

## 中・長距離走の競技記録と体重のべき指数当りの最大酸素摂取量

山地啓司<sup>1)</sup>、橋爪和夫<sup>2)</sup>、遠山孝司<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> 立正大学法学部

<sup>2)</sup> 富山大学人間発達科学部

<sup>3)</sup> 新潟医療福祉大学健康スポーツ学科

キーワード: 体重、最大酸素摂取量、べき指数、中・長距離ランナー、競技記録

### 【要旨】

陸上中・長距離レースの記録を占う際には、体重1kg 当たりの  $\dot{V}O_{2max}$  ( $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ ) が広く採用されてきた。しかし、 $\dot{V}O_{2max}$  は体重の増加とともに必ずしも比例して高まるとは限らないことから、従来の体重1kg 当たりの  $\dot{V}O_{2max}$  を採用すると、体重の重い者が低く評価される可能性がある。この不合理を是正するために、 $\dot{V}O_{2max}$  の相対値は体重の 2/3 乗や 3/4 乗で評価されることが好ましいという考えが古くから根強くある。そこで、これまで公表されてきた内外の中・長距離ランナーの体重、 $\dot{V}O_{2max}$ 、種目ごとの競技記録(1,500m、5,000m、10,000m、マラソン)が明記された者のデータを集め、 $\dot{V}O_{2max}$  の絶対値と3つの相対値のべき指数(1、2/3、3/4)の中から、競技記録を予測するための至適な  $\dot{V}O_{2max}$  の相対値を求めた。その結果、1,500m、5,000m、10,000m、マラソンの競技記録と上記の3つのべき指数を用いたいずれの相対的  $\dot{V}O_{2max}$  との間にも有意な関係が認められた ( $p < 0.01$ )。従って、体重(48~80kg)に大きな差のない競技ランナーを対象にして競技記録を予測する場合、計算が煩雑な体重の 2/3 乗や 3/4 乗等のべき指数を用いるよりは、利便性、汎用性等に優れている従来の体重 1kg 当たりの  $\dot{V}O_{2max}$  ( $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ ) が望ましいと言える。

スポーツパフォーマンス研究, 2, 165-171, 2010 年、受付日:2010年7月2日、受理日:2010年10月26日

責任著者:山地啓司 〒360-0194 埼玉県熊谷市万吉 1700 yamaji@ris.ac.jp

-----

### Long distance running results and the method of calculation of maximum oxygen uptake

Keiji Yamaji<sup>1)</sup>, Kazuo Hashizume<sup>2)</sup>, Takashi Toyama<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Faculty of Laws, Rissho University

<sup>2)</sup> Faculty of Human Development Sciences, University of Toyama

<sup>3)</sup> Faculty of Health and Sports, Niigata University of Health and Welfare

Key Words: runners' weight, maximum oxygen uptake, power index, long distance runners, race results

**[Abstract]**

When predicting the results of long-distance races, the maximum oxygen uptake ( $\dot{V}O_2\text{max}$ ) measured in  $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1}\text{min}^{-1}$  has been widely adopted. However, as  $\dot{V}O_2\text{max}$  does not always increase proportionally with an increase in weight, adopting the conventional measure of  $\dot{V}O_2\text{max}$  in  $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1}\text{min}^{-1}$  tends to undervalue heavier runners. In order to rectify this, it has been suggested that  $\dot{V}O_2\text{max}$  be calculated in relation to two-thirds or three-quarters of the runners' weight. In the present study, published records for 1,500 m, 5,000 m, and 10,000 m races and marathons were collected, as well as the weight and  $\dot{V}O_2\text{max}$  of the runners.  $\dot{V}O_2\text{max}$  was calculated in relation to the runners' weight and also to two-thirds and three-quarters of their weight, and an attempt was made to predict the race results. A significant relation was found ( $p < 0.01$ ) between the official records for those races and  $\dot{V}O_2\text{max}$ , regardless of the proportion of the runners' weight that was used in the calculations. Thus, it was concluded that when predicting race records of runners among whom there is not a significant weight difference (i.e., 48-80 kg), the use of the conventional  $\dot{V}O_2\text{max}$ , i.e.,  $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1}\text{min}^{-1}$ , is preferable in terms of convenience and generality, compared to using the other measures evaluated in the present study.

## I. 緒論

1883年、ドイツの Rubner(1883)は大小さまざまな犬(3~30kg)を対象にすると、体重の大きさと代謝率(量)との間に、

$$\text{代謝率} = \text{定数} \times \text{体重}^{2/3}$$

のアロメトリー式が成り立つことを明らかにした。続いて、1932年にはアメリカの Kleiber(1932)が、マウス(21g)から牛(約600kg)までの26種類の動物の代謝率と体重との間に、

$$\text{代謝率} = \text{定数} \times \text{体重}^{3/4}$$

の関係式が成り立つことを発表した。それ以降生物界や動物界では、代謝率は体重の $2/3$ 乗則か、それとも $3/4$ 乗則に従うのかが論議の的となってきた。この論争に一応の休止符を打ったのが Heusner(1982)である。Heusner(1982)は、Kleiber(1932)の“アロメトリー式”が26種類の異種間(heterogeneous)の動物から導き出されたもので、もし Rubner(1883)のように同種類の動物(homogeneous)を対象にするならば、体重の $2/3$ 乗則に比例して代謝率が高まることを指摘した。特に、体重の $2/3$ 乗則は、Meeh(1879)の“体表面積の法則”、すなわち、「からだの密度が均等だと仮定すると、体全体(体積)で生成される熱は、体表面(面積)から失われる熱に等しくなる」、という理論的根拠に基づくことから、広く受け入れられるようになった。それに対して $3/4$ 乗則は理論的根拠に欠けるものの不思議に各動物に当てはまることから、生物界では現在でも“経験則”として広く受け入れられている。

動物にみられる代謝率(量)は安静代謝量( $\dot{V}O_{2\text{rest}}$ )を意味している。しかし、ヒトを対象にする場合には安静時の代謝量( $\dot{V}O_2$ )だけでなく、最大や最大下の作業中の $\dot{V}O_2$ ( $\dot{V}O_{2\text{max}}$ や $\dot{V}O_{2\text{submax}}$ )にも関連する。Hill and Lupton(1923)やRobinson et al.(1937)は全身持久性の指標として $\dot{V}O_{2\text{max}}$ を推奨したが、その際の $\dot{V}O_{2\text{max}}$ の相対値は体重1kg当り( $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ )を採用してきた。これは、“ $\dot{V}O_{2\text{max}}$ や $\dot{V}O_{2\text{submax}}$ が体重にどこまでも比例して高まる”と仮定したものである。しかし、Tanner(1949)、Bergh et al.(1991)、Sjödin and Svedenhag(1992)はランニングにおける $\dot{V}O_{2\text{max}}$ や $\dot{V}O_{2\text{submax}}$ が必ずしも体重に比例して高まるとは限らないと、指摘した。そして、Döbeln(1956)、Morgan et al.(1995)は $\dot{V}O_{2\text{max}}$ や $\dot{V}O_{2\text{submax}}$ を体重の $2/3$ 乗当たり( $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-2/3} \cdot \text{min}^{-1}$ )で、またBergh et al.(1991)やSvedenhag and Sjödin.(1994)は $3/4$ 乗当たり( $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-3/4} \cdot \text{min}^{-1}$ )でみるべきであると主張した。しかしこれまで、体重の大きさの違いを限りなく消去し、ランニングのパフォーマンスをより正確に評価するための望ましいべき指数については現在までほとんど論議されていない。

そこで、本研究はこれまで報告されている内外の論文の中で、エリート中・長距離ランナーの体重、 $\dot{V}O_{2\text{max}}$ 、ランニングタイムが明記されたデータを収集し、絶対値、あるいは3つのべき指数(1、 $2/3$ 、 $3/4$ )当りの $\dot{V}O_{2\text{max}}$ とランニングタイムとの関係を統計的に処理することによって、至適な $\dot{V}O_{2\text{max}}$ の相対値を検証することを目的とした。

## II. 研究方法

1. これまで公表されている論文の中で、体重、トレッドミル走行時の $\dot{V}O_{2\text{max}}$ と、1,500m、5,000m、10,000m、マラソンのいずれかの種目の個人記録が記述されている男子のデータを抽出した(表1)。ただし年齢は121名に記述されていたが、残りの13名については明記されていなかった。121名の被験者の年齢幅は18-43歳までであったが、その平均値は $23.6 \pm 5.7$ 歳と比較的若いグループ集団であった。

被験者のトレーニング年数や内容は明らかではないが、記録から見る限り世界のトップ選手から大学陸上競技部に所属する者までの比較的幅広い競技者であった。ちなみに、1,500m (n=29) では 3 分 32 秒から 4 分 40 秒までの約 68 秒の差があった(表 2)。本研究での競技者の記録が引用された論文は、雨宮ら(1982)、Conely et al.(1980)、Costill et al. (1976)、金子・豊岡(1973)、Maron et al.(1975;1976)、Matusi et al.(1972)、Powers(1983)、Rhodes et al.(1984)、Robinson et al.(1937)、Saltin and Åstrand(1967)、Svedenhag and Sjödin (1994)、山地(2001)であった。

表1. 引用した論文と被験者数

著者	ランニング距離と被験者数			
	1500m	5000m	10000m	マラソン
Saltin et al. (1967)	3	2	-	-
Matui et al. (1972)		30		
金子ほか (1973)		10		
Maron et al. (1975)				6
Maron et al. (1976)				2
Costill et al. (1976)		1	2	10
Conley et al. (1980)			12	
雨宮ほか (1982)	19	20	19	
Powers et al. (1983)			9	
Rhodes et al. (1984)				18
Conley et al. (1985)	1			
山地 (2000)	6	2	2	2
合計	29	65	44	38

表 2. 被験者の身体的特性、最大酸素摂取量と中・長距離走の競技記録

	Male		
	Means (SD)	range	N
Age(yrs)	23.6(5.7)	18-43	121
Height (cm)	173.1(7.7)	155.4-196.0	134
Weight (kg)	61.8(7.3)	47.5-79.4	134
VO <sub>2</sub> max			
ml•min <sup>-1</sup>	4263(712)	2640-5910	134
ml•kg <sup>-1</sup> •min <sup>-1</sup>	68.5(6.8)	48.6-84.4	134
ml•kg <sup>-2/3</sup> •min <sup>-1</sup>	272(30.9)	185-360	134
ml•kg <sup>-3/4</sup> •min <sup>-1</sup>	193(21.0)	133-254	134
1500m (sec)	240(18)	212-280	29
5000m (sec)	948(69)	802-1097	65
10000m (sec)	1936(107)	1664-2198	44
Marathon (sec)	9404(1294)	7712-12097	38

2. 統計処理

統計の処理はパソコン用の SPSS パッケージを用い、測定項目間の相関は Pearson の相関係数を用いた。なお、有意水準はすべて  $p < 0.05$  とした。

III. 結果

1. 体重と、絶対値の  $\dot{V}O_{2max}$  ( $l \cdot \text{min}^{-1}$ ) 及び相対値の  $\dot{V}O_{2max}$  ( $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-2/3} \cdot \text{min}^{-1}$ ,  $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-3/4} \cdot \text{min}^{-1}$ ) との間に 1% 水準で有意な関係が認められた (表 3)。しかし、体重 1kg 当りの  $\dot{V}O_{2max}$  ( $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ) との間に有意な関係が認められなかった。

表 3 身体的特性、最大酸素摂取量及び中・長距離走の競技記録の相関係数のマトリックス

	Age	Height	Weight	$\dot{V}O_{2max}$				1,500m	5,000m	10,000m
				A	B	C	D			
Age (yrs)										
Height (cm)	0.299 **									
Weight (kg)	0.397 **	0.791 **								
$\dot{V}O_{2max}$										
A	0.301 **	0.770 **	0.803 **							
B	0.036	0.291 **	0.103	0.649 **						
C	0.179 *	0.576 **	0.470 **	0.902 **	0.895 **					
D	0.152	0.527 **	0.398 **	0.864 **	0.922 **	0.997 **				
1,500m (s)	-0.706 **	-0.671 **	-0.646 **	-0.783 **	-0.590 **	-0.763 **	-0.744 **			
5,000m (s)	-0.505 **	-0.291 *	-0.132	-0.624 **	-0.740 **	-0.728 **	-0.737 **	0.920 **		
10,000m (s)	-0.059 **	0.085	0.242	-0.120	-0.645 **	-0.454 **	-0.509 **	0.850 **	0.929 **	
Marathon (s)	0.138	-0.125	0.378 *	-0.139	-0.691 **	-0.420 **	-0.447 **	0.538 **	0.666 **	0.736 **

A:  $\text{ml} \cdot \text{min}^{-1}$ , B:  $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ , C:  $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-2/3} \cdot \text{min}^{-1}$ , D:  $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-3/4} \cdot \text{min}^{-1}$

\*\*相関係数は 1% 水準で有意を、\*相関係数は 5% 水準で有意を表す。

2.  $\dot{V}O_{2max}$  とランニングタイムとの関係では、絶対値の  $\dot{V}O_{2max}$  ( $l \cdot \text{min}^{-1}$ ) は 1,500m と 5,000m のランニングタイムと、また、相対値の  $\dot{V}O_{2max}$  ( $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ,  $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-2/3} \cdot \text{min}^{-1}$ ,  $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-3/4} \cdot \text{min}^{-1}$ ) はいずれのランニングタイム (1,500m ~ マラソン) との間にも 1% 水準で有意な関係が認められた (表 3)。絶対値の  $\dot{V}O_{2max}$  を含めて、相対的な  $\dot{V}O_{2max}$  とランニングタイムとの間の相関係数 (r) を比較すると、1,500m では、絶対値  $> 2/3 > 3/4 > 1$ , 5,000m では、 $1 > 3/4 > 2/3 > \text{絶対値}$ , 10,000m では、 $1 > 3/4 > 2/3$ , マラソンでは、 $1 > 3/4 > 2/3$  の順になった。ただし、絶対値の  $\dot{V}O_{2max}$  ( $l \cdot \text{min}^{-1}$ ) と 10,000m 及びマラソンの記録との間に有意な相関関係が認められなかった。

IV. 考察

$\dot{V}O_{2max}$  は全身持久性の指標として広く用いられているが、その際、体重 1kg 当たりの  $\dot{V}O_{2max}$  ( $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ) で表示される。これは、1 つに  $\dot{V}O_{2max}$  は体重に比例して増加する、2 つに、からだは均質である、という仮説に基づいている。しかし、この仮説は必ずしも真理ではない (Heusner, 1982; Kleiber, 1932)。例えば、後者では、からだは筋肉、脂肪、骨、あるいは内臓器官等から成り立ち均質ではない。特にランニングでは、体重が大きいことはエネルギーの出力を大きくする可能性があるが、その一方で、体重が大き

いことは、体重の中に不活性の脂肪が占める割合(体脂肪率)が多くなり、自分の体重を自らの脚で運ばなければならないことから、エネルギー消費の経済性からみると逆に不利に作用する。しかし、対象者をランニングの競技選手に限定し、選手が日々厳しいトレーニングを行うことによって各種目のパフォーマンスを高めるのに合目的な体重(体脂肪率)が形成されていると仮定して、これまで公表されている1,500m からマラソンまでの競技選手の種目ごとのパフォーマンスを占う至的な相対的な  $\dot{V}O_2\max$  を究明することを試みた。

その結果、 $\dot{V}O_2\max$  とランニングタイムとの関係では、絶対値の  $\dot{V}O_2\max$  ( $l \cdot \min^{-1}$ ) は1,500m と5,000m の記録と、相対値の  $\dot{V}O_2\max$  ( $ml \cdot kg^{-1} \cdot \min^{-1}$ ,  $ml \cdot kg^{-2/3} \cdot \min^{-1}$ ,  $ml \cdot kg^{-3/4} \cdot \min^{-1}$ ) はいずれのランニングタイムとの間にも1%水準で有意な関係が認められたことから、1,500m では絶対値の  $\dot{V}O_2\max$  ( $l \cdot \min^{-1}$ ) が、5,000m からマラソンまではいずれの相対値でもランニングタイムを占う指標となることが明らかになった。この結果は、例えば Morgan et al. (1995) の、ランニング中の  $\dot{V}O_{2submax}$  が体重の2/3乗則に比例して高まることから、 $\dot{V}O_{2submax}$  や  $\dot{V}O_2\max$  の単位として  $ml \cdot kg^{-2/3} \cdot \min^{-1}$  を用いるべきであるとした指摘や、また、Svedenhag and Sjödin (1994) の、スウェーデンのエリートランナーの  $\dot{V}O_2\max$  や  $\dot{V}O_{2submax}$  が体重の3/4乗則に従うとした指摘、と異なるものであった。特に Morgan et al. (1995) は、ランナーと非ランナーの  $\dot{V}O_2\max$  が体重の1kg当りで評価するかそれとも2/3乗則で評価するかによって、両グループの差が47%と39%になり、さらに、 $\dot{V}O_{2submax}$ (経済性)でみると、その差が10%と15%になって現れる。その差は、例えばエリートランナーがマラソンを走ると仮定すると経済性の1%差が1分に相当することから、記録に5分の差として現われるとみなした。これらの報告は体重の相対値(べき指数)と実際のパフォーマンスとの関係をみたのではなく、体重と  $\dot{V}O_2\max$  ( $l \cdot \min^{-1}$ ) との関係から推測したもので、本研究のようにランニングのパフォーマンスとの比較から調べたものではない。

これまで、体重と  $\dot{V}O_2\max$  のアロメトリー式から得られたべき指数を用いた  $\dot{V}O_2\max$  の相対値とパフォーマンスとの関係については、12歳の子どもを対象にした Nevill et al. (2004) の報告と、県内の中・高・大学生の中・長距離ランナーを対象にした山地 (2010) の報告がある。Nevill et al. (2004) の報告では、1マイル走行時の平均スピードが最も密接な関係を有するのは  $\dot{V}O_2\max$  ( $ml \cdot kg^{-1} \cdot \min^{-1}$ ) であるとみなしている。しかし、この報告の対象者は競技者ではない。山地(2010)の中・高・大学のランナーを対象にした報告では、1、3/4、2/3のいずれのべき指数を用いても1,500m と3,000m の記録との間に有意な関係が認められた。そして、結論的には、敢えて計算が煩雑なべき指数(3/4 や 2/3)を用いるよりは、従来の体重1kg当りの  $\dot{V}O_2\max$  ( $ml \cdot kg^{-1} \cdot \min^{-1}$ ) の方が望ましいとした。

本研究では、1,500mからマラソンまでの各種目の競技選手のべき指数を求め、そのべき指数を用いた相対値の  $\dot{V}O_2\max$  ( $ml \cdot kg^{-1} \cdot \min^{-1}$ ) と1,500m からマラソンまでのランニングタイムとの間に、それぞれ有意な関係が認められた。しかしこの結果は本研究の被験者(母集団)だけに当てはまるべき指数であって、すべての母集団に適用するとは限らない。そのために他の報告との比較が困難である。そこで、これまで、一般に採用されている1、3/4、2/3のべき指数の内、どの指数がパフォーマンスと最も密接な関係があるかを検証した。その結果、1,500mでは、 $\dot{V}O_2\max$  の相対値よりも絶対値の  $\dot{V}O_2\max$  と最も高い相関関係が得られた。これはかつて山地ほか(1990)の、1,500mの記録は絶対値の  $\dot{V}O_2\max$  と、5,000m以上の種目では、相対値の  $\dot{V}O_2\max$  ( $ml \cdot kg^{-1} \cdot \min^{-1}$ ) とより密接な関係を有するとして報告と一致した。1,500mの記録が絶対値の  $\dot{V}O_2\max$  とより高い相関関係があることは、1,500mの全エネルギー消費量の内、酸素摂取量

が占める割合が約 64%、残りは酸素負債量で補われているのに対して、5,000m は 87%、10,000m は 93%、マラソンは 98%が酸素摂取量に依存していること (マーチンとコー, 2001)、すなわち、距離が長くなるにつれ酸素負債量の競技記録への相対的な影響力が少なくなることを示唆している。さらに、競技距離が長くなるにつれ体重の大きいことがランニングの経済性を低くすることや、着地の際などの脚部への衝撃の積み重ねが脚の筋疲労を速めることなどが、距離が長くなるにつれ体重 1kg 当りの  $\dot{V}O_2\max$  が競技記録とより高い相関係数が得られた原因と考えられる。しかし、この点については推測の域を出ない。

このように本研究では、5,000m、10,000m、マラソンの記録を予測する場合  $\dot{V}O_2\max$  の相対値として体重1kg 当りの  $\dot{V}O_2\max$  に他のべき指数 (3/4 と 2/3) よりも高い相関係数が得られた。従って、敢えて計算が煩雑な 3/4 や 2/3 乗則を用いる必要性がない。また、べき指数は対象者の母集団の特性 (性、年齢、身長、競技種目等) によっても異なることから、その母集団に合ったべき指数の算出が求められる。しかも、そこで得られたべき指数が他の母集団に適用できるとは限らない。よって、体重 1kg 当りの  $\dot{V}O_2\max$  ( $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) は、計算が容易で (利便性) しかも二けた台の数字で体重に近い数字であることから親しみ易く (親和性)、しかも既存の論文との比較が容易 (汎用性) であることなどから、従来通り体重1kg 当りの  $\dot{V}O_2\max$  ( $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) で表すことが望ましい。

## V. 引用文献

- ・ 雨宮輝也, 黒田善雄, 塚越克己, 伊藤静夫, 金子敬二, 松井美智子 (1982) 陸上中、長距離選手の心機能ならびに有酸素的作業能に関する継続的研究. 昭和 57 年度日本体育協会スポーツ科学研究報告. NoIX: 1-15.
- ・ Bergh,U., Sjödin,B., Forsberg,A., Svedenhag,J. (1991) The relationship between body mass and oxygen uptake during running in humans. *Med.Sci.Sports Exerc.* 23:205-211.
- ・ Conley,D.L. and Krahenbuhl,G.S. (1980) Running economy and distance running performance of highly training athletes. *Med.Sci.Sports Exerc.* 12:357-360.
- ・ Conley,D.L., Krahenbuhl,G.S., Burkett,L.N. and Millar,A.L. (1984) Following Steve Scott: Physiological changes accompanying training. *Phys.Sportsmed.* 12(1):103-106.
- ・ Costill,D.L., Fink,W.J. and Pollock,M.L. (1976) Muscle fiber composition and enzyme activities of elite distance runners. *Med.Sci.Sports.* 8:96-100.
- ・ Döbeln.W.V. (1956) Maximal oxygen uptake, body size and total hemoglobin in normal man. *Acta Physiol.Scan.* 38:193-199.
- ・ Heusner,A.A. (1982) Energy metabolism and body size. I. Is the 0.75 mass exponent of Kleiber's equation a statistical artifact? *Res.Physiol.* 48:1-12.
- ・ Hill A.V, and Lupton, H. (1923) Muscular exercise, lactic acid and the supply and utilization of oxygen. *Quart J Med.* 16:135-171.
- ・ 金子公宥, 豊岡示朗 (1973) 1時間のトレッドミル走行における代謝と体温変化. 昭和 48 年度日本体育協会報告. pp23-30.
- ・ Kleiber,M. (1932) Body size and metabolism. *Hirgardia.* 6:315-353.

- Maron, M.B., Horvath, S.M. and Wilkerson, J.E. (1975) Acute blood biochemical alterations in response to marathon running. *Eur. J. Appl. Physiol.* 34:173-181.
- Maron, M.B., Horvath, S.M., Wilkerson, J.E. and Gliner, J.A (1976) Oxygen uptake measurements during competitive marathon running. *J. Appl. Physiol.* 40:836-838.
- デビッド・マーチン & ピーター・コー: 征矢英昭, 尾懸貢 監訳 『中距離ランナーの科学的トレーニング』. pp.146, 2001. 大修館書店
- Matsui, H., Miyashita, M., Miura, M., Kobayashi, K., Hoshikawa, T., Kamei, S. (1972) Maximum oxygen intake and its relationship to body weight of Japanese adolescents. *Med. Sci. Sports.* 4:29-32.
- Meeh, K. (1879) Oberflächenmessungen des menschlichen Körperpers. *Z. Biol.* 15:425-458. Cited by Heusner, A.A. (1982)
- Morgan, P.W., Broansford, D.R., Costill, D.L., Daniels, J.T., Howley, E.T. Kranhenbuhl, G.S. (1995) Variation in the aerobic demand of running among trained and untrained subjects. *Med. Sci. Sports Exerc.* 27:404-409.
- Nevill, A.M. Rowland, T., Goff, D. (2004) Scaling or normalizing maximum oxygen uptake to predict 1-mile run time in boys. *Eur. J. Appl. Physiol.* 92:285-288.
- Powers, S.K., Dodd, S., Deason, R., Byrd, R. and McKnight T. (1983) Ventilatory threshold, running economy and distance running performance of trained athletes. *Res. Q. Exerc. Sport.* 54:179-182.
- Rhodes, E.C. and McKenzie, D.C. (1984) Predicting marathon time from anaerobic threshold measurements. *Phys. Sportmed.* 12(1):95-98.
- Robinson S., Edwards, H.T., Dill, D.B. (1937) New records in human power. *Science.* 85:409-410.
- Rubner, M. (1883) Ueber den Einfluss der Körpergröße auf Stoff- and Kraft-wechsel. *Z. Biol.* 19:535-562. Cited by Heusner, A.A. (1982).
- Saltin, B. and Åstrand, P.-O. (1967) Maximal oxygen uptake in athletes. *J. Appl. Physiol.* 23:353-358.
- Sjödin, B. and Svedenhag, J. (1992) Oxygen uptake during running as related to body mass in circumpubertal boys: a longitudinal study. *Eur. J. Appl. Physiol.* 65:150-157.
- Svedenhag, J. and Sjödin, B. (1994) Body-mass-modified running economy and step length in elite male middle- and long-distance runners. *Int. J. Sports Med.* 15:305-310.
- Tanner, J.M. (1949) Fallacy of per-weight and per-surface area standards, and their relation to spurious correlation. *J. Appl. Physiol.* 2:1-15.
- 山地啓司 (2001) 改訂 最大酸素摂取量の科学. 杏林書院. 東京. Pp.98-100.
- 山地啓司 (2010) 若いランナーの 1,500mと 3,000mのランニング・パフォーマンスを予測する最大酸素摂取量のスケールリング. 立正大学体育学研究. 印刷中.
- 山地啓司, 池田岳子, 横山泰行, 松井秀治 (1990) 最大酸素摂取量から陸上中長距離、マラソンレースの競技記録を占うことが可能か. *ランニング学研究.* 1:7-14.