

高校駅伝選手における有酸素能力と 5000mの記録との関係

宮 本 孝

I はじめに

最大酸素摂取量($\dot{V}O_{2max}$)は、持久性能力を評価するうえで最も信頼できる指標として、これまでに一流長距離・マラソン選手の値が数多く報告されている^{4,6,9)}。また、近年では持久性能力を評価する生理的指標として、 $\dot{V}O_{2max}$ とともに無酸素性作業閾値(Anaerobic Threshold: AT)が注目されている。ATとは、運動強度の増加にともない無氣的代謝がはじまる変移点を、そのときの運動強度や酸素摂取量あるいは $\dot{V}O_{2max}$ に対する割合で表現したものである。その指標として、換気動態からみた換気性閾値(Ventilatory Threshold: VT)と血中乳酸の動態からみた乳酸性作業閾値(Lactate Threshold: LT)とがある。最近の研究をみると、長距離・マラソン選手の競技成績とATとの間には相関関係が認められ、しかも $\dot{V}O_{2max}$ より高い相関関係が報告されている¹²⁾。

ところで、わが国においては、一流長距離・マラソン選手を対象に $\dot{V}O_{2max}$ とATを同時に測定した報告は少なく、江橋ら⁵⁾、伊藤らによるVTを手掛かりとした報告と、吉沢らによる¹⁵⁾高校駅伝一流選手について、 $\dot{V}O_{2max}$ とLTを同時に測定し、一般レベルの高校中・長距離選手と比較した報告があるにすぎない。

そこで、本研究では、滋賀県を代表する高校駅伝選手の $\dot{V}O_{2max}$ とVTを測定する機会が得られたので、これらの選手の有酸素能力を明らかにするとともに、有酸素能力と5000mの競技記録との関係について検討を試みることにした。

II 測定方法

(1) 対象者のプロフィール

対象者は、第47回全国高校駅伝大会の滋賀県代表校となったM高校男子陸上中・長距離選手11名である。これらの選手は、大会に出場した選手(出場群)6名と補欠選手(非出場群)5名である。表1には、対象者の身体的特性および5000mの当該年度ベスト記録を示している。

表1 対象者の身体的特性および5000mの記録

対象者	年齢 (yrs)	身長 (cm)	体重 (kg)	体脂肪率 (%)	除脂肪体重 (kg)	5000mの記録 (min, sec)
(出場群)						
T.M.	16	162.5	52.8	8.0	48.6	14'56"2
M.Y.	18	175.9	64.0	9.5	57.9	14'36"1
S.O.	18	169.9	52.9	10.0	47.6	14'57"7
K.W.	16	179.1	63.5	8.3	58.2	15'13"3
T.O.	16	164.0	50.0	10.6	44.7	15'15"8
H.M.	17	165.3	57.7	10.0	51.9	15'17"6
平均値	16.8	169.5	56.8	9.4	51.5	15'02"8***
標準偏差	1.0	6.8	5.9	1.0	5.6	16"0
(非出場群)						
T.S.	17	170.5	59.7	9.5	54.0	17'23"7
T.H.	16	174.5	59.9	10.9	53.4	18'14"7
T.T.	17	168.2	56.6	11.5	50.1	17'10"6
A.T.	16	164.5	44.9	7.5	41.5	16'53"5
E.I.	17	179.9	65.7	10.0	59.1	16'46"6
平均値	16.6	171.5	57.4	9.9	51.6	17'18"0
標準偏差	0.6	5.9	7.7	1.5	6.5	35"0

*** : $p < 0.001$

(2) 漸増負荷走テスト

運動負荷装置としては、トレッドミル(竹井機器)を用い、傾斜角度を登り勾配5度に固定し、140m/minからスタートさせ、1分ごとに10m/minずつ漸増し、exhaustionに至らせた。なお、トレッドミル走行に慣れるため、傾斜角度を水平にし、140m/minで1分間、200m/minで3分間、260m/minで3分間、合計7分間のウォーミングアップを実施した。図1には、テストのプロトコールを示している。

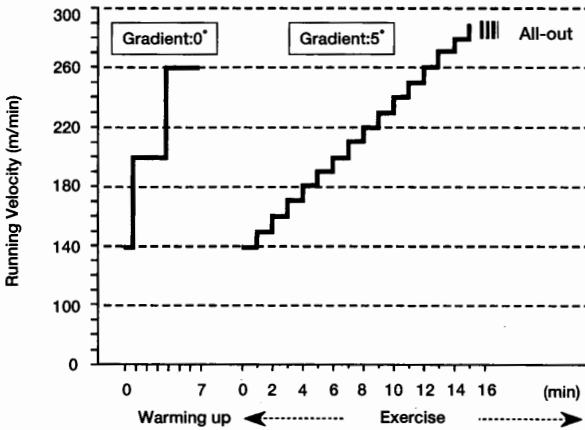


図1 漸増負荷走テストのプロトコール

(3)測定項目およびその方法

形態では身長、体重、胸囲および皮下脂肪厚を測定した。皮下脂肪厚の測定には、皮脂厚計(栄研式)を用い、上腕背部および肩岬骨下縁部を計測し、Nagamine¹⁰⁾らおよびBrozek²⁾らの式を用いて、体脂肪率(% fat)を算出し、さらに除脂肪体重(LBM)を求めた。

漸増負荷走テストでは、運動中の呼気ガスをエアロビックプロセッサ(日本電気三栄, 391)を用いて分析し、換気量、酸素摂取量および炭酸ガス排出量を30秒ごとに測定した。また、胸部導出による心電図をカルディオスーパ(日本電気三栄, 2E32A)で監視しながら、心拍数をエアロビックプロセッサに入力し、30秒ごとに測定した。これらの測定を通して、最高走行速度(RVmax)、 $\dot{V}O_2$ maxおよびVTを求めた。RVmaxはexhaustion時(終末の1分間)の走行速度を採用した。 $\dot{V}O_2$ maxは、運動中の酸素摂取量のピーク値を採用した。VTは、Wasserman¹⁴⁾らの報告に準拠して、運動中の換気量と炭酸ガス排出量との比の上昇点を主要な判定基準として求めた。換気量と酸素摂取量との比に明瞭な上

昇点をみいだせない場合には、換気量および炭酸ガス排出量の非直線的な変移点を参考に総合的に判定した。

なお、これらの測定は第47回全国高校駅伝大会終了の1週間後(1996年12月26日)に滋賀県立スポーツ会館で実施された。測定時の室温は19~22℃、相対湿度は51~62%であった。

Ⅲ 成績

対象者の身体的特性および競技記録(表1)を平均値でみると、出場群の身長、体重、体脂肪率および除脂肪体重は、それぞれ169.5cm, 56.8kg, 9.4%, 51.5kgである。非出場群との比較においては、これら形態および体組成では有意な差はみられない。5000mの走記録では出場群が15分02秒8であり、非出場群の17分18秒0を有意($p < 0.001$)に上回っている。

表2には、漸増負荷走テストで得られたRVmax, $\dot{V}O_{2max}$ およびVTを示している。出場群と非出場群の平均値±標準偏差を比較すると、RVmaxでは、

表2 漸増負荷走テストにおける最高走行速度、最大酸素摂取量および換気性閾値

対象者	最高走行速度	最大酸素摂取量		換気性閾値		
	RVmax (m/min)	$\dot{V}O_{2max}$ (l/min)	$\dot{V}O_{2max}/Wt$ (ml/kg·min)	$\dot{V}O_{2@VT}$ (l/min)	$\dot{V}O_{2@VT}/Wt$ (ml/kg·min)	% $\dot{V}O_{2max@VT}$ (%)
(出場群)						
T. M.	270	3.51	66.5	2.80	53.1	79.8
M. Y.	280	4.87	76.0	4.00	62.5	82.2
S. O.	280	3.81	71.9	3.33	62.9	87.4
K. W.	260	4.58	72.1	3.54	55.8	77.3
T. O.	270	3.53	70.7	2.98	59.7	84.4
H. M.	270	4.11	71.3	3.01	52.2	73.2
平均値	271**	4.07	71.4***	3.28	57.7***	80.7
標準偏差	8	0.56	3.0	0.44	4.7	5.1
(非出場群)						
T. S.	240	3.68	61.6	2.97	49.7	80.7
T. H.	220	3.27	54.5	2.75	46.0	84.3
T. T.	240	3.74	66.1	3.04	53.8	81.3
A. T.	260	3.03	67.6	2.21	49.2	72.8
E. I.	250	3.70	56.3	3.04	46.3	82.1
平均値	242	3.48	61.2	2.80	49.0	80.3
標準偏差	15	0.32	5.8	0.35	3.2	4.4

** : $p < 0.01$, *** : $p < 0.001$

出場群が 271 ± 8 m/minで、非出場群の 242 ± 15 m/minを1%水準で有意に上回っている。 $\dot{V}O_2\text{max}$ の絶対値では両群に有意な差はみられないが、体重当たり($\dot{V}O_2\text{max}/Wt$)でみると、出場群は 71.4 ± 3.0 ml/kg·minであり、非出場群の 61.2 ± 5.8 ml/kg·minに対して有意に大きい値を示している。また、VTでの酸素摂取量の絶対値($\dot{V}O_2@VT$)では、出場群と非出場群に有意な差はみられないが、体重当たり($\dot{V}O_2@VT/Wt$)では、出場群は 57.7 ± 4.7 ml/kg·minであり、非出場群の 49.0 ± 3.2 ml/kg·minに対して有意($p < 0.001$)に大きい値を示している。 $\dot{V}O_2@VT$ の $\dot{V}O_2\text{max}$ に対する比率($\% \dot{V}O_2\text{max}@VT$)では、出場群は 80.7 ± 5.1 %であり、非出場群の 80.3 ± 4.4 %とほとんど差がみられない。

図2には、RVmaxと5000mの走記録との関係を示している。これらの関係を見ると、非出場群では有意($p < 0.05$)な相関関係がみられるが、出場群には有意な相関関係はみられない。しかし、対象者全体($n=11$)でみると、相関係数 $r=0.940$ が得られ、統計的に有意($p < 0.001$)な負の相関関係が認められている。

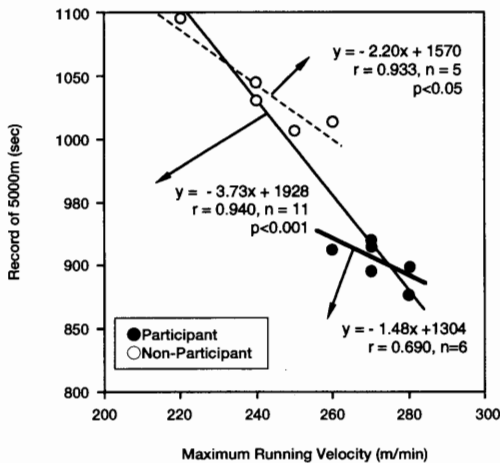


図2 最高走行速度と5000mの記録との関係

図3には、 $\dot{V}O_{2max}/Wt$ と5000mとの走記録の関係を示している。グループごとにみた両者の関係では、いずれも統計的に有意な関係はみられないが、全体でみると、相関係数 $r=0.838$ が得られ、有意 ($p<0.01$) な負の相関関係が認められている。

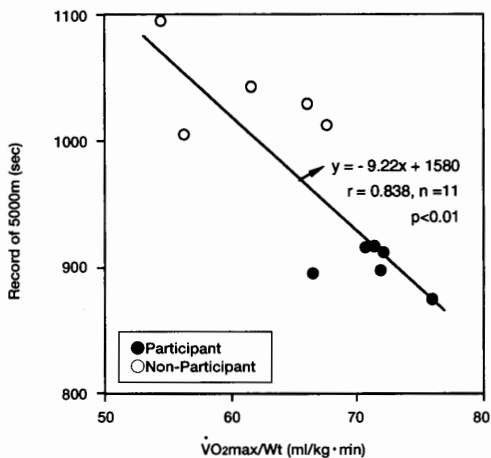


図3 最大酸素摂取量と5000mの記録との関係

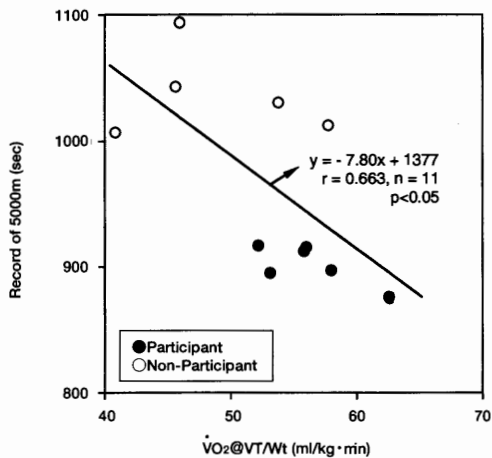


図4 換気性閾値と5000mの記録との関係

図4には $\dot{V}O_2@VT/Wt$ と5000mの走記録との関係を示している。ここでも、グループごとには両者間に有意な相関関係は認められないが、全体でみると、相関係数 $r=0.663$ が得られ、有意 ($p<0.05$) な負の相関関係が認められている。

IV 考 察

一般に、マラソン選手を含む中・長距離選手の形態的特性は、身長に対して体重が少なく、体脂肪率が低いことがあげられる。体重を移動させる走運動の場合、体脂肪が多いと身体を移動させるために発揮されるエネルギー量の一部が、余分な脂肪を移動させるために使われてしまうこととなり、身体の構造面からみると、物理的には負の要因となることが伺われる。江橋は、わが国の男子一流マラソン選手の身長⁴⁾の平均値±標準偏差は 172 ± 5.0 cmであり、体重では 58.4 ± 4.6 kg、体脂肪率では 5.4 ± 1.2 %であると報告している。大学長距離選手の場合では、それぞれ 170 ± 4.5 cm、 59.9 ± 2.9 kg、 9.0 ± 2.3 %の報告¹³⁾がみられる。高校駅伝選手を対象にした報告では、吉沢ら¹⁵⁾が身長 169.8 ± 2.7 cm、体重 59.6 ± 6.3 kg、体脂肪率 9.4 ± 2.1 %を、北村ら⁷⁾が身長 167.1 ± 3.3 cm、体重 51.4 ± 3.2 kgを得ている。本研究の出場群の平均値についてみると、身長(169.5 cm)および体脂肪率(9.4 %)は、吉沢ら¹⁵⁾の報告とほぼ同値であったが、体重(56.8 kg)では低値を示し、比較的スリムな体型であることがわかる。非出場群の体脂肪率はわずかに大きい値を示したが、有意差はみられなかった。身体組成からみれば、今回の対象者の出場群は十分にトレーニングをつんだ選手であることが伺える。また、本研究の出場群の5000mの走記録の平均値は15分02秒8と、非出場群を2分15秒2上回る成績を示したが、これを吉沢ら¹⁵⁾が報告した一流高校駅伝選手(14分44秒0)と比較すると、18秒8劣っていることになる。

これまでに報告されている高校男子駅伝選手の $\dot{V}O_{2max}$ についてみると、北村ら⁷⁾が 3.50 ± 0.42 l/min、 68.1 ± 6.7 ml/kg·min、吉沢ら¹⁵⁾が 4.15 ± 0.40 l/min、 70.8 ± 2.3 ml/kg·minを得ている。吉沢らの値は、江橋による一流マラソン選手⁴⁾の 76.4 ± 3.8 ml/kg·minには及ばないものの、伊藤らによる中・長距離選手⁶⁾

の 69.7 ± 2.7 ml/kg·min, 長距離・マラソン選手の 73.9 ± 4.7 ml/kg·minに匹敵する値である。本研究の出場群の $\dot{V}O_{2\max}$ は 4.07 ± 0.56 l/min, $\dot{V}O_{2\max}/Wt$ は 71.4 ± 3.0 ml/kg·minであり、北村らの値よりも大きく、吉沢らの値と比べると、絶対値では下回るものの、相対値ではほぼ同じ値であった。このことから、今回の出場群の $\dot{V}O_{2\max}/Wt$ は、高校一流選手のレベルにあると考えられる。VTについてみると、高校駅伝選手の報告はみられないが、伊藤らによる中・長距離グループの10名からは 49.9 ± 5.3 ml/kg·min, 長距離・マラソングループからは 54.9 ± 7.4 ml/kg·minが得られている。このように、本研究の出場群の体格、身体組成および酸素パワーに違いがみられないにも関わらず、5000mの走記録は吉沢らの一流高校駅伝選手に比べてかなり劣っている。三浦らは、同じ $\dot{V}O_{2\max}$ を持ちながら、競技力(平均スピード)が標準偏差の上部に位置する選手と下部に位置する選手のランニングフォームを比較し、上部に位置する選手では、ストライドを伸ばした身体重心の上下動の小さいフォームであるのに対し、下部にいる選手では、ストライドが小さく身体重心の上下動の大きいフォームであることを報告している。また、Danielらはマラソンで上位にゴールした選手と下位でゴールした選手の走技術を比較し、重心の上下動には差がなかったが、ストライドが上位選手で大きかったと報告している。したがって、各選手の競技力の高低には、基本的には酸素パワーが反映するが、ランニングの技術差はもちろんのこと、ランニング中の酸素利用率や無酸素的エネルギー発生過程への依存差、あるいは心理的要因などが複雑に関与すると考えられる。

最近の報告によると、 $\dot{V}O_{2\max}$ の測定に用いられている漸増負荷走テストにおいてexhaustion時に達成されるRVmaxが $\dot{V}O_{2\max}$ よりも長距離パフォーマンスとの間に密接な関係があることが明らかにされている。そこで、本研究では、生理的指標ではないが、RVmaxと5000mの走記録との関係を検討することにした。出場群のRVmaxは、非出場群に比べて有意($p < 0.01$)に速く、両群をあわせた11名からは、きわめて高い相関係数 $r = 0.940$ ($p < 0.001$) が得られた。これまでは、 $\dot{V}O_{2\max}$ などの生理的指標の優劣のみで評価され、RVmaxにはあ

まり注目されていないように思われる。本研究でも明らかになったように、RVmaxが競技成績と密接な関係にあることから、実験室で得られるデータをトレーニングの現場でより有効に活用するためには、 $\dot{V}O_{2max}$ などの生理的指標とともにRVmaxについても重要視する必要がある。

高校駅伝選手を対象とした北村らの研究⁷⁾によると、男子7名の $\dot{V}O_{2max}$ と5000mの走記録との関係は相関係数 $r=0.811$ が得られ、5%水準で統計的に有意な相関関係が認められたと報告している。しかし、VTについては検討していない。伊藤⁶⁾ら、実業団および大学の中・長距離、マラソン選手73名について、 $\dot{V}O_{2max}$ およびVTと競技成績との関係について報告している。それによると、 $\dot{V}O_{2max}$ と1500m、5000mおよびマラソンの記録には $r=0.46\sim0.76$ で有意な相関関係が、また、VTと1500m、5000mおよびマラソンの記録には $r=0.36\sim0.67$ で有意な関係があり、 $\dot{V}O_{2max}$ との相関係数はVTのそれより高い傾向にあったことを認めている。Tanaka¹²⁾らは $\dot{V}O_{2max}$ およびVTと1マイル、2マイルおよび3マイルの記録とはいずれも有意な関係があったことを認め、 $\dot{V}O_{2max}$ よりVTでの相関係数が大きくなることを報告している。本研究では、 $\dot{V}O_{2max}$ およびVTと5000mの走記録にはいずれも有意な相関関係が認められたが、 $\dot{V}O_{2max}$ との相関係数 $r=0.838$ ($p<0.01$)はVTとの相関係数 $r=0.663$ ($p<0.05$)より高く、伊藤⁶⁾らの報告と同様の傾向を示した。雨宮⁶⁾は、中・長距離群と長距離・マラソン群を対象に走記録と $\dot{V}O_{2max}$ およびVTとの関係について検討を加えている。中・長距離群の $\dot{V}O_{2max}$ と5000mの走記録との間には $r=0.821$ ($p<0.05$)、VTと5000mの走記録との間には $r=0.432$ が得られたと報告している。これらの関係を長距離・マラソン群でみると、前者では $r=0.795$ ($p<0.05$)であるが、後者では $r=0.948$ ($p<0.001$)と、きわめて密接な関係が認められたとしている。これは、中距離ランナーのトレーニングはインターバルやレペティショントレーニングといった無氣的な代謝の強い内容を多く含んでいるのに対して、長距離・マラソンランナーのトレーニングはL. S. D. (Long Slow Distance)といった持久性を多く含んだ内容が主体となっていることが要因であろうとしている。いずれにしても、有酸素パワーと競技成績には密接な関係が示唆され、高校駅

伝で上位を目指すには、駅伝の区間距離が3~10kmとなっており、選手の適性を見分けながら、有酸素パワーに加えて無酸素的なパワーの改善を図るトレーニングとともに、走技術の検討を行うことも重要であると考えられる。

V 要 約

第47回全国高校駅伝大会に滋賀県代表として出場したM高校の男子中・長距離選手11名(出場群6名, 非出場群5名)を対象に、トレッドミルを用いて、漸増負荷走テストを実施した。運動中の換気量, 酸素摂取量, 炭酸ガス排出量および心拍数を測定し, 最大酸素摂取量および換気性閾値を求めた。これらの有酸素的パワーの指標と5000mの走記録との関係を検討したところ, 以下のような結果が得られた。

- 1) 駅伝出場群の体重当たりの最大酸素摂取量は 71.4 ± 3.0 ml/kg·minであり, 非出場群の 61.2 ± 5.8 ml/kg·minを有意($p < 0.001$)に上回っていた。
- 2) 駅伝出場群の換気性閾値での体重当たりの酸素摂取量は 57.7 ± 4.7 ml/kg·minであり, 非出場群の 49.0 ± 3.2 ml/kg·minに対して有意($P < 0.001$)に大きい値を示した。
- 3) 最高走行速度では, 出場群が271 m/minで, 非出場群の242 m/minを有意($p < 0.01$)に上回っていた。
- 4) 最高走行速度と5000mの走記録との関係を, 対象者全体($n=11$)でみると, 相関係数 $r=0.940$ が得られ, 0.1%水準で有意な相関関係が認められた。
- 5) 体重当たりの最大酸素摂取量と5000mの走記録との関係を対象者全体($n=11$)でみると, 相関係数 $r=0.838$ が得られ, 有意($p < 0.01$)な相関関係が認められた。
- 6) 換気性閾値での体重当たりの酸素摂取量と5000mの走記録との関係を対象者全体($n=11$)でみると, 相関係数 $r=0.663$ が得られ, 有意($P < 0.05$)な相関関係が認められた。

本研究は、滋賀県立大学岡本進助教授、滋賀大学教育学部佐藤尚武教授並びに滋賀県立水口東高校小澤信一教諭に多くの協力を得たことを付記し、謝意を表します。

文 献

- 1) 雨宮輝也：エアロビックパワーからみたスポーツ選手の体力的特性, J. J. SPORTS SCI., 6, 692- 696, 1987.
- 2) Brozek, J., Grande, F., Anderson, J. T. and Keys, A. : Densitometric analysis of body composition, Revision of some quantitative assumptions. Ann. N. Y. Acad. Sci., 110, 113- 140, 1963.
- 3) Daniel, P. B., David, A. B., James, W. F. and James, G. R. : Biomechanical Profile of Elite Women Marathoners. Int. J. Sport Biomecha., 1, 330- 347, 1985.
- 4) 江橋博：一流マラソン選手の体力特性, J. J. SPORTS SCI. 703- 711, 1987.
- 5) 江橋博, 後藤芳雄, 西嶋洋子, 今泉哲雄：一流マラソンランナーのVentilatory threshold, 体力科学, 36, 645, 1987.
- 6) 伊藤静夫, 黒田善雄, 塚越克己, 雨宮輝也, 金子敬二：スポーツ選手のATに関する研究－第2報 中・長距離, マラソン選手のATについて－, 昭和60年度日本体育協会スポーツ科学研究報告, 1- 8, 1985.
- 7) 北村潔和, 井口文雄, 藤井正治, 堀由美子, 山地延佳, 鳥海清司, 山路啓司：長距離走のトレーニングに関する研究－最大酸素摂取量と競技記録の観点から－, トレーニング科学, 8, 75-78, 1996.
- 8) 三浦望慶, 松井秀治, 星川保, 宮下充正, 小林寛道, 袖山紘：走運動における身体資源 (Physical resources)と運動成果 (Physical performance)の関係について, 体育の科学, 21, 114- 127, 1971.
- 9) 宮本孝, 佐藤尚武, 岡本進, 寄本明, 武部吉秀, 川幡善勝, 角誠：滋賀県の陸上長距離選手における最大酸素摂取量について, 滋賀県体育協会スポーツ科学委員会紀要, No6, 15- 18, 1986.
- 10) Nagamine, S. and Suzuki, S. : Anthropometry and body composition of Japanese youngmen and women. Human Biol., 36, 8-15, 1964.
- 11) Scott, B. K. and Houmard, J. A. : Peak running velocity is highly related to distance running performance. Int. J. Sports Med., 15, 504- 507, 1994.

- 12) Tanaka, K., Matsuura, Y. and Moritani, T. : A correlational analysis of maximal oxygen uptake and anaerobic threshold as compared with middle and long distance performances. 体力科学, 30, 94- 102, 1981.
- 13) トレーニング科学研究会編：「競技力向上のスポーツ科学 I」, 朝倉書店, 東京, 1989.
- 14) Wasserman, K. : Breathing during exercise. N. Eng. J. Med., 298, 780- 785, 1978.
- 15) 吉沢茂弘, 福島稔, 本田宏子, 漆原誠, 中村伸：高校駅伝男子一流選手の有酸素性作業能力および無酸素性作業閾値, J. J. SPORTS SCI., 10, 234- 240, 1991.