

## 機械的効率からみた持久走

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2017-10-03 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 山本, 博男, 福島, 基, 打越, 富美男, 土合, 利広 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/2297/20498">http://hdl.handle.net/2297/20498</a>

## 機械的効率からみた持久走

山本 博男\*・福島 基\*\*・打越 富美男\*\*\*・土合 利広\*\*\*\*

### 12-min. Running Performance Estimated from Mechanical Efficiency as a Function of the Equation for Multiple Regression Line

Hiroh YAMAMOTO\*, Motoi FUKUSHIMA\*\*,  
Fumio UCHIKOSHI\*\*\* and Toshihiro DOAI\*\*\*\*

#### はじめに

Hill(1923)<sup>1)</sup>によって提唱された $\dot{V}O_2\max$ の概念は、全身運動の持続能力に直接的に関与することが明らかにされ、従来、有酸素的作業能あるいは全身持久力の最もよい指標とみなされている。例えば、マラソンやスキー距離競技など持久性能を必要とする競技で世界の最高水準にある選手における $\dot{V}O_2\max$ は、80-88 ml/kg $\cdot$ minと報告されている<sup>3)8)9)10)15)19)</sup>。又トレッドミルによる $\dot{V}O_2\max$ と、自転車エルゴメーターによる $\dot{V}O_2\max$ が比較され、トレッドミルによる $\dot{V}O_2\max$ の方が、自転車エルゴメーターによる $\dot{V}O_2\max$ より、平均で5~8%高いと報告されている。

ところで、健康づくりにおける運動処方観点から、Cooper(1968)<sup>4)</sup>によって12分間走が提唱された。この点に関して、DoolittleとBigbee(1968)<sup>7)</sup>、MaksudとCoutts(1971)<sup>17)</sup>、石河ら(1976)<sup>14)</sup>及び星川ら(1977)<sup>12)</sup>、CusterとChaloupka(1977)<sup>6)</sup>は、12分間走のうちとりわけ、12分間走と $\dot{V}O_2\max$ との間に高い相関があることを報告している。又、自転車エルゴメーター駆動やトレッドミル歩行、走行などの作業においては、一般に、身体運動における人体のエネルギー出入力関係から、機械的効率をスキ

ルの指標としている<sup>13)</sup>。例えば、LloydとZacks(1972)<sup>16)</sup>、Zacks(1973)<sup>20)</sup>、AsmussenとB-Petersen(1974)<sup>2)</sup>は、トレッドミル水平負荷法によってそれぞれ、29.6-45.1%、31.0-58.3%、37.8-53.8%、38.6-45.2%のApp Eを報告している。

このような身体運動におけるエネルギーの経済性の観点に基づき、最大酸素摂取量と持久走の関係について、スキルの指標である走の機械的効率を加味して、その運動成果を検討することは興味深いことである。従って、本研究の目的は、最大酸素摂取量、12分間走及び機械的効率を測定し、重回帰方程式から持久走を検討することである。

#### ○ 方 法

##### 1 被検者

被検者は、金沢大学教育学部体育科男子学生12名で、年齢 $20.5 \pm 0.75$ 歳、身長 $172.9 \pm 5.63$ cm、体重 $66.4 \pm 3.52$ kgであった。

##### 2 測定項目

運動成果(Performance: パフォーマンス)として12分間走行距離、身体資源(Physical resources)として最大酸素摂取量( $\dot{V}O_2\max$ )、技

昭和59年9月17日受理

\* 金沢大学教育学部体育学研究室: Department of Physical Education, Faculty of Education, Kanazawa University

\*\* 金沢市立上平小学校: Uwadaira Elementary School, Kanazawa, Ishikawa

\*\*\* 富山市立長岡小学校: Nagaoka Elementary School, Toyama, Toyama

\*\*\*\* 高岡市立横田小学校: Yokota Elementary School, Takaoka, Toyama

能 (Skill: スキル) の指標として走の機械的効率を測定した。これらの測定は、いずれも 1 日以上の間隔をおいて別の日に実施した。

### 3 実験方法

#### a) 12 分間走行距離の測定

5 m 間隔に印がつけられた一周 200 m の単心円トラックを使用し、走行距離を測定した。ウォーミングアップとして 400 m の走行と準備体操の後、最大努力で 12 分間の走行をするように指示した。

#### b) 最大酸素摂取量の測定

$\dot{V}O_{2max}$  (最大酸素摂取量, ml/kg·min) は、自転車エルゴメーターを使用し、60 rpm でメトロノームにあわせて、6-10 分で疲労困憊に到るような負荷漸増法により測定した。呼気ガスをダグラスバック法により採集し、呼気ガスサンプルをショランダー微量ガス分析器によって分析した。

#### c) テッドミル水平負荷走による機械的効率の測定

走における機械的効率は、テッドミル水平負荷法 (図 1) によって求めた<sup>16)</sup>。

速度は 180 m/min 及び 200 m/min で、牽引する負荷は 4 分毎に 0.5 kg ずつ漸増 (no-load, 680 g, 1180 g, 1680 g) し、計 16 分間の走行を行った。各負荷の最後の 1 分間にダグラス

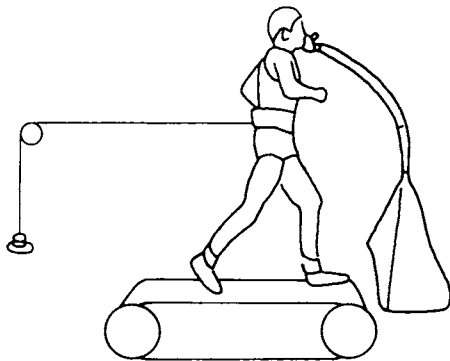


Figure 1. Treadmill running against a horizontal impeding force.<sup>16)</sup>

バック法によって呼気ガスを採集し、呼気ガスサンプルをショランダー微量ガス分析器によって分析した。

$\dot{E}^{*1}$  (エネルギー消費量, kcal/min) は、 $\dot{V}O_2$  (酸素摂取量, l/min) より酸素 1 l のエネルギー当量を 5 kcal として求めた。

$\dot{W}ext^{*2}$  (外的仕事率, kcal/min) は、おもりとテッドミルスピードから、 $1 \text{ kgm} \approx 2.343 \times 10^{-3} \text{ kcal}$  として次式から求めた。

$$\dot{W}ext = F \times V \times 2.343 \times 10^{-3}$$

F : おもり (kg)

V : テッドミルスピード (m/min)

機械的効率は、 $\dot{W}ext$  を独立変数、 $\dot{E}$  を従属変数とする回帰直線

$$Y = aX + b$$

を求め、回帰の傾き a の逆数に 100 を乗じて App E (Apparent efficiency) を求めた。

### 4 統計的分析

直線回帰式においては、回帰係数及び相関係数を t 検定により、また、重回帰式において重相関係数を F 検定により検定を行った。

### ○ 結果

テッドミル水平負荷走における  $\dot{W}ext$  (外的仕事率, kcal/min) を独立変数、 $\dot{E}$  (エネルギー消費量, kcal/min) を従属変数とする回帰式、相関係数とその回帰係数の逆数に 100 を乗じた App E (Apparent efficiency, %) 及び、Gross  $\dot{E}$  (無負荷時の単位体重、単位距離当りのエネルギー消費量, kcal/kg·km) を表 1 に示した。

$\dot{W}ext$  と  $\dot{E}$  の関係から求めた回帰係数及び相関係数は、すべて統計的に有意であった。(P < 0.05) すなわち、 $\dot{W}ext$  と  $\dot{E}$  の間には、 $\dot{W}ext$  の増加に伴って  $\dot{E}$  も有意に増加する関係があった。App E は、平均 37.0% で、Gross  $\dot{E}$  は、平均 0.95 kcal/kg·km であった。図 2 に各被検者  $\dot{W}ext$  と  $\dot{E}$  の関係を示した。

注 1 E : energy cost

注 2  $\dot{W}ext$  : external work rate

Table 1. The values of equation for linear regression line, correlation coefficient, apparent efficiency and gross energy cost between external work rate and energy cost of each subject.

Subject	Equation for linear regression line	Correlation coefficient	Apparent efficiency (%)	Gross energy cost (kcal/kg · km)
K. Y.	$Y=3.62 \cdot X+10.30$	0.9889*	27.6	0.85
Y. Mi.	$Y=2.76 \cdot X+12.44$	0.9968**	36.2	1.01
K. H.	$Y=2.53 \cdot X+10.14$	0.9958**	39.5	0.85
T. N.	$Y=2.91 \cdot X+11.38$	0.9921**	34.4	1.03
K. O.	$Y=2.52 \cdot X+12.79$	0.9750*	39.7	1.00
M. S.	$Y=1.95 \cdot X+11.25$	0.9605*	51.3	0.90
T. S.	$Y=3.45 \cdot X+14.07$	0.9934**	29.0	1.00
H. T.	$Y=2.56 \cdot X+11.77$	0.9773*	39.0	0.95
T. K.	$Y=2.03 \cdot X+10.19$	0.9963**	49.3	0.88
Y. Mo.	$Y=2.97 \cdot X+13.07$	0.9754*	33.7	1.00
T. Na.	$Y=2.63 \cdot X+11.27$	0.9929**	38.0	0.90
K. N.	$Y=3.86 \cdot X+12.09$	0.9839*	25.9	0.97
Mean			37.0	0.95
S. D.			7.79	0.07

\* Significant at 0.05 level

X.....External work rate(kcal/min)

\*\*Significant at 0.01 level

Y.....Energy cost(kcal/min)

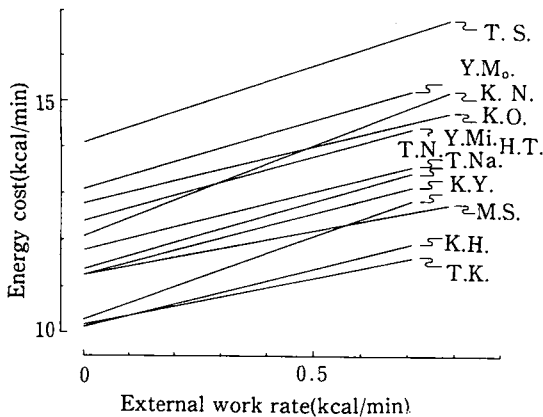


Figure 2. The relationship between external work rate and energy cost.

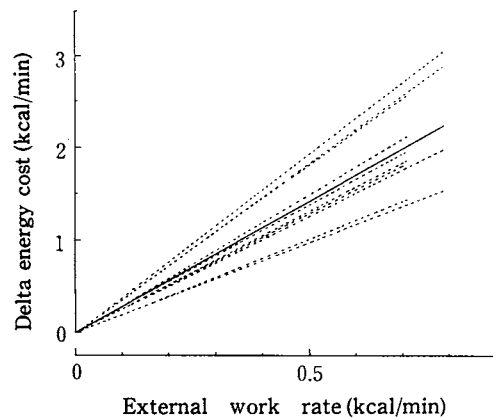


Figure 3. The relationship between external work rate and delta energy cost.

さらに、 $\dot{W}_{ext}$ の増加に伴う $\dot{E}$ の増加量 ( $\Delta \dot{E}$ , kcal/min)を調べるため、 $\dot{W}_{ext}$ と $\Delta \dot{E}$ の関係を図3に示した。図3において、平均の回帰式

$$Y=2.83 X \quad (r=0.9423)$$

を得た。回帰式の傾きの小さい直線から順に

App Eが大きいことを示唆している。

表2にApp E、 $\dot{V}O_2 \max$ と12分間走行距離の値を示した。 $\dot{V}O_2 \max$ は、平均52,76 ml/kg·min 12分間走行距離は、平均2,972 mであった。

図4に $\dot{V}O_2 \max$ を独立変数に、12分間走行

Table 2. The values of apparent efficiency,  $\dot{V}O_2\max$  and distance of 12-min. run.

Subject	Apparent efficiency (%)	$\dot{V}O_2\max$ (ml/kg · min)	Distance of 12-min.run (m)
K. Y.	27.6	45.15	2,779
Y. Mi.	36.2	48.70	2,810
K. H.	39.5	50.31	3,045
T. H.	34.4	50.56	2,692
K. O.	39.7	51.54	2,955
M. S.	51.3	51.94	3,088
T. S.	29.0	52.47	2,970
H. T.	39.0	53.53	3,095
T. K.	40.3	54.06	3,019
Y. Mo.	33.7	56.11	3,045
T. Na.	38.0	56.29	3,100
K. N.	25.9	62.50	3,063
Mean	37.0	52.76	2,972
S. D.	7.79	4.352	137.6

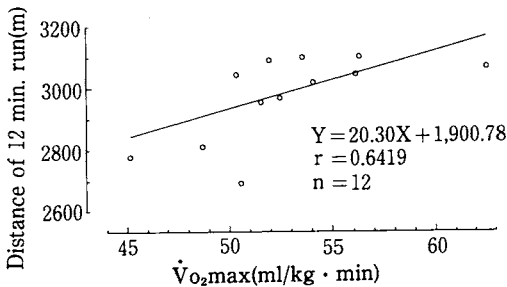


Figure 4. The relationship between  $\dot{V}O_2\max$  and distance of 12-min. run.

距離を従属変数とする関係を示した。 $\dot{V}O_2\max$  と 12 分間走行距離の間における直線回帰式は、

$$Y = 20.30 X + 1,900.78 \quad (r = 0.6419)$$

であった。回帰係数及び相関係数は、統計的に有意であった。(P<0.05) すなわち、 $\dot{V}O_2\max$  と 12 分間走行距離の間には、 $\dot{V}O_2\max$  の増加に伴って 12 分間走行距離も有意に増加する関係があった。

$\dot{V}O_2\max$  及び App E の二変量を独立変数、12 分間走行距離を従属変数として、重回帰方程式を求めると、

$$Y = 21,60 X_1 + 7.44 X_2 + 1,557.04$$

$$(r = 0.7667)$$

$$X_1 : \dot{V}O_2\max \text{ (ml/kg · min)}$$

$$X_2 : \text{App E (\%)}$$

$$Y : \text{12 分間走行距離 (m)}$$

を得た。12 分間走行距離に対する  $\dot{V}O_2\max$  及び App E との間に、有意に高い相関があった。

(P<0.05)

そこで、重回帰方程式に基づき、図 5 に、 $\dot{V}O_2$  と 12 分間走行距離の関係を App E を加味して示した。白丸は実測された 12 分間走行距離、黒丸は重回帰方程式から見積もられた 12 分間走行距離である。すなわち、同一  $\dot{V}O_2\max$  で、App E が高ければ、12 分間走行距離が長かった。

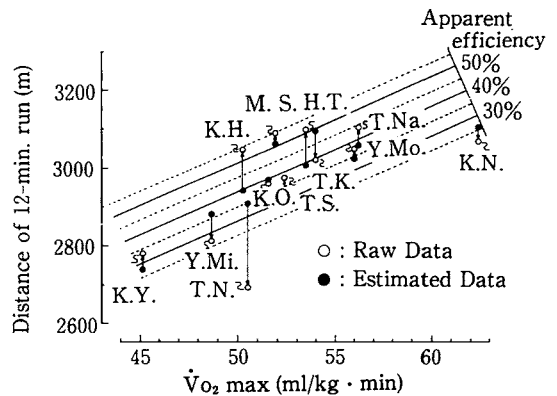


Figure 5. The relationship among  $\dot{V}O_2\max$ , apparent efficiency and distance of 12-min. run.

## ○ 考 察

本研究所では、トレッドミル水平負荷法により走の機械的効率 (App E) を算出した。そこで、まず、先の研究との結果を比較してみると、Lloyd と Zacks (1972)<sup>16)</sup>は、29.6—45.1%、Zacks(1973)<sup>20)</sup>は、31.0—58.3%、Asmussen と B-Petersen (1974)<sup>2)</sup>は、37.8—53.8%のApp E を報告している。本研究で得たApp Eは、25.9—51.3%でやや効率の低い被検者もみうけられたが、先の研究で報告されたトレッドミル水平負荷法によるApp Eと良く似ていた。低いApp Eを示した被検者が出現した原因には、日頃走運動を行っていないことと、トレッドミルに不慣れであったことが考えられる。一方、51.3%と高いApp Eを示した被検者は、陸上部員の短距離選手であり、日常走運動を行っていた。

また、本研究で得られたトレッドミル水平走のGross  $\dot{E}$ は、0.85—1.03 kcal/kg·kmであったが、Asmussen と B-Petersen(1974)<sup>2)</sup>は、0.77—1.22 kcal/kg·kmのGross  $\dot{E}$ を報告している。Margariaら (1963)<sup>18)</sup>は、トレッドミル水平走のNet  $\dot{E}$  (単位体重・単位距離当りの真のエネルギー消費量) はスピードと無関係で一定であり、1 kcal/kg·kmと報告している。Lloyd と Zacks (1972)<sup>16)</sup>、Zacks (1973)<sup>20)</sup>は、0.71—0.95 kcal/kg·kmのNet  $\dot{E}$ を報告している。本研究では、Gross  $\dot{E}$ を求めたので、一概に比較するわけにはいかないが、安静時のエネルギー消費量が1 kcal/kg·hのMargariaら (1963)<sup>18)</sup>の報告を利用し、本研究におけるNet  $\dot{E}$ を算出すると、0.76—0.94 kcal/kgであり、先の研究のNet  $\dot{E}$ とよく似ていた。すなわち、本研究で得たApp Eは、走の機械的効率として妥当であると思われる。

本研究では、 $\dot{V}O_2\max$  と 12 分間走行距離の間に、 $Y=20.30 X+1,900.78$  ( $r=0.6419$ ) の直線回帰方程式が得られ、有意に高い相関があった。 ( $P<0.05$ )

しかし、本研究で得られた回帰係数は、Cooper (1968)<sup>5)</sup>、浅見 (1974)<sup>1)</sup>の報告した回帰係数

より低く、Cooper (1972)<sup>5)</sup>の "Aerobics" で示す体力区分によれば、本研究の被検者は、Good (2400—2799 m) 及びExcellent (2800 m以上) の区分に属した。

さらに、同程度の $\dot{V}O_2\max$ を有する被検者が同程度の12分間走行距離を走るとは限らなかった。これを、走の機械的効率の違いによるためと考え、本研究では、App Eを算出して、重相関からこの関係を探ろうとした。

被検者K. H. と T. N. は、約 50 ml/kg·min の $\dot{V}O_2\max$ を有するが、12分間走行距離はそれぞれ、3,045 m, 2,692 mであった。一方、App Eは、39.4%、34.4%であり、同程度の $\dot{V}O_2\max$ を有する被検者であったが、効率の高い被検者がより走行距離が長かった。同様に、被検者K. O. 及び T. S. と M. S. は、約 52 ml/kg·min の $\dot{V}O_2\max$ であったが、12分間走行距離は、K. O. 及び T. S. は約 2,960 mで、M. S. は 3,088 mであった。App Eは K. O., T. S. がそれぞれ、39.7%、29.0%で、M. S. は 51.3%と高かった。また被検者Y. M., T. N. は、 $\dot{V}O_2\max$ が約 56 ml/kg·minで、App Eが、それぞれ、33.7%、38.0%と T. N. が高いので、12分間走行距離はそれぞれ 3,045 m, 3,100 mであった。つまり $\dot{V}O_2\max$ , App E, 12分間走行距離の間に高い相関 (重相関係数;  $r=0.7667$ ) があったが、 $\dot{V}O_2\max$  と App E, App E と 12分間走行距離の間にはそれぞれ、 $r=-0.10$ ,  $r=0.35$  で有意な相関が認められなかった。従って、 $\dot{V}O_2\max$  と 12分間走行距離の関係にApp Eを加味して、重相関がなりたっていると思われる。それゆえ、本研究において、 $Y=21.60 X_1+7.44 X_2+1,557.04$  の重回帰方程式が得られた。すなわち、Performanceである12分間走行距離を獲得するには、持久的身体資源の指標である $\dot{V}O_2\max$  及びスキルの指標としたApp Eは、重要な決定要因であることを示している。

さらに、本研究で得られた重回帰方程式から見積もられたPerformanceと実際に得られたPerformanceに多少の差がある。これは、Per-

formance を決定づける要因が他にあることを示唆している。

本研究では、12名の体育科男子学生を被検者としたが、もっと多くの被検者とりわけ、中長距離走者及び日頃身体活動を行っていない被検者を対象にして測定できればより信頼できる重相関が得られたと考えられる。

しかしながら、本研究では、Performance に及ぼす $\dot{V}O_2\max$  とスキルの影響を客観的にとらえることができた。今後、他のスキルや心理的要因について検討を加え、本研究を発展させることが望まれる。

## ○ 結 論

本研究では、12名の健康な男子大学生を対象に、 $\dot{V}O_2\max$ 、12分間走行距離及びApp Eを測定した。

Lloyd と Zacks (1972)<sup>16)</sup> のトレッドミル水平負荷法によって 25.9—51.3% の App E を得た。

$\dot{V}O_2\max$  と 12分間走行距離の間には、 $Y = 30X + 1,900.78$  の回帰直線が求められ、 $r = 0.64$  で有意な相関があった。(  $P < 0.05$  )

また、 $\dot{V}O_2\max$  12分間走行距離及びApp E の間に、 $Y = 21.60X_1 + 7.44X_2 + 1,557.04$  の重回帰方程式が求められ、 $r = 0.77$  で有意な相関があった。(  $P < 0.05$  )

しかし、 $\dot{V}O_2\max$  と App E の間には、 $r = -0.10$ 、App E と 12分間走行距離の間には、 $r = 0.35$  で、有意な相関が認められなかった。

従って、持久的身体資源の指標である $\dot{V}O_2\max$  及びスキルの指標としたApp E は、Performance である 12分間走行距離を獲得するための重要な決定要因の1つと考えられる。

しかし、重回帰方程式から見積もられた、Performance と実際に得られたPerformance に差があり、Performance を決定づける心理的要因など他の要因も考えられる。

## 参 考 文 献

- 1) 浅見俊雄：“Aerobics”を日本人に適用する場合の 2, 3 の問題点について 体育科学 2 : 101—108, 1974.
- 2) Asmussen, E. and F. Bonde-Petersen : Apparent efficiency and storage of elastic energy in human muscle during exercise. Acta physiol. scand. 92 : 537-545, 1974.
- 3) Åstrand, P.-O. and K. Rodal : Textbook of work physiology. McGraw-Hill Book Company, 1970.
- 4) Cooper, K.H. : A means of assessing maximal oxygen intake. JAMA. 203(3), 201—204, 1968.
- 5) Cooper, K.H. (広田公一・石川旦訳) : エアロビクス, 1版, ベースボール・マガジン社, 東京, 1972
- 6) Custer, S.J. and E.C. Chaloupka : Relationship between predicted maximal oxygen consumption and running performance of college females. Res. Quart. 48 : 47-50, 1977.
- 7) Doolittle, T.L., and R. Bigbee : The twelve-minute run-walk : A test of cardiorespiratory fitness of adolescent boys. Res. Quart. 39 : 491-495, 1968.
- 8) Frank, I.K. et al. : Relationship of maximal leg force and composition to treadmill and bicycle. Med. Sci. Sports 6 : 38—43, 1974.
- 9) Glassford, R.G. et al. : Comparison of maximal oxygen uptake values determined by predicted and actual methods. J. App. Physiol. 20 : 509, 1965.
- 10) Hermansen, L. and B. Saltin : Oxygen uptake during maximal treadmill and bicycle exercise. J. Appl. Physiol. 26 : 31, 1969.
- 11) Hill, A.V. and H. Lupton : Muscular exercise lactic acid, and the supply utilization of oxygen. Quart. J. Med. 16, 135—171, 1923.
- 12) 星川保, 豊島進太郎, 松井秀治 : 中年者における体育科学センター方式運動処方の実践と効果に関する研究, 体育科学 5 : 1—16, 1977.
- 13) 石井喜八, 宮下充正他 : 運動生理学概論, 大修館書店, 1975.
- 14) 石河利寛他 : 全身持久力向上のための強い強度—短時間運動および弱い強度—長時間運動プログラムの効果, 体育科学 4 : 13—19, 1976.
- 15) Kearney, J.T. and W.C. Byrnes : Relationship between running performance and predicted maximum oxygen uptake among divergent ability groups. Res. Quart. 45:9—15, 1974.
- 16) Lloyd, B.B. and R.M. Zacks : The mechanical efficiency of treadmill running against a horizontal impeding force. J. Physiol. 223 : 355-363, 1972.
- 17) Maksud, M.G. and K.D. Coutts : Application of the Cooper twelve-minute run-walk test to young males. Res. Quart. 42 : 54—59, 1971.
- 18) Margaria, R. et al. : Energy cost of running. J. Appl. Physiol. 18(2) : 367—370, 1963.

1) 浅見俊雄：“Aerobics”を日本人に適用する場合の

- 
- 19) Saltin, B. and P.-O. Astrand: Maximal oxygen uptake in athletes. *J. Appl. Physiol.* 23 : 353-358, 1967.
- 20) Zacks, R.M.: The mechanical efficiencies of running and bicycling a horizontal impeding force. *Int. Z. angew. Physiol.* 31 : 249-258, 1973.