

# 女子駅伝選手の有酸素的エネルギー 動員の速さに関する研究

日本女子体育大学 加賀谷 淳 子  
(共同研究者) 同 加 藤 昭

## A Study on $\dot{V}O_2$ Kinetics in Female Ekiden Runners

by

Atsuko Kagaya, Akira Katoh

*Japan Women's College of Physical Education*

### ABSTRACT

A  $\dot{V}O_2$  kinetics at a rapid increase in running speed from 200m/min ( $56\% \dot{V}O_{2max}$ ) to 240m/min ( $70\% \dot{V}O_{2max}$ ) was studied in 9 female distance runners, who had been involved in a training for Ekiden race. Their  $\dot{V}O_{2max}$  averaged 60.60ml/kg/min with a range of 54—65ml/kg/min. The rate of  $\dot{V}O_2$  increase was fit by a non-linear least squares regressions to a single exponential model, and times were calculated for the response to reach a 50 ( $t_{1/2}$ ), 60 ( $t_{3/8}$ ), 80 ( $t_{5/8}$ )% of steady state values. No significant single correlation was found between best performance in 3000m race and  $\dot{V}O_2 t_{1/2}$ ,  $t_{3/8}$  or  $t_{5/8}$ . The VT- $\dot{V}O_2$  averaged 48.86ml/kg/min and was significantly correlated with 3000m best time ( $r = -0.768$ ,  $p < 0.05$ ), while correlation of  $\dot{V}O_{2max}$  with performance was not significant ( $r = -0.555$ ,  $p > 0.05$ ). The time in 3000m race performed within a month after a treadmill test was not significantly correlated with any of cardio-respiratory parameters. However, when the  $\dot{V}O_2 t_{3/8}$  or  $\dot{V}O_2 t_{5/8}$  was combined with VT- $\dot{V}O_2$ , and used to correlate with performance multiple correlations were significant.

The present study demonstrated that the rate of  $\dot{V}O_2$  rise at an increase of running speed augments the degree of association with performance in 3000m race in female runners, if it is combined with VT.

## 要 旨

本研究は、女子駅伝選手の有酸素的エネルギー動員の速さが、3000mの performance にどのように関与しているかを、 $\dot{V}O_{2\max}$ 、VT（換気性閾値 (Ventilatory Threshold)）との関連で明らかにすることを目的としている。被検者は全日本大学女子駅伝を目標にトレーニングを行っている大学女子陸上競技部中長距離選手の中から、候補選手として残った上位9名である。トレッドミル走の速度を200m/minから240m/minに急増したときの $\dot{V}O_2$ の変化を、反応が50, 60, 80%に達する時間 $t_{1/2}$ ,  $t_{3/4}$ ,  $t_{1/4}$ であらわすと、3000mのベストタイムとそれらとの間には、有意な相関は得られなかった ( $p > 0.05$ )。一方、トレッドミルで測定した $\dot{V}O_{2\max}$  ( $60.60 \pm 3.86 \text{ ml/kg/min}$ )と3000mのベストタイムとの間の相関は $r = -0.555$  ( $p > 0.05$ )となり、有意ではなかったが、 $VT - \dot{V}O_2$  ( $48.86 \pm 4.09 \text{ ml/kg/min}$ )とベストタイムとの相関は $r = -0.768$  ( $p < 0.05$ )で有意であった。2つのパラメータを組み合わせると、決定係数はより高くなる。その場合、 $VT - \dot{V}O_2$ と $\dot{V}O_{2\max}$ を組み合わせると用いるよりも、 $VT - \dot{V}O_2$ と $\dot{V}O_2 t_{1/2}$ ,  $t_{3/4}$ ,  $t_{1/4}$ を組み合わせの方が、高い重相関係数が得られた ( $r = 0.848, 0.850, 0.846, p < 0.01$ )。トレッドミルテストを実施した時期に行われた競技会の3000mのタイムと上記の呼吸循環系パラメータとは、単独で有意な相関を示すものはなかった。重相関係数でみると、有意であったのは、 $VT - \dot{V}O_2$ と $\dot{V}O_2 t_{3/4}$  ( $r = 0.731, p < 0.05$ )、 $VT - \dot{V}O_2$ と $\dot{V}O_2 t_{1/4}$  ( $r = 0.769, p < 0.05$ )であった。

以上の結果から、走速度の増加に対する $\dot{V}O_2$ 増加の速さは、単独では3000mの performance を決定する因子とはならないが、VTと組み合わせると記録を予測する有効なパラメータであることが明らかになった。

## 緒 言

陸上競技の長距離種目やマラソンでは、競技の Performance は $\dot{V}O_{2\max}^{1,2,8-10,12}$ 、無酸素性作業閾値(AT)や乳酸性閾値(LTやOBLA)<sup>12,16</sup>、競技中の酸素摂取水準( $\% \dot{V}O_{2\max}$ )<sup>2</sup>などの呼吸循環系パラメータと密接な関係にあることが明らかにされている。

しかし、競技レベルが高まり、優れた資質を持つ選手が競うようになると、 $\dot{V}O_{2\max}$ やATで示される有酸素的能力は一定水準以上の選手が集まるので、それらが競技成績を決定する要因にはならなくなる<sup>17</sup>。 $\dot{V}O_{2\max}$ の大きな集団では、無酸素的エネルギーの大きさが、走速度に密接な関係を持っていることは山崎と青木<sup>17</sup>が指摘している通りである。一方、レースにおいては、ペース・アップを図って自分が集団から抜け出したり、相手の脱落を待つことが駆引きとして行われる。このような場合に、無酸素的エネルギーの総量が大きいと同時に、無酸素的エネルギーの消耗の少ないことが有利な条件になる。後者は有酸素的エネルギー動員の速さ、すなわち、増加した新たな速度に対応した $\dot{V}O_2$ レベルにいかにも速く到達するかということと密接な関係にある。有酸素的エネルギー動員の速さは、トレーニングによって変わり、鍛練者では速くなることが報告されており<sup>3,4</sup>、 $\dot{V}O_{2\max}$ の高い人ほど、 $\dot{V}O_2$ の増加速度の速いことも明らかにされている<sup>14</sup>。しかし、有酸素的エネルギー動員の速さが長距離走の競技記録とどのような関係にあるかについては明らかにされていない。

本研究は、全日本大学女子駅伝を目指してトレーニングを積んでいる大学の女子陸上競技部選手の中から、候補選手として選ばれた上位選手の3000mの競技記録に対して、有酸素的エネルギー動員の速さがどのように係わっているかを、 $\dot{V}O_{2\max}$ や換気性閾値 (Ventilatory Threshold, VT)

との関連において明らかにすることを目的としている。

方 法

1. 被検者およびトレーニング内容

大学の陸上競技部に所属し、1988年11月27日の'88全日本大学女子駅伝の候補選手としてトレーニングしている選手10名を被検者とした。なお、1名はデータに不備があったので、本研究では9名について分析を行った。被検者の身体的特性と競技記録は、表1に示す通りである。なお本実験の被検者のうち、3名は1987年の全日本大学女子駅伝にも出場した選手である。

全日本大学女子駅伝は、総計走行距離 35km を6区にわけ、一人が最短3km、最長7.5kmを走行する。優勝あるいは上位入賞を狙うためには、平均 20.5sec/100m (293m/min) のペースで走行する必要がある<sup>7,11)</sup>。本実験の被検者は 20sec/100m (300m/min) で 3000m 以上走る能力を養うことを主眼としたテンポ走 (6000m を 270m~280m/min のスピードで走行)、wave run (250~300m/min)、build-up 走 (3000~6000m を 250m/min の速度から 300m/min に漸増して走行)、interval 走 (500m+100m jogging を 4本、

速度は 300~320m/min) を内容とするトレーニングを実施していた。トレーニングの代表的場面での心拍数は、図1に示す通りである。

2. トレッドミルによる最大および最大下負荷テスト

$\dot{V}O_{2max}$ , 換気性閾値 (Ventilatory Threshold, VT) および走行速度の増加に対する  $\dot{V}O_2$  増加の速さを測定するため、次のような2種類のトレッドミルテストを行い、心拍数 (HR) と  $\dot{V}O_2$  を測定した。測定は1988年9月14日から20日の間に行った。

1) 換気性閾値 (VT) と  $\dot{V}O_2$  の増加速度の測定手順

水平のトレッドミル上で速度漸増法による走行を行わせた。走行は 160m/min の速度から開始し、3分後に 200m/min、6分後に 240m/min に増加した。さらに9分後に 260m/min に増加し、その後は Exhaustion 近くまで (280~300m/min)、3分ごとに 10m/min ずつ速度を増加させた。

運動中は Aeromonitor (ミナト医科学社製) を用いて10秒ごとの  $\dot{V}O_2$  を測定し、同時に胸部誘導による心電図から10秒ごとの HR を測定した。

速度の増加に対する  $\dot{V}O_2$  増加の速さは、200m/

表1 Age and physical characteristics of the subjects, and best performance in 3000m and 5000m race.

Subj.	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)	Best Performance (min)	
				3000m	5000m
H.S.	21.6	162.0	50.9	9.792	16.923
S.K.	21.9	155.0	42.5	9.851	17.100
K.O.	21.7	151.0	43.0	10.127	17.900
N.N.	20.8	165.0	48.3	9.963	
J.S.	21.0	157.0	47.0	10.153	
H.S.	20.3	153.1	52.0	10.683	
A.O.	19.4	155.0	45.5	9.822	17.313
E.M.	19.3	162.0	47.5	10.228	18.433
J.I.	19.0	163.2	49.5	10.383	17.777
Mean	20.56	158.14	47.36	10.113	
S D	1.11	5.00	3.27	0.293	

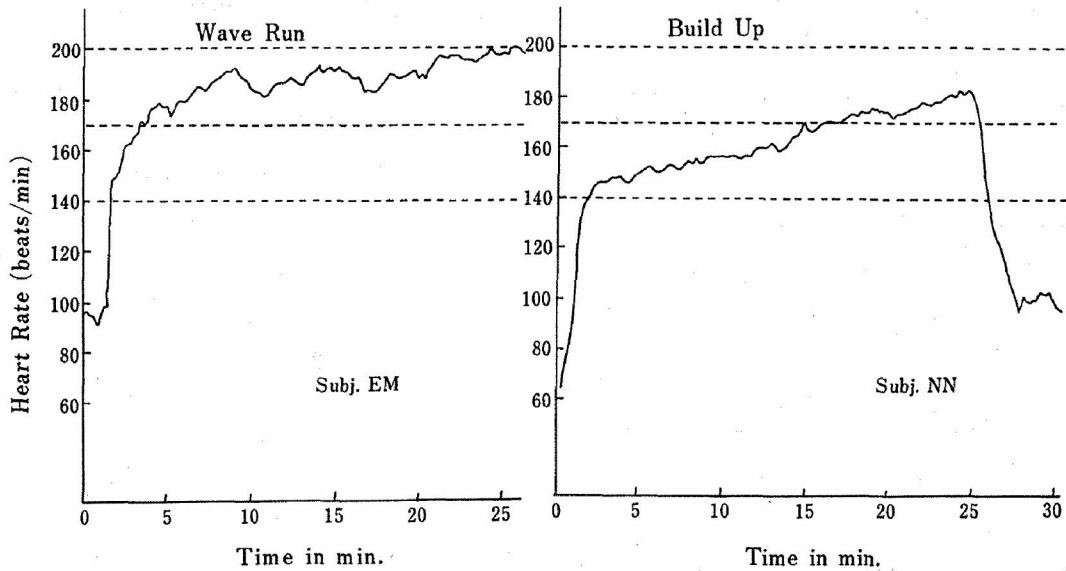


図1 An example of heart rate response to training exercise.  
(left: wave run, right: build up)

min から 240m/min に増加させたときの  $\dot{V}O_2$  について検討した。増加の速さを知るために、200 m/min の最後の 1 分間の  $\dot{V}O_2$  の平均値と 240m/min の走行時最後の 1 分間の平均値との差を C とし、 $Yt$  (時間 tsec における  $\dot{V}O_2$ ) と  $t$  (速度変化からの経過時間 sec) との関係を示す、 $Yt=C-ae^{-kt}$  の式で表し、最も適合する  $a$  と  $k$  を求めることにより、増加が 50%, 60%, 80% に達する時間 (秒)  $t_{1/2}$ ,  $t_{3/4}$ ,  $t_{3/8}$  を算出した。なお、200m/min の  $\dot{V}O_2$  は平均 56.0%  $\dot{V}O_{2max}$ , 240m/min の  $\dot{V}O_2$  は 70.3%  $\dot{V}O_{2max}$  に相当していた。

次に、各負荷最後の 1 分間の  $\dot{V}O_2$ ,  $\dot{V}E$ ,  $\dot{V}CO_2$  を平均し、 $\dot{V}O_2-\dot{V}E$  関係、あるいは  $\dot{V}O_2-\dot{V}CO_2$  関係の直線性がくずれぬ強度 ( $\dot{V}O_2$ ) を両対数グラフから求めて VT とした。

## 2) $\dot{V}O_{2max}$ の測定

上り傾斜 3 度のトレッドミル上で、140m/min・2 分の緩走を行った後、速度漸増による Exhaustion テストを行った。速度は、はじめの 2 分間 160m/min に保ち、その後は毎分 20m/min ずつ増加した。Exhaustion 時の速度は 280~300m/min であった。運動中の HR,  $\dot{V}O_2$  は 30sec ずつ測定した。そして、Exhaustion 時の RQ が 1.1 以上

となったものを  $\dot{V}O_{2max}$  とした。

## 3. 3000m レースのペースの測定

実験後 3 週間以内に行われた競技会のうち、本実験の被検者が全員出場した 10 月 10 日の T 大学との対校競技会の 3000m のペースと競技記録を分析の対象とした。ペースは 300m ごとのラップタイムから算出した。なお、被検者 9 名のうち 4 名はこの大会で自己ベストを記録した。

## 結 果

### 1. 速度増加に対する $\dot{V}O_2$ 増加の速さ

表 2 は 160m/min の走行に引き続いて、200 m/min で走行中の 3 分目に速度を 240m/min に急増したときの  $\dot{V}O_2$  の変化を、 $Yt=C-ae^{-kt}$  の式で表し、 $Yt=50, 60, 80$  の時の  $t$  ( $t_{1/2}$ ,  $t_{3/4}$ ,  $t_{3/8}$ ) を個人別に示したものである。反応が 50% に達する時間  $t_{1/2}$  は 14.8~36.3sec の範囲に分布し、平均値は 26.62sec であった。 $t_{3/4}$ ,  $t_{3/8}$  の平均値 ± 標準偏差は  $34.54 \pm 11.58$ sec と  $59.47 \pm 22.53$ sec であった。 $t_{1/2}$  と  $t_{3/4}$  の間には  $r=0.980$  ( $p<0.001$ ) の有意な相関があり、 $t_{1/2}$  と  $t_{3/8}$ ,  $t_{3/4}$  と  $t_{3/8}$  の間にもそれぞれ  $r=0.938, 0.982$  のいずれも 0.1% 水準で有意な相関がみられた。すなわち、 $1/2$  までの



増加の速い人は  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{3}$  までの増加速度も速いことがわかる。

2. 3000mの競技記録と  $\dot{V}O_2$  増加速度,

$\dot{V}O_{2max}$ , VT- $\dot{V}O_2$  との関係

図2は被検者9名を3000mのベスト記録が9分台の群 (N=4) と10分台の群 (N=5) とに分けて,  $\dot{V}O_2$  の平均値を求め, 両群の平均値の増加を  $Yt=100-ae^{-kt}$  で示したものである. 速度係数  $k$  は, 記録が9分台の群では 0.045, 10分台の群では 0.025となり, 前者の方が大きい. 被検者別に  $t_{1/2}$ ,  $t_{1/3}$ ,  $t_{1/4}$  を求め, ベスト記録によって2群に分け, 平均値  $\pm$ SD を求めて比較すると,  $t_{1/2}$  ( $25.05 \pm 8.70$ ,  $27.88 \pm 7.18$ sec),  $t_{1/3}$  ( $31.73 \pm 10.70$ ,  $36.80 \pm 10.55$ sec),  $t_{1/4}$  ( $52.85 \pm 17.73$ ,  $64.76 \pm 22.31$ sec) のいずれも記録のよい群の方が小さい値を示した. しかし, 統計的には有意差がなかった.

3000mのベスト記録と  $\dot{V}O_2$  増加の速さ (表2) および表3に示したトレッドミルによる  $\dot{V}O_{2max}$  (ml/kg/min), VT- $\dot{V}O_2$  (ml/kg/min) との間の単相関を求めると, 表4の上段に示すようになった. 3000mベスト記録と  $\dot{V}O_{2max}$  とは  $r = -0.555$

表2 Time (sec) required for  $\dot{V}O_2$  increase to 50% ( $\dot{V}O_{2t_{1/2}}$ ), 60% ( $\dot{V}O_{2t_{1/3}}$ ) and 80% ( $t_{1/4}$ ) of final  $\dot{V}O_2$  in running at 240m/min.

Subj.	$\dot{V}O_{2t_{1/2}}$	$\dot{V}O_{2t_{1/3}}$	$\dot{V}O_{2t_{1/4}}$
H. S.	14.8	19.4	33.8
S. K.	18.6	23.5	38.2
K. O.	19.4	25.7	44.4
N. N.	30.5	38.3	62.2
J. S.	37.5	52.2	98.4
H. S.	30.6	37.0	57.3
A. O.	36.3	45.7	77.2
E. M.	19.7	24.9	41.0
J. I.	32.2	44.2	82.7
Mean	26.62	34.54	59.47
S D	8.50	11.58	22.53

の相関係数が得られたが統計的に有意ではなかった.  $\dot{V}O_2$  の増加速度を示す  $t_{1/2}$ ,  $\frac{1}{3}$ ,  $\frac{1}{4}$  と 3000mのタイムおよび  $\dot{V}O_{2max}$  は, いずれも  $r=0.3$ 以下の低い相関係数を示した ( $p>0.05$ ). それに対して, VT- $\dot{V}O_2$ は 3000mのベスト記録と  $r = -0.768$  ( $p<0.05$ ) の有意な相関を示し, VT- $\dot{V}O_2$  が高くなるほど記録は短縮していることがわかる (図3). 図中に示した数字は  $\dot{V}O_{2t_{1/2}}$  である. 回帰

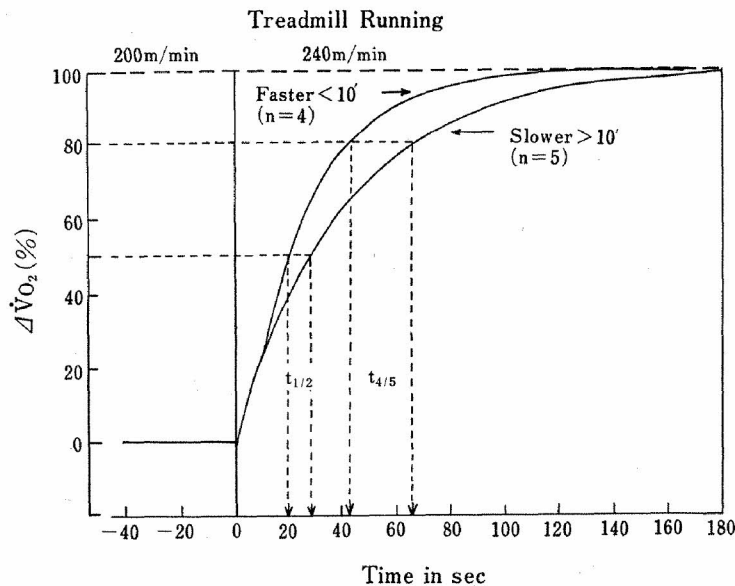


図2  $\dot{V}O_2$  kinetics at an increase of running speed from 200m/min to 240m/min. The subjects were divided into 2 groups according to the 3000m race time: faster than 10 minutes and slower than 10 minutes.

表3  $\dot{V}_{O_2max}$ ,  $HR_{max}$  and ventilatory threshold (VT) in female distance runners.

Subj.	$\dot{V}_{O_2max}/wt$ (ml/kg/min)	$HR_{max}$ (beats/min)	VT- $\dot{V}_{O_2}$ (ml/kg/min)	VT-speed (m/min)
H.S.	64.5	191.4	52.4	282
S.K.	64.6	192.5	53.3	277
K.O.	63.1	200.0	47.2	264
N.N.	59.0	187.5	49.2	250
J.S.	62.6	185.5	51.2	267
H.S.	60.1	203.1	44.4	263
A.O.	62.3	185.5	53.2	290
E.M.	54.6	197.8	41.7	248
J.I.	54.6	183.6	47.1	266
Mean	60.60	191.88	48.86	267.4
S D	3.86	7.04	4.09	13.8

表4 Single correlation coefficients between various cardio-respiratory parameters and performance in 3000m race.

Y	X	correlation coefficient
Best performance in 3000m race	$\dot{V}_{O_2max}$	-0.555
	VT- $\dot{V}_{O_2}$	-0.768*
	$\dot{V}_{O_2t\frac{1}{2}}$	0.236
	$\dot{V}_{O_2t\frac{3}{4}}$	0.273
	$\dot{V}_{O_2t\frac{1}{2}}$	0.291
Time in 3000m race performed within a month after treadmill test	$\dot{V}_{O_2max}$	-0.358
	VT- $\dot{V}_{O_2}$	-0.583
	$\dot{V}_{O_2t\frac{1}{2}}$	0.409
	$\dot{V}_{O_2t\frac{3}{4}}$	0.370
	$\dot{V}_{O_2t\frac{1}{2}}$	0.315

\*  $p < 0.05$                        $df = 7$

直線の下よりも上にある者の方が  $\dot{V}_{O_2t\frac{1}{2}}$  が小さい傾向にある。そこで、これらの呼吸循環系パラメータを組み合わせて、ベスト記録 (3000m) との重相関係数を求めると表5の上段のようになる。ベスト記録と高い重相関を示したのはVT- $\dot{V}_{O_2}$  と  $\dot{V}_{O_2t\frac{1}{2}}$  ( $r=0.849$ ),  $\dot{V}_{O_2t\frac{3}{4}}$  ( $r=0.850$ ),  $\dot{V}_{O_2t\frac{1}{2}}$  ( $r=0.846$ ) で、いずれも1%水準で有意 ( $df=6$ ) であった。決定係数は0.72である。3000mのベスト記録 (Y) と VT- $\dot{V}_{O_2}$  (X1) および

$\dot{V}_{O_2t\frac{1}{2}}$ ,  $\frac{3}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$  (X2) との間の回帰方程式は以下のようになった。

$$Y = 12.591 - 0.0580X_1 + 0.0126X_2$$

(X2:  $\dot{V}_{O_2t\frac{1}{2}}$ )

$$Y = 12.638 - 0.0583X_1 + 0.0093X_2$$

(X2:  $\dot{V}_{O_2t\frac{3}{4}}$ )

$$Y = 12.719 - 0.0591X_1 + 0.0047X_2$$

(X2:  $\dot{V}_{O_2t\frac{1}{2}}$ )

また、3000mのベスト記録は  $\dot{V}_{O_2max}$ , VT- $\dot{V}_{O_2}$  も有意な重相関 ( $r=0.769$ ,  $p < 0.05$ ) を示したがVT- $\dot{V}_{O_2}$ ,  $\dot{V}_{O_2}$  増加速度との重相関より有意水準は低かった。

図4はトレッドミルテスト後1カ月以内に行われた競技会での3000mレースのペースを示したものである。9分台の記録を出した4名は、スピードの低下する900~2700mにおいても平均300m/minの速度を維持していたが、10分台の記録を出した5名の中間の速度は270~280m/minであった。900~2700mの平均速度は表3のVT-speed (m/min) の102~120%に相当していた。この競技会での記録と呼吸循環系パラメータとの単相関は表4の下段に示す通りであり、 $\dot{V}_{O_2max}$ , VT- $\dot{V}_{O_2}$ ,  $\dot{V}_{O_2}$  増加速度のいずれとも有意な相関(単)は得られなかった。記録と  $\dot{V}_{O_2max}$ , VT- $\dot{V}_{O_2}$  との

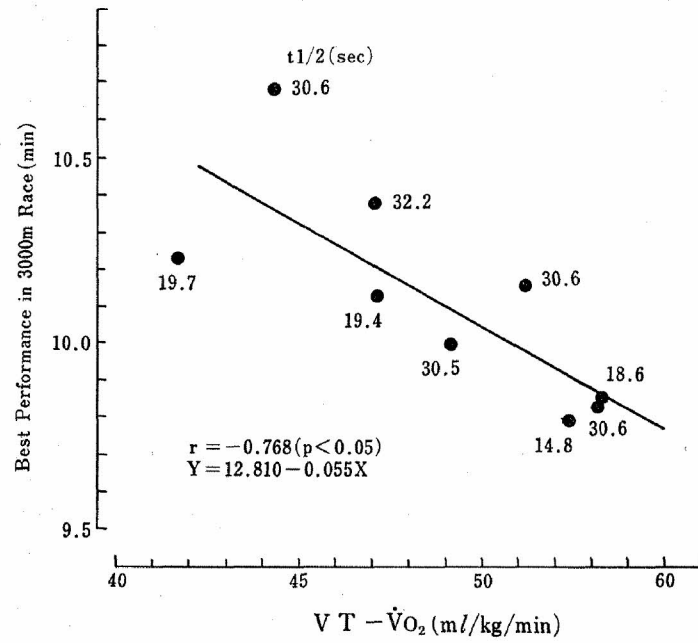


図3 Relation between  $VT - \dot{V}O_2$  and 3000m race time. Figures indicates  $\dot{V}O_{2t\frac{1}{2}}$ .

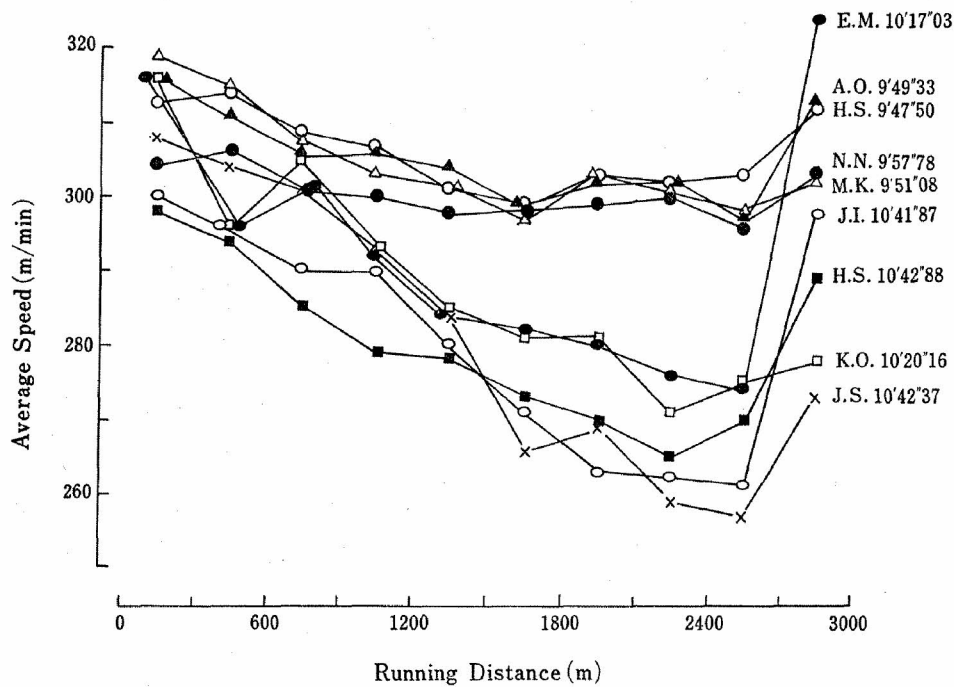


図4 Running pace during 3000m race performed within a month after a treadmill test.

相関係数  $r$  はベスト記録との相関係数より低くなったが、 $\dot{V}O_2$  の増加速度  $t_{\frac{1}{2}}$ ,  $t_{\frac{2}{3}}$ ,  $t_{\frac{3}{4}}$  との相関は有意ではなかったものの、ベスト記録との相関係数より高い  $r$  が得られた。

トレッドミルテスト後1カ月以内の3000mレ

ースのタイムと呼吸循環系パラメータとの重相関係数を表5に示した。ベスト記録とは相関のあった  $\dot{V}O_{2max}$ ,  $VT - \dot{V}O_2$  はトレッドミルテスト時の3000mレースタイムとは有意な相関が得られなかった。3000mレースタイムと統計的に有意な相関

表5 Multiple correlation coefficients among various cardio-respiratory parameters and performance in 3000m race.

Y	X1	X2	correlation coefficient
Best performance in 3000m race	$\dot{V}O_{2max}$	VT- $\dot{V}O_2$	0.769*
		$\dot{V}O_{2t\frac{1}{2}}$	0.568
		$\dot{V}O_{2t\frac{3}{4}}$	0.576
		$\dot{V}O_{2t\frac{1}{2}}$	0.581
	VT- $\dot{V}O_2$	$\dot{V}O_{2t\frac{1}{2}}$	0.846**
		$\dot{V}O_{2t\frac{3}{4}}$	0.850**
$\dot{V}O_{2t\frac{1}{2}}$		0.849**	
Time in 3000m race performed within a month after treadmill test	$\dot{V}O_{2max}$	VT- $\dot{V}O_2$	0.595
		$\dot{V}O_{2t\frac{1}{2}}$	0.495
		$\dot{V}O_{2t\frac{3}{4}}$	0.467
		$\dot{V}O_{2t\frac{1}{2}}$	0.432
	VT- $\dot{V}O_2$	$\dot{V}O_{2t\frac{1}{2}}$	0.769*
		$\dot{V}O_{2t\frac{3}{4}}$	0.731*
$\dot{V}O_{2t\frac{1}{2}}$		0.690	

Multiple correlation : df=6

\*p<0.05 \*\*p<0.01

があったのは、VT- $\dot{V}O_2$  と  $\dot{V}O_{2t\frac{1}{2}}$  ( $r=0.769$ ,  $p < 0.05$ , 決定係数 0.592) および VT- $\dot{V}O_2$  と  $\dot{V}O_{2t\frac{3}{4}}$  ( $r=0.731$ ,  $p < 0.05$ , 決定係数 0.535) であった。 $\dot{V}O_{2t\frac{1}{2}}$  については有意な相関が得られなかった。

3000m レースタイム (Y) と VT- $\dot{V}O_2$  (X1),  $\dot{V}O_{2t\frac{1}{2}}$ ,  $t\frac{3}{4}$  (X2) の間には次のような回帰式が得られた。

$$Y = 13.071 - 0.0688X1 + 0.0096X2$$

(X2 :  $\dot{V}O_{2t\frac{1}{2}}$ )

$$Y = 12.956 - 0.0663X1 + 0.0164X2$$

(X2 :  $\dot{V}O_{2t\frac{3}{4}}$ )

### 論 議

陸上競技の長距離走の記録に関与する呼吸循環系因子には、 $\dot{V}O_{2max}$ , AT, % $\dot{V}O_{2max}$ , running economy などあげられる<sup>1,2,8-10,12,16</sup>。各因子の貢献度は競技時間の短い種目と長い種目では異なる<sup>2,12</sup>。また、対象とする選手のレベルによっても、競技記録の決定因子が異なり、最大酸素負

債量で示される様な無酸素的エネルギーが記録の優劣を左右する場合もある<sup>17</sup>。したがって、performance と生理学的パラメータとの関係を論じる時には、競技種目の特性と対象とした被検者の競技レベルや体力レベルを明らかにしておく必要がある。

本研究の被検者は、全日本大学女子駅伝を目標にトレーニングしている女子選手である。全日本大学女子駅伝は1人の走行距離が3000~7500mであり、本実験の被検者は100mを20秒(300/min)の速度で、10分以上走る能力、すなわち3000mを10分以内で走る力をつけようとトレーニングしている選手である(加藤)<sup>11</sup>、そこで、3000mの競技記録を分析の対象とした。女子の3000m走では、走行中の $\dot{V}O_2$ はトレッドミルで測定した $\dot{V}O_{2max}$ と有意差がなく、走行中の $\dot{V}O_2$ の総量は酸素需要量の85%を占めている<sup>9</sup>、 $\dot{V}O_{2max}$ と3000m競技記録の関係については、前者が50~63ml/kg/min、後者が9'49"~11'13"の選手を対象として、両者の間には有意の相関がみられたことが報告されて

いる(加賀谷たち)<sup>10)</sup>。しかし、本研究では、陸上競技部に所属する中長距離選手のうち、上位9名の駅伝候補選手を対象としたところ、 $\dot{V}O_{2max}$ と3000mのタイム(自己ベスト)との間には有意な相関は得られなかった( $r = -0.555$ )。本研究の被検者の $\dot{V}O_{2max}$ は54~65ml/kg/minの範囲にあるが、9名の内6名は60~65ml/kg/minに集まっており、 $\dot{V}O_{2max}$ の近似した集団であったために、3000mのタイムとの間に有意な相関がみられなかったものと考えられる。3000m競技記録(自己ベスト)との単相関が有意であったのはVT- $\dot{V}O_2$ である( $r = -0.768$ ,  $p < 0.05$ )。Kumagai たち<sup>12)</sup>は、男子の5km, 10km, 10マイルレースのタイムと呼吸循環系パラメータとの関係を報告している。そして、 $\dot{V}O_{2max}$ との相関は高くないがAT- $\dot{V}O_2$ とは有意の相関があったと報告しており、本研究の女子に関する結果もこれに一致していた。これまでの報告によればATは筋の酸化能力を反映するものであり<sup>6, 15)</sup>、本研究の駅伝選手においても、3000mのタイムの良いものは、そのような能力が高いと考えられる。

運動開始時やレース中の速度増加時に有酸素的エネルギー動員の速いことは、無酸素的エネルギーの消費を少なくして新しい速度に適応できることを意味している。山崎と青木<sup>17)</sup>が指摘するように競技能力の高い選手が集まってレースをする場合、有酸素的能力に優れていることは必須の条件であるので、競技成績は無酸素的能力のレベルに依存するが、スピード・アップに要する無酸素的エネルギーが少なくすめば、身体の持つ無酸素的エネルギーを有効に使うことができ、実際のレースでは有利である。本研究では、この点に着目して、200m/minで走行中に、速度を40m/min増加させた時の $\dot{V}O_2$ 増加の速さを測定した。反応が50, 60, 80% $\dot{V}O_{2max}$ に達する時間 $t_{1/2}$ ,  $\frac{1}{3}$ ,  $\frac{1}{4}$ を、3000mの競技記録が10分を切る選手4名と10分台の選手5名で比べると、前者の方がやや速かった

が、有意差はなかった。また、3000mのベスト・タイムと $t_{1/2}$ ,  $\frac{1}{3}$ ,  $\frac{1}{4}$ の間にも有意な相関はみられなかった。運動開始時の $\dot{V}O_2$ 増加の時間は、トレーニングによって短縮し(Hickson たち)<sup>4)</sup>、トレーニングした選手では有意に速い(Hagberg たち)<sup>9)</sup>とされている。またPower たち<sup>14)</sup>は、運動開始時の $\dot{V}O_{2t_{1/2}}$ は $\dot{V}O_{2max}$ と有意な相関があり、 $\dot{V}O_{2max}$ の高い人ほど速いと報告している。 $\dot{V}O_{2t_{1/2}}$ は運動の絶対的、相対的強度によってかわるが、Hickson たち<sup>4)</sup>は40~70% $\dot{V}O_{2max}$ 、Hagberg たち<sup>9)</sup>は25~70% $\dot{V}O_{2max}$ 、Power たち<sup>14)</sup>は50% $\dot{V}O_{2max}$ の強度に対する適応をみており、本研究で用いた240m/min(70% $\dot{V}O_{2max}$ )もこれらの報告に含まれる強度である。しかし、これまでの研究の多くが、安静状態から運動を開始した時の $\dot{V}O_2$ の立ち上がりの速さをみているのに対し、本研究は200m/min(約56% $\dot{V}O_{2max}$ )で走行中に、速度を240m/min(70% $\dot{V}O_{2max}$ )に増加して $\dot{V}O_2$ の増加速度をみており、その点では異なっている。HughsonとMorrissey<sup>5)</sup>は安静時から一定強度の運動(80%AT)への $\dot{V}O_2$ 増加よりも、予備運動(40%AT)から一定強度の運動への $\dot{V}O_2$ 増加の方が遅いと報告している。運動開始時の $\dot{V}O_2$ 増加の速度は、活動筋内の酸化酵素活性のような筋での酸素消費系の適応の速さと、末梢の血管拡張、心拍出量などの酸素供給系の適応の速さなどによって決まると考えられている<sup>3, 4, 13)</sup>。一定強度の運動中に強度を増加させる時の $\dot{V}O_2$ 増加の速度規定因子と安静時からの $\dot{V}O_2$ 増加規定因子とは、必ずしも同じとはいえないが、類似の生理的要因によって規定されていると考えてよいだろう。しかし、このような生理的意義を持つ $\dot{V}O_2$ の増加速度は、単独では3000mのタイムと有意の相関を持つほどperformanceに対する規定因子とはなっていないことがわかった。

陸上競技の長距離走やマラソンでは、単独の生

理的パラメータよりも、いくつかのパラメータを組合せた方が、よりよく performance の予測ができる。Davies と Thompson<sup>2)</sup> は男子のマラソンのタイムは  $\dot{V}O_{2max}$  とは  $r = -0.82$ ,  $\% \dot{V}O_{2max}$  とは  $r = -0.63$  の単相関を示すが、2つのパラメータを組み合わせた重相関にすると  $r = 0.993$  となり、タイムの変動の 97~98% を説明することができるとしている。また、Tanaka と Matsuura<sup>16)</sup> もマラソン記録は AT と密接な関係にあるが、AT 単独よりも  $\% \dot{V}O_{2max}$ ,  $\dot{V}O_{2max}$  と組み合わせた方がより関係が密接になることを示した。本研究では、3000m のベストタイムと単独で有意な相関を示したのは VT -  $\dot{V}O_2$  だけであった。しかし、2つのパラメータを組み合わせると、3000m のベストタイムは、 $\dot{V}O_{2max}$  と VT -  $\dot{V}O_2$ , VT -  $\dot{V}O_2$  と  $\dot{V}O_2 t_{1/2}$ ,  $t_{3/4}$ ,  $t_{1/4}$  と有意な相関を示し、VT -  $\dot{V}O_2$  を  $\dot{V}O_{2max}$  と組み合わせる (59%) よりも、 $\dot{V}O_2$  の増加速度と組合せた方 (72%) がタイムの変動をより多く説明できることがわかった。さらに、トレッドミル実験を行った時期の競技会での記録と呼吸循環系パラメータとの関係をみると、ベストタイムとは有意な相関を示した VT -  $\dot{V}O_2$  も有意ではなく、 $\dot{V}O_2 t_{1/2} \sim t_{3/4}$  も係数は高くなるものの有意ではなかった。すなわち、ある1回競技の会でのタイムと単独で有意な相関を示す呼吸循環系パラメータは本研究で用いた範囲ではみられなかった。2つのパラメータを組み合わせても、 $\dot{V}O_{2max}$  と VT -  $\dot{V}O_2$  は有意ではなかったが、VT -  $\dot{V}O_2$  に  $\dot{V}O_2 t_{1/2}$  あるいは  $\dot{V}O_2 t_{3/4}$  を組み合わせると有意な相関が得られ、変動の 59% あるいは 55% を説明できることが示された。したがって、走速度の増加に対する  $\dot{V}O_2$  増加の速さを VT -  $\dot{V}O_2$  に組み合わせると、ベストタイムにあらわれた 3000m の競技能力や特定の競技会での競技記録をよりよく予測できることが明らかになった。

## 要 約

全日本大学女子駅伝 (総計走行距離 35km, 1人の走行距離 3~7.5km) を目標にトレーニングを行っている大学女子陸上競技部中長距離選手の中から、候補選手となった上位 9 名の駅伝選手を被検者とした。水平のトレッドミル上で走速度を 200m/min から 240m/min に増加させたときの  $\dot{V}O_2$  増加の速さ、 $\dot{V}O_{2max}$ , VT を測定し、3000m の競技記録との関係を調べた。 $\dot{V}O_2$  は、ミナト医科学社製の Aeromonitor を使用して 10 秒ごとに記録した。

得られた結果を要約すると、以下の通りである。

1) トレッドミル走の速度を 200m/min から 240m/min に急増したときの  $\dot{V}O_2$  の変化を  $Yt = C - ae^{-kt}$  の式で表し、 $Yt = 50, 60, 80$  のときの  $t$  を求め、 $t_{1/2}$ ,  $t_{3/4}$ ,  $t_{1/4}$  とした。(ただし、 $Yt$ : 時間  $t$  における  $\dot{V}O_2$  増加の%,  $C$ : 定常状態値、ここではこれを 100% した。 $t$ : 速度増加からの経過時間 sec)

2) 9 名の被検者の  $t_{1/2}$ ,  $t_{3/4}$ ,  $t_{1/4}$  の平均値  $\pm$  SD は、 $26.62 \pm 8.50$ ,  $34.54 \pm 11.58$ ,  $59.47 \pm 22.53$  sec であり、それぞれの間で 0.1% 水準で有意な相関がみられた ( $r = 0.986, 0.938, 0.982$ )。

3) 3000m のベストタイムは 9.792~10.683 分の中に分布し、9 名のうち 10 分を切ったのは 4 名であった。ベストタイムと  $\dot{V}O_2 t_{1/2}$ ,  $t_{3/4}$ ,  $t_{1/4}$  の間には、有意な相関は得られなかった ( $r = 0.291, 0.273, 0.236, p > 0.05$ )。

4) トレッドミルで測定した  $\dot{V}O_{2max}$  は  $60.60 \pm 3.86$  ml/kg/min, VT -  $\dot{V}O_2$  は  $48.86 \pm 4.09$  ml/kg/min の平均値  $\pm$  SD を示した。3000m のベストタイムと  $\dot{V}O_{2max}$  との間の相関は  $r = -0.555$  ( $p > 0.05$ ) で有意ではなく、ベストタイムと VT -  $\dot{V}O_2$  との相関は  $r = -0.768$  ( $p < 0.05$ ) で有意であった。



5) 2つのパラメータを組み合わせると、決定係数はより高くなるが、 $VT - \dot{V}O_2$  と  $\dot{V}O_{2max}$  を組み合わせて用いるよりも、 $VT - \dot{V}O_2$  と  $\dot{V}O_2 t_{1/2}$ ,  $t_{1/4}$ ,  $t_{3/4}$  を組み合わせた方が、高い重相関係数が得られた ( $r=0.848, 0.850, 0.846, p<0.01$ ).

6) トレッドミルテストを実施した時期に行われた競技会の3000mのタイムと上記の呼吸循環系パラメータとの関係を見ると、単独で有意な相関を示すものはなかった。重相関係数でみると、有意であったのは、 $VT - \dot{V}O_2$  と  $\dot{V}O_2 t_{3/4}$  ( $r=0.731, p<0.05$ ),  $VT - \dot{V}O_2$  と  $\dot{V}O_2 t_{1/4}$  ( $r=0.769, p<0.05$ ) であった。

7) 以上の結果から、走速度の増加に対する  $\dot{V}O_2$  増加の速さは、単独では3000mの performance と有意の相関を示さないが、 $VT$  と組み合わせると記録を予測する有効なパラメータであることが明らかになった。

稿を終わるに当たり、本研究の被検者として協力して下さった、日本女子体育大学陸上競技部中長距離ブロックの選手の皆様に感謝の意を表します。また、トレッドミル実験や資料整理に御協力くださった岩岡研典氏 (ヒューマン・パフォーマンス・ラボラトリー) および日本女子体育大学運動生理学研究室の皆様にお礼申し上げます。

## 文 献

- 1) Conely, D.L., G.S. Krahenbuhl, L. Burkett and A.L. Miller: Physiological correlates of female road racing performance. *Res. Quart. Exerc. Sports.* **52** : 441—448 (1981)
- 2) Davies, C.T.M. and M.W. Thompson: Aerobic performance of female and male ultramarathon athletes. *Eur. J. Appl. Physiol.* **41** : 233—245 (1979)
- 3) Hagberg, J.M., F.J. Nagle, and J.L. Carlson: Transient  $O_2$  uptake response at the onset of exercise. *J. Appl. Physiol.* **44** : 90—92 (1978)
- 4) Hickson, R.C., H.A. Bolme, and J.O. Holloszy: Faster adjustment of  $O_2$  uptake to the energy

- requirement of exercise in the trained state. *J. Appl. Physiol.* **44** : 887—891 (1978)
- 5) Hughson, R.L. and M. Morrissey: Delayed kinetics of respiratory gas exchange in the transition from prior exercise. *J. Appl. Physiol.* **52** : 921—929 (1982)
- 6) Ivy, J.L., R.T. Wither, P.J. Van Handel, D.H. Elger, and D.L. Costill: Muscle respiratory capacity and fiber type as determinants of the lactate threshold. *J. Appl. Physiol.* **48** : 523—527 (1980)
- 7) 加賀谷淳子, 加藤昭, 岩岡研典: 女子駅伝選手の合宿時のエネルギー出納. 運動栄養研究会 (明治製菓株式会社健康産業事業部) 報告書, 運動と栄養 : 61—74 (1987)
- 8) Kagaya, A., T. Yokozeki, and A. Katoh: Aerobic response to a 1500m run. in female middle-distance runners. *Proceedings of FISU /CESU Conference, Kobe*, 410—415 (1985)
- 9) 加賀谷淳子, 横関利子, 加藤昭, 三沢光男: 女子陸上競技の走種目におけるエネルギー需給関係, 日本女子体育大学紀要, **13** : 151—161 (1983)
- 10) 加賀谷淳子, 横関利子, 加藤昭, 渡部誠:  $\dot{V}O_{2max}$  および  $\dot{V}O_2$  一走速度関係からみた女子陸上中長距離選手の身体組成. 昭和56年度日本体育協会, スポーツ医科学研究報告, 女子のスポーツ適性に関する研究報告 I : 74—81 (1981)
- 11) 加藤昭: 目標達成のための長距離走トレーニングの実戦報告—1987年全日本女子駅伝において優勝を目標として—運動栄養研究会 (明治製菓株式会社健康産業事業部) 報告書, 運動と栄養 : 75—91 (1987)
- 12) Kumagai, S., K. Tanaka, Y. Matsuura, A. Matsuzaka, K. Hirakoba, and K. Asano: Relationships of the anaerobic threshold with the 5km, 10km, and 10mile races. *Eur. J. Appl. Physiol.* **49** : 13—23 (1982)
- 13) Pendergast, D.R., D. Shindell, P. Cerretelli and D.W. Rennie: Role of central and peripheral circulatory adjustment in oxygen transport at the onset of exercise. *Int. J. Sports Med.* **1** : 160—170 (1980)
- 14) Power, S.K., S. Dodd, and R.E. Beadle: Oxygen uptake kinetics in trained athletes differing in  $\dot{V}O_{2max}$ . *Eur. J. Appl. Physiol.* **54** : 306—308 (1985)
- 15) Rusko, H., P. Rahkila, and E. Karvinen:



Anaerobic threshold, skeletal muscle enzymes and fiber composition in young female cross-country skiers. *Acta Physiol. Scand.* **108** : 263—268 (1980)

16) Tanaka, K., and Y. Matsuura: Marathon

performance, anaerobic threshold and onset of blood lactate accumulation. *J. Appl. Physiol.* **57** : 640—643 (1984)

17) 山崎省一, 青木純一郎; 長距離走者の競技記録と無酸素的能力. *体力科学* **26** : 87—95 (1977)