)	$\dot{V}_E$ (l/min)	O_2R (ml/l)	D_{LO_2} (ml/min /mm Hg)	$\dot{Q}$ (l/min)	SV (ml)	HR (beats/ min)	a- $\bar{v}O_2$ diff. (ml/l)
Treadmill	mean	3.93	67.1	144.3	32.7	63.6	27.4	143.2	191.5	142.1
	S.D.	0.47	5.8	21.4	3.4	11.2	2.8	13.0	5.9	7.9
Bicycle	mean	3.36	57.7	109.1	37.6	52.6	26.0	140.8	183.3	129.2
	S.D.	0.50	7.0	21.8	5.0	10.3	2.6	12.4	7.7	9.7
		***	***	***	**	***	NS	NS	***	***

** Significant $p < 0.01$ *** Significant $p < 0.001$

自転車駆動での最大酸素摂取量の割合は 60～100%に分布し, 平均83.0%であった(Fig. 1).

(2) 呼吸機能

トレッドミル走における最大作業時の肺換気量は自転車駆動における値よりも統計的に有意に高かった。しかし, 酸素摂取率においては自転車駆動の方がトレッドミル走に比べ統計的に有意に高い値を示した。さらに, トレッドミル走における最大作業時の肺拡散容量は自転車駆動の値よりも有意に高かった。しかし, 肺胞の O_2 分圧と肺毛

細管血 O_2 分圧との較差 ($P_{AO_2} - P_{CO_2}$) では両作業の間に有意な差が認められなかった。

(3) 循環機能

トレッドミル走の最大作業における心拍出量および一回拍出量はそれぞれ自転車駆動の値との間に統計的に有意な差が認められなかった。しかし, トレッドミル走における最大作業時の心拍数および動静脈酸素較差はそれぞれ自転車駆動よりも統計的に有意に高い値を示した。

考 察

(1) 両作業にみられる最大酸素摂取量の相違

Åstrand²⁾ は, 最大酸素摂取量がトレッドミル走と自転車駆動との間にほとんど差がないことを報告した。しかし, その後, ÅstrandとSaltin³⁾, Glassfordら²⁰⁾はトレッドミル走における最大酸素摂取量が自転車駆動のそれよりも有意に高いことを報告した。以後, 多くの研究者が作業様式, 特にトレッドミル走と自転車駆動における最大酸素摂取量の差異について検討し, トレッドミル走の最大酸素摂取量が自転車駆動のそれよりも統計的に高いことを報告している(Table 3). Table 3によると, 一般成人のトレッドミル走と自転車駆動における最大酸素摂取量の差は約 5～17%を示し, 運動選手ではボート選手の -0.4%から本研究の鍛錬者の17%までであった。一般に, 運動様式の相違による最大酸素摂取量の差異は一般成人よりもスポーツ選手の方が大きい^{4,5,25,26)}。これは, それぞれのスポーツ種目別トレーニングによって鍛

Figure 1. Individual values for maximal oxygen uptake during maximal bicycle exercise compared with the corresponding values during maximal treadmill running.

Table 3. Mean values for maximal oxygen uptake during maximal bicycle exercise compared with the corresponding values during maximal treadmill running.

Authors		Subjects	No	Age years	Treadmill (A)	Bicycle (B)	(A)-(B) (B) × 100
					l/min or	ml/kg.min	%
Åstrand ²⁵⁾	1961	normal male	5	22-37	4.69	4.47	4.9
Newton ³¹⁾	1963	normal male	7	19-70	46.1	43.7	5.5
Wyndham ⁷⁴⁾	1966	normal male	40		3.08	2.84	8.5
Magel ⁴⁰⁾	1967	trained swimmers	26	19.8 ± 1.0	55.5	55.0	0
Shephard ⁶⁰⁾	1968	normal male	24	20-40	3.81	3.56	7.0
Hermansen ²⁸⁾	1969	endurance athletes	8	21.27	5.04	4.63	8.9
		trained students			3.54	3.17	11.7
		laboratory staff		22-40	4.65	4.34	7.1
		orienteering	10	young	4.75	4.55	4.4
		orienteering	14	45-68	3.68	3.44	7.0
Hermansen ²⁸⁾	1970	athletes	13	19-34	4.57	4.31	6.0
McArdle ⁴⁶⁾	1970	athletes	23	20.4 ± 1.8	3.27	2.95	10.8
Pugh ⁶⁰⁾	1972	mountaineers	5	30-39	3.28	3.24	1.2
Holmér ²⁷⁾	1972	swim trained	13	16-21	4.48	4.18	7.2
Miyamura ⁴⁷⁾	1972	students	17	18-23	3.95	3.37	17.2
McArdle ⁴⁶⁾	1973	students	15	21.9 ± 4.0	4.11	3.68	11.7
Katch ³⁸⁾	1974	college men	50	21.2 ± 1.6	3.95	3.44	14.8
Carey ⁸⁾	1974	Harvard crew	5	20.8 ± 1.9	5.34	5.32	-0.4
Present study	1975	distant runners	28	18-25	3.93	3.36	17.0

えられた筋群と最大酸素摂取量測定の仕事に参加する筋群とが、かならずしも一致しないことによるものと考えられる。

本研究のトレッドミル走と自転車駆動の最大酸素摂取量の差異が17%と大きいことは、対象者のトレーニングによる脚筋の発達が生運動に適したものであるに対して、自転車駆動の最大作業では脚筋力の不足が呼吸・循環機能の十分な活動に至らぬ前に脚の疲労をまねくことによるものと推察される。しかし、この点についてはさらに検討が必要であろう。

(2) 呼吸・循環反応からみたその要因

トレッドミル走と自転車駆動にみられる最大酸素摂取量の相違の原因に関するこれまでの報告を呼吸系から分類してみると、①主に酸素摂取率の影響を受ける^{25, 45)}、②主に肺換気量の影響を受ける³⁸⁾、という2つの見解に区分される。本研究結果では、トレッドミル走における最大作業時の肺換気量は自転車駆動よりも多いが、酸素摂取率は自転車駆動のそれよりも低い。このことは運動様

Figure 2. Individual values for maximal oxygen uptake, ventilation (STPD) and oxygen removal during both maximal bicycle exercise and treadmill running.

式によって呼吸様式が異なることを示唆的なものであり, トレッドミル走では自転車駆動に比較して呼吸の深さは浅く, 呼吸数は多いことが予測される. トレッドミル走の最大酸素摂取量が自転車駆動よりも大きいのは, 自転車駆動の酸素摂取率がトレッドミル走よりも高いにもかかわらず, それ以上にトレッドミル走の最大作業時の肺換気量が自転車駆動のそれよりも多いことに起因している (Fig 2).

肺換気量が多いことは肺泡でのガス交換に次のような影響を与える. ①肺泡の酸素分圧 ($P_{A_{O_2}}$) を高めること, ②拡散面積を広げること, ③肺胞膜の膨張によって肺胞膜が薄くなる. したがって, トレッドミル走にみられる多い肺換気量は肺胞膜のガス交換を自転車駆動よりも優位に促進するものと考えられる. このことは, 本研究のトレッドミル走における最大作業時の肺拡散容量が自転車駆動よりも統計的に高いことの大きな要因と考えられる (Fig 3).

トレッドミル走における最大作業時の心拍数は自転車駆動よりも統計的に有意に高い. このトレッドミル走での高い心拍数はトレッドミル走が自

転車駆動よりも心臓に対し, 高い活動水準を要求して exhaustion に達していることを示している. すなわち, 自転車駆動が心臓機能の活動を最大限に発揮する前に何らかの原因によって運動の持続が妨げられているものと推察される.

Pirnay ら⁵⁵⁾は自転車駆動における脚の血流量が作業強度および心拍数の増加に対してほぼ直線的に増加することから, 自転車駆動中の脚筋の血流量が酸素摂取量の基本的制限因子と考えられないとしている. しかし, これまでの多くの報告では, 筋の活動水準が高まるにつれて活動筋への血流量は増大するが^{28,30,31,34,40,50,55)}, 筋活動がさらに高まると筋内圧の上昇によって血管閉塞が生じ血流量はむしろ減少すると考えられる^{7,15,18,37,53,69)}.

Fringer と Stull²¹⁾, Hermansen ら²³⁾, Shephard ら⁶⁷⁾, Sugimoto ら⁷²⁾は, トレッドミル走の最大酸素摂取量が自転車駆動のそれよりも高い原因として, トレッドミル走時の心拍出量と一回拍出量が自転車駆動よりも高いことを挙げている. さらに, この両作業にみられる心拍出量および一回拍出量の相違が筋の収縮時間 (contraction-time)

Figure 3. Individual values for maximal oxygen uptake, pulmonary diffusing capacity and difference in alveolar oxygen pressure and mean capillary oxygen pressure during both maximal bicycle exercise and treadmill running

Figure 4. Individual values for maximal oxygen uptake, cardiac output and difference in arterial oxygen pressure and venous oxygen pressure during both maximal bicycle exercise and treadmill running.

の差異による帰還血流量の相違によるとみなしている。本研究においては、自転車駆動の最大作業時の心拍出量および一回拍出量と、トレッドミル走のそれらとの間に統計的に有意な差が認められなかった。このことは両作業時の心臓への帰還血流量がほぼ等しいことを示唆するものであるが、前記の多くの報告と異なるものであった。その原因は明らかではないが、本研究の対象者が鍛錬者であることも一要因と考えられる。

本研究でのトレッドミル走の動静脈酸素較差は自転車駆動よりも統計的に有意に高いことから、両作業の血液分配の相違が考えられる。さらに、本研究のトレッドミル走と自転車駆動にみられる動静脈酸素較差の相違は、平地における動脈血の酸素飽和度が作業様式および強度に関係なく一定と考えられることから³⁸⁾、混合静脈血の酸素分圧の差異に起因するものと考えられる。この混合静脈血の酸素分圧の低下は、①非活動筋から活動筋への血液分配の変動^{10,34,43)}、②活動筋の増加^{8,10,36,38,47,64)}、③活動筋での酸素のぬきとり (extraction) の増加^{10,16,17)} 等に起因すると考えられる。この中でも、本研究においては、両作業の心拍出量および一回拍出量に差異が認められないことから、両作業における血液分配の相違によるところが大きいと考えられる。しかし、Åstrand²⁾ は作業筋量の増大に比例して酸素摂取量が増加することから、Peripheral factor に最大酸素摂取量の規定因子が存在するとした。また、Taylor ら⁷³⁾、Gleser ら²⁹⁾ は自転車駆動の最大作業時に腕のクランキングを同時に行なわせることによって、トレッドミル走における最大酸素摂取量よりも高い最大酸素摂取量を報告している。そして、その差異の原因として作業に参加する筋量の増加を挙げている。また、Miyamura と Honda⁴⁷⁾、Katch ら³⁸⁾ はトレッドミル走と自転車駆動の最大酸素摂取量の相違が活動筋量の差異によるものとみなしている。これらのことから、本研究の両作業にみられる最大酸素摂取量の相違は両作業の活動筋量および血液分配の相違に起因するものと推察されよう。

要 約

鍛錬者 (中・長距離選手) 28 名を対象として、

自転車駆動とトレッドミル走にみられる最大酸素摂取量の相違の原因を呼吸・循環機能の反応から検討してみた。結果の概要は次のごとくである。

(1) トレッドミル走の最大酸素摂取量は 3.93 ± 0.47 l/min (67.1 ± 5.8 ml/kgmin) となり、自転車駆動の 3.36 ± 0.50 l/min (57.7 ± 7.0 ml/kgmin) よりも統計的に有意に高い値を示した ($p < 0.001$)。

(2) トレッドミル走の肺換気量は 144.3 l/min となり、自転車駆動の 109.1 l/min よりも高いが ($p < 0.001$)、酸素摂取率ではトレッドミル走が 32.7 ml/l となり、自転車駆動の 37.6 ml/l よりも低い値であった ($p < 0.01$)。

(3) トレッドミル走の肺拡散容量は 36.6 ml/min/mmHg となり、自転車駆動の 52.6 ml/min/mmHg よりも高い値であった ($p < 0.001$)。

(4) トレッドミル走の心拍出量および一回拍出量はそれぞれ 27.4 l/min, 143.2 ml となり、自転車駆動の 26.0 l/min, 140.8 ml との間にそれぞれ統計的に有意な差が認められなかった。しかし、トレッドミル走の心拍数および動静脈酸素較差はそれぞれ、191.5 beats/min, 142.1 ml/l となり、自転車駆動の 183.3 beats/min, 129.2 ml/l よりも高い値を示した ($p < 0.001$)。

これらのことから、トレッドミル走の高い最大酸素摂取量は、呼吸系では肺換気量、肺拡散容量、循環機能では心拍数および動静脈酸素較差の高いことに起因すると考えられよう。

引 用 文 献

- 1) Andersen, K. L., A. Bolstad, Y. Loyning and L. Irving, Physical fitness of Arctic Indians. J. Appl. Physiol. 15: 645-648, 1960.
- 2) Åstrand, P.-O., Experimental studies of physical working capacity in relation to sex and age. Munksgard, Copenhagen, 1952.
- 3) Åstrand, P.-O. and B. Saltin, Maximal oxygen uptake and heart rate in various types of muscular activity. J. Appl. Physiol. 18: 977-981, 1961.
- 4) Åstrand, P.-O., Aerobic work capacity during maximal performance under various condition. Cir. Res. 20 and 21: 202-210, 1967.

- 5) Åstrand, P.-O., *Commen aries. Canad. Med. Ass. J.* 98 : 820-821, 1969.
- 6) Balke, B. and R.W. Ware, *An experimental study of physical fitness of air force personnel. U.S.A.F. Med. J.* 10 : 675-888, 1959.
- 7) Barcroft, H. and J.L.E. Millen, *The blood flow through muscle during sustained contraction. J. Physiol.* 87 : 17-31, 1939.
- 8) Carey, P., M. Stensland and L.H. Hartley, *Comparison of oxygen uptake during maximal work on the treadmill and the rowing ergometer. Med. Sci. Sports.* 8 : 101-103, 1974.
- 9) Cumming, G.R. and R. Dansinger, *Bicycle ergometer studies in children. Pediatrics.* 32 : 202-208, 1963.
- 10) Cumming, G.R., *Physical activity and cardiovascular health : current levels of fitness. Canad. Med. Ass. J.* 98 : 868-877, 1967.
- 11) Cumming, G. R. and W. Friesen, *Bicycle ergometer measurement of maximal oxygen uptake in children. Can. J. Physiol. Pharmacol.* 45 : 937-946, 1967.
- 12) Dill, D.B. and C. F. Consolazio, *Responses to exercise as related to age and environmental temperature. J. Appl. Physiol.* 17 : 645-648, 1962.
- 13) Dill, D.B., E.E. Phillips, Jr. and D. MacGregor, *Training : Youth and age. Ann. N.Y. Acad. Sci.* 134 : 760-775, 1966.
- 14) Dill, D.B. and C. Adams, *Maximal oxygen uptake at sea level and at 3,090m altitude in high school champion runners. J. Appl. Physiol.* 38 : 854-859, 1971.
- 15) Dolgin, P. and G. Lehman, *Ein Beitrag zur Physiologie der statisch en Arbeit. Int. Z. angew. Physiol.* 2 : 248-252, 1930.
- 16) Ekblom, B. and L. Hermansen, *Cardiac output in athletes. J. Appl. Physiol.* 25 : 619-625, 1968.
- 17) Ekelund, L.-G. and A. Holmgren, *Circulatory and respiratory adaptation during long-term, non-steady state exercise in the sitting position. Acta Physiol. Scand.* 62 : 240-255, 1967.
- 18) Faulkner, J.A., D. E. Roberts, R.L. Fik and J. Conway, *Cardiovascular responses to submaximum and maximum effort cycling and running. J. Appl. Physiol.* 30 : 457-461, 1971.
- 19) Ferguson, R.J., G.G. Marcotte and R.R. Montpetit, *A maximal oxygen uptake test during ice skating. Med. Sci. Sports.* 1 : 207-211, 1969.
- 20) Filley, G.F., D.J. MacIntosh and G.W. Wright, *Carbon monoxide uptake and pulmonary diffusing capacity in normal subjects at rest and during exercise. J. Clin. Invest.* 33 : 530-539, 1954.
- 21) Fringer, M.N. and G.A. Stull, *Changes in cardiorespiratory parameters during periods of training and detraining in young adult females. Med. Sci. Sports.* 8 : 20-25, 1974.
- 22) Glassford, R. G., G. H. Y. Baycraft, A. W. Sedgewick and R.B.J. Macnab, *Comparison of maximal oxygen uptake values determined by predicted and actual methods. J. Appl. Physiol.* 20 : 509-513, 1965.
- 23) Gleser, M. A., D. H. Horstman and R. P. Mello, *The effects on $\dot{V}_{O_2\max}$ of adding arm work to maximal leg work. Med. Sci. Sports.* 6 : 104-107, 1974.
- 24) Grimby, G., N. J. Nilsson and B. Saltin, *Cardiac output during submaximal and maximal exercise in active middle-aged athletes. J. Appl. Physiol.* 21 : 1150-1156, 1966.
- 25) Hermansen, L. and B. Saltin, *Oxygen uptake during maximal treadmill and bicycle exercise. J. Appl. Physiol.* 28 : 31-37, 1969.
- 26) Hermansen, L., B. Ekblom and B. Saltin, *Cardiac output during submaximal and maximal treadmill and bicycle exercise. J. Appl. Physiol.* 29 : 82-86, 1970.
- 27) Holmér, I., *Oxygen uptake during swimming in man. J. Appl. Physiol.* 33 : 502-509, 1972.
- 28) 猪飼道夫, 石井喜八, 中村淳子: 血流量からみた筋持久力Ⅳ. 体育の科学, 15 : 404-410, 1965.
- 29) 猪飼道夫: 呼吸・循環機能からみた体力の限界, 呼吸と循環, 18 : 449-456, 1968.
- 30) 猪飼道夫, 田口貞善: 筋の酸素摂取量と作業能力 I. 体育の科学, 18 : 128-134, 1968.
- 31) 猪飼道夫, 田口貞善: 筋の酸素摂取量と作業能力 II. 体育科学, 18 : 188-194, 1968.
- 34) 猪飼道夫, 田口貞善: 筋の酸素摂取量と作業能力

- Ⅲ. 体育の科学, 18 : 265-269, 1968.
- 35) Ikai, M., M. Shindo and M. Miyamura, Aerobic work capacity of Japanese people. *Res. J. Physical. Ed.* 14 : 137-142, 1970.
 - 36) Johnson, R. L., Pulmonary diffusion as a limiting factor in exercise stress. *Cir. Res.* 20 : 154-160, 1967.
 - 37) 加賀谷淳子 : 脚の動的作業に対する循環系の反応. 東京家政学院大学紀要, 12 : 75-84, 1972.
 - 38) Katch, F.I., W.D. McArdle and G.S. Pechar, Relationship of maximal leg force and composition to treadmill and bicycle ergometer maximum oxygen uptake. *Med. Sci. Sports.* 6 : 38-43, 1974.
 - 39) Klausen, K., Comparison of CO₂ rebreathing and acetylene methods for cardiac output. *J. Appl. Physiol.* 20 : 763-766, 1965.
 - 40) Lind, A.R. and G.W. McNicon, Local and central circulatory responses to sustained contractions and the effect of free or restricted arterial inflow on post-exercise hyperaemia. *J. Physiol.* 192 : 575-593, 1967.
 - 41) Magel, J.R. and J.A. Faulkner, Maximum oxygen uptake of college swimmers. *J. Appl. Physiol.* 22 : 929-938, 1967.
 - 42) Maksud, M.G. and K.D. Couttes, Comparison of a continuous and discontinuous graded treadmill test for maximal oxygen uptake. *Med. Sci. Sports.* 3 : 63-65, 1971.
 - 43) Margaria, R., F. Mangili, F. Cuttica and P. Cerretelli, The kinetics of the oxygen consumption at the onset of muscular exercise in man. *Ergonomics.* 8 : 49-54, 1965.
 - 44) McArdle, W. D. and J. R. Magel, Physical work capacity maximum oxygen uptake in treadmill and bicycle exercise. *Med. Sci. Sports.* 2 : 118-123, 1970.
 - 45) McArdle, W.D., F.I. Katch and G.S. Pechar, Comparison of continuous and discontinuous treadmill and bicycle tests for max $\dot{V}O_2$. *Med. Sci. Sports.* 5 : 156-160, 1973.
 - 46) Metz, K. F. and J. F. Alexander, An investigation of the relationship between maximum aerobic work capacity and physical fitness in twelve to fifteen-year-old boys. *Res. Quart.* 41 : 75-81, 1970.
 - 47) Miyamura, M. and Y. Honda, Oxygen intake and cardiac output during maximal treadmill and bicycle exercise. *J. Appl. Physiol.* 32 : 185-188, 1972.
 - 48) Mocellin, R. and J. Rutenfrang, Investigations of the physical working capacity of obese children. *Acta Pedia. Scand. Suppl.* 217 : 77-79, 1971.
 - 49) Moody, D. L., J. Kollias and E. R. Buskirk, Evaluation of aerobic capacity in lean and obese women with four test procedures. *J. Sports Med. and Physical Fitness.* 9 : 1-9, 1969.
 - 50) Nagel, F. J. and R. Pellegrino, Changes in maximal oxygen uptake in high school runners over a competitive track season. *Res. Quart.* 42 : 456-459, 1971.
 - 51) Newton, J. L., The assessment of maximal oxygen intake. *J. Sports Med. and Physical Fitness.* 3 : 164-169, 1963.
 - 52) Nghiem, Q. X., M. H. Schreiber and L. C. Harris, Cardiac volume in normal children and adolescents. *Cir.* 35 : 509-522, 1967.
 - 53) Nilsson, B. and D. H. Ingvar, Intramuscular pressure and contractile strength related to muscle blood flow in man. *Scand. J. Clin. Lab. Invest. Suppl.* 99 : 31-38, 1967.
 - 54) Pirnay, F., R. Deroanne and J. M. Petit, Maximal oxygen consumption in a hot environment. *J. Appl. Physiol.* 28 : 642-645, 1970.
 - 55) Pirnay, F., R. Marechal, R. Radermecher and J.M. Petit, Muscle blood flow during submaximal and maximal exercise on a bicycle ergometer. *J. Appl. Physiol.* 32 : 210-212, 1972.
 - 56) Pugh, L.G.C.E., Cardiac output in muscular exercise at 5,800m (19,000 ft). *J. Appl. Physiol.* 19 : 441-447, 1964.
 - 57) Pugh, L.G.C.E., Athletes at altitude. *J. Physiol.* 192 : 619-646, 1967.
 - 58) Pugh, L.G.C.E., Oxygen intake in track and treadmill running with observations on the effect of air resistance. *J. Physiol.* 207 : 823-835, 1970.
 - 59) Pugh, L.G.C.E., Maximum oxygen intake in Himalayan Mountaineers. *Ergonomics.* 15 : 133

- 137, 1972.
- 60) Saltin, B., Aerobic and anerobic work capacity after dehydration. *J. Appl. Physiol.* 19 : 1114-1118, 1964.
 - 61) Saltin, B., Circulatory response to submaximal and maximal exercise after thermal dehydration. *J. Appl. Physiol.* 19 : 1125-1132, 1964.
 - 62) Saltin, B. and J. Stenberg. Circulatory response to prolonged severe exercise. *J. Appl. Physiol.* 19 : 833-838, 1964.
 - 63) Saltin, B. and P.-O. Åstrand, Maximal oxygen uptake in athletes. *J. Appl. Physiol.* 23 : 353-358, 1967.
 - 64) Shephard, R. J., The prediction of maximal oxygen consumption using a new progressive step test. *Ergonomics.* 10 : 1-15, 1967.
 - 65) Shephard, R. J., The heart and circulation under stress of olympic conditions. *J. A. M. A.* 205 : 775-779, 1968.
 - 66) Shephard, R. J., C. Allen, A. J. S. Bepade, C.T.M. Davies, P. E. Prampero, R. Hedman, J. E. Merriman, K. Myhre and R. Simmons, The maximum oxygen intake. *Ball. Wld. Hlth. Ory.* 38 : 757-764, 1968.
 - 67) Škranc, O., V. Havel and K. Banták, A comparison of work capacity measured by graded step-test and on a bicycle ergometer. *Ergonomics.* 13 : 675-683, 1970.
 - 68) Start, K. B. and R. Homes, Local muscle endurance with open and occluded intramuscular circulation. *J. Appl. Physiol.* 18 : 804-807, 1963.
 - 69) Stenberg, J., B. Ekblom and K. Messin, Hemodynamic response to work at simulated altitude, 4,000m. *J. Appl. Physiol.* 21 : 1589-1594, 1966.
 - 70) Strydom, N. B., C.H. Wyndham, C. G. Williams, J. F. Morison, G. A. G. Bredell, A.S.S. Benade and M. V. Rahden, Acclimatization to humid heat and the role of physical conditioning. *J. Appl. Physiol.* 21 : 636-642, 1966.
 - 71) Sugimoto, T., K. Sagawa and A. C. Guyton, Effect of tachycardia on cardiac output during normal and increased venous return. *Am. J. Physiol.* 211 : 288-292, 1966.
 - 72) Taylor, H. L., E. Buskirk and A. Henschel, Maximal oxygen intake as an objective measure of cardio-respiratory performance. *J. Appl. Physiol.* 8 : 73-80, 1955.
 - 73) Wyndham, C.H., N.B. Strydom, W.P. Leary and C.G. Williams, Studies of the maximum capacity of men for physical effort. *Int. Z. angew. Physiol.* 22 : 285-295, 1966.
 - 74) Wyndham, C. H., N. B. Strydom, A. J. Rensburg, A. J. S. Benade and A. J. Heyns, Relation between $\dot{V}O_{2max}$ and body temperature in hot humid air conditions. *J. Appl. Physiol.* 29 : 45-50, 1970.
 - 75) 山地啓司, 猪飼道夫: 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, 1972.