

## 若年者競技選手の身体組成と全身持久力

平 田 敏 彦

今日、スポーツにおける競技力向上のトレーニングは医科学的アプローチの検討が十分になされてこそ高い成果が得られる。特に、将来有望な発育発達期の若年者の競技選手に対しては、医科学的なデータをもとにして個人個人に見合った効果的なトレーニング方法の開発とトレーニングが身体へあたえる影響や傷害防止の検討が十分にされなくてはならない。

多くの競技においてその競技成績の向上やトレーニング効果に影響をおよぼす要因として、身体組成や呼吸循環機能の能力があげられる。しかし、これまではハードなトレーニングに耐え得る身体を有する成人の競技者を対象にした研究報告が多くみられ発育発達期の若年者選手についての検討はまだ十分になされていないと思われる。

一方、身体組成面の筋肉量や体脂肪率、骨密度値の推定はその測定に用いる方法によって誤差が大きことから測定に注意が必要とされている。また、全身持久力面の評価は従来の最大酸素摂取量 (Maximal oxygen uptake :  $\dot{V}O_{2max}$ ) だけでなく換気性閾値 ( $\dot{V}O_2$  at Ventilatory Threshold : VT) や呼吸性代償点 ( $\dot{V}O_2$  at Ventilatory Compensation Point : VCP) からも評価されるようになってきた。

そこで、本研究は若年者の競技選手を対象に近年開発された従来の測定法に比較して誤差の少ない dual energy X-ray absorptiometry (DXA) 法を用いて身体組成の筋肉量、体脂肪率、骨密度値を測定し、呼吸循環機能では全身持久力の指標の  $VO_{2max}$  に加え VT、VCP をそれぞれ測定したので報告する。

### Abstract

This study investigated body composition and cardiorespiratory fitness in junior athletes. Subjects were conpaerd groups of swimmer, athlite and soft tennis player. Body composition was measured using a dual energy X-ray absorptiometry. Ramp exercise test using a bicycle ergometer was used as an exercise loading test. VCP, VT and  $VO_{2max}$  were determined as parameters of cardiorespiratory fitness.

The results were summarized as follows;

1. In males, LBM of soft tennis player and swimmers was significantly higher than athletes. %Fat of athletes was significantly lower than swimmer. VCP and  $VO_{2max}$  of athletes was significantly higher than swimmer and soft tennis players.
2. In females, LBM of swimmer was greater those of soft tennis players. %Fat of swimmers was lower those of soft tennis players. VT and VCP of swimmer was greater those soft tennis player.  $VO_{2max}$  of soft tennis players was greater those of swimmer.

Key Words : Junior athlete, body composition,  
Cardiorespiratory fitness

## 研究方法

### 1. 被検者

本研究の被検者は、全国大会及び国体に出場経験のある16才から18才までの水泳競技選手（男子3名，女子3名：水泳競技群）ソフトテニス選手（男子6名，女子5名：ソフトテニス群），陸上競技長距離選手（男子6名：陸上競技群）と運動経験のない健康な比較対象群（男子3名，女子3名）である。各競技者群の身体特性を表1に示した。

### 2. 身体組成の測定

身体組成の測定は医療機関を利用してdual energy x-ray absorptiometry (DEXA) 法に基づくX線骨密度測定装置(DPX, 米国ルナーラジエーション社)を用いて測定した。(Fig 1) 得られた測定結果は腕部, 脚部, 体幹, 全身の除脂肪体重 (lean body mass ; LBM), 脂肪量 (body fat ; Fat), 体重に対する脂肪量の割合 (%Fat), 被検者の頭部, 腕部, 脚部,

Table 1. Physical characteristics of subjects.

sport	n	Sex	Age (yers)	Height (cm)	Weight (kg)
Swimming	3	M	16.2 ± 0.3	166 ± 2.9	61.3 ± 3.1
Athlite	6	M	17.5 ± 0.4	169 ± 3.1	55.1 ± 2.8
Soft tennis	6	M	18.2 ± 0.3	172 ± 7.0	61.5 ± 2.8
No-athlite	3	M	16.0 ± 0.1	165 ± 3.5	58.3 ± 9.8
Swimming	3	F	16.0 ± 0.2	159 ± 1.4	41.3 ± 8.8
Soft tennis	5	F	17.2 ± 0.5	157 ± 4.4	52.0 ± 4.7
No-athlite	3	F	16.0 ± 0.3	155 ± 3.5	51.3 ± 2.4



Fig 1. Apparatus used for performing the bone mineral density

体幹、肋骨、骨盤、脊柱、全身の骨密度値 (bonemineral density ; BMD) および骨塩量 (bone mineral content ; BMC) である。

### 3. 最大運動負荷テスト

全被検者に最大運動負荷試験を実施し、 $V T$ 、 $V C P$ 、 $\dot{V} O_{2max}$ 、を判定した。最大負荷試験の前に安静心電図を測定し、全被検者に異常のないことを確認した。運動負荷はロード社製の自転車エルゴメータを用いて、4分間の無負荷のペタリング後にランプ負荷法により負荷漸増運動を行った。ペダルの回転速度はリズムパルスを用いて男子が毎分60回転、女子が毎分50回転とした。負荷漸増率は男子が毎分20watts、女子が毎分15watts/minとした。運動中の肺換気動態の測定はSensor Medics社製MMC 4400tcを用いてbreath by breath法でおこなった。呼気ガスデータは15秒毎に積算し、さらに1分間値に換算し表示した。運動中の心拍数は胸部双極誘導法で導出し連続的にモニターをしながら実施した。 $V T$ 、 $V C P$ 、 $\dot{V} O_{2max}$ の判定は以下に示す基準で行った。

- 1) 換気性閾値 ( $V T$ ) の判定はWassermanら<sup>16)</sup>の概念に基づき判定した。すなわち  $V E / V C O_2$  の変化をとまなわない  $V E / V O_2$  の上昇、 $P_{ET}CO_2$  の変化をとまなわない  $P_{ET}O_2$  の上昇、 $V E$ 、 $V C O_2$  の急激な上昇、などが観察された時点を  $V T$  出現時間として総合的に判断した。
- 2) 呼吸性代償点 ( $V C P$ ) の判定  $V E / V C O_2$  の急激な上昇の最低点、 $P_{ET}CO_2$  の最下の開始点、などが観察された時点を  $V C P$  出現時間として総合的に判断した。

3) 最大酸素摂取量 ( $\dot{V}O_{2max}$ ) の判定

$\dot{V}O_{2max}$  の判定基準は被検者を疲労困憊に追い込むとともに漸増した  $\dot{V}O_2$  がレベリングオフに達することとした。また、 $\dot{V}O_{2max}$  に達した時の HR を  $HR_{max}$  とした。

## 結果と考察

表2は除脂肪体重 (LBM), 体脂肪率 (%Fat), 腕と脚と身体全体の骨密度 (BMD) について上段が各競技の男子群と男子非運動群について, 下段が女子群と女子非運動群について平均値と標準偏差で示したものである。男子の LBM, %Fat は陸上競技群が  $48.4 \pm 1.9$  kg,  $6.6 \pm 2.3$  % で最も低い値を示した。女子の LBM では水泳競技群が  $40.6 \pm 1.6$  kg を示しソフトテニス群より高い値を示した。また, 女子ソフトテニス群の %Fat は水泳競技群より高く  $20.0 \pm 2.1$  % を示した。世界の男子トップアスリートの %Fat<sup>19)</sup> は 0.9% から 22.6% が, 日本高校一流選手の %Fat は  $9.4 \pm 2.1$  % が報告<sup>20)</sup> されている。Cureton ら<sup>3)</sup> は異なる過剰負荷を課した 12 分間走において負荷が増大すると走行距離が減少することを報告しており体脂肪の減少が長距離走のパフォーマンス向上に有利となることを報告している。また水泳選手の体脂肪率は男子が 4~12% で女子は 6~16% が理想であると報告<sup>9)</sup> している。これらのことから女子ソフトテニス群を除き体脂肪率は競技選手としては理想的な値と思われる。

表3は VT, VCP,  $\dot{V}O_{2max}$  とそれぞれの心拍数 (Heart rate: HR) について上段が各競技の男子群と男子非運動群について, 下段が女子群と女子非運動群について平均値と標準偏差で示したものである。

男子の VT, VCP,  $\dot{V}O_{2max}$  では陸上競技群が高く  $29.1 \pm 5.6$  ml/kg/min,  $55.1 \pm 6.5$  ml/kg/min,  $63.5 \pm 5.5$  ml/kg/min を示した。女子の VT, VCP,  $\dot{V}O_{2max}$  では水泳群が  $25.3 \pm 3.8$  ml/kg/min,  $31.0 \pm 2.8$  ml/kg/min,  $44.2 \pm 4.9$  ml/kg/min を示した。

Table 2. Body composition of subjects.

Sport	LBM (kg)	%Fat (%)	BMD (g/cm <sup>2</sup> )		
			arm	leg	total body
Swimming	$53.0 \pm 1.6$	$11.7 \pm 2.4$	$0.83 \pm 0.07$	$1.23 \pm 0.09$	$1.09 \pm 0.06$
Athlete	$48.4 \pm 1.9$	$6.6 \pm 2.3$	$0.87 \pm 0.06$	$1.31 \pm 0.09$	$1.17 \pm 0.09$
Soft tennis	$53.1 \pm 3.0$	$10.0 \pm 3.1$	$0.96 \pm 0.10$	$1.28 \pm 0.06$	$1.21 \pm 0.07$
NO-Athlete	$51.4 \pm 10.9$	$10.8 \pm 2.6$	—	—	—
Swimming	$40.6 \pm 1.6$	$15.5 \pm 1.1$	$0.80 \pm 0.06$	$1.03 \pm 0.06$	$1.03 \pm 0.06$
Soft tennis	$36.4 \pm 3.1$	$20.0 \pm 2.1$	$0.80 \pm 0.04$	$1.15 \pm 0.06$	$1.15 \pm 0.08$
NO-athlete	$44.2 \pm 2.4$	$13.9 \pm 0.9$	—	—	—

※ p < 0.05 ※※ p < 0.01

Table 3. Cardiorespiratory parameters of subjects.

Sport	VT		VCP		$\dot{V}O_{2max}$	
	$VO_2$ (ml/kg/min)	HR (beats/min)	$VO_2$ (ml/kg/min)	HR (beats/min)	$VO_2$ (ml/kg/min)	HR (beats/min)
Swimming	21.9±1.1	123.5±10.4	32.0± 5.6	155.0±10.0	55.6± 3.1	187.1±12.5
Athlete	29.1±5.6	112.7± 6.1	55.1± 6.5	165.7± 8.8	63.5± 5.5	175.7± 5.5
Soft Tennis	22.6±3.5	125.2±11.1	41.3± 6.7	164.0±19.6	53.1± 2.8	182.8±13.3
NO-athlete	16.5±5.5	118.0± 7.8	33.1±11.5	153.0±11.6	43.4±10.6	178.0± 4.3
Swimming	25.3±3.8	132.0±13.1	33.3± 4.4	152.7±13.6	40.8± 5.8	170.5± 6.5
Soft tennis	20.5±4.5	129.4±12.2	31.0± 2.8	157.4± 8.6	44.2± 4.9	186.0± 7.1
NO-athlete	17.3±2.2	139.3± 0.5	27.5± 1.2	165.0± 9.6	36.0± 1.1	181.3± 5.9

※ p < 0.05 ※※ p < 0.01

Table 4. % $\dot{V}O_{2max}$  on VT and VCP of sport groups.

Sport	$\dot{V}O_2$ @VT (%)	$\dot{V}O_2$ @VCP (%)
Swimming	38.4±3.6	88.7±5.4
Athlete	45.6±6.3	86.8±5.5
Soft tennis	42.6±6.1	76.7±10.3
NO-athlete	37.1±4.7	73.9±11.2
Swimming	45.3±2.7	81.8±3.9
Soft tennis	46.5±10.9	70.5±5.2
NO-athlet	48.2±6.5	76.5±4.0

現在、全身持久力の中で最もよく測定されている $VO_{2max}$ は日本のトップ水泳選手の男子で $60.9ml/kg/min$ 、女子で $54.0ml/kg/min$ が報告<sup>10)</sup>されている。また日本高校一流長距離選手が $70.7±2.3ml/kg/min$ と報告<sup>20)</sup>されている。一方、これまでにおいて $VO_{2max}$ は全身持久力を予測する上で最も優れた指標であると考えられており、競技者の全身持久性の体力を $VO_{2max}$ の大小によって推測できるとも指摘<sup>15)</sup>されている。従って全身持久力向上のトレーニング実施においては、競技者の $VO_{2max}$ 測定をおこない運動強度の指標に% $VO_{2max}$ を用いてのさまざまな持久力向上のトレーニング方法が指導されてきた。

表4はVT、VCP時の% $VO_{2max}$ を各競技群別に示したものである。表に示すように各競技群のVTは38~46%にVCPは70~89% $VO_{2max}$ の範囲にあった。このことは各競技群の換気性

閾値はほぼ同レベルの運動強度にあるが呼吸性代償点には競技の差がみられることを示している。

図2, 図3, 図4は本研究の水泳競技, ソフトテニス, 陸上競技の代表的な男子被検者のVT, VCP,  $VO_{2max}$ の測定記録とVCPの出現時を矢印で示したものである。VCPの判定については前述したとおりであるが, 図にみられるように各被検者のVCPの出現前後の記録パターンにそれぞれの特徴が見られる。これらの被検者はVCP出現時の運動強度に大きな差がみられ代謝過程の応答に違いがありそれが原因で差が生じたものと思われる。このことは同じ運動強度に対しても各選手に呼吸循環反応に差があることを意味している。Costillら<sup>2)</sup>は競技選手のレベルに大きな幅があるときには全身持久力はパフォーマンスの予測因子となりうるが, 同レベルの選手を対象とするときには必ずしも予測因子となりえないことを指摘している。一方, Danielsら<sup>4)</sup>は $VO_{2max}$ が同じ場合に走効率がよい選手が高いパフォーマンス獲得していることを報告している。本研究の結果からみて, VCPの出現時前後の記録パターンの変化を区別してこれらを大きくV型, U型, L型の3タイプのパターンに類別することが可能と思われる。またこの類別は従来の $VO_{2max}$ に加えて各競技者の全身持久力の客観的な評価の指標として用いることにより選手個人の生理特性をより詳しく把握することができるとともに持久力向上のトレーニングの指導上有効な資料になるとと思われる。

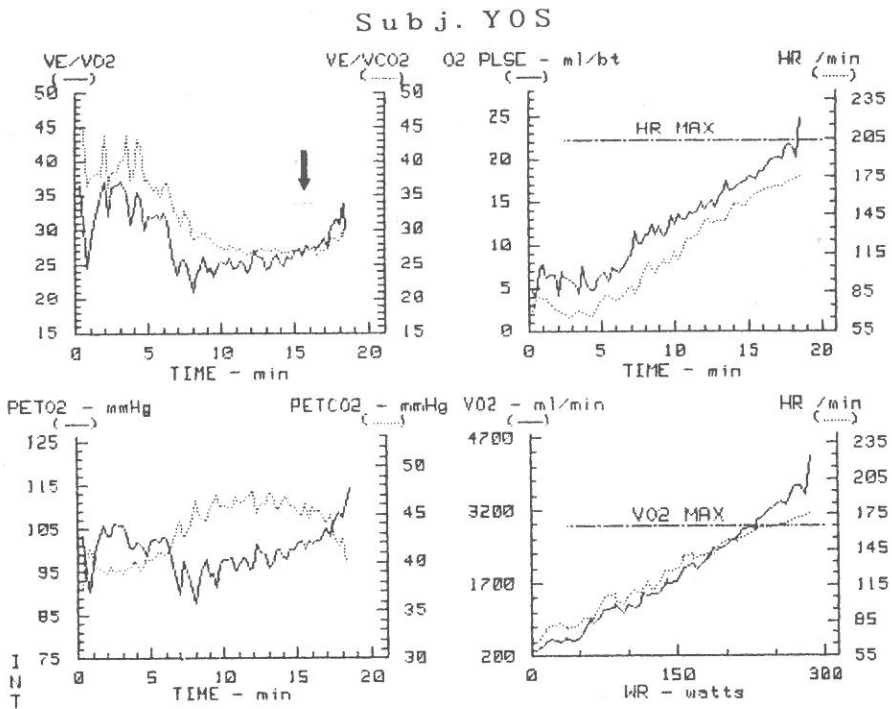


Fig 2. Test graph of subject YOS (Swimming)

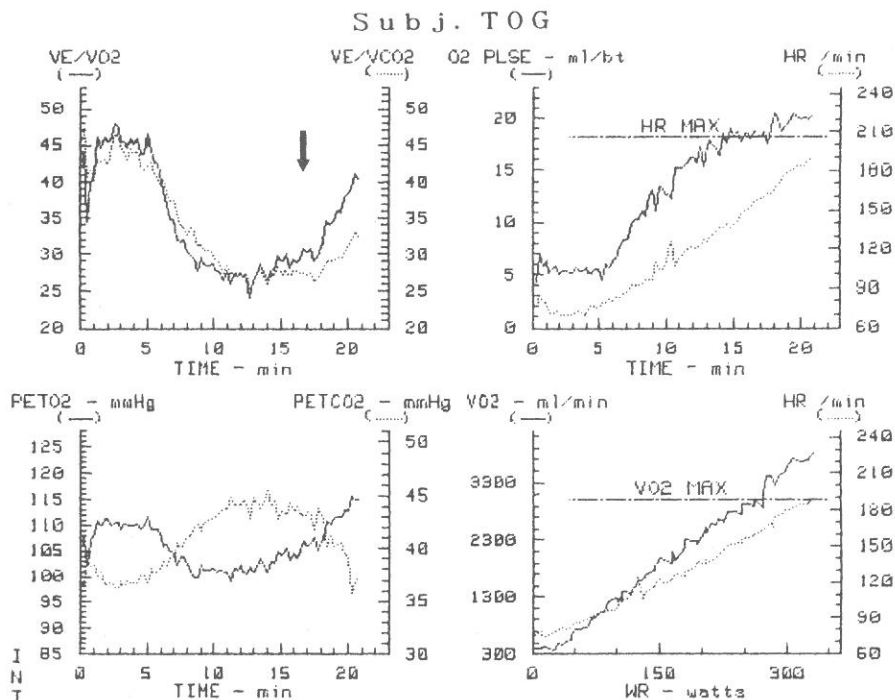


Fig 3. Test graph of subject TOG (Soft tennis)

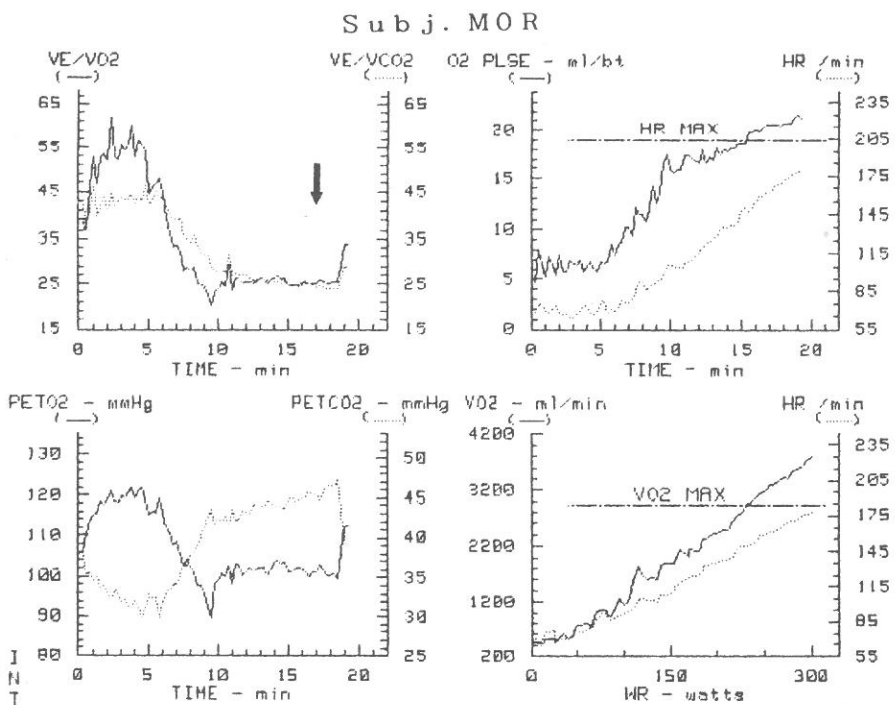


Fig 4. Test graph of subject MOR (Athlete)

## ま と め

本研究は若年者の水泳競技選手, 陸上競技長距離選手, ソフトテニスの競技選手を対象にして, 身体組成ではLBM, %Fat, BMDを全身持久力ではVT, VCP,  $\dot{V}O_{2max}$ をそれぞれ測定して若年者競技選手の身体組成と全身持久力を検討した

1. 男子のLBM, %Fatでは陸上競技群が $48.4 \pm 1.9$ kg,  $6.6 \pm 2.3\%$ を水泳競技群が $53.0 \pm 1.6$ kg,  $11.7 \pm 2.4\%$ をソフトテニス群が $53.1 \pm 3.0$ kg,  $10.0 \pm 3.1\%$ を示した。女子のLBM, %Fatでは水泳競技群が $40.6 \pm 1.6$ kg,  $15.5 \pm 1.1\%$ をソフトテニス群が $36.4 \pm 3.1$ kg,  $20.0 \pm 2.1\%$ を示した。
2. 男子のVT, VCO,  $\dot{V}O_{2max}$ では陸上競技群が $29.1 \pm 5.6$ ml/kg/min,  $55.1 \pm 6.5$ ml/kg/min,  $63.5 \pm 5.5$ ml/kg/minを水泳競技群が $21.9 \pm 1.1$ ml/kg/min,  $32.0 \pm 5.6$ ml/kg/min,  $55.6 \pm 3.1$ ml/kg/minをソフトテニス群が $22.6 \pm 3.5$ ml/kg/min,  $41.3 \pm 6.7$ ml/kg/min,  $53.1 \pm 2.8$ ml/kg/minを示した。
3. 同じ運動強度でのVCP出現に対しても呼吸循環反応に個人差がみられVCP前後の反応から大きくV字型, U字型, L字型3タイプに類別が可能となった。

## 謝 辞

本研究にあたりご指導を頂いた岡山大学教育学部養護教育, 高橋香代先生に対し心からなる謝意を表します。



参 考 文 献

- 1) Beaver, W. L., K. Wasserman, and B. J. Whipp : A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *J. Appl. Physiol.* 60 : 2020-2027, 1986.
- 2) Costill, D. L. : The relationship between selected physiological-variables and distance running performance. *J. Sports Med. Phys. Fitness.* 7 : 61-63, 1967
- 3) Cureton, K. J., P. B. Sparling, B. W. Evans, S. M. Johnson, U. D. Kong, and J. W. Purvis : Effect of experimental alterations in excess weight on aerobic capacity and distance running performance. *Med. Sci. Sports.* 10 : 194-199, 1978.
- 4) Daniels, J., and Oldridge, N. : Changes in oxygen consumption of young boys during growth and running training. *Med. Sci. Sports.* 3 : 161-165, 1971.
- 5) 江橋博 : 一流マラソン選手の体力特性. *Jap. J. Sports Sci.* 6 : 703-711, 1987.
- 6) 石河利寛, 竹宮隆 : 持久力の科学. 南江堂. 239-240, 1994.
- 7) Kumagai, S., K. Tanaka, Y. Matsuura, A. Matsuzaka, K. Hirakoba and K. Asano : Relationships of the anaerobic threshold with the 5 km, 10km, and 10 mile races. *Eur. J. Appl. Physiol.* 49 : 13-23, 1982.
- 8) 黒田善雄 : 日本一流選手の最大酸素摂取量 (第一報). 昭和64年度日本体育協会スポーツ科学研究報告 : 1-8, 1982.
- 9) マグリシオ・E・W (訳) 野村武男, 糸山直文, 椿本昇三, 野村照夫 : スイミング・フェースー, ベースボールマガジン社, 1986.
- 10) Miyashita, M., Hayashi, Y. and Furuhashi, H. : Maxmum oxygen intake of Japaneses top swimmers. *J. Sports Med. Physical Fitness.* 10 : 211-216, 1970.
- 11) Noakes, T. D. : Implications of exercise testing for predication of athletic performance : a contemporaryperspective. *Med. Sci. Sports Exerc.* 20 : 319-330, 1988.
- 12) PollocK, M. L.: Submaximal and maximal working capacity of elite distance runners. Part 1 : Cardiorespiratory aspect. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 301 : 301-322, 1977.
- 13) Powers, S. K., S. Dodd, R. Deason, R. Byrd and T. Mcknight : Vencilatory threshold running economy and distance running performance of trained athletes. *Res. Quart.* 54 : 179-182, 1983.
- 14) Tanaka, K. and Y. Matsuura : Physiological and anthropometric determinants of distance run perfomance. *Phys. fitness Rserch.* 273-283, 1983.

- 15) Tanaka, K. , Y. Matsuura, A. Matsuzaka, K.Hirakoba, S. Kumagai, S. O. Sun and K. Asano:A longitudinal assessment of anaerobic and distance-running performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 16 :278-282, 1984.
- 16) Wasserman, K., B. W. Whipp, S. N. Koyal and W. L. Beaver : Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *J. Appl. Physiol.* 35 : 236-243, 1973.
- 17) Wilmore, J. : Body composition in sport and exercise : directions for future reseach. *Med. Sci. Sports Exerc.* 15 : 21-31, 1983.
- 18) 山地啓司 : 一流スポーツ選手の最大酸素摂取. *体育学研究.* 30 : 183-193, 1985.
- 19) 山地啓司 : 最大酸素摂取量の科学. 杏林書院. 17-82, 1992.
- 20) 吉沢茂弘, 福島稔, 本多宏子, 漆原誠, 中村仲 : 高校男子駅伝一流選手の有酸素性作業能力および無酸素性閾値. *Jap. J. Sports Sci.* 10 : 234-240, 1991.

(平成8年10月31日受付)  
(平成8年12月25日受理)