

大学生の陸上選手と水泳選手の有酸素性作業能力ならびに等速性筋出力

小村 堯, 磨井 祥夫, 橋本 晃啓, 菊地 邦雄, 宮原 満男

広島大学総合科学部保健体育講座

(1987.10.31 受理)

Aerobic power and isokinetic strength of versity runners and swimmers

Takashi KOMURA, Sachio USUI, Akihiro HASHIMOTO, Kunio KIKUCHI
and Mitsuo MIYAHARA

Abstract

The purpose of this study was to examine the aerobic power and isokinetic strength of runners and swimmers and to clarify the effect of training on those physical capacity.

The subjects were 20 male runners and 16 male swimmers belonged to the club of an university.

The following results were obtained.

- 1) There was no difference in body height, weight, and percent fat between runners and swimmers.
- 2) There was no difference in maximal oxygen uptake between the two groups. The value of maximal oxygen uptake in the subjects was similar to the average value of Japanese non-athletes in the same ages. The subjects were much poorer in the aerobic power than the top runners and swimmers in Japan.
- 3) Distance runners had the larger maximal ventilation and the larger maximal oxygen uptake than sprinters.
- 4) The distance runner with the longer career had the larger maximal oxygen uptake per body weight.
- 5) There was no difference in the isokinetic strength at high speed leg extension between runners and swimmers.
- 6) The sprinter with the longer career had the larger isokinetic strength at high speed contraction.

1. はじめに

陸上競技のトラック種目や競泳においてはその競技成績に有酸素性作業能力が大きく関与することはよく知られている^{1,7,10,13,14,15)}。また、全身持久性のトレーニングを継続することにより競技

成績も向上し、酸素摂取能力も増大することも明らかにされている²⁾。雨宮ら³⁾は陸上中、長距離選手について競技記録と最大酸素摂取量の関係を検討し、長距離選手に有意な相関関係が認められたことを報告している。山地²⁰⁾も大学中長距離選手の最大酸素摂取量は一般人より大きいと述べている。水泳については、Astrand ら³⁾が競技成績と最大酸素摂取量の間に高い相関があることを報告し、宮下ら¹⁰⁾も日本人においてはほぼ同様の傾向のあることを認めている。

一流運動選手の筋線維組成は競技種目によって大きく異なることが知られており、その理由として筋線維の収縮特性や代謝特性によって説明されている^{4,8,19)}。収縮特性から分類される速筋線維と遅筋線維の構成比は遺伝的要因が大きく、トレーニングによって変化しないと考えられている⁹⁾。しかし、トレーニングによってFOG線維の面積比の増加⁹⁾やFG線維がFOG線維に移行する²⁾など代謝特性に変化が見られることが分かってきた。このように筋線維組成は競技種目と密接な関連があるものの、多くの選手に筋バイオプシーを施すことは困難である。そこで、筋線維組成を非観血的に調べる1つの手段として等速性筋力が注目されてきた。Thorstensson ら¹⁸⁾、Coyle ら⁶⁾は、等速性筋力が筋線維組成とある程度の相関があることを報告した。すなわち、陸上短距離、跳躍、砲丸投げ、重量挙げのようにすばやい瞬発的な力が競技成績を左右する競技種目の選手では、角速度の大きい時の等速性筋出力に優れ、速筋線維の筋横断面積に占める割合も大きかった。そこで等速性筋力を知ることによって、その選手の筋線維組成を大まかに推定することも可能であると思われる。また高速度での等速性筋力は筋パワーの評価にもしばしば用いられている。

そこで本研究は、形態発育がほぼ終了したと考えられる男子大学生の陸上部員と水泳部員を対象として、有酸素性能力と等速性筋出力の測定を行い、大学入学後の陸上と水泳のトレーニングが有酸素性作業能力および等速性筋出力にどのような影響を与えているかを検討すると共に、得られた資料を基に競技力向上のためのトレーニング処方を作成することを目的とした。

2. 方 法

最大酸素摂取量の測定はモナーク社製自転車エルゴメータを用いて、漸増負荷法により exhaustion に至るまで運動を続けた。呼気ガスは日本電気三栄器製の呼気ガス分析装置 (IH 21型) により分析した。また、同時に胸部誘導法により心電波形を記録した。

等速性筋力は Lumex 社製 Cybex II を用いて、運動速度 30, 120, 210, 300°/sec の右膝関節伸展トルクを測定した。

形態測定値として、身長、体重、及び体脂肪率 (皮下脂肪厚からの推定値) の測定を行った。被検者は最大酸素摂取量の測定では大学体育会に所属する男子陸上部員、短・中長距離選手 (Runner グループ) 20名と男子水泳部員 (Swimmer グループ) 16名とした。また、等速性筋力の測定では、Rグループから16名、Sグループから14名とした。

3. 結果と考察

(1) 形態計測値

被検者の身体的特徴、有酸素性能力を表1に示した。両グループとも形態的にほぼ同様の値を示しているが、体脂肪率はSグループの方が有意 ($P < .05$) に大きかった。なお、被検者の形態測定値を同年代の平均値¹²⁾身長169.4cm、体重60.8kgと比較すると、Sグループの体重がやや重いことを除いて大きな差は認められなかった。

(2) 有酸素性作業能力

最大換気量 (\dot{V}_e) については、Rグループ78.7 l/min、Sグループ82.8 l/min となり、グループ間に差は認められなかった。

Table 1 Comparison of the values of aerobic power for runners and swimmers

Subject	Body Height (cm)	Body Weight (kg)	$\dot{V}E$ (ℓ /min)	$\dot{V}O_2$ max (ℓ /min)	$\dot{V}O_2$ max/w ($m\ell$ /kg/min)	MaxHR (beats/min)	% body fat (%)
Runners	170.8	61.0	78.7	2.76	44.76	174.1	4.2
	(4.65)	(4.13)	(17.07)	(0.43)	(6.54)	(8.45)	(1.07)
	N=20	20	20	20	20	20	19
Swimmers	170.2	63.6	82.8	2.65	41.54	179.8	5.5*
	(4.76)	(5.30)	(12.18)	(0.29)	(4.08)	(8.26)	(1.93)
	N=16	16	16	16	16	16	16
				**p<0.01			Mean
				*p<0.05			(SD)

最大酸素摂取量 ($\max \dot{V}O_2$) はRグループで2.76 ℓ /min (range 2.04—3.58), Sグループで2.65 ℓ /min (range 2.19—3.20) となり, やはり差は見られなかった。本研究のRグループの $\max \dot{V}O_2$ は, 雨宮ら¹⁾の報告した同年代の陸上競技の一流選手より1.24 ℓ /min 劣っていた。またSグループの $\max \dot{V}O_2$ は, 宮下ら¹⁵⁾の報告した値よりかなり劣っていた。実験条件などで本研究の被検者の数値が若干小さくなったことを考慮しても, トップレベルにある選手とは相当な開きがあることが分かった。

体重当りの $\max \dot{V}O_2$ は, Rグループが44.76 $m\ell$ /kg/min (range 32.8—55.6), Sグループで41.54 $m\ell$ /kg/min (range 34.6—53.0) となり, グループ間の差は認められなかった。一方, 一流選手は陸上で69.25 $m\ell$ /kg/min (\max 76.75), 水泳¹⁵⁾で62.28 $m\ell$ /kg/min (\max 78.20) 等の値が見られ, いずれも本被検者の値を大きく上回っている。

なお, 宮下ら¹⁵⁾によると女子の一流水泳選手の $\max \dot{V}O_2$ は2.84 ℓ /min (\max 3.45), 体重当りでは49.63 $m\ell$ /kg/min (\max 57.00) であり, 本被検者とほぼ同様の値が得られている。本被検者の有酸素摂取能力は女子の一流選手程度であることが分かった。更に, 一般人男子の標準値²⁰⁾では, $\max \dot{V}O_2$ は2.96 ℓ /min, 体重当りでは50.0 $m\ell$ /kg/min となり, 本被検者の有酸素性作業能力は一般人ともほとんど差がないと考えられる。最大酸素摂取量の測定における運動様式として自転車エルゴメータを用いると, トレッドミルで行う場合と比較して5~15%小さな値が得られることが知られている^{10,17)}。従って, 女子一流選手や男子一般人の最大酸素摂取量は本被検者より10%ほど大きい, 最大有酸素性作業能力としては差が見られないと考えられる。

このように本被検者と日本のトップレベルの選手とは有酸素性作業能力に大きな差異があり, 競技レベルにも相当な開きがあることを考えれば, 競技成績は有酸素性作業能力にかなり影響を受けていることが推察される。一方, 本被検者は発育ピーク期の年齢層に相当するので, この年齢層に対して陸上あるいは水泳のトレーニングが有酸素性作業能力を改善させるかどうかは, この結果からは結論づけることはできない。トレーニング効果を判定するためには, 年齢を考慮した縦断的な研究が必要であろう。

表2は陸上競技部員をその専門種目から短距離 (Sprinter グループ) と中長距離 (Distance Runner グループ) に分けて各測定値を示したものである。身長, 体重, 体脂肪率に差は認めら

Table 2 Comparison of the values of aerobic power for sprinters and distance runners

Subject	Body Height (cm)	Body Weight (kg)	VE (ℓ /min)	$\dot{V}O_2$ max (ℓ /min)	$\dot{V}O_2$ max/w ($\text{ml}/\text{kg}/\text{min}$)	MaxHR (beats/min)	% body fat (%)
sprinters	170.8	61.9	67.6	2.49	40.08	173.7	3.8
	(5.20)	(4.64)	(11.79)	(0.28)	(3.86)	(10.10)	(1.81)
	N=9	9	9	9	9	9	8
distance runners	170.0	60.3	87.82**	2.98*	48.59**	174.5	4.5
	(4.77)	(3.72)	(15.47)	(0.42)	(5.78)	(7.34)	(1.16)
	N=11	11	11	11	11	11	11
				**p<0.01			Mean
				*p<0.02			(SD)

れないが、最大換気量で、 $20.22 \ell/\text{min}$ 、 $\max \dot{V}O_2$ で $0.49 \ell/\text{min}$ 、体重当りで $8.5 \text{ml}/\text{kg}/\text{min}$ といずれも2%水準で有意にDRグループが大きな値を示した。ただし、DRグループの値は、一般人を大幅に上回る程ではない。一流マラソン選手である宗茂選手の $\max \dot{V}O_2$ は $4.51 \ell/\text{min}$ 、体重当りでは $74.53 \text{ml}/\text{kg}/\text{min}$ であり、宗猛選手では、それぞれ $4.17 \ell/\text{min}$ 、 $70.12 \text{ml}/\text{kg}/\text{min}$ と報告されており、DRグループを50%近く上回っている。宗兄弟と本被検者の競技成績の差異は、この身体的能力の違いにあると言えるだろう。また、SPグループの有酸素性作業能力が劣るのは、短距離種目のトレーニングが酸素運搬系に十分な刺激を与えていないためか、あるいはもともとその身体的資質を持っていないためかは明らかでない。

図1は、体重当りの $\max \dot{V}O_2$ を被検者の競技年数に対してプロットしたものである。SP及びSグループは経験年数と有酸素性作業能力には関連が認められないが、DRグループには弱い正の相関が見受けられる。

一般に最大酸素摂取能力の発達のピークは18~20歳頃に達すると言われている¹⁰⁾。この年齢にある本被検者の有酸素性作業能力があまり高いレベルになかったことを考えると、もっと早い時期からトレーニングを開始する必要があると思われる。中・高校生の年代からの計画的なプログラムによるトレーニングの実施が有酸素性作業能力や競技成績を飛躍的に向上させる大きな要因となるであろうことが推察される。

(3) 等速性筋出力

被検者の等速性筋力をグループ毎の平均値で表3に示した。高速度でのトルクを $30^\circ/\text{sec}$ のトルクで除した相対値は、筋繊維組成を大まかに推定するために算出した。RグループとSグループの間にはトルクの絶対値にも相対値にも差は見られなかった。

陸上競技部員をサブグループに分けたSPグループとDRグループでは高速度($210, 300^\circ/\text{sec}$)でのトルクに有意な差($p < .05$)が見られたが、相対値には差がなかった。一流選手の筋線維組成は、短距離選手が速筋タイプで長距離選手は遅筋タイプとされている^{6,10)}が、本被検者のSPとDRグループに差が認められなかったことは、筋線維組成にも明確な違いが無いものと考えられる。しかし、本被検者のなかで、高速度での相対値の大きい短距離選手、あるいは逆にその値の小さな長距離選手は遺伝的にその専門種目に適した素質を持っていると考えられるので、有効

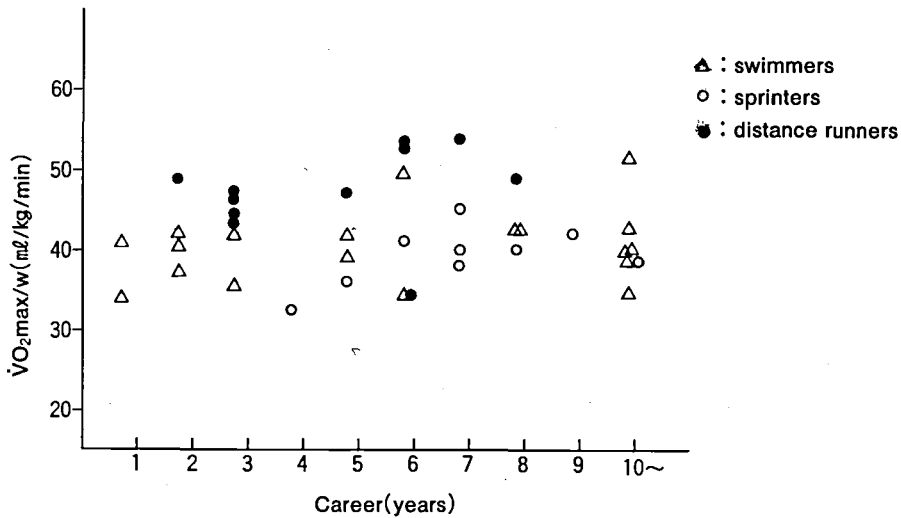


Fig. 1 Relationship between maximal oxygen uptake per kg of body weight and career

Table. 3 Isokinetic torque of each group

[group]	torque (Nm)				relative value (%) (divided by torque at 30°/sec)		
	30	120	210	300°/sec	120	210	300°/sec
Swimmer (n=14)	196 (51)	131 (22)	90 (15)	65Nm (14)	69 (11)	48 (10)	34% (8)
Runner (n=16)	192 (37)	125 (17)	81 (14)	56 (10)	66 (10)	43 (8)	30 (6)

[sub-group]							
Sprinter (n=6)	195 (35)	133 (20)	90 (13)	63 (8)	69 (11)	47 (8)	33 (6)
Distance Runner (n=10)	190 (40)	121 (14)	76 (12)	52 (10)	65 (10)	41 (7)	28 (5)
mean and (SD)							

なトレーニングによって記録の向上が期待される。高速度でのトルクの絶対値に差が見られたことは、短距離選手が素早い筋収縮を伴うスプリントトレーニングを行ってきた成果が現れたものと推察される。

水泳選手の競技経験年数と等速性筋力は210°/secで有意な相関 ($r = .560$ $P < .05$) が得られた (図2)。しかし、学年と等速性筋力の相関は得られなかった。水泳選手の筋パワーに関しては、激しいトレーニングを積んだ一流選手は高速度でのトルク値とその持久力が優れており、競技成績とも関連があることが知られている。本被検者で競技年数との相関が見られたことは、水泳選手としてのトレーニングが有効なものであったと考えられる。しかし、大学入学後のトレーニング年数とはあまり関連がなかったことは、大学入学以前のトレーニング効果があったことも考えられる。すなわち、大学入学後に水泳競技を開始した6名の筋パワーは、学年を経るに従って増

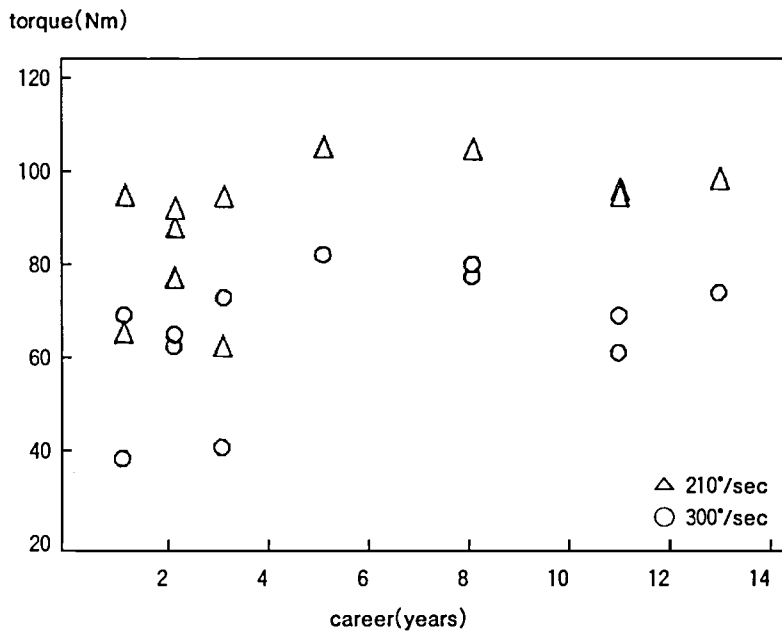


Fig. 2 Relationship between isokinetic torque and career of swimmers

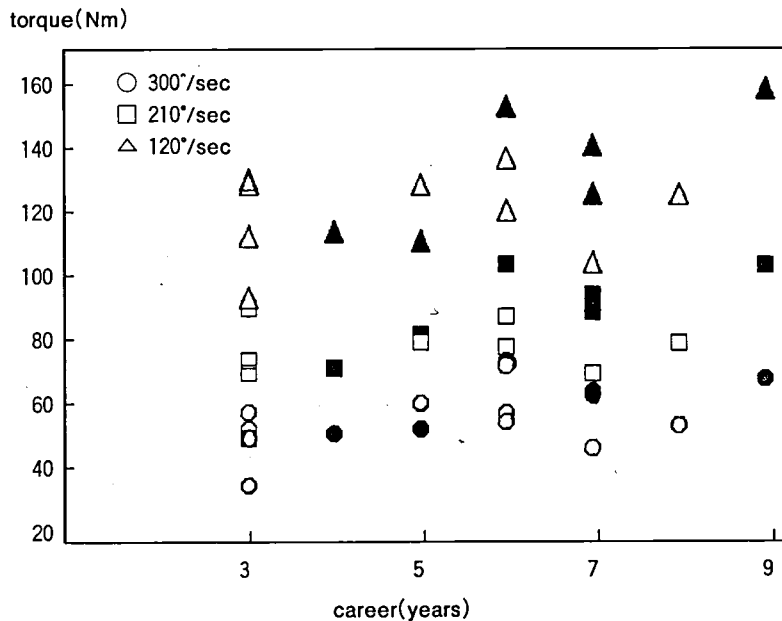


Fig. 3 Relationship between isokinetic torque and career of runners (●■▲ : sprinter, ○□△ : distance runner)

加する傾向が窺えたためである。

陸上選手については、競技経験年数と等速性筋力で120, 210, 300°/sec で有意な相関（それぞれ $r = .509, .570, .513$ $P < .05$ ）が得られた（図3）。特にパワーの要求される短距離選手6名についてはその傾向が強かった。また学年を経るに従ってパワーも増大している傾向があり、大学生になってからのトレーニング効果も見られるようである。

水泳、陸上競技では、競技成績に関わる要因として泳ぐスキルあるいは走るスキルとエネルギー出力が考えられる。エネルギー出力に限っては、水泳競技では、解糖系によるハイパワーの出力増大とその持続力、及び酸化系によるローパワーの出力の増大が必要になる。陸上短距離種目ではハイパワー出力の増大、長距離種目ではローパワー出力の増大がトレーニングの主眼となる。ハイパワートレーニングの実施に当たっては、低速度のトレーニングは高速度の筋出力発揮に効果がない¹⁰ことを考慮して適切な速度での筋力トレーニングを行う必要がある。また、ローパワーのトレーニングでは、酸素摂取能力を高めるために運動強度を強くすること、さらに無酸素性作業閾値を高めるために運動継続時間を長くすることなどが本被検者群と同年代にある選手のトレーニングとして望ましいと考えられる。

4. ま と め

大学生の男子陸上競技選手（20名）と男子水泳選手（16名）の有酸素性作業能力ならびに等速性筋力の測定を行い、陸上と水泳トレーニングの影響を検討した。その結果、以下のことが明らかになった。

- 1) 陸上競技、競泳の両グループとも身長、体重、体脂肪率には差が見られなかった。
- 2) 最大換気量、最大酸素摂取量、体重当りの最大酸素摂取量については、両グループに差は認められなかった。また、これらは同年代の一般男子の値との差も見られなかった。しかし、日本の一流ランナー、スイマーに比べて40~50%小さな値となり、一流選手と体力面でかなりの差異があることが認められた。
- 3) 陸上競技選手を短距離選手と中長距離選手に分けて比べると、最大換気量、最大酸素摂取量、体重当りの最大酸素摂取量はいずれも中長距離選手で有意に大きな値が得られた。
- 4) 陸上中長距離選手は、競技経験年数の長い選手ほど体重当りの最大酸素摂取量が大きい傾向が認められた。
- 5) 等速性筋力については、陸上競技選手、水泳選手の間には差は認められなかった。
- 6) 陸上競技の短距離選手は高速度での等速性筋力に優れていた。
- 7) 競技経験年数が長いと高速度での等速性筋力が大きくなる傾向があり、特に陸上短距離選手で顕著であった。

本研究の一部は、昭和61年度広島大学教育研究学内特別経費の補助を受けて行われたものである。

5. 参 考 文 献

- 1) 雨宮輝也他：陸上中・長距離選手の心機能ならびに有酸素的作業能に関する縦断的研究—第1報—，昭和57年度日本体育協会スポーツ科学研究報告，No. IX，1982.
- 2) Andersen et al. : Training induced changes in the subgroups of human type II skeletal muscle fibers, *Acta Physiol. Scand.*, 99 : 123-125, 1977.
- 3) Astrand, et al : Girl swimmers with special reference the respiratory and circulatory adaptation and gynaecological and psychiatric aspects, *Acta Paediat. Scand.*, Suppl. 147 : 43-63, 1963.

- 4) Costill, D. L., et al. : Skeletal muscle enzymes and fiber composition in male and female track athletes, *J. Appl. Physiol.*, 40 : 149-154, 1976.
- 5) Costill, D. L., et al. : Adaptation in skeletal muscle following strength training, *J. Appl. Physiol., Respirat. Environ. Exercise Physiol.*, 46 : 96-99, 1979.
- 6) Coyle, E. F. et al. : Leg extension power and muscle fiber composition, *Med. Sci. Sports*, 11 : 12-15, 1979.
- 7) Doolittle, T. L. and R. Bigbee : The twelve minute run-walk. A test of cardiorespiratory fitness of adolescent boys, *Res. Quart.*, 39 : 491-495, 1968.
- 8) Gollnick, P. D. et al. : Enzyme activity and fiber composition in skeletal muscle of untrained and trained men, *J. Appl. Physiol.*, 33 : 312-319, 1972.
- 9) Gollnick, P. D. et al. : Effect of training on enzyme activity and fiber composition of human skeletal muscle, *J. Appl. Physiol.*, 34 : 107-111, 1973.
- 10) 小林寛道：日本人のエアロビック・パワー，杏林書院，1982.
- 11) 黒田善雄他：酸素摂取水準の維持能力に関する研究，昭和46年度日本体育協会スポーツ科学研究報告，No. Ⅵ，1971.
- 12) 黒田善雄他：わが国における代表的な競技選手についての健康診断，体力測定報告，昭和55年度日本体育協会スポーツ科学研究報告，No. Ⅶ，1980.
- 13) 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.
- 14) 宮下充正：ハイスピード持続性能力の解明—水泳選手にトレーニングを課すことによって得られた知見一，昭和47年度日本体育協会スポーツ科学研究報告，No. Ⅷ，30-34，1972.
- 15) 宮下充正他：日本人水泳選手の最大酸素摂取量，*体育学研究*，16(5) : 253-257，1972.
- 16) Pipes, T. V. et al. : Isokinetic vs isotonic strength training in adult men, *Med. Sci. Sports*, 7 : 262-274, 1975.
- 17) Taylor et al. : Maximal oxygen intake as an objective measure of cardio-respiratory performance, *J. Appl. Physiol.*, 8 : 73-80, 1955.
- 18) Thorstensson, A., et al. : Force-velocity relations and fiber composition in human knee extensor muscles, *J. Appl. Physiol.*, 40 : 12-16, 1976.
- 19) Thorstensson, A., et al. : Muscle strength and fiber composition in athletes and men, *Med. Sci. Sports*, 9 : 26-30, 1977.
- 20) 東京都立大学身体適性学研究室：日本人の体力標準値，第三版，不味堂，1980.
- 21) 山地啓司：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*，18(5)，1974.
- 22) 山地啓司他：3年間の全身持久性トレーニングが陸上中・長距離選手の呼吸・循環機能に及ぼす影響，*体育学研究*，21(4) : 181-189，1976.