

中長距離選手におけるランニング効率と パフォーマンスとの関係について

勝田 茂*, 宮田 浩文, 麻場 一徳
原田 健**, 永井 純*

The Relationship between Running Efficiency and Performance in Distance Runners

Shigeru Katsuta, Hirofumi Miyata, Kazunori Asaba
Ken Harada and Jun Nagai

Abstract

The purpose of this study was to investigate the relationship between running efficiency and distance running performance in highly trained runners. Maximal aerobic power ($\dot{V}O_2\text{max}$) and oxygen intake ($\dot{V}O_2$) at standardized speeds were measured during treadmill running. And the linear regression equation indicated the relationship between $\dot{V}O_2$ and running speed for each runner was compared in several runners with nearly $\dot{V}O_2\text{max}$.

The results were summarized as follows ;

1. The relationships between $\dot{V}O_2\text{max}$ and running performances (5000, 10000m best time) was $r=0.66$ ($p<0.01$), $r=0.56$ ($p<0.05$) respectively.
2. There were significant relationships between $\dot{V}O_2$ at standardized speeds (240, 270 m/min) and running performances.
3. The analysis of linear regression equation indicated that superior runners have lower incline and intercept of vertical axis.

Key words: Running efficiency, Running performance, Linear regression equation

I. 緒言

最大酸素摂取量は、呼吸循環機能を総括的にみた有酸素作業能力の身体資源と考えられ、全身持久能力を表わす最も有効な指標と

して用いられてきている。そして、中・長距離走者は、高い最大酸素摂取量を有していることが数多く報告されている¹⁾²⁾。しかし、ほぼ等しい最大酸素摂取量を有する者の間

*筑波大学体育科学系

**大阪府堺市立第二商業高等学校

に、大きなパフォーマンスの違いが見られることもしばしばあり、パフォーマンスを決定する要因は、ほかにも様々なものが考えられる。その要因として、山崎と青木³⁾は、最大酸素負債量を、金原⁴⁾は、有気的エネルギー源の筋や肝臓などへの蓄積能力をあげている。また、Costillら⁵⁾は、レース中における有酸素能力の高い利用割合とランニング効率をあげている。

一般的に、効率は出力/入力と考えられている。酸素摂取量でランニング効率を評価する場合、分子の出力を一定のランニングスピードとし、分母の酸素摂取量の大小を比較することになる。つまり、一定スピードにおける酸素摂取量が多いほど効率は悪く、少ないほど良いという判断が可能になる。

本研究は、最大酸素摂取量で説明できなかった長距離走パフォーマンスの差異を、酸素摂取量を指標としたランニング効率により

検討しようとするものである。

II. 方法

1 被検者

被検者には、過去4年以上にわたってトレーニングを積んできた男子中・長距離選手18名を用いた。各被検者の年齢、身長、体重および長距離走パフォーマンス(5000m, 10000m)を表1に示した。長距離走パフォーマンスについては、過去1年間におけるレース、もしくはそれに準ずるものでの記録を採用した。

2 最大テスト

最大酸素摂取量を測定するため、9分30秒～16分30秒のExhaustiveな運動を斜度0°のトレッドミルで行った。走行負荷は、150m/minで2～3分のウォーミングアップ後、200m/minから300m/minまでは毎分

Table 1 Physical characteristics and running performances of 18 distance runners.

| Subj. | Age (years) | Height (cm) | Weight (kg) | 5000m (分 秒) | 10000m (分 秒) |
|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| S.Y. | 19 | 162.0 | 56.0 | 16'51" | 34'30" |
| H.M. | 24 | 167.0 | 59.0 | 16'10" | 33'52" |
| N.S. | 20 | 164.0 | 54.0 | 15'16" | 31'56" |
| Y.Y. | 19 | 175.0 | 63.0 | 15'35" | 31'57" |
| S.M. | 20 | 173.5 | 57.0 | 15'15" | 31'05" |
| N.M. | 20 | 167.5 | 59.0 | 16'19" | 34'58" |
| I.K. | 21 | 177.0 | 60.0 | 15'16" | 30'54" |
| K.H. | 22 | 173.0 | 64.0 | 15'33" | 33'10" |
| T.Y. | 20 | 170.0 | 56.0 | 14'49" | 30'19" |
| Y.T. | 19 | 169.0 | 62.5 | 15'07" | 30'47" |
| M.A. | 19 | 174.5 | 66.0 | 16'40" | 35'03" |
| M.Y. | 19 | 173.5 | 59.0 | 16'01" | 32'06" |
| T.K. | 20 | 170.0 | 51.0 | 16'12" | 32'37" |
| M.O. | 19 | 171.5 | 57.0 | 15'19" | 33'06" |
| Y.H. | 19 | 170.0 | 63.5 | 14'47" | 31'10" |
| S.K. | 19 | 171.0 | 55.5 | 14'14" | 30'04" |
| M.T. | 23 | 171.0 | 58.5 | 15'18" | 32'18" |
| T.S. | 22 | 160.0 | 49.0 | 14'01" | 28'45" |
| Mean | 20.2 | 170.0 | 57.8 | 15'29" | 32'09" |
| S.D. | 1.5 | 4.4 | 4.6 | 47" | 1'45" |

20m/min ずつ, その後は毎分10m/min ずつ走速度を増加させる負荷漸増法を用いた (図 1-a)。

採気は, ダグラスバック法により, 運動開始から Exhaustion に至るまで連続して行い, 酸素摂取量を算出した。換気量は乾式ガスメーター (品川製作所製) で計測し, 呼気ガス分析はマススペクトロメータ (PERKIN-ELMER 社製, Medical-Gas Analyzer 1100) で行った。最大酸素摂取量の判定基準には, 酸素摂取水準の levelling off, ガス交換比(R>1.0) および心拍数 (180拍/分以上)を用いた。

3 最大下テスト

最大下スピードにおける酸素摂取量を求めるため, 230, 270, 310m/min の3種類のトレッドミル走をそれぞれ6分間行った。各スピードは, 平均 60.8, 74.2, 89.2% $\dot{V}O_2$ max に相当する運動強度であった。走行は, それぞれのスピード間に8分間の休憩をとり連続して行った (図 1-b)。各スピードで定常状態に達したと思われる4~5分, 5~6分に採気し, 最大テストと同様にして酸素摂取量を求めた。4~5分, 5~6分の平均値をもってそのスピードにおける酸素摂取量とした。

Ⅲ. 結果

体重当たりの最大酸素摂取量は, 69.5~85.1ml/kg/min の範囲にあり, その平均値は74.9ml/kg/min であった。

その最大酸素摂取量と長距離走パフォーマンスとの関係を図 2 に示した。5000m のベストタイムとの間に相関係数-0.66 ($P<0.01$), 10000m ベストタイムとの間に相関係数-0.56 ($P<0.05$) の有意な相関関係が認められた。

図 3 に各標準にスピード (230, 270, 310m/min) における酸素摂取量と長距離走パフォーマンスとの関係を示した。230, 270m/min の酸素摂取量と各パフォーマンス

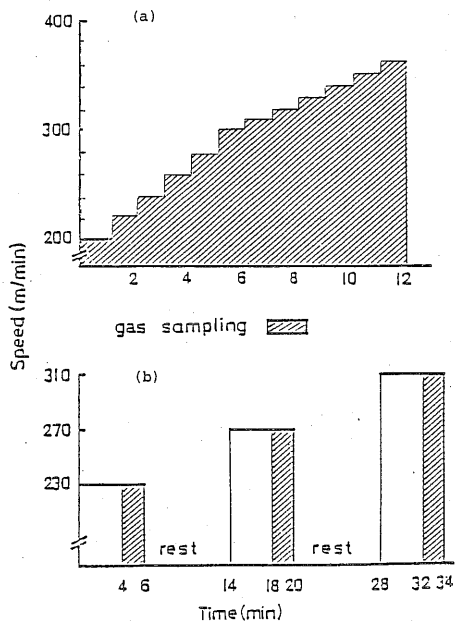


Fig. 1 Experimental protocol for measuring $\dot{V}O_2$ max and running economy.

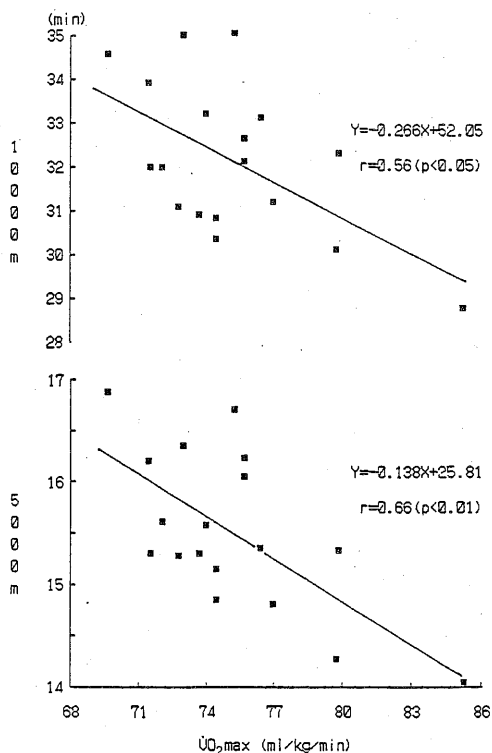


Fig. 2 Relationship between $\dot{V}O_2$ max and running performances (5000m, 10000m).

の間にすべて1%水準で有意な相関関係が認められ、パフォーマンスの高いランナーほど少ない酸素摂取量で走行していることが明らかになった。一方310m/minの酸素摂取量と各パフォーマンスとの間に有意な相関関係は認められなかった。

また、各標準スピードにおける酸素摂取量水準(% $\dot{V}O_{2max}$)と各パフォーマンスとの間には、すべて有意な相関関係が認められ、その相関係数はいずれも0.68以上の高い値を示した(表2)。

Table 2 Correlation coefficients between % $\dot{V}O_{2max}$ in each running speed (230, 270, 310m/min) and running performances (5000, 10000m).

| | Running performances | |
|---------------------|----------------------|--------|
| | 5000m | 10000m |
| 230m/min | ** | ** |
| % $\dot{V}O_{2max}$ | 0.82 | 0.72 |
| 270m/min | ** | ** |
| % $\dot{V}O_{2max}$ | 0.83 | 0.75 |
| 310m/min | ** | ** |
| % $\dot{V}O_{2max}$ | 0.78 | 0.68 |

** Significance, $p < 0.01$

次に3つの標準スピードとそれぞれの酸素摂取量から回帰直線を求め、ほぼ等しい最大酸素摂取量を持つ者について比較検討を行った。図4は、最大酸素摂取量が76.8~79.7ml/kg/minの3人の回帰直線を示している。M. T. は他の2人に比べパフォーマンスの低いランナーであるが、その回帰直線は大きな傾きを示した。図5は、最大酸素摂取量が73.5~75.5ml/kg/minの4人の回帰直線を示している。K. T. と M. A. は他の2人に比べパフォーマンスの低いランナーであるが、図4の例とは異なり、切片のちがいに両者の差が認められた。同様な例は、71.3~71.9ml/kg/minの最大酸素摂取量を持つ3人の回帰直線においても認められた。

IV. 考 察

1 最大酸素摂取量と長距離走パフォーマンスとの関係

本研究の被検者における最大酸素摂取量は、平均値が74.8ml/kg/minであり、その標準偏差は3.7mlであった。この値は、被検者が長年激しいトレーニングを積んでいることおよび比較的高いレベルに接近していることを裏付けている。このような特徴を示す被検者においても、体重当たりの最大酸素摂取量と長距離走パフォーマンスとの間に有意な相関関係が認められたことは興味深い。

金原ら⁶⁾は、最大酸素摂取量是有氣的無氣的運動過程下で出現する一過性の最大酸素摂取能力(有氣的パワー)であり、有酸素能力をすべて表わす指標とは言いがたい、と述べている。しかしながら、本研究において得られた相関関係は、比較的高いレベルの競技者においても、最大酸素摂取能力が長距離走に成功するための重要な条件であることを示唆しているといえよう。

2 ランニング効率と長距離走パフォーマンスとの関係

230, 270m/minにおける酸素摂取量と長距離走パフォーマンスとの間に有意な相関関係が認められた。また、すべてのスピードにおける酸素摂取水準と長距離走パフォーマンスの間にも高い相関関係が得られた。

Cotes と Meade⁷⁾ や山岡⁸⁾ は、トレーニングを重ねることにより、一定スピードの歩行および走行における酸素摂取量は少なくなることを報告している。また、Cavanaghら⁹⁾ や三浦ら¹⁰⁾ は、一定スピードの走行に要する酸素摂取量の差は、ランニングフォームの違いに帰因すると報告している。

これらの結果は、トレーニングを重ねフォームの改善を行うことにより、一定スピードの走行に必要な酸素摂取量が低下し、パフォーマンスの向上が期待できることを示

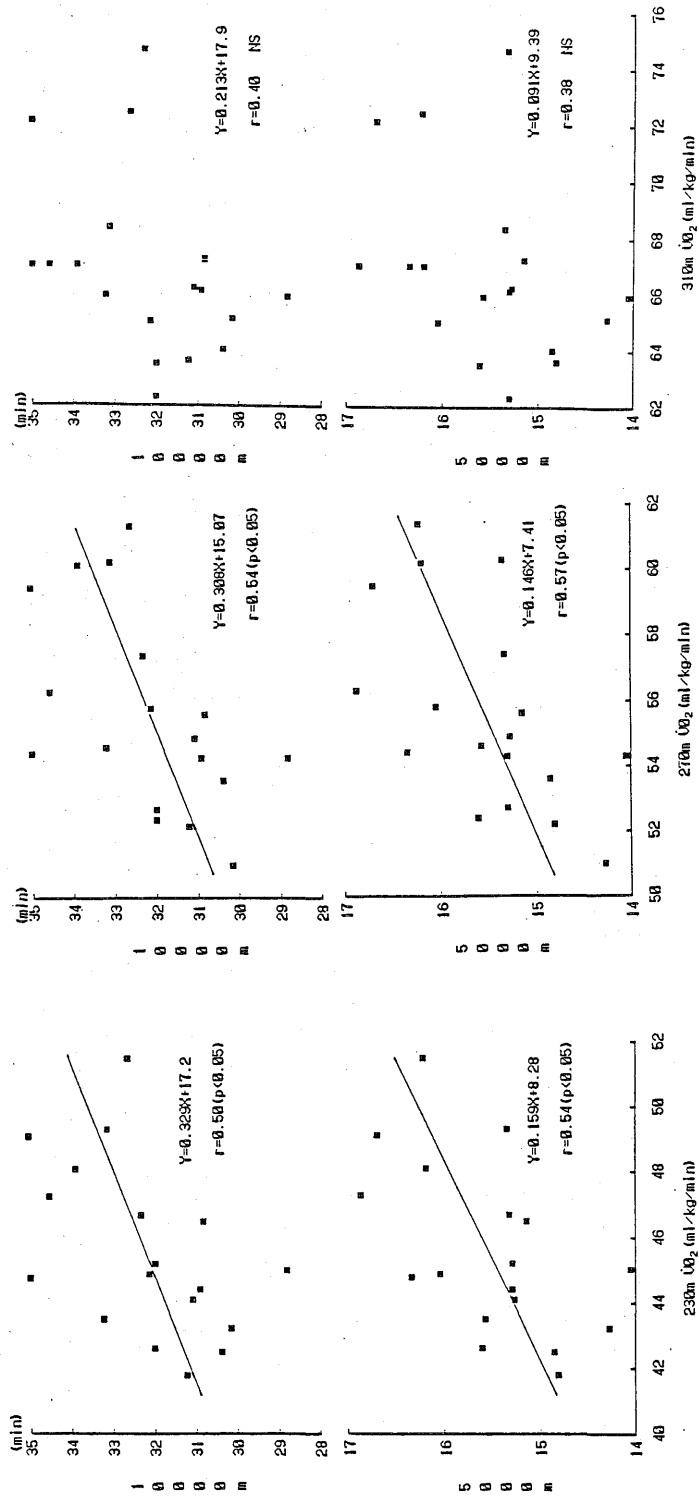


Fig. 3 Relationship between running efficiencies in each running speed (230, 270, 310m/min)

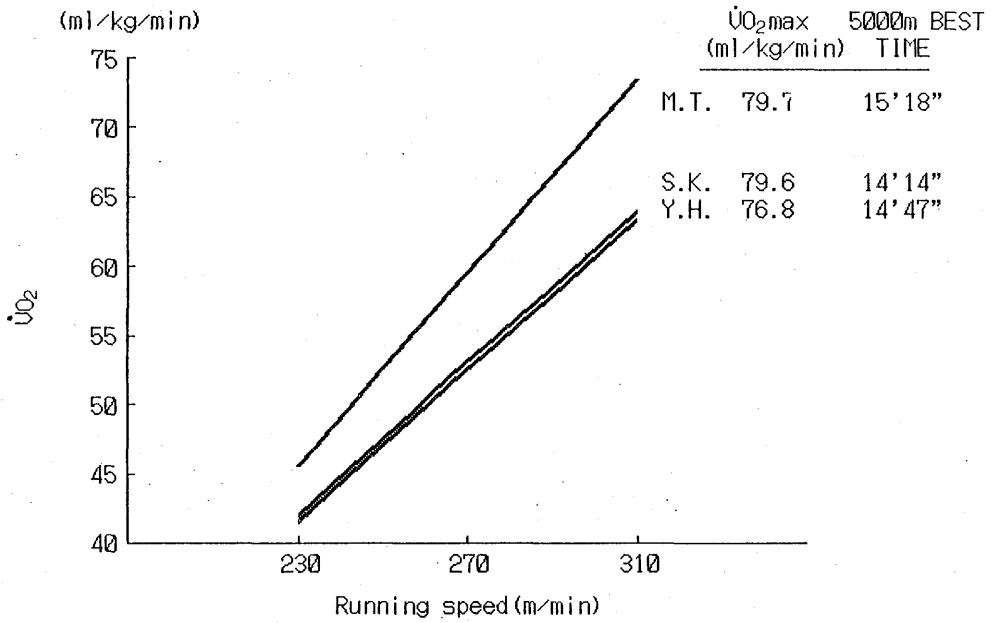


Fig. 4 Relationship between $\dot{V}O_{2max}$ and running speed in 3 runners with nearly $\dot{V}O_{2max}$.

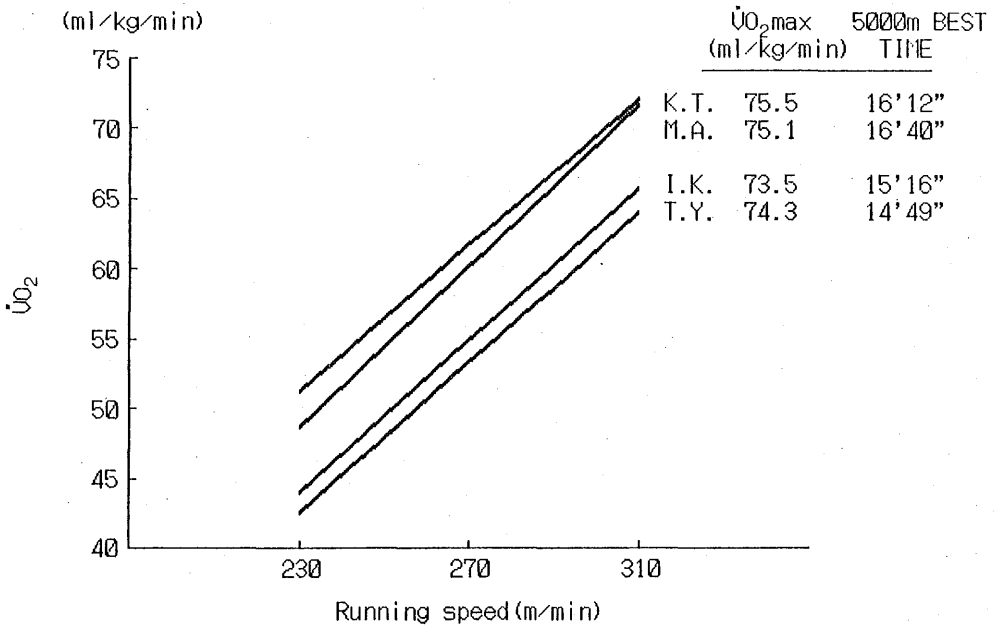


Fig. 5 Relationship between $\dot{V}O_{2max}$ and running speed in 4 runners with nearly $\dot{V}O_{2max}$.

唆している。したがって長距離走の練習においては、心肺機能の向上と同様に、効率的なフォームの習得を目指すことが必要であろう。

一方、310m/minにおける酸素摂取量と長距離走パフォーマンスとの間には、有意な相関関係は認められなかった。これは、310m/minが平均89.2% $\dot{V}O_{2max}$ に相当する強度であり、明らかに無氣的作業閾値を越えていることに起因していると思われる。つまり、最大酸素摂取量が低く競技成績の悪い走者は、多くの酸素負債をかかえながら少ない酸素摂取量で走行していると考えられる。したがって、ランニング効率を酸素摂取量を用いて論ずる場合、酸素負債を含まない無氣的作業閾値以下のランニングスピードを用いるべきであろう。

3 走行スピード— 酸素摂取量関係式と長距離走パフォーマンスとの関係

Sargent¹¹⁾は、中距離走者を被検者とし、走行時の酸素摂取量はスピードの3.8乗に比例することを見出ししている。しかし、今回用いた230~310m/minのスピードでは、両者の関係を直線で表わすことが可能であろう。実際、本研究における酸素摂取量の増加は、230m/minから270m/minにかけて平均10.1mlであったのに対し、270m/minから310m/minかけては11.3mlとほぼ等しい値であった。そこで、各被検者について、スピードと酸素摂取量との関係を表す一次式をつくり、ほぼ等しい最大酸素摂取量を有しながらパフォーマンスの異なる被検者間で比較検討した。

その結果、先行研究¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾¹⁵⁾¹⁶⁾¹⁷⁾で報告された2つのパターン(①傾きが異なる場合、②傾きが等しく切片の異なる場合)は本研究でも観察された。①の場合、スピードの増加に対する酸素摂取量の増加割合が大きく、ハイペースのレースになるほど不利であろう。

また、レース中のペース変化に対する呼吸応答の変化も大きく、走行リズムが狂いやすいことが予想される。一方②の場合、少なくとも230~310m/minにおいては多くの酸素摂取量を要求されることになり、余裕のないランニングを強いられるだろう。このように、最大酸素摂取量がほぼ等しい選手間においては、傾きが小さいほど、また傾きが等しい場合は、切片が小さいほどパフォーマンスが高い傾向にあることが示された。

以上のように、高度にトレーニングされた長距離走者において、最大下負荷走行中の酸素摂取量が少ない者ほど競技成績がよい傾向にあることが明らかとなった。今後、酸素摂取量が少ないランニングフォームを追求することにより、長距離走コーチングの資料となることが期待される。

V. 総括

18名の中・長距離選手を被検者とし、長距離走パフォーマンスと最大および最大下ランニングにおける様々なパラメーターとの関係について検討した。

最大酸素摂取量を求めるため、斜度0度のトレッドミルで速度漸増によるExhaustive運動を行った。また、230, 270, 310m/minの3種類のトレッドミル走を6分間行った。そして各酸素摂取量をそのスピードにおけるランニング効率の指標とした。

結果の要約は以下のとおりである。

1. 最大酸素摂取量と5000, 10000mのベストタイムとの間に、それぞれ相関係数、 -0.66 ($P<0.01$), -0.56 ($P<0.05$)の相関関係が認められた。

2. 230, 270m/minにおけるランニング効率と5000, 10000mのベストタイムとの間に、相関係数0.50から0.57 ($P<0.05$)の相関関係が認められた。また、各スピードにおける酸素摂取水準と各ベストタイムとの間にさらに高い相関関係が認められた。

3. ほぼ等しい最大酸素摂取量を有する者において、ランニングスピードと酸素摂取量との関係を示す回帰直線について検討した。その結果、回帰直線の傾きが小さいほど、また傾きがほぼ等しい場合は切片が小さいほどパフォーマンスが高い傾向にあることが明らかとなった。

以上の結果より、長距離走の練習においては、心肺機能の向上と同様に、効率的なフォームの習得を目指す必要性が示唆された。

引用文献

- 1) Saltin, B. and Åstrand, P. O. : Maximal oxygen uptake in athletes J. Appl. Physiol. 23: 353-358, 1967.
- 2) Ekblom, B. and Hermansen, L. : Cardiac output in athletes. J. Appl. Physiol. 25: 619-625, 1968.
- 3) 山崎省一. 青木純一郎: 長距離走の記録と無酸素的能力. 体力科学, 26 : 87-95, 1977.
- 4) 金原 勇: 陸上競技のトレーニング, 猪飼道夫 (編), 種目別現代トレーニング法, 大修館, 1968.
- 5) Costill, D. L., Thomason, H. and Roberts, E. : Fractional utilization of the aerobic capacity during distance running. Med. Sci. Sports. 5: 248-252, 1973.
- 6) 金原 勇. 高松 薫. 阿江通良. 伊藤静夫: トレーニング目標とする全身持久性のとらえ方に関する実験的研究, 東教大体育学部スポーツ研究所報, 11 : 15-28, 1973.
- 7) Cotes, J. E. and Meade, F. : Physical training in relation to the energy expenditure of walking and to factors controlling respiration during exercise. Ergonomics 2: 195-205, 1959.
- 8) 山岡誠一: エネルギー代謝からみた走運動. 体育の科学, 21 : 83-87, 1971.
- 9) Cavanagh, P. R., Pollock, M. L. and Landa, J. : Abinomechanical comparison of elite and good distance runners. Ann. N. Y. Acad. Sci. 301: 328-345, 1977.
- 10) 三浦望慶. 松井秀治. 袖山 紘: 長距離走のスキルに関する実験的研究. 身体運動の科学, 2. 134-144, 1976.
- 11) Sargent, R. M. : The relation between oxygen requirement and speed in running. Proc. Roy. Soc. B100: 10-22, 1926.
- 12) Margaria, R., Corretelli, P. and Aghems, P. : Energy cost of running. J. Appl. Physiol. 18: 367-370, 1963.
- 13) Costill, D. L., Braman, G., Eddy, D. and Sparks, K. : Determinants of marathon running success. Int. Z. Angew. Physiol. 29: 249-254, 1971.
- 14) Fox, E. L. and Costill, D. L. : Estimated cardiorespiratory response during marathon running. Arch. Environ. Health. 24: 316-324, 1972.
- 15) Bransford, J. and Howley, E. T. : Oxygen cost of running in trained and untrained men and women. Med. Sci. Sports, 9: 41-44, 1973.
- 16) Daniels, J. : Physiological characteristics of champion male athletes. Res. Quart. 45: 342-348, 1974.
- 17) Daniels, J., Krahenbuhl, G., Foster, C., Gilbert, J. and Daniels, S. : Aerobic responses of female distance runner to submaximal and maximal exercise. Ann. N. Y. Acad. Sci. 310: 726-733, 1977.