

中・長距離ランナーの最高有酸素的ランニング速度 ($v\dot{V}O_2\max$) の意義と実際

山地 啓司・橋本 一隆*・橋爪 和夫・井口 文雄**

Significance and Practice of the Maximal Aerobic Running Velocity ($v\dot{V}O_2\max$) in Middle and Long-Distance Runners

Keiji Yamaji, Kazutaka Hashimoto*, Kazuo Hashizume, Fumio Iguchi**

キーワード：最高有酸素的ランニング速度，競技記録，最大酸素摂取量

Key words : maximal aerobic running velocity, performance, maximal oxygen intake

Abstract

The purpose of this study is to reconsider the mutualities among $\dot{V}O_2\max$ ($l\cdot\min^{-1};ml\cdot kg^{-1}\cdot\min^{-1}$), HRmax ($beats\cdot\min^{-1}$), running velocity of VT point ($vVT; m\cdot\min^{-1}$), running velocity which closely corresponded to $\dot{V}O_2\max$ ($v\dot{V}O_2\max; m\cdot\min^{-1}$) and athletic performances (actual running time in 1500m and 5000m track race), for determinants of middle and distance running success in trained male runners enclosed adolescent runners (Age:13-24yrs; $\dot{V}O_2\max:53.2-72.3 ml\cdot kg^{-1}\cdot\min^{-1}$). All these physiological parameters were measured during running on the treadmill by progressive increasing the velocity by $10m\cdot\min^{-1}$ per one minute from $180m\cdot\min^{-1}$ up to exhaustion. There were not relationships between the distance running performances and $\dot{V}O_2\max$, HRmax and vVT ($p>0.05$). However, the relationships between $v\dot{V}O_2\max$ ($m\cdot\min^{-1}$) and 1500m and 5000m track race time (RT) were $r=-0.666$ ($p=0.004$) and $r=-0.862$ ($p=0.001$), respectively. Within these trained runners, 44.4% and 74.3% of the variation observed in 1500mRT and 5000mRT, respectively, could be explained by $v\dot{V}O_2\max$. It was concluded that among trained and experienced male runners of comparatively various ability, $v\dot{V}O_2\max$ appears to explain significant variation in 1500m and 5000m running performances.

抄 録

本研究は、思春期のランナーを含む男子ランナーを対象に中・長距離走（1500mと5000m）の記録を決定する最も有力な指標が何であるかを、 $\dot{V}O_2\max$ ($l\cdot\min^{-1};ml\cdot kg^{-1}\cdot\min^{-1}$), HRmax ($beats\cdot\min^{-1}$), vVT ($m\cdot\min^{-1}$) および $v\dot{V}O_2\max$ ($m\cdot\min^{-1}$) の相互関係から再検討することを目的とした。これらの生理学的変量は、トレッドミル走を $180m\cdot\min^{-1}$ から開始し、トレッドミルの走行スピードを1分ごとに $10m\cdot\min^{-1}$ ずつ高め、exhaustionに達するまで行うことによって求めた。その結果、1500m走と5000m走の競技記録と $\dot{V}O_2\max$, HRmax, vVT との間にそれぞれ5%水準で有意な関係が認められなかった。しかし、 $v\dot{V}O_2\max$ と1500m走および5000m走の競技記録との間に $r=-0.666$ ($p=0.004$), $r=-0.862$ ($p=0.001$) の有意な関係がそれぞれ認められた。さらに、1500m走の記録の44.4%が、また5000m走では74.3%が $v\dot{V}O_2\max$ によって説明されることが明らかとなった。したがって、 $v\dot{V}O_2\max$ は比較的異なった能力を持つランナーの1500m走や5000m走の記録を占うことが可能といえる。

* 富山市消防本部 富山市今泉191-1

** 富山県総合体育センター 富山市秋ヶ島183

I. 緒 論

全身持久性の作業成績 (performance) は、有酸素的能力からみると単位時間当たりのエネルギー出力の大きさ (最大酸素摂取量; $\dot{V}O_2\max$ や酸素摂取水準; $\% \dot{V}O_2\max$) とこれらのエネルギーをいかに有効に使うかの効率 (efficiency) によって決定される。たとえば陸上競技の1500mの競技記録は $\dot{V}O_2\max$ とランニングの経済性 (running economy) とによって、また5000mでは $\dot{V}O_2\max$ と $\% \dot{V}O_2\max$ およびランニングの経済性によって、決定される。この点に着目した Daniels ら³⁾⁴⁾ はランニング速度 (running velocity) と酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$) との関係から得られた直線と、別に測定された $\dot{V}O_2\max$ の値との交点から推定されるランニング速度を $v\dot{V}O_2\max$ (running velocity associated with $\dot{V}O_2\max$) と名づけた。そして、 $v\dot{V}O_2\max$ が、 $\dot{V}O_2\max$ とランニングの経済性の二つの能力の総和を示し、競技記録を占う有力な指標となることを明らかにした。その後、Morgan ら¹⁰⁾¹¹⁾、Cunningham²⁾、Lacour ら⁸⁾⁹⁾、Padilla ら¹²⁾、Billat ら¹⁾、Hill と Rowell⁵⁾⁶⁾ はそれぞれ独自の測定方法で求めた $v\dot{V}O_2\max$ がランニングの競技成績と密接な関係を有することを追認した。山地¹⁵⁾ はこれらの異なった測定方法を総説し、考えられる至適な $v\dot{V}O_2\max$ の測定条件を次のようにまとめた。①トレッドミルの傾斜角度を零とし、1分ごとに $10\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ ずつ高める速度の漸増法で行う。②第一段階のランニング速度は被験者の体力に合わせて心拍数が100~120拍/分の範囲のランニング速度で、exhaustionまでに合計約16~24段階の漸増が可能な負荷とする。③その負荷 (ランニング速度) はw-up中のランニング速度と心拍数との関係から予測することが可能である。④ $\dot{V}O_2$ の測定は30秒ごとに連続して行い、後半の30秒間の $\dot{V}O_2$ の2倍をそのランニング速度における $\dot{V}O_2$ とする。そして、⑤exhaustionに達した時のランニング速度を $v\dot{V}O_2\max$ とする。山地¹⁵⁾ が推奨するこの測定方法を用いて金子ら⁷⁾ は、比較的等質の (homogeneous) ランナーたちの競技成績と $v\dot{V}O_2\max$ との間に密接な関係を有することを報告している。

$v\dot{V}O_2\max$ の特徴は、被験者の母集団の $\dot{V}O_2\max$ ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) や競技記録の差が小さいためにたとえ両者間に有意な相関が認められなくても、 $v\dot{V}O_2\max$ と競技記録との間に有意な相関が認められることである⁷⁾。

本研究は金子ら⁷⁾の研究をさらに一歩進めて、13~24歳の発育状況の異なる、しかもトレーニング程度や競技歴が異なる中・長距離選手を対象に、 $v\dot{V}O_2\max$ と競技記録あるいは他の生理学的応答との関係を明らかにすることによって、 $v\dot{V}O_2\max$ が持つ意義について検討することを目的とした。

II. 研究方法

1. 被験者

本研究の被験者は富山県内の中・高校生の男子エリートランナー9名と大学男子中・長距離ランナー9名の計18名で

ある。被験者は定期的に週平均2~7日、1日約1時間以上のトレーニングを実施しているが、授業や演習、けがなどできなくとも全被験者が同じような質(強度)と量(距離)のトレーニングを実施しているとはいえない。また、競技歴も約1~8年と幅がある。被験者の年齢や身体的特性は表1に示す通りである。

2. 実験方法

あらかじめ、実験の目的、方法、手順等の説明を受け、しかも実験の被験者になることに同意した被験者は身長、体重の測定の後、テスト1から順次テストを受けた。

テスト1: 被験者の多くはトレッドミル走の経験があったが、まったく経験のない数人については十分トレッドミルに馴れるまでトレッドミル走を行った。その他の経験のある者はw-upをせずに最初のランニング・スピードを一律180m/分とし、1分ごとに10m/分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。すべてのランニングは西川鉄工社製トレッドミルを用い、傾斜角度を零に固定して行った。そのため、被験者によってはexhaustionに達するまでにランニング速度が350m/分を越えることもあるので、走行中には被験者の背部に安全ベルトを装着させたり、トレッドミルの両サイドには補助者をつけるなど、安全性について十分配慮した。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 $\dot{V}O_2$ の最大値を2倍することによって、各個人の $\dot{V}O_2\max$ を求めた。 $\dot{V}O_2\max$ 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最大ランニング速度 (maximal aerobic running velocity; $v\dot{V}O_2\max$) 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無酸素的作業閾値 (VT) を求め、それに相当するランニング速度 (vVT) を求めた。

テスト2: テスト1の終了後約50~60分間の休息を行った後、テスト2を行った。各被験者はテスト1から得られた $v\dot{V}O_2\max$ でexhaustionに達するまでの持続時間 (tLIM at $v\dot{V}O_2\max$) を測定した。被験者は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、各個人の $v\dot{V}O_2\max$ の速度に達してから (トレッドミルが動き始めて約10~15秒後) exhaustionに達するまでの時間をtLIM at $v\dot{V}O_2\max$ とした。なお、テスト1と同様の測定機器を用いて胸部誘導からランニング中の心拍数を連続的に測定し、exhaustion直前のHRをモニター上で読み、その値をテスト2のHRmax (拍/分) とした。

3. 統計処理

統計処理はSPSS Base System 6.1Jを用いた。測定項目間の相関はPearsonの相関係数を用い、有意水準はすべて $p < 0.05$ とした。

III. 結 果

各被験者のランニング速度の高まりに伴う $\dot{V}O_2$ ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) はほぼ直線的に増加し、両者の間に $p < 0.001$ で有意な直線関係が認められた。テスト1から得られた $\dot{V}O_2\max$ ($l\cdot\text{min}^{-1}; \text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$), HRmax, vVT , $v\dot{V}O_2\max$, さらに、テスト2から得られた $v\dot{V}O_2\max$ の速度でexhaus-

tionに達するまでの時間、すなわち, $tLIM$ at $\dot{V}O_2\max$ とHRmaxを、また、その年の1500mと5000mの最高記録を表1に示した。テスト1で得られた漸増法によるHRmaxは $v\dot{V}O_2\max$ での一定スピードのランニングによって得られたHRmaxよりも有意に高い値であった。さらに、これらの生理学的測定値、競技記録の相互の関係を統計的に調べたのが表2である。これらの結果から、1500mと5000mの最高記録と有意な関係が認められたのは $v\dot{V}O_2\max$ ($\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$) だけであった。本研究では、関与率から推定すると $v\dot{V}O_2\max$ によって1500mの記録の44.4%が、5000mの記録の74.3%が説明できた。

Table 1. Anthropometric characteristics, physiological and athletic performance variables in 18 subjects.

Subject	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)	Test 1					Test 2		Best records	
				$\dot{V}O_2\max$ ($\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$)	$\dot{V}O_2\max$ ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$)	HR max ($\text{beats}\cdot\text{min}^{-1}$)	vVT ($\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$)	$v\dot{V}O_2\max$ ($\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$)	$tLIM$ at $\dot{V}O_2\max$ (sec)	HR max ($\text{beats}\cdot\text{min}^{-1}$)	1500m (min'sec)	5000m (min'sec)
R.S.	13	159.6	53.1	3298	62.1	206	273	320	232	202	4'33	
M.W.	14	168.1	51.4	3526	68.7	197	287	350	223	192	4'17	
Y.M.	15	159.1	47.2	3296	69.9	195	280	330	436	201	4'19	
S.F.	15	171.1	54.8	3176	58.0	201	257	340	239	200	4'09	
H.T.	15	166.6	58.2	4038	69.4	189	250	340	193	180	4'14	
K.M.	16	175.3	62.7	3990	63.6	206	264	360	251	200	4'06	
S.N.	16	161.9	56.1	3634	64.7	188	290	370	257	185	4'09	15'04
M.N.	17	173.9	57.3	3666	64.0	196	263	360	236	192	4'07	
K.T.	18	166.8	50.6	2946	58.3	197	253	360	240	180	4'16	15'08
S.O.	19	180.1	66.0	4282	64.8	186	300	340	174	180		16'59
F.K.	19	172.1	60.8	3412	56.1	196	272	320	331	184	4'17	
H.Y.	19	171.2	57.0	4076	71.6	199	286	330	161	188	4'28	17'25
T.N.	20	168.5	63.6	3404	53.5	193	274	320	312	185	4'09	16'24
K.H.	20	171.3	61.5	4410	71.7	196	324	370	168	185	3'55	14'53
K.N.	21	169.4	58.5	3734	63.8	194	275	340	248	190	4'15	16'46
T.T.	22	176.6	60.0	3852	64.2	180	298	340	199	179	4'29	16'30
K.S.	23	170.0	62.3	3750	60.2	187	277	320	177	182	4'37	16'57
T.K.	24	170.2	60.0	4206	70.2	191	296	350	220	190	4'18	16'00
Mean	18.1	169.5	57.8	3706	64.2	194.3	278.8	342.2	238.7	188.6	4'16	16'13
S.D.	3.2	5.5	5.0	408	5.4	6.7	18.7	17.0	67.2	7.8	'11	'54

Table 2. Correlation coefficients among physiological and athletic performance variables.

	Test 1				Test 2		Best records		
	$\dot{V}O_2\max$ ($\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$)	$\dot{V}O_2\max$ ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$)	HR max ($\text{beats}\cdot\text{min}^{-1}$)	vVT ($\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$)	$v\dot{V}O_2\max$ ($\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$)	$tLIM$ at $\dot{V}O_2\max$ (sec)	HR max ($\text{beats}\cdot\text{min}^{-1}$)	1500m (min'sec)	5000m (min'sec)
Test 1									
$\dot{V}O_2\max$ ($\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$)	—	0.634**	-0.322	0.606**	0.268	-0.584*	-0.299	-0.174	0.219
$\dot{V}O_2\max$ ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$)		—	-0.081	0.481*	0.370	-0.278	0.081	-0.053	-0.027
HR max ($\text{beats}\cdot\text{min}^{-1}$)			—	-0.357	0.015	0.192	0.754**	-0.210	-0.168
vVT ($\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$)				—	0.206	-0.263	-0.213	-0.077	-0.143
$v\dot{V}O_2\max$ ($\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$)					—	-0.249	-0.060	-0.666**	-0.862**
Test 2									
$tLIM$ at $\dot{V}O_2\max$ (sec)					—		0.414	-0.124	-0.269
HR max ($\text{beats}\cdot\text{min}^{-1}$)							—	-0.068	0.088
Best records									
1500m (min'sec)								—	0.741*
5000m (min'sec)									—

* $P < 0.05$. ** $P < 0.01$.

IV. 考 察

山地¹⁴⁾は $\dot{V}O_2$ maxの判定基準として、① $\dot{V}O_2$ のプラトー現象の発現、②年齢から推定される最高心拍数(HRmax=220-年齢)にはほぼ達していること(±10拍/分)、③呼吸交換比(R)>1.0、④血中乳酸が10mmol/l以上に達すること、⑤RPE(主観的運動強度)が19~20に達することを挙げ、これらの中2つ以上の条項を満たすものを $\dot{V}O_2$ maxとすることが望ましいとしている。本研究では年齢から推定されるHRmaxの±10以内に78%の者が、またRは89%の者が1.0以上となった。また、被験者の全員が前記のいずれかの項目の条件を満たしていた。いずれか一項目しか満たさなかった6人の者にも $\dot{V}O_2$ にプラトー現象が認められることから、本研究のいずれの被験者にも $\dot{V}O_2$ maxが出現したと見なした。しかし、 $\dot{V}O_2$ max($l \cdot \text{min}^{-1}; \text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)およびvVTと各個人の1500mや5000mの競技記録との間に有意な関係が認められなかった。この結果は先の金子ら⁷⁾の全国都道府県対抗駅伝大会の富山県代表選手を対象にした報告と一致した。SjödínとSvedenhag¹³⁾は限られた範囲内のマラソン・ランナーの $\dot{V}O_2$ maxとマラソンの競技記録との間に有意な関係が認められないが、 $\dot{V}O_2$ maxと競技記録の範囲(人数を多くする)を広げることによって有意な関係が認められるようになる、と報告している。確かに金子ら⁷⁾の報告の対象者はほぼ同じ程度の記録(男子1500m 4分6秒-4分36秒; 女子1500m 4分35秒-5分01秒)の持ち主であったことから、SjödínとSvedenhag¹³⁾の報告で説明できる。本研究の被験者の $\dot{V}O_2$ maxは絶対値では2946~4410 $l \cdot \text{min}^{-1}$ 、体重当たりでは53.2~72.3 $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 、1500mの競技記録は3分55秒~4分37秒、5000mは14分53秒~16分57秒の範囲にあった。 $\dot{V}O_2$ max($l \cdot \text{min}^{-1}; \text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)と1500mや5000mの競技記録との間に有意な関係が認められなかった本研究結果の原因がSjödínとSvedenhag¹³⁾が指摘するように、被験者の等質性にあるのか、その他の要因にあるのかは明らかにはできなかった。

しかし、本研究では有酸素的エネルギー出力の大きさを示す $\dot{V}O_2$ maxと1500mや5000mの競技記録との間に有意な関係が認められなかったものの、 $\dot{V}O_2$ maxとランニングの経済性を加味した指標である $v\dot{V}O_2$ maxと1500mおよび5000mの競技記録との間に有意な関係が認められた。このことは、本研究の対象者の間では1500mや5000mの競技記録に差異が生じたのは $\dot{V}O_2$ maxの大きさよりも、むしろ、ランニングの経済性に負うところが大きいと考えられる。実際には、エネルギーの出力の大きさは $\dot{V}O_2$ maxだけでなく走行時の $\% \dot{V}O_2$ maxや酸素負債能力も関係していることから、今後は総合的に研究して結論を導かなければならない。

$v\dot{V}O_2$ maxの測定方法は、① $\dot{V}O_2$ -ランニング速度直線から $\dot{V}O_2$ maxに相当するランニング速度($v\dot{V}O_2$ max)を推定するMorganら¹¹⁾の方法、②325.2 $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ のランニング速度の時の $\dot{V}O_2$ ($\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)から、あらかじめ定められた式に代入して求めるLacourら⁸⁾の方法、③ランニング速

度の漸増負荷法によって、 $\dot{V}O_2$ maxが出現した時のランニング速度とする直接法によるBillatら¹⁾の方法、さらに、Billatら¹⁾が $v\dot{V}O_2$ maxの測定方法を実際に $\dot{V}O_2$ maxが出現した時のランニング速度としたのに対して、④exhaustionに達した時のランニング速度を $v\dot{V}O_2$ maxとみなした山地¹⁵⁾の方法、等がある。金子ら⁷⁾は、Billatら¹⁾の方式から得られた $v\dot{V}O_2$ maxと山地¹⁵⁾の方式から得られた $v\dot{V}O_2$ maxを比較した結果、後者は前者よりも男子で平均16 $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ 、女子で平均13 $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ 速いランニング速度となった。これは、 $v\dot{V}O_2$ maxがかならずしもexhaustion時に出現するとは限らないためである。両者のどちらを $v\dot{V}O_2$ maxとするかについてはさらに検討を要するが、山地¹⁵⁾が推奨する $v\dot{V}O_2$ maxでは、たとえ $\dot{V}O_2$ を測定しなくても漸増負荷法でランニング速度を高めてゆき、exhaustionに達した時点でも $v\dot{V}O_2$ maxとすることが可能なため、Billatら¹⁾の方式による $v\dot{V}O_2$ maxの測定方法よりも簡便だといえる。さらに金子ら⁷⁾は、山地¹⁵⁾が推奨する $v\dot{V}O_2$ maxでは1500mおよび3000mの競技記録との間に5%水準で有意な関係を認めたが、Billatら¹⁾の方式による $v\dot{V}O_2$ maxでは有意な相関関係が認められなかった。これらのことから金子ら⁷⁾は山地¹⁵⁾が推奨する $v\dot{V}O_2$ maxの方が競技記録の指標として有用であるとみなした。したがって、exhaustionに達した時のランニング速度(V_{exhaust})は、Billatら¹⁾の $\dot{V}O_2$ maxが出現した時の $v\dot{V}O_2$ max、あるいはMorganら¹¹⁾の $\dot{V}O_2$ -ランニング速度直線から $\dot{V}O_2$ maxに相当するランニング速度を求めた、すなわち、みかけの $v\dot{V}O_2$ maxよりも、1500mや5000mのperformanceを占うのにより有効と思われる。

V. 結 論

本研究はトレーニング年数や程度が異なる中・高校生のエリートランナー(9名)と大学中・長距離ランナー(9名)の計18名を対象にして、 $\dot{V}O_2$ max($l \cdot \text{min}^{-1}; \text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)、HRmax、vVT、 $v\dot{V}O_2$ max等と競技成績(1500mと5000m)との関係を明らかにすることによって、 $v\dot{V}O_2$ maxの意義を明らかにすることを目的とした。

競技成績と $\dot{V}O_2$ max、HRmax、vVTとの間に有意な関係が認められなかった。しかし、 $v\dot{V}O_2$ maxと競技成績との間に有意な関係が認められた。したがって、有酸素的エネルギーの出力の大きさを示す $\dot{V}O_2$ maxだけでなく、ランニングの経済性をも加味した $v\dot{V}O_2$ maxは持久性能力の力を推測する指標として有効な指標と考えられる。しかし、本研究で求められた $v\dot{V}O_2$ maxは厳密には $\dot{V}O_2$ maxが発現した時のランニング速度よりも10-15 $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ 速い、すなわち、exhaustionに達した時のランニング速度(V_{exhaust})であった。このような山地¹⁵⁾が推奨する $v\dot{V}O_2$ max(V_{exhaust})の方が $\dot{V}O_2$ maxが発現時の $v\dot{V}O_2$ max(Billatら¹⁾の方法)や、 $\dot{V}O_2$ maxが発現したランニング速度と推定されるみなし $v\dot{V}O_2$ max(Morganら¹¹⁾の方法)より測定が簡単で、しかも1500mや5000mの競技成績を占うことが可能と考えられ

る。さらに、同じ日に tLIM at $\dot{V}O_2\max$ (厳密には tLIM at Vexhaust) を測定する際には Vexhaust を用いる方が便利である。しかし、この結論を導くためには今後、各種の測定方法による $v\dot{V}O_2\max$ を比較検討しなければならないであろう。

VI. 引用文献

- 1) Billat, L.V., Renoux, J.C., Pinoteau, J., Petit, B., and Koralsstein, J.P. (1994) : Reproducibility of running time to exhaustion at $\dot{V}O_2\max$ in subelite runners. *Med. Sci. Sports Exerc.* 26 : 254-257.
- 2) Cunningham, L.N. (1990) : Relationship of running economy, ventilatory threshold, and maximal oxygen consumption to running performance in high school females. *Res. Q. Exerc. Sport.* 61 : 369-374.
- 3) Daniels, J.T. (1985) : A physiologist's view of running economy. *Med. Sci. Sports Exerc.* 17 : 332-338.
- 4) Daniels, J., Scardin, N., Hayes, J. and Foley, P. (1984) : Elite and subelite female middle-and long-distance runners. In : *Sport and Elite Performances*, Landers, D.M. (Ed). Champaign, IL : Human Kinetics 1984 pp57-72.
- 5) Hill, D.W. and Rowell, A.L. (1996) : Significance of time to exhaustion during exercise at the velocity associated with $\dot{V}O_2\max$. *Eur. J. Appl. Physiol.* 72 : 383-386.
- 6) Hill, D.W. and Rowell, A.L. (1997) : Responses to exercise at the velocity associated with $\dot{V}O_2\max$. *Med. Sci. Sports Exerc.* 29 : 113-116.
- 7) 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 $v\dot{V}O_2\max$ の意義. *ランニング学研究* 10 : 53-61.
- 8) Lacour, J.R., Padilla-Magunacelaya, S., Barthélémy, J.C. and Dormois, O. (1990) : The energetics of middle-distance running. *Eur. J. Appl. Physiol.* 60 : 38-43.
- 9) Lacour, J.R., Padilla-Magunacelaya, S., Chatard, J.C. and Barthélémy, J.C. (1991) : Assessment of running velocity at maximal oxygen uptake. *Eur. J. Appl. Physiol.* 62 : 77-82.
- 10) Morgan, D.W., Baldini, F.D., Martin, P.E. and Kohrt, W.M. (1989) : Ten kilometer performance and predicted velocity at $\dot{V}O_2\max$ among well-trained male runners. *Med. Sci. Sports Exerc.* 21 : 78-83.
- 11) Morgan, D.W., Martin, P.E. and Kohrt, W.M. (1986) : Relationship between distance-running performance and velocity at $\dot{V}O_2\max$ in well-trained runners. *Med. Sci. Sports Exerc.* 18 (suppl.), S37.
- 12) Padilla, S., Bourdin, M., Barthélémy, J.C. and Lacour, J.R. (1992) : Physiological correlates of middle-distance running performance. A comparative study between men and women. *Eur. J. Appl. Physiol.* 65 : 561-566.
- 13) Sjödin, B. and Svedenhag, J. (1985) : Applied physiology of marathon running. *Sports Med.* 2 : 83-99.
- 14) 山地啓司 (1992) : 最大酸素摂取量の科学, 杏林書院. pp. 22-23.
- 15) 山地啓司 (1998) : 最高有酸素的ランニング速度 ($v\dot{V}O_2\max$) の意義と評価. *日本運動生理学雑誌.* 5 : 89-99.