トレッドミル走における持続時間と生理学的応答の変動

山地啓司¹⁾ 橋本一隆¹⁾ 橋爪和夫¹⁾

Variability of time to exhaustion and physiological responses to treadmill running

Keiji Yamaji¹, Kazutaka Hashimoto¹ and Kazuo Hashizume¹

Abstract

The purpose of this study was to assess whether intraindividual variability in run time to exhaustion is related to $\dot{V}O_{2\max}$, HRmax, vVT (running velocity at VT), $v\dot{V}O_{2\max}$ (running velocity at $\dot{V}O_{2\max}$), and running economy ($\dot{V}O_2$ at 268 m·min⁻¹ running velocity). The subjects were nine trained university runners. An 8-13 repeated incremental treadmill test (test 1) and another maximal treadmill running test at $v\dot{V}O_{2\max}$ to measure the tLIM (run time to exhaustion) at $\dot{V}O_{2\max}$ (test 2) were given to each subject at the same time and the same day of the week over 8-13 weeks. These treadmill running tests (tests 1 and 2) were performed at constant temperature (20±0.5°C) and humidity (50±2%) conditions and the same analyzers were used for measuring the $\dot{V}O_2$ (test 1). The mean coefficient of variation (CV) of each subject in run time to exhaustion, $\dot{V}O_{2\max}$ (ml·kg⁻¹·min⁻¹), HRmax, vVT, $v\dot{V}O_{2\max}$, running economy and tLIM at $\dot{V}O_{2\max}$ were within the ranges 3.1-6.1%, 4.0-7.6%, 1.0-3.3%, 2.2-5.6%, 1.5-3.5%, 3.6-7.1%, 9.5-32.7%, respectively. It was difficult to explain an intraindividual variability in run time to exhaustion by the variation in $\dot{V}O_{2\max}$, vVT and running economy, except in one subject. Therefore, it is speculated that intraindividual variability in run time to exhaustion in the 8 subjects might have been due to daily changes in peripheral fatigue of the legs, psychological factors (duration of tension and motivation), and anaerobic capacity.

Key words: time to exhaustion, $\dot{V}O_{2\max}$, running economy, $v\dot{V}O_{2\max}$

(Japan J. Phys. Educ. 45: 15-23, January, 2000)

キーワード：持続時間, $\dot{V}O_{2\max}$, running economy, $v\dot{V}O_{2\max}$

I 緒 論

全身持久性能力の指標として、最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2\max}$)、酸素摂取水準 (% $\dot{V}O_{2\max}$) あるいは最大酸素負荷量が用いられる。これらの指標を測定する際の条件の一つに最大努力をするということがある。しかし、どんなに最大努力しても、これらの測定項目は変動する。その変動の要因には、測定機器や技術等によって生ずる、(1)技術的

誤差 (technological error) と生体本来が持つ(2)生物学的変動 (biological variance) とがある。(Morgan and Mitchell, 1992; Armstrong and Costill, 1985).

全身持久性能力の生理学的指標の変動が技術的誤差によるものか、それとも生物学的変動によるものか、生理学的指標の変動のメカニズムを追及することによって、全身持久性の作業成績の変動がどの程度説明できるのかを明らかにすることができる。これらの観点から、すでに多くの研究者によって、たとえば、 $\dot{V}O_{2\max}$ については Wyn-

1) 富山大学教育学部
〒930-8555 富山市五福3190

1. Faculty of Education, Toyama University, 3190 Gofuku, Toyama 930-8555

dham et al. (1959), Katch et al. (1982), 山地 (1992) によって, また, 出されたエネルギーをいかに有効に利用するかを示す, いわゆるランニングの経済性 (running economy; RE) については Billat et al. (1994), Armstrong and Costill (1985), Brisswalter and Legros (1994), Morgan et al. (1987; 1990), Williams et al. (1991) によって, 個々の生理学的因子の変動係数 (coefficient of variation; CV) が明らかにされている. しかし, これらの報告は $\dot{V}O_2\text{max}$ かあるいは RE のいずれかを取り扱ったものであり, これまで同一被験者を対象にした $\dot{V}O_2\text{max}$ と RE の両因子の変動に関する研究はわずか, 心臓病患者を対象にした Elborn et al. (1990), 肺疾患患者を対象にした Marciniuk et al. (1993) にみられるだけである. また, ランニングの作業成績に密接に関与する $\dot{V}O_2\text{max}$ と RE の二つの因子の和を示す最高有酸素的ランニング速度 ($v\dot{V}O_2\text{max}$) の変動に関する研究は見当たらない. さらに, 同一被験者の全身持久性の作業成績が $\dot{V}O_2\text{max}$, RE および $v\dot{V}O_2\text{max}$ とどのような関連性を持って変動するかについては明らかではない. そして, 個人の全身持久性の作業成績はいつも最大努力が要求されるため, 対象者の性格によっても影響を受けることが考えられる. そこで本研究は, トレッドミルのスピードの漸増負荷法でランニングを exhaustion まで行うことによって得られるランニング持続時間が, ランニング速度—酸素摂取量 ($RV-\dot{V}O_2$) 直線から求めた RE, $v\dot{V}O_2\text{max}$, $\dot{V}O_2\text{max}$ 等の生理学的因子, あるいは, 心理的状況 (情緒安定性) とどのような密接な関係を有しながら変動するかを追及し, ランニングの作業成績の変動の原因を明らかにすることを目的とした.

II 研究 方 法

1. 被験者

本研究の被験者は大学の陸上競技部に所属する中・長距離ランナー 9 名である. いずれの被験者も週 2-5 日, 1 日約 2 時間のトレーニングを行っているが, 経験年数には約 1-10 年と大きな差がある. 測定期間はトラックシーズンが終了した

Table 1 Anthropometric characteristics and athletic performance in 9 subjects

Items Subjects	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)	Best records	
				1500 m (min'sec)	5000 m (min'sec)
S.O.	19	180.1	66.0	4'22	16'48
F.K.	19	172.1	60.8	4'17	16'46
H.Y.	19	171.2	57.0	4'28	17'25
T.N.	20	168.5	63.6	4'09	16'24
K.H.	20	171.3	61.5	3'55	14'53
K.N.	21	169.4	58.5	4'15	16'46
T.T.	22	176.6	60.0	4'29	16'30
K.S.	23	170.0	62.3	4'37	16'57
T.K.	24	170.2	60.0	4'18	16'00
Mean.	20.8	172.2	61.1	4'19	16'30
S.D.	1.9	3.8	2.7	12.3	43.2

11月下旬から2月中旬ごろの冬期間であった. 被験者の身体的特性および競技記録は表 1 に示す通りである.

なお, 被験者にはあらかじめ研究の目的, 方法, 手順, 日程およびそれに伴う危険性について説明し, 日程的に不都合な 1 名を除く 9 名が実験への参加に同意した.

2. 実験方法

実験初日, 体力診断室に到着した被験者は身長, 体重を測定した後, 検者から再度具体的に実験の方法, 諸注意等の説明を受け, テスト 1 とテスト 2 を順次受けた. テスト 1 終了後約 60 分の休息時間を置き, テスト 2 を実施した. 第 2 回目からは, 実験に関する説明を省略し, 簡単な注意事項のみ受けた. なお被験者は, 週 1 回, 同じ曜日とはほぼ同じ時刻に同じ実験方法で 8-13 回テスト 1 とテスト 2 を受けた. 具体的な実験方法は次の通りである.

テスト 1. 被験者のすべてはすでにトレッドミルでランニングのトレーニングを実施した経験があり, トレッドミル走に十分馴れていた. 被験者は軽い体操やストレッチを行った後, 最初のランニング・スピードである $180 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ からランニングを開始し, 1 分ごとに $10 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ ずつ

高めるスピードの漸増負荷法で exhaustion に達するまで走行を続けた。全てのランニングは西川鉄工社製トレッドミルを用い、傾斜角度零に固定して行った。個人によっては exhaustion に達するまでにランニング速度が $350 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ を越えることもあるので、走行中は被験者の腰部と背部に安全ベルトを装着し、さらにトレッドミルの両サイドに補助者をつけるなど安全性については十分配慮した。走行中は、フェイス・マスクを通して日本電機三栄製自動代謝分析器 (Processor Unit 1328 と Expired Gas Monitor 1H21B) を用いて肺換気量 ($\dot{V}_E$) および酸素摂取量 ($\dot{V}_{O_2}$) を、また、胸部誘導からテレメーター (NEC バイオビュー1000) を用いて心拍数 (HR) を、30 秒ごとに連続して測定した。各ランニング速度の 1 分間の中、後半の 30 秒間の $\dot{V}_E$, $\dot{V}_{O_2}$ および HR を 2 倍することによって、そのランニング速度における 1 分間の $\dot{V}_{O_2}$, $\dot{V}_E$ および HR とした。さらに、exhaustion に達するまでの 30 秒間の $\dot{V}_{O_2}$ の最も大きな値を 2 倍することによって、各個人の $\dot{V}_{O_2\text{max}}$ を求めた。 $\dot{V}_{O_2\text{max}}$ の出現に同期した HR を最高心拍数 (HRmax) とした。さらに、exhaustion に達した時のランニング速度を $v\dot{V}_{O_2\text{max}}$ とした。さらに、 $\dot{V}_{O_2}$ と $\dot{V}_E$ との関係から作図法によって換気性作業閾値 (VT) とそれに相当するランニング速度 (vVT) を、それぞれ求めた。また、ランニングを開始してから exhaustion に達するまでの時間をランニング持続時間 (run time to exhaustion) とした。

テスト 2. 各被験者はテスト 1 から得られた $v\dot{V}_{O_2\text{max}}$ で exhaustion に達するまでの持続時間 (tLIM at $\dot{V}_{O_2\text{max}}$) と exhaustion 時の心拍数 (HRmax) を測定した。被験者は停止状態から一気に加速されるトレッドミルの速度に合わせてランニングを開始し、各被験者の $v\dot{V}_{O_2\text{max}}$ の速度に達してから (停止状態から約 10–15 秒後)、ストップウォッチを用いて exhaustion に達するまでの時間を測定し、この時間を tLIM at $\dot{V}_{O_2\text{max}}$ とした。なお、HRmax はテスト 1 と同様の測定機器を用いて胸部誘導から HR を連続的に測定し、exhaustion 直前の HR をモニター上

で読み、その値を HRmax ($\text{beats} \cdot \text{min}^{-1}$) とした。

なお、テスト前日の食事や睡眠等は普段通りの生活習慣を維持するように口頭で指示したものの、実際の生活状況については把握していない。また、本実験は降雪期のシーズンオフに実施されたため、テスト前日に高強度なトレーニングは実施されていない。

3. 性格検査

村上 寛・村上千恵子 (1999) が開発した「主要 5 因子性格検査システム」を用いて、基本的な性格、すなわち、外向性、協調性、勤勉性、情緒安定性、知性の 5 項目について性格分析を行った。

4. 統計処理

統計処理は SPSS Base System 6.1J を用いて行った。測定項目間の相関は Pearson の相関係数を用い、有意水準は全て $p < 0.05$ とした。各被験者の作業持続時間に対する $\dot{V}_{O_2\text{max}}$ ($\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$), vVT , RE ($\dot{V}_{O_2}$ at $268 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$) の関与率は最小二乗法における r^2 から求めた。

III 結 果

各被験者のランニング速度 (RV) の高まりに比例して $\dot{V}_{O_2}$ ($\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) と HR ($\text{beats} \cdot \text{min}^{-1}$) は増加する。そして、RV と $\dot{V}_{O_2}$, RV と HR との間にいずれのテストにおいても 0.1% 水準で有意な直線関係が認められた。しかし、同一被験者のそれぞれの直線の間には、若干の変動が認められた (図 1, 図 2)。各被験者の RV- $\dot{V}_{O_2}$ 直線と HR-RV 直線から、 $230 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $248 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $268 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $293 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ および作業開始から exhaustion までの $\dot{V}_{O_2}$ と HR の変動係数 (CV) を求め、表 2 に示した。各個人によって若干異なるが、全体では $\dot{V}_{O_2}$ の CV は 1.9–11.6%, HR の CV は 1.0–10.7% であった。

各被験者のテスト 1 から得られた $\dot{V}_{O_2\text{max}}$ ($\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$; $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$), HRmax ($\text{beats} \cdot \text{min}^{-1}$), 換気性作業閾値に相当するランニング速度

Fig. 1 Regression lines between running velocity ($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$) and $\dot{V}\text{O}_2$ ($\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) in subject K.S.

Fig. 2 Regression lines between running velocity ($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$) and HR ($\text{beats} \cdot \text{min}^{-1}$) in subject K.S.

Table 2 The mean $\pm$ S.D. and coefficient of variation on $\dot{V}\text{O}_2$ and HR during a gradually increasing submaximal treadmill running

Items	$\dot{V}\text{O}_2$ ($\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)					HR ($\text{beats} \cdot \text{min}^{-1}$)				
	230 m	248 m	268 m	293 m	180 m-exhaustion	230 m	248 m	268 m	293 m	180 m-exhaustion
S.O.	45.9 $\pm$ 2.5 (5.5)	49.5 $\pm$ 2.6 (5.2)	53.5 $\pm$ 2.6 (4.8)	58.3 $\pm$ 2.7 (4.6)	(3.6 $\leq$ CV $\leq$ 8.8)	153.6 $\pm$ 4.1 (2.7)	160.6 $\pm$ 3.9 (2.4)	168.3 $\pm$ 3.9 (2.3)	178.0 $\pm$ 4.2 (2.4)	(2.1 $\leq$ CV $\leq$ 5.5)
F.K.	44.9 $\pm$ 3.0 (6.6)	47.8 $\pm$ 3.1 (6.4)	51.2 $\pm$ 3.6 (7.1)	55.0 $\pm$ 3.5 (6.4)	(5.2 $\leq$ CV $\leq$ 11.6)	153.4 $\pm$ 8.1 (5.3)	162.7 $\pm$ 7.2 (4.4)	172.9 $\pm$ 6.4 (3.7)	185.8 $\pm$ 5.8 (3.1)	(2.4 $\leq$ CV $\leq$ 10.7)
H.Y.	49.0 $\pm$ 2.1 (4.3)	53.1 $\pm$ 2.4 (4.6)	57.8 $\pm$ 2.8 (4.9)	64.0 $\pm$ 3.5 (5.4)	(3.6 $\leq$ CV $\leq$ 6.8)	164.6 $\pm$ 2.7 (1.6)	173.1 $\pm$ 2.7 (1.6)	182.6 $\pm$ 2.7 (1.5)	194.5 $\pm$ 2.9 (1.5)	(1.8 $\leq$ CV $\leq$ 4.7)
T.N.	46.5 $\pm$ 1.6 (3.4)	49.3 $\pm$ 1.9 (3.9)	52.4 $\pm$ 2.3 (4.4)	56.2 $\pm$ 2.8 (5.1)	(3.2 $\leq$ CV $\leq$ 6.6)	159.8 $\pm$ 5.5 (3.4)	168.0 $\pm$ 4.8 (2.9)	177.1 $\pm$ 4.2 (2.4)	188.5 $\pm$ 3.8 (2.0)	(1.3 $\leq$ CV $\leq$ 6.1)
K.H.	41.5 $\pm$ 2.6 (6.2)	45.6 $\pm$ 2.9 (6.3)	50.1 $\pm$ 3.3 (6.5)	55.7 $\pm$ 3.8 (6.8)	(5.1 $\leq$ CV $\leq$ 9.0)	135.7 $\pm$ 5.6 (4.1)	144.8 $\pm$ 5.0 (3.5)	155.0 $\pm$ 4.4 (2.8)	167.8 $\pm$ 3.8 (2.3)	(1.3 $\leq$ CV $\leq$ 5.6)
K.N.	47.4 $\pm$ 2.0 (4.2)	50.5 $\pm$ 2.1 (4.1)	53.9 $\pm$ 2.2 (4.1)	58.3 $\pm$ 2.4 (4.1)	(4.0 $\leq$ CV $\leq$ 7.1)	167.8 $\pm$ 4.0 (2.4)	175.6 $\pm$ 4.0 (2.3)	184.2 $\pm$ 4.2 (2.3)	195.1 $\pm$ 4.5 (2.3)	(1.0 $\leq$ CV $\leq$ 3.8)
T.T.	45.4 $\pm$ 2.3 (5.0)	48.7 $\pm$ 2.4 (4.9)	52.4 $\pm$ 2.4 (4.6)	56.9 $\pm$ 2.7 (4.7)	(1.9 $\leq$ CV $\leq$ 10.5)	139.3 $\pm$ 8.9 (6.4)	145.9 $\pm$ 8.9 (6.1)	153.2 $\pm$ 9.1 (5.9)	162.4 $\pm$ 9.4 (5.8)	(4.1 $\leq$ CV $\leq$ 8.9)
K.S.	44.9 $\pm$ 1.9 (4.3)	47.8 $\pm$ 1.9 (3.9)	51.1 $\pm$ 1.9 (3.6)	55.2 $\pm$ 1.9 (3.5)	(2.7 $\leq$ CV $\leq$ 8.0)	168.5 $\pm$ 3.6 (2.1)	173.8 $\pm$ 3.3 (1.9)	179.7 $\pm$ 3.1 (1.7)	187.1 $\pm$ 3.2 (1.7)	(1.5 $\leq$ CV $\leq$ 3.8)
T.K.	44.7 $\pm$ 2.4 (5.3)	48.0 $\pm$ 2.6 (5.4)	51.6 $\pm$ 2.9 (5.5)	56.1 $\pm$ 3.3 (5.9)	(4.4 $\leq$ CV $\leq$ 10.4)	151.4 $\pm$ 2.7 (1.8)	159.3 $\pm$ 2.3 (1.4)	168.1 $\pm$ 2.3 (1.4)	179.0 $\pm$ 2.9 (1.6)	(1.1 $\leq$ CV $\leq$ 4.6)

() is coefficient of variation.

(vVT), exhaustion までの持続時間 (sec) と総走行距離 (m), $v\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$ およびテスト 2 から得られた tLIM at $\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$, HRmax ($\text{beats} \cdot \text{min}^{-1}$),

総走行距離 (m) の平均値, 標準偏差, CV を表 3, 表 4 に示した. 各測定項目とも各被験者によって CV に若干の差が生じたが, いずれの因子の

Table 3 The mean $\pm$ S.D. and coefficient of variation on several physiological parameters (Test 1)

Items Subjects	Test frequencies (times)	$\dot{V}O_2\text{max}$		HR max (beats $\cdot$ min $^{-1}$)	vVT (m $\cdot$ min $^{-1}$)	Time to exhaustion (sec)	v $\dot{V}O_2\text{max}$ (m $\cdot$ min $^{-1}$)
		(l $\cdot$ min $^{-1}$)	(ml $\cdot$ kg $^{-1}$ $\cdot$ min $^{-1}$)				
S.O.	12	4.27 $\pm$ 0.23 (5.5)	64.8 $\pm$ 3.7 (5.7)	190.2 $\pm$ 4.5 (2.4)	229.0 $\pm$ 20.7 (6.9)	1002.8 $\pm$ 29.6 (3.0)	341.7 $\pm$ 5.8 (1.7)
F.K.	12	3.56 $\pm$ 0.27 (7.5)	58.6 $\pm$ 4.4 (7.6)	193.4 $\pm$ 3.3 (1.7)	214.2 $\pm$ 9.2 (4.2)	888.7 $\pm$ 36.2 (4.1)	325.8 $\pm$ 6.7 (2.1)
H.Y.	11	3.95 $\pm$ 0.22 (5.6)	69.3 $\pm$ 3.8 (5.5)	200.8 $\pm$ 4.3 (2.6)	228.9 $\pm$ 19.7 (8.6)	877.1 $\pm$ 53.8 (6.1)	324.6 $\pm$ 9.3 (2.9)
T.N.	13	3.73 $\pm$ 0.24 (6.3)	58.6 $\pm$ 3.6 (6.1)	193.5 $\pm$ 2.0 (1.0)	218.5 $\pm$ 10.0 (4.6)	898.5 $\pm$ 49.3 (5.5)	326.2 $\pm$ 8.7 (2.7)
K.H.	13	4.29 $\pm$ 0.36 (8.3)	69.9 $\pm$ 6.0 (8.6)	196.4 $\pm$ 3.4 (1.7)	255.8 $\pm$ 18.3 (7.2)	1143.5 $\pm$ 30.9 (2.7)	368.5 $\pm$ 5.6 (1.5)
K.N.	12	3.59 $\pm$ 0.15 (4.2)	61.3 $\pm$ 2.5 (4.0)	201.1 $\pm$ 5.5 (2.8)	257.4 $\pm$ 7.4 (2.9)	910.7 $\pm$ 43.8 (4.8)	329.2 $\pm$ 7.9 (2.4)
T.T.	8	3.82 $\pm$ 0.23 (6.0)	63.7 $\pm$ 2.6 (4.1)	172.0 $\pm$ 5.7 (3.3)	213.3 $\pm$ 13.2 (6.2)	957.4 $\pm$ 56.4 (5.9)	336.3 $\pm$ 11.9 (3.5)
K.S.	10	3.64 $\pm$ 0.18 (5.0)	58.4 $\pm$ 2.6 (4.4)	188.6 $\pm$ 2.7 (1.4)	232.6 $\pm$ 10.7 (4.6)	849.1 $\pm$ 37.5 (4.4)	318.0 $\pm$ 6.3 (2.0)
T.K.	12	3.82 $\pm$ 0.27 (7.2)	63.6 $\pm$ 4.6 (7.2)	192.1 $\pm$ 4.6 (2.4)	237.8 $\pm$ 11.5 (4.8)	1030.7 $\pm$ 37.7 (3.7)	350.0 $\pm$ 8.5 (2.4)

() is coefficient of variation.

CV も各被験者のその年の1500 m と5000 m のベスト記録との間に有意な関係 ($p > 0.1$) が認められなかった。各被験者の持続時間に対する $\dot{V}O_2\text{max}$ (ml $\cdot$ kg $^{-1}$ $\cdot$ min $^{-1}$), vVT, RE ($\dot{V}O_2$ at 268 m $\cdot$ min $^{-1}$) の関与率を表5に示した。一般に、テスト2の tLIM at $\dot{V}O_2\text{max}$ や総走行距離のCVは生理学的測定項目のそれらに比較してはるかに大きな値になった。この tLIM at $\dot{V}O_2\text{max}$ のCVと性格検査の5項目の中、情緒安定性との間にのみ5%水準で有意な関係 ($p < 0.05$) が認められた(図3)。すなわち、CVが小さい者ほど情緒安定性が高いことが明らかとなった。また、テスト1の HRmax がテスト2の HRmax よりも5%水準で高くなったのは8人であった。

N 考 察

最近、 $\dot{V}O_2\text{max}$ と RE の両者を加味した v $\dot{V}O_2\text{max}$ が測定されている。この測定方法には、Morgan et al. (1986) や Lacour et al. (1990) のように、最大下の RV と $\dot{V}O_2$ から得られた直線

が $\dot{V}O_2\text{max}$ と交わる点を v $\dot{V}O_2\text{max}$ としたもの、もう一つは Billat et al. (1994), 金子たち (1999) のように RV を徐々に高めてゆき $\dot{V}O_2\text{max}$ が出現した時あるいは exhaustion に達した時を v $\dot{V}O_2\text{max}$ とする場合とがある。金子たち (1999) は、Billat et al. (1994) の実際に $\dot{V}O_2\text{max}$ が出現した時を v $\dot{V}O_2\text{max}$ とする場合と、山地 (1998) が推奨する exhaustion に達した時を v $\dot{V}O_2\text{max}$ にする場合を比較し、後者が前者よりも男子では平均16 m $\cdot$ min $^{-1}$, 女子では平均13 m $\cdot$ min $^{-1}$ 速くなることを、また、後者の方が1500 m や3000 m の競技記録とより密接な関係を有することを明らかにした。そこで、本研究は RV と $\dot{V}O_2$ が exhaustion まで直線関係を保つと仮定し(すべての RV- $\dot{V}O_2$ 直線の相関関係は $r = 0.92$ 以上であった), RE, $\dot{V}O_2\text{max}$, vVT, v $\dot{V}O_2\text{max}$ および持続時間等の個人内変動の相互関係を検討した。

(1) 変動係数 (CV) の比較

$\dot{V}O_2\text{max}$ や RE は気温、標高、走路、疲労、体

Table 4 The mean $\pm$ S.D. and coefficient of variation on several physiological parameters (Test 2)

Items Subjects	tLIM at $\dot{V}O_2\text{max}$ (sec)	HRmax (beats $\cdot$ min $^{-1}$)	Distance (m)
S.O.	247.0 $\pm$ 45.4 (18.4)	187.7 $\pm$ 4.5 (2.4)	1409.3 $\pm$ 244.3 (17.3)
F.K.	300.1 $\pm$ 36.0 (12.0)	190.8 $\pm$ 4.0 (2.1)	1626.7 $\pm$ 170.4 (10.5)
H.Y.	223.5 $\pm$ 25.9 (11.6)	194.7 $\pm$ 5.1 (2.6)	1211.0 $\pm$ 133.2 (11.0)
T.N.	270.9 $\pm$ 50.2 (18.5)	189.4 $\pm$ 3.7 (2.0)	1468.5 $\pm$ 252.0 (17.2)
K.H.	179.0 $\pm$ 22.7 (12.7)	188.9 $\pm$ 4.1 (2.1)	1098.8 $\pm$ 134.1 (12.2)
K.N.	254.3 $\pm$ 24.1 (9.5)	193.6 $\pm$ 3.5 (1.8)	1394.3 $\pm$ 124.9 (9.0)
T.T.	181.1 $\pm$ 34.8 (19.29)	170.5 $\pm$ 5.1 (3.0)	1010.8 $\pm$ 169.2 (16.7)
K.S.	183.2 $\pm$ 50.8 (27.7)	183.7 $\pm$ 2.8 (1.5)	969.2 $\pm$ 259.0 (26.7)
T.K.	198.8 $\pm$ 65.0 (32.7)	187.7 $\pm$ 3.6 (1.9)	1152.9 $\pm$ 347.8 (30.2)

() is coefficient of variation.

Table 5 Rate of participation of a $\dot{V}O_2\text{max}$, vVT and $\dot{V}O_2$ at 268 m $\cdot$ min $^{-1}$ on the time of exhaustion

Items Subjects	$\dot{V}O_2\text{max}$ (ml $\cdot$ kg $^{-1}$ $\cdot$ min $^{-1}$)	vVT (m $\cdot$ min $^{-1}$)	$\dot{V}O_2$ at 268 m $\cdot$ min $^{-1}$ (ml $\cdot$ kg $^{-1}$ $\cdot$ min $^{-1}$)
S.O.	5.9	3.0	10.4
F.K.	7.7	34.5	20.0
H.Y.	0.0	13.0	5.4
T.N.	4.0	0.4	0.4
K.H.	8.4	21.3	0.2
K.N.	8.2	30.7	1.0
T.T.	0.1	9.3	48.6
K.S.	72.6	3.1	14.9
T.K.	3.1	11.5	4.7

力の状況、遺伝的要素等の影響を受けて変動する (Daniels; 1985; Katch et al., 1982). たとえば, Katch et al. (1982) は $\dot{V}O_2\text{max}$ が変動する要因

を, 機械的誤差と理論的誤差を合わせた科学技術的誤差 (technological error) と個体自身が持つ生物学的誤差 (biological variability) とに区分し, その両者によって $\dot{V}O_2\text{max}$ の測定誤差が平均5.6%生ずるとした. さらに, その測定誤差の92.7%が生物学的誤差によるもので, 科学技術的誤差による部分はわずか7.3%にすぎない, とみなした. また, Katch et al. (1982) は再現係数 (Reproducibility) によってこれまで報告されたデータから個人内変動を算出し, 2.3-6.5%の範囲にあるとした. 本研究の $\dot{V}O_2\text{max}$ (l $\cdot$ min $^{-1}$; ml $\cdot$ kg $^{-1}$ $\cdot$ min $^{-1}$) の CV はそれぞれ4.2-8.3%, 4.1-8.6%とこれまでの報告よりも若干高い傾向を示した. 本研究は測定曜日と時刻をほぼ一定にし, しかも温度と湿度をコントロールした実験室でテストを行ったことから, 気温等の環境による誤差はほとんど考えられない. しかし, 本研究で用いた流速計の誤差範囲は $\pm 4.0\%$, プログラム上から生じる誤差が $\pm 2.0\%$ あるとされている. 今日広く用いられている全自動代謝測定機器には平均 $\pm 4.0\%$ の誤差が認められている (Wasserman et al., 1987). このことは, 本研究で採用した測定機器の測定誤差が最高 $\pm 4-6\%$ あることになる. この測定機器から生ずる誤差が CV にどの程度の影響を与えるかについては明らかではない. また, 被験者の競技水準 (成績) や経験 (競技) 年数も CV に影響を与えると考えられるが, 本研究では競技成績あるいは競技年数と exhaustion までの持続時間との間に5%水準で有意な関係が認められなかった. したがって, 本研究の CV が他の報告に比べて高かった要因として, 使用される測定機器の誤差の大きさや他の報告が2-4回のテストによる CV であるのに対して, 本研究では8-13回のテストから得た CV であったこと, あるいは被験者の前日のトレーニングの質・量や回復の遅速, 酸素負債量の大きさや性格などの特性等が考えられよう.

Daniels (1985) は, RE はある RV における $\dot{V}O_2$ の高低によって評価されるとした. 本研究の RV- $\dot{V}O_2$ 直線から算出した230 m $\cdot$ min $^{-1}$, 248 m $\cdot$ min $^{-1}$, 268 m $\cdot$ min $^{-1}$, 293 m $\cdot$ min $^{-1}$ の CV は低い

者で3.4-5.1%, 高い者で6.6-7.1%であった。これまで多くの研究者によって最大下の自転車駆動やランニング中のCVに関する報告がなされている。たとえば, Armstrong and Costill (1985), Morgan et al. (1990; 1991), Williams et al. (1991) は $170 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ から $268 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ の範囲内のREのCVが1-4%の範囲にあるとした。そして, その誤差の中, 測定誤差 (measurement error) を含む科学技術的変動 (technological variation) はCVの10%以下であるとみなした。また Morgan et al. (1987) は230, 248, 268, $293 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ の4速度で3回のテストを行った際の各スピードでの $\dot{V}O_2$ に5-9%の個人内変動 (within-subject) があったことを, また, Brisswalter et al. (1994) は10人のフランスのエリート中距離選手を対象に75% $\dot{V}O_{2\text{max}}$ のスピード ($15.8 \pm 0.2 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$) で4回のテストを行った時のCVが $4.65 \pm 3.5\%$ であったことを報告している。したがって, 本研究の最大下作業中の $\dot{V}O_2$ はこれまでの報告に比較してほぼ等しいか, 若干高い傾向を示した。これらの報告のほとんどが2-4回のテストから得られたものであるのに対して, Williams et al. (1991) は, 1週間5回を4週間計20回REのCVを調査した結果, $161 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ が3.08%, $188 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ が2.6%, $15 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ が2.48%と比較的低いCVを報告している。この低いCVはWilliams et al. (1991) が採用したRVが $161-215 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ と他の報告の $230-293 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ に比べて低いことに原因したと考えられるが, これは推測の域を出ない。本研究のCVが他の報告に比べて若干高くなった要因はテスト回数の多少以外に測定機器の誤差や被験者の特性が影響していたのかも知れない。

(2) 持続時間の変動の要因

$180 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ から1分ごとに $10 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ ずつ漸増して exhaustion に達するまでの持続時間のCVは2.7-6.1%の範囲にあった。これはテスト2で得られた $v\dot{V}O_{2\text{max}}$ での持続時間 (tLIM at $\dot{V}O_{2\text{max}}$) のCVである9.5-32.7%に比べて小さいものであった。

持続時間は生理学的には $\dot{V}O_{2\text{max}}$ あるいはそ

の維持能力の一つの指標である vVT , そしてREによって変動する。そこで, 各被験者の持続時間に対する $\dot{V}O_{2\text{max}}$ ($\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$), vVT , REの関与率を求めた。持続時間と $\dot{V}O_{2\text{max}}$ との間に有意な関係 ($p < 0.05$) が認められたK.S.が $\dot{V}O_{2\text{max}}$ ($\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) の変動によって持続時間の変動の72.6%が説明される以外は, 持続時間の変動が $\dot{V}O_{2\text{max}}$, vVT あるいはREの変動によって説明することが困難なことを示唆した。また, この一年間の1500 mと5000 mの各個人のベスト記録と持続時間とCVとの間に密接な関係が認められないことから, 競技水準とは無関係と考えられる。また, 主要5因子性格検査の情緒的安定性 (emotional stability) の得点と持続時間との間に有意な相関関係が認められなかった ($p > 0.1$)。

本研究は全てのテストにおいて最大努力を被験者に要求したが持続時間に変動が認められた。中でも持続時間が特に延長したり短縮したときの被験者の内省では呼吸・循環系の問題よりもむしろ脚の疲労の程度によるものであった。中にはやる気 (motivation) や心理的緊張の持続の有無に言及した言葉もあった。これらのランニング中の生理的や心理的な状態が持続時間に微妙に影響を与えたことも十分考えられる。この点については今後心理面の研究と合わせて追究していかなければならない問題であろう。

(3) tLIM at $\dot{V}O_{2\text{max}}$ の変動

Billat et al. (1994) は, 8名の準エリートランナーを対象に7日の間隔をおいた2回のテストのtLIM at $\dot{V}O_{2\text{max}}$ の平均値がそれぞれ 404 ± 101 秒と 402 ± 113 秒となり, 両者の間に $r = 0.864$ の関係を認めたものの, そのときの変動係数が25%と, 本研究の結果の9.5-32.7%と同様変動幅の大きいことを報告している。また, Jenkendorf et al. (1996) の30名のトライアスリートを対象にした研究では, 75% W_{max} の自転車駆動でexhaustionまでの持続時間のCVが17.4-39.5%であったのに対し, 45分間70% W_{max} の自転車駆動後, 15分間で可能な限りの作業を行う時には1.7-5.8%CVとその変動係数は小さくな

る。この理由として Jenkendrup et al. (1996) は、作業の終了時点が明確な (end point is known) 場合には不明確な場合 (open end) よりも単調さや退屈が生じ難いことを挙げている。本研究の tLIM at $\dot{V}O_{2max}$ の CV は個人によって大きく異なり最も小さい者で 9.5%, 最も大きい者で 32.7% であった。本研究の大きな tLIM at $\dot{V}O_{2max}$ の CV は Jenkendrup et al. (1996) が指摘する心理的な影響も十分考えられる。本研究では性格検査の情緒安定性が低い者ほど tLIM at $\dot{V}O_{2max}$ の CV が大きいことが明らかとなった。すなわち、被験者の性格的な不安定さが tLIM at $\dot{V}O_{2max}$ に影響を与えているといえる。

Hill and Rowell (1996) は 13 人の大学女子トラック種目の競技選手の tLIM at $\dot{V}O_{2max}$ の CV が 21%, また, Hill et al. (1997) の 6 人の元大学トラックチーム選手を対象にした研究では 16% を報告している。Hill and Rowell (1996) は tLIM at $\dot{V}O_{2max}$ の個人内変動が anaerobic capacity によって 26%, vVT によって 44%, $v\dot{V}O_{2max}$ によって 12% 説明されるとした。さらに、この三要素を合わせた場合には 36% しか説明されないことから、 $v\dot{V}O_{2max}$ の持続時間にみられる大きな個人の CV (21%) はこれらの因子以外の、たとえば心理的要因や環境条件の要因に負うところが大きいとみなしている。これらの点についても具体的に、しかも総合的にこれから明らかにしていかなければならない問題であろう。

V ま と め

大学中・長距離選手 9 名を対象に、温度と湿度を一定にした実験室ではほぼ同一曜日、同一時刻に 8-13 回のトレッドミル走による最大下および最大作業を行い RS- $\dot{V}O_2$ 直線を求め、 $\dot{V}O_{2max}$, vVT, HRmax, $v\dot{V}O_{2max}$, 持続時間 (time to exhaustion) および tLIM at $\dot{V}O_{2max}$ 等の変動係数 (CV) を明らかにし、さらに、exhaustion までの持続時間の変動が生理学的要素の何によって説明されるかを検討した。その結果、次のような知見が得られた。

1. $\dot{V}O_{2max}$ ($l \cdot \min^{-1}$; $ml \cdot kg^{-1} \cdot \min^{-1}$) の CV

は 4.2-7.5% と 4.0-7.6%, HRmax ($\text{beats} \cdot \min^{-1}$) は 1.0-3.3%, vVT は 2.2-5.6%, $v\dot{V}O_{2max}$ ($m \cdot \min^{-1}$) は 1.5-3.5%, exhaustion までの持続時間は 3.0-6.1%, tLIM at $\dot{V}O_{2max}$ は 9.5-32.7% であった。

2. exhaustion までの持続時間の変動の要因を $\dot{V}O_{2max}$, vVT および RE の関与率からみた。その結果、 $\dot{V}O_{2max}$ によって 72.6% が説明された被験者 K.S. を除いて、かならずしもその原因が特定できなかった。

3. また、一定ランニング速度による tLIM at $\dot{V}O_{2max}$ の CV に情緒的安定性と密接な関係 (5% 水準) が認められるものの、 $180 m \cdot \min^{-1}$ から 1 分ごとに 10 m ずつ exhaustion まで高めた漸増負荷法による持続時間の CV との間には密接な関係が認められなかった。

4. したがって、もし持続時間の変動が $\dot{V}O_{2max}$, vVT および RE のいずれによっても限定されない場合には、持続時間の変動は無酸素的能力、脚筋を含む末梢組織の疲労および心理的な意欲や緊張の持続、情緒的安定性等の性格等が要因と考えられる。また、本研究では特定できなかったが測定機器や測定技術から生じる誤差が持続時間や tLIM at $\dot{V}O_{2max}$ の CV に微妙に影響を与えているのかも知れない。いずれにしろ、持久性の performance の変動の要因については今後被験者の特性を考慮した総合的な研究によって究明されなければならないであろう。

本研究は、平成 10 年度文部省科学研究費補助金基盤研究 C (課題番号 10680018) を受けて行われた研究の一部である。

謝辞

本研究のすべての実験は富山県総合体育センターで行われたものである。便宜を図っていただいたセンター及びご協力いただいた職員の方々に深謝致します。

引用文献

Armstrong, L. E. and Costill, D. L. (1985) Variability of respiration and metabolism: Response to submax-

- imal cycling and running. *Res. Quart. Exerc. Sports*. 56: 93-96.
- Billat, V., Renoux, J. C., Pinoteau, J., Petit, B., and Koralsgtein, J. P. (1994) Reproducibility of running time to exhaustion at $\dot{V}O_2\text{max}$ in subelite runners. *Med. Sci. Sports Exerc.* 26: 254-257.
- Brisswalter, J. and Legros, P. (1994) Daily stability in energy cost of running, respiratory parameters and stride rate among well-trained middle distance runners. *Int. J. Sports Med.* 15: 238-241.
- Daniels, J. T. (1985) A physiologist's view of running economy. *Med. Sci. Sports Exerc.* 17: 332-338.
- Elborn, J. S., Stanford, C. F., and Nicholls, D. P. (1990) Reproducibility of cardiac pulmonary parameter during exercise in patients with chronic cardiac failure. The need for a preliminary test. *Eur. Heart J.* 11: 75-81.
- Hill, D. W. and Rowell, A. L. (1996) Significance of time to exhaustion during exercise at the velocity associated with $\dot{V}O_2\text{max}$. *Eur. J. Appl. Physiol.* 72: 383-386.
- Hill, D. W., Williams, C. S., and Burt, S. E. (1997) Response to exercise at 92% and 100% of the velocity associated with $\dot{V}O_2\text{max}$. *Int. J. Sports Med.* 18: 325-329.
- Jeukendrup, A., Sanis, W. H. M., Brouns, F., and Kester, A. P. M. (1996) A new validated endurance performance test. *Med. Sci. Sports Exerc.* 28: 266-270.
- 金子龍一・橋爪和夫・井口文雄・山地啓司 (1999) 富山県の若いエリート中・長距離選手にみられる $v\dot{V}O_2\text{max}$ の意義. *ランニング研究* 10: 53-61.
- Katch, V. L., Sady, S. S., and Freedson, P. (1982) Biological variability in maximum anaerobic power. *Med. Sci. Sports Exerc.* 14: 21-25.
- Lacour, J. R., Padilla-Mayunacelays, S., Chatard, J. C., and Barthélémy, C. (1991) Assessment of running velocity at maximal oxygen uptake. *Eur. J. Appl. Physiol.* 62: 77-82.
- Marciniuk, D. D., Watts, R. E., and Gallagher, C. G. (1993) Reproducibility of incremental maximal cycle ergometer testing in patients with restrictive lung disease. *Thorax*, 48: 894-898.
- Morgan, D. W., Baldini, F. D., and Martin, P. E. (1987) Day to day stability in running economy and step length among well-trained male runners. *Int. J. Sports Med.* 8: 242.
- Morgan, D. W., Krahenbuhl, G., Woodall, K., Jordan, S., Tilarski, K., and Williams, T. (1990) Daily variability in running economy among well-trained runners. *Med. Sci. Sports Exerc.* 22(suppl.): S134.
- Morgan, D. W., Martin, P. E., and Kohrt, W. M. (1986) Relationship between distance-running performance and velocity at $\dot{V}O_2\text{max}$ in well-trained runners. *Med. Sci. Sports Exerc.* 18(suppl.): S37.
- Morgan, D., Martin, P., Krahenbuhl, G., and Baldini, F. (1991) Variability in running economy and mechanics among trained male runners. *Med. Sci. Sports Exerc.* 23: 378-383.
- Morgan, D. W. and Mitchell, C. (1992) Physiological aspects of running economy. *Med. Sci. Sports Exerc.* 24: 456-461.
- 村上宣寛・村上千恵子 (1998) 主要5因子性格検査の手引, 学芸図書.
- Williams, T. J., Krahenbulh, G. S., and Morgan, D. W. (1991) Daily variation in running economy of moderately trained male runners. *Med. Sci. Sports Exerc.* 23: 944-948.
- Wyndham, C. H., Strydom, N. B., Maritz, J. S., Morrison, J. F., Peter, J., and Potgieter, Z. U. (1959) Maximum oxygen intake and maximum heart rate during strenuous work. *J. Appl. Physiol.* 14: 927-936.
- Wasserman, K., Hansen, J. E., Sue, D. Y., and Whipp, B. (1987) Principles of exercise testing and interpretation. Lea & Febiger, Philadelphia.
- 山地啓司 (1992) 最大酸素摂取量の科学. 杏林書院: 東京, pp. 22-23.
- 山地啓司 (1998) 最高有酸素的ランニング速度 ($v\dot{V}O_2\text{max}$) の意義と評価. *日本運動生理学雑誌* 5: 89-99.

(平成11年4月8日受付)
(平成11年9月4日受理)