

同一水準の有酸素的能力を有し，競技記録の有竟に異なる長距離選手の無酸素的能力

所属学科目

体 力 学

著 者 名

山崎 省一

論文指導教員

青木純一郎

合格年月日

昭和51年 3月 8日

論文審査委員

栗本 関夫

南谷 和利

中込 佐寛 章

目次	頁
第1章 緒言	1
第2章 関連文献の考証	5
第3章 実験方法	16
第1節 被験者の選定	16
第2節 測定項目と測定手順	17
(1) 最大酸素摂取量, 心拍数および最高血中乳酸濃度の測定	17
(2) 無酸素的代謝閾値の測定	18
(3) 走行効率の測定	20
(4) 無酸素的パワーの測定	20
(5) 最大酸素負債量の測定 ならびに非乳酸性および乳酸性酸素負債量の算出	23
第3節 実験期間とその間の気象条件	25
第4節 統計処理	25

第4章 実験結果	27
第1節 有酸素的能力	27
(1) トレッドミル走に伴う 呼吸循環機能	27
(2) 無酸素的代謝閾値	27
(3) 走行効率	27
第2節 無酸素的能力	28
(1) 無酸素のパワー	28
(2) 最大酸素負債量, 非乳 酸性および乳酸性酸素 負債量	29
(3) 血中乳酸濃度	32
第5章 考 察	33
第1節 有酸素的能力と持久的 種目の競技成績	33
第2節 無酸素的能力と持久的 種目の競技成績	36
(1) 無酸素のパワーと5,000 m走記録	36
(2) 最大酸素負債量, 非乳	

酸性および乳酸性酸素

負債量と5,000 m走記録

37

第3節 5,000 m 走記録と各項目

問の順位相関

40

第 6 章 結 論

42

第 7 章 要 約

43

引用文献

45

歐文要約

51

第1章 緒 言

人間の運動能力を体内の化学的反応から見ると、有酸素的運動能力と無酸素的運動能力とに分けられる。前者は大気から酸素を摂取しながら運動を行なう能力であり、その指標として最大酸素摂取量が用いられている。後者は酸素を全く必要としない運動能力であり、その指標として一般に最大酸素負債量が用いられている。

有酸素的および無酸素的過程によるエネルギー出力は、神経筋機能（筋力および技術）ならびに心理的要因（作戦およびモチベーション）とともに競技成績を決定する重要な要素であると考えられている³⁸⁾。とりわけ、長距離走のような持久的運動種目の競技成績は、最大酸素摂取量に代表される有酸素的エネルギー出力と密接な関係がある^{7) 11) 12) 20) 21) 22) 25) 27) 34) 36) 38)}。

持久的競技選手の体重1 kg当りの最大酸素摂取量は、他の競技種目の選手よりも高い^{7) 11) 21) 25) 38)}。しかし、Robinson 5 (1937³⁶⁾) による最大酸素

摂取量の報告以来、持久的競技種目の記録が飛躍的に向上しているにもかかわらず、一流選手の体重1 kg当りの最大酸素摂取量は、まだに80 $\frac{\text{ml}}{\text{分}}$ をわずかに越える程度である。したがって、最大酸素摂取量がこの値に近づくにつれて同一水準の最大酸素摂取量を有する選手間の競技成績の差が大きくなる²³⁸⁾と来る。

三浦ら²³⁹⁾ (1972) は同量の最大酸素摂取量を有しながら、5,000 m 走記録が14分台の者、16分台の者および長距離走のトレーニングをしており者各3名ずつを対象に、走技術(フォーム)のちがいを検討した。その結果、キック中の下肢関節の伸展時の角速度がすぐれた記録を持つ者ほど大きいことを実証し、競技記録に及ぼすスキルの重要性を強調している。

また、Costill ら²⁴⁰⁾ (1971) は、マラソンの世界記録保持者 Clayton および6名のマラソンランナーに、各人のマラソンの最高記録より求めた平均スピード ($\frac{\text{m}}{\text{分}}$) でトレッドミルを10 km 走らせた。その結果、Clayton の走行中の酸

素摂取水準は最大酸素摂取量の86%に達した。た
が、6名のマラソンランナーは平均約75%で
あった。このことから、彼等はClaytonがそれ
ほど高い最大酸素摂取量ではなにもかかわ
らぬ好記録を生んでいる原因が、走行中の酸
素摂取水準の高いことに依存していると考え
た。

一方、Wyndhamら⁽¹⁹⁶⁹⁾および帖佐ら⁽¹⁹⁷¹⁾は、ある一定の長い距離をより速く走
るためには最大酸素摂取量が大きいだけでなく、無酸素的能力も重要な役割を演じるで
あろうことを示唆している。確かに、無酸素
的能力は、特に競技成績を大きく左右するラ
ストスパートおよび試合途中のかけひきとし
このスパートにおいて非常に重要であると考え
られる。しかし、持久的競技選手の無酸素
的能力は、前述のWyndham⁽¹⁹⁶⁹⁾および帖
佐ら⁽¹⁹⁷¹⁾を除けばあまりとりあげられて
いない。

そこで、持久的種目の競技能力におよぼす

無酸素的能力の意義を探ることを目的に、同一水準の最大酸素摂取量を有しながら、競技成績の有意に異なる選手を対象に、最大酸素負荷量、非乳酸性酸素負荷量、乳酸性酸素負荷量、血中乳酸濃度および無酸素的パワーを測定し、それらの競技成績との関連を検討した。

第 2 章 関連文献の考証

第 1 節 有酸素的能力

(1) 最大酸素摂取量

長距離走のような持久的運動種目の競技成績は、有酸素的過程からのエネルギー出力すなわち、最大酸素摂取量と密接な関係があると考えられる。^{2) 36) 38)} ちなみに、世界の一流中長距離選手を被験者として測定された最大酸素摂取量は、^{6) 11)} 2, 3 の例外を除いていづれも大きな値が報告されている。^{7) 38)}

たとえば、メキシコおよびミュンヘンオリンピックのマラソンで入賞した君原の最大酸素摂取量は 4.82 l/分 ($84.0 \text{ ml/kg} \cdot \text{分}$)²⁰⁾、メキシコおよびミュンヘンオリンピックのマラソンに出場した宇差美は 4.95 l/分 ($83.0 \text{ ml/kg} \cdot \text{分}$)²⁰⁾、5,000 m 走の日本記録保持者の沢本は 4.81 l/分 ($77.0 \text{ ml/kg} \cdot \text{分}$)²⁵⁾ および 3,000 m 障害走の日本記録保持者の小山は 5.40 l/分 ($83.0 \text{ ml/kg} \cdot \text{分}$)⁷⁾ である。

また、1 マイル 走で世界で初めて 4 分の壁

を破った Banister は $5.16 \frac{\text{l}}{\text{分}}$ ($75.9 \frac{\text{ml}}{\text{kg} \cdot \text{分}}$)¹³⁾,
 1951 年に 1500 m 走の世界記録を出した Landy は
 $5.04 \frac{\text{l}}{\text{分}}$ ($76.6 \frac{\text{ml}}{\text{kg} \cdot \text{分}}$)⁵⁾, 1936 年に 2 マイル
 走で世界記録を出した Lash は $5.35 \frac{\text{l}}{\text{分}}$ ($81.5 \frac{\text{ml}}{\text{kg} \cdot \text{分}}$)³⁶⁾, 東京オリンピックの 800 m と 1500
 m 走に優勝した Snell は $5.50 \frac{\text{l}}{\text{分}}$ ($72.3 \frac{\text{ml}}{\text{kg} \cdot \text{分}}$)⁶⁾,
 シュンヘンオリンピックの 3000 m 障害走で優
 勝した Keino は $4.92 \frac{\text{l}}{\text{分}}$ ($82.0 \frac{\text{ml}}{\text{kg} \cdot \text{分}}$)³⁸⁾ およ
 ビマラソンの世界記録保持者である Clayton は
 $5.09 \frac{\text{l}}{\text{分}}$ ($69.7 \frac{\text{ml}}{\text{kg} \cdot \text{分}}$)¹¹⁾ である。

さらに, Saltin ら (1964)³⁸⁾ は, スウェーデ
 ンの各種目のナショナルチームに所属する選
 手の最大酸素摂取量を測定し, その結果を報
 告している。それによると, 持久性を必要と
 するクロスカントリースキー選手が $82.0 \frac{\text{ml}}{\text{kg} \cdot \text{分}}$,
 スピードスケート選手が $78.0 \frac{\text{ml}}{\text{kg} \cdot \text{分}}$, オリエ
 ンテーリング選手が $77.0 \frac{\text{ml}}{\text{kg} \cdot \text{分}}$, 中距離選手
 が $75.0 \frac{\text{ml}}{\text{kg} \cdot \text{分}}$ であるのに対し, スピード, 筋
 力および敏捷性を主として必要とする種目
 では, 体操選手が $60.0 \frac{\text{ml}}{\text{kg} \cdot \text{分}}$, 卓球選手が 59.0

$\text{ml}/\text{kg}\cdot\text{分}$ およびウェイトリフティング選手が 56.0 $\text{ml}/\text{kg}\cdot\text{分}$ である。このように、持久的競技種目で成功を収めるためには、最大酸素摂取量の大きいことが絶対的な条件である。

(2) 走行中の酸素摂取水準

持久的運動種目の競技成績は、必ずしも最大酸素摂取量だけに規定されるものでないとの興味ある報告が Costill ら (1971)¹¹⁾ によてなされている。彼らは、最大酸素摂取量とマラソン記録がそれぞれ 69.7 $\text{ml}/\text{kg}\cdot\text{分}$ および 2 時間 08 分 33 秒 (世界最高記録) の Clayton と平均 71.5 $\text{ml}/\text{kg}\cdot\text{分}$ および 2 時間 27 分 32 秒の 6 名のマラソンランナーの走行中の最大酸素摂取量に対する酸素摂取水準の相違に注目した。その結果、最大酸素摂取量はわずかに低い¹²⁾が、記録が約 20 分も良い Clayton はマラソン走行中に酸素摂取水準が最大酸素摂取量の 86% (59.9 $\text{ml}/\text{kg}\cdot\text{分}$) に達したのに対して、6 名のマラソンランナーは平均 75% (53.6 $\text{ml}/\text{kg}\cdot\text{分}$) にすぎなかった。

黒田ら (1969)²⁶⁾ は、約 $70 \text{ ml/kg}\cdot\text{分}$ の最大酸素摂取量を有する選手2名の 5,000 m 走行中の酸素摂取水準がそれぞれ最大酸素摂取量の 91.3 % および 80.4 % であることを報告している。

さらに、4名の長距離選手を対象に黒田ら (1972)²⁷⁾ は、5,000 m 走行中の酸素摂取水準が最大酸素摂取量の 92 % であったことを報告した。その中で、5,000 m 走の日本記録保持者である沢木が最大酸素摂取量の 96.8 % ($67.3 \text{ ml/kg}\cdot\text{分}$) であるのに対して、他の3名の平均は 90.7 % ($60.0 \text{ ml/kg}\cdot\text{分}$) であり、走行中の酸素摂取水準および酸素摂取量では沢木のそれが特に大きかったことが指摘されている。

したが、 Σ 、実際の走行中にいかに多くのエネルギーを消費することができるとも、持久的種目において重要なポイントになると考えられる。

(3) 無酸素的代謝閾値

血液中に過剰の乳酸が出現することなしに維持できる有酸素的運動の最高水準すなわち

持久的運動において、無酸素的過程からのエネルギーを利用しなければならぬ運動強度が無酸素的代謝閾値と呼ばれている。^{14) 40) 41)}

Williamsら (1967)⁴²⁾ は、無酸素的代謝閾値がトレーニングをしていない者では最大酸素摂取量の40-45%、トレーニングをしている者では55-60%、高度にトレーニングをしている者では70%であることを、およそトレーニングをしていない者を対象にトレーニングをさせたところ46%から62%に改善されたことを示した。Saikiら (1967)³⁷⁾ は、競技者の無酸素的代謝閾値が最大酸素摂取量の70%であることを報告している。

無酸素的代謝閾値が高いことは、無酸素的過程からのエネルギーを利用することなしに高い酸素摂取水準での走行が可能になることを意味する。

第2節 無酸素的能力

本来、長距離選手である Keino は、800 m 走を1分46秒4、1,500 m 走を3分34秒9で走る

ことができる。いずれの記録も現在の日本記録(1分47秒4および3分42秒7)よりもすぐれている。また、メキシコオリンピックの5,000 m 走において優勝した Gamoudi (チュニジア) は、最後の1周を54秒7という速いスピードで走破している。このような事実は、持久的種目における短距離的スピードすなわち無酸素的能力の重要性を極めて強く印象づけるものである。

(1) 無酸素的パワー

Margarita ら (1966³²⁾) は、2 m の助走をついて1段の高さが17.5 cm の階段を2段おっ(35 cm) 全力でかけ上がらせ、4段目から8段目までの所要時間を計測することによ、て無酸素的パワーを測定した。この運動は短時間(4~5秒)に行なわれる。この短時間の運動は、アデノシン三リン酸(ATP)やクレアチンリン酸(CP)などの高エネルギーリン酸の分解によるエネルギーに依存し、発揮されたパワーはエネルギー出力の指標と考えられている。

Margarita ら (1966)³²⁾ によれば, 200 m 走 ;
 20 秒 2 の記録を持ちオリンピックに出場した
 スプリンターが $2.80 \text{ kg}\cdot\text{m}/\text{sec}$ ($94.6 \text{ kcal}/\text{kg}\cdot\text{hr}$),
 3,000 m 走を 8 分 02 秒で走ることができるラン
 ナーが $2.06 \text{ kg}\cdot\text{m}/\text{sec}$ ($69.6 \text{ kcal}/\text{kg}\cdot\text{hr}$), および 20
 -30 才の一般人の平均値が $1.60 \text{ kg}\cdot\text{m}/\text{sec}$ (54.1
 $\text{kcal}/\text{kg}\cdot\text{hr}$) である。また, 青木ら (1971)³¹⁾ は,
 運動種目別に選手の無酸素的パワーを測定し,
 陸上競技の短距離選手 49 名の平均値が $50.2 \text{ kcal}/\text{kg}\cdot\text{hr}$
 , 長距離選手 33 名の平均値が $46.0 \text{ kcal}/\text{kg}\cdot\text{hr}$
 であることを報告している。さらに, 北嶋ら
 (1975)²⁴⁾ は, 短距離選手 6 名の平均値が 64.2
 $\text{kcal}/\text{kg}\cdot\text{hr}$ であることを報告している。

(2) 最大酸素負債量, 非乳酸酸性および乳酸
 性酸素負債量

酸素負債量は, 非乳酸酸性酸素負債量と乳酸
 性酸素負債量に大別される²⁸⁾。Margarita (1968)³³⁾
 の計算によると, 一般男子の非乳酸酸性酸素負
 債量のエネルギー容量とそのパワーは, 体重
 1 kg 当りそれぞれ 100 cal および $13 \text{ cal}/\text{sec}$ であ

る。

乳酸性酸素負債量は、運動中に発生した乳酸の酸化除去のために消費された酸素量であり、無酸素的解糖によ、て発生したエネルギー量の指標とな、ている。筋肉中に蓄えられたグリコーゲンは、無酸素下でピルビン酸に分解し、さらに乳酸脱水素酵素 (LDH) の触媒によ、て乳酸に分解する。この段階で、筋収縮のための直接のエネルギーである ATP が再合成される。この過程すなわち乳酸性機構のエネルギー容量とパワーは、それぞれ 230 cal/kg および $7 \text{ cal/kg} \cdot \text{sec}$ ³³⁾ である。すなわち、非乳酸性機構のエネルギー容量は乳酸性機構のそれよりも少ないが、そのパワーは約 2 倍である。

酸素負債量はこれまでにいろいろな研究者によ、て測定されてい、る。たとえば、Margaria ²⁸⁾ は競技者を対象に、酸素負債量、非乳酸性および乳酸性酸素負債量がそれぞれ 7.5 l (123 ml/kg)、 2.5 l (41 ml/kg) および 5.0

l (82 ml/kg) であり, さらに, 大学生を対象
 に Margaria ら (1963)³⁰⁾ はそれぞれ 5.1 l (75 ml/kg),
 1.7 l (25 ml/kg) および 3.4 l (50 ml/kg)
 であつたことを報告している。Katch ら (1973)²³⁾
 は, 大学生を対象にそれぞれ 7.27 l (106 ml/kg),
 1.44 l (21 ml/kg) および 5.83 l (85 ml/kg)
 であり, 青木 ら (1974)²⁾ は, 陸上競技
 の短距離選手と非鍛練者を対象に, 短距離選
 手の場合それぞれ 7.429 l (111.1 ml/kg), 1.929
 l (28.7 ml/kg) および 5.500 l (74.8 ml/kg) な
 らびに非鍛練者の場合それぞれ 5.802 l (89.7
 ml/kg), 1.785 l (27.4 ml/kg) および 4.06 l (63.9 ml/kg)
 であると報告している。

以上のように, 無酸素的パワーは, 短時間
 で終了する種目すなわち跳躍および短距離種
 目の選手の方が長距離種目の選手よりも大き
 い。¹⁾³⁾³²⁾しかし, 長距離種目で成功するための資
 質の大部分が有酸素的能力に依存すると考え
 られているために, 長距離選手の酸素負債量
 の報告はなく, また競技成績と無酸素的パワ

一あるいは酸素負債量との関係に関する研究は全くみられな^い。

第3節 持久的競技種目と無酸素的能力

競技成績を決定する要素として、(1)有酸素的および無酸素的過程によるエネルギー出力、(2)筋力および技術などの神経筋機能、ならびに(3)作戦およびモチベーションの心理的要因が考えられている³⁸⁾。これに、コンディショニングを加える研究者もいる³⁹⁾。

とりわけ、長距離走のような持久的運動種目の競技成績は、有酸素的エネルギー出力の中の最大酸素摂取量と密接な関係がある⁷⁾²⁰⁾²²⁾³⁴⁾³⁶⁾³⁸⁾。しかし最大酸素摂取量には、体重1kg当り毎分80数mlあたりに上限があ^る。で、その上限に近づくにつれて同一水準の最大酸素摂取量を有する選手間の競技成績の差が大きくな^る。て来^る⁷⁾³⁸⁾。

三浦ら³⁵⁾(1972)は、競技成績のこの差を、ランニングフォームの良し悪しに求めようとした。しかし、技術を生理学的に定量すること

は非常に困難である。また, Costill ら (1971)¹¹⁾ は, マラソンの世界記録保持者 Clayton の最大酸素摂取量 ($69.7 \text{ ml/kg}\cdot\text{分}$) があまり高くないにもかかわらず, 好記録を生んでいる原因は, 最大酸素摂取量に対する走行中の酸素摂取量の占める割合が高いことに依るとしている。

一方, Wyndham ら (1969)¹²⁾ および 帖佐ら (1971)¹³⁾ は, ある一定の長距離をより速く走るためには, 最大酸素摂取量が大きいだけでなく, 無酸素的能力も重要な役割を演じるであろうことを示唆している。しかし, 同一水準の最大酸素摂取量を有しながら競技記録が有意に異なる長距離選手の無酸素的能力を体系的に研究した例は全く見あたらない。

第3章 実験方法

第1節 被験者の選定

同一水準の有酸素的能力（最大酸素摂取量）を有しながら5,000 m走記録が有意に異なる長距離選手を選定するために，順天堂大学陸上競技部に所属し長距離種目を専門とする選手26名の最大酸素摂取量を測定し，最大酸素摂取量と実験期（1975年度）の5,000 m走最高記録との関係を求めた（図1）。

図1から約70 $\text{ml}/\text{kg}\cdot\text{分}$ の最大酸素摂取量を有する者12名を選び，5,000 m走記録が14分36秒0から15分08秒2（平均14分51秒0）までの6名をAグループ，15分34秒0から16分10秒0（平均15分53秒0）までの6名をBグループとした。その結果，両グループの5,000 m走記録の平均値の差は統計的に有意であった（ $p<0.01$ ）。

被験者の身体特性，最大酸素摂取量および5,000 m走記録を表1に示した。グループ間の平均値の差は，5,000 m走記録だけが1%水準

で有意であり、年齢、身長、体重および最大酸素摂取量におけるグループ間の平均値の差は統計的に有意ではなかった。

第2節 測定項目と測定手順

(1) 最大酸素摂取量、心拍数および最高血中乳酸濃度の測定

最大酸素摂取量を測定するための運動負荷は、速度漸増によるトレッドミル（8.6%より勾配）走によった。すなわち、スタートから3分30秒までは速度を240 m/分とし、それ以後、疲労困憊に至るまで3分毎に20 m/分ずつ走行速度を増した。

走行開始2分30秒から3分30秒までの1分間および5分30秒以後、疲労困憊に至るまでは30秒毎に連続して呼気をダグラスバッグに採集した。採集した呼気は、直ちに1回転10 lの湿式実験用ガスメーター（品川製作所製）により計量し、その1部を前もってショランダー微量ガス分析器（Model 3M189, Dayton electric MFG社製）で校正したO₂分析計（OM-

11, Beckmann 社製) および医用 CO₂ 分析計 (LB-1, Beckmann 社製) によ、て分析した。

最大酸素摂取量の criteria としては、④酸素摂取量の levelling off があること¹⁷⁾、⑤走行後の血中乳酸濃度が 70 mg/dl 以上であること⁴⁾、および⑥心拍数が 180 拍/分以上であることを用いた。そのため疲労困憊後 5 分に肘静脈より 5 ml の血液を採取し、後述の方法により最高血中乳酸濃度を測定した。また、胸部双極導出による心電図を安静時および走行中連続記録し、1 分間おつ R 棘を数えることによ、て心拍数を求めた。

(2) 無酸素的代謝閾の測定

Williams 5 (1967)⁴⁾ にしたが、て無酸素的代謝閾を測定するために、2~4 種類の最大下速度でそれぞれ 15 分間おつ、8.6% の上り勾配のトレッドミルを走行させた。

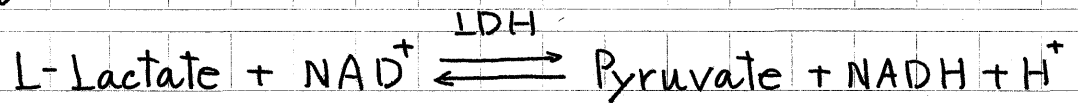
各走行に際して、それぞれ運動前の安静 5 分間と走行中 13 分目および 14 分目からそれぞれ 1 分間の呼気をガグラスバッグに採集した。

以後、第2節の(1)と同じ手順に従って、酸素摂取量を算出した。

血中乳酸濃度を測定するため、安静時および各走行終了1分後に肘静脈よりそれぞれ5 mlの血液を採取した。採取した血液を直ちに3,000 rpmで10分間遠心分離し、血清0.5 mlに0.5 Nの過塩素酸溶液1 mlを加えて除蛋白を行なった。この上澄液0.2 mlにセドウジン・グリシン緩衝液を2 ml, NAD溶液0.2 mlおよびLDH溶液0.02 mlを加えて混和した。それを25℃にセットした循環式電子冷熱装置(TE-12, TEW-12, Sharp K.K.製)で1時間加温した。加温後、それを光路1 cmのガラス製キューベットに移し、別に除蛋白時に調製した盲検液とともに分光光度計(101, 日立製作所製)を用いて、波長340 $m\mu$ (W_1 フィルター使用)でそれぞれの吸光度を求めた。

血中乳酸濃度(mg/dl)は被検液と盲検液の吸光度の差(ΔE)に、定数49.9を乗じて求めた。

なお、本測定法は下記の反応にもとづいて
いる。



組織の乳酸生成は左への反応，すなわち
乳酸脱水素酵素（LDH）によるピルビン酸の
還元反応によ，て生じる。この反応の逆すな
わち右への反応を利用して，生じたNADHの量
を波長340 mμに調節した分光光度計で測定し，
乳酸量を求める方法が乳酸の酵素的測定法で
ある。

このようにして求めた血中乳酸濃度と最大
酸素摂取量に対する走行中の酸素摂取量の割
合とをグラフ上に目盛り，各被験者の無酸素
的代謝閾値を求めた。

(3) 走行効率の測定

第2節の(1)と(2)から，走行速度に対する酸
素摂取量およびその最大酸素摂取量に対する
割合を求め，それを走行効率の指標とした。

(4) 無酸素的パワーの測定

無酸素的パワーは，Margaria³²⁾ら（1966）によ

り開発された“階段かけ上がりテスト”を用いて測定した。用いた階段は、全体の奥行が5 m、1段の高さが0.16 mで踏板の奥行0.33 mの15段からなる木製のもので、6段目と12段目にそれぞれ1対の光源と光電素子 (photoelectric cell) を配置し、 $\frac{1}{1000}$ 秒の感度の電子ストップウォッチ (小松測器株式会社製) に接続した。

なお、あらかじめ6名の被験者に2 mから14 mまでの助走をつけさせて階段を3段ずつかけ上がらせたところ、無酸素的パワーが最も大きい値を示したのは、8 m助走の時であり (図2)、その時の運動時間は約3秒であった。また、10 mおよび14 m助走でのテスト直後に肘静脈より採血し、血中乳酸濃度を求めた (表2)。それぞれの血中乳酸濃度は、運動前の値と有意な差が見られなかった。血中乳酸濃度の増加がなかったということは、この時間までの運動は乳酸性機構からのエネルギーを利用しないで、非乳酸性機構すなわ

ち筋中に存在している ATP と CP の分解によるエネルギーに依存するものであると判断した。

そこで、本実験では 8 m の助走をついて階段を 3 段ずつ全力でかけ上がらせた。試行回数は 3 回とし、その中で最も大きい値を無酸素的パワーとした。

無酸素的パワー ($\text{kcal/kg}\cdot\text{hr}$) は以下によって求めた。

6 段目から 12 段目までの垂直高 (H_m) に被験者の体重 (W_{kg}) を乗じて機械的仕事量 ($\text{kg}\cdot\text{m}$) を求め、それを 6 段目から 12 段目までに要した時間 (T_{sec}) で除した。なお、エネルギーあるいは馬力への変換を容易にするために、それをさらに体重で除して、体重 1 kg 当りの機械的パワー ($\text{kg}\cdot\text{m/kg}\cdot\text{sec}$) とした。さらに、この機械的パワーを 1 時間あたりのエネルギー消費量 ($\text{kcal/kg}\cdot\text{hr}$) に換算した。

1 $\text{kg}\cdot\text{m}$ は $\frac{1}{426.4}$ kcal に相当するので、効率を 0.25 と仮定し、無酸素的パワー ($P, \text{kcal/}$

kg·hr) を次式によ、て求めた。

$$p = \frac{W \times H}{T \times W} \times \frac{1}{426.4} \times 60 \times 60 \times \frac{100}{25}$$

(5) 最大酸素負債量の測定ならびに非乳酸性および乳酸性酸素負債量の算出

第3章第2節の(1)と(2)の結果から“走行速度と酸素摂取水準との関係図”を個人別に作成し、最大酸素摂取量の85%に相当する走行速度を求めて14分間走行させ、心きづき最大酸素摂取量の120%に相当する速度で1分間走行させた。しかし、14分間の実際の負荷は、Aグループで最大酸素摂取量の平均91.7(89.9 - 96.5)%, Bグループで平均91.1(86.9 - 97.7)%とな、てしま、たためか、被験者T.S., F.T., Y.S.およびT.K.の4名は最後の1分間を完走できずに疲労困憊に至、てしま、た。

最大酸素負債量、非乳酸性および乳酸性酸素負債量の算出は、HenryとDe Moor⁽¹⁸⁾(1950)の計算式

$$Y = a_1 e^{-k_1 t} + a_2 e^{-k_2 t}$$

に従った。すなわち、縦軸（対数尺）に正味の酸素摂取量、横軸に時間経過をとり、 $a_2 e^{-k_2 t}$ に相当する直線式を最小自乗法で求めた。但し、 a_2 は走行終了時の乳酸性の酸素摂取量、 k_2 は乳酸性の速度定数および t は走行終了後の時間である。この直線式と x 軸および Y 軸とに囲まれる面積（ $\int_0^{\infty} a_2 e^{-k_2 t} dt = a_2 / k_2$ ）が乳酸性酸素負債量である。

次に、上で求めた直線と正味の酸素摂取量との差を縦軸（対数尺）に、時間経過を横軸にとり、 $a_1 e^{-k_1 t}$ に相当する直線式を最小自乗法で求めた。但し、 a_1 は走行終了時の非乳酸性の酸素摂取量、 k_1 は非乳酸性の速度定数および t は走行終了後の時間である。この直線式と x 軸および Y 軸とによつて囲まれる面積（ $\int_0^{\infty} a_1 e^{-k_1 t} dt = a_1 / k_1$ ）が非乳酸性酸素負債量である。

最大酸素負債量は非乳酸性酸素負債量と乳酸性酸素負債量の和として求めた。

第3節 実験期間とその間の気象条件

長距離選手26名の最大酸素摂取量の測定は、昭和50年9月13日から昭和50年10月2日までに行なつた。その間の室温は $28.5 \pm 3.16^{\circ}\text{C}$ ，相対湿度は $72.8 \pm 9.93\%$ および気圧は $758.9 \pm 1.73\text{ mm Hg}$ であつた。

被験者12名の無酸素的代謝閾値，無酸素的パワーおよび最大酸素負債量の測定は、昭和50年10月14日から昭和50年12月13日までに行なつた。その間の室温は $19.5 \pm 2.56^{\circ}\text{C}$ ，相対湿度は $60.3 \pm 11.64\%$ および気圧は $767.5 \pm 3.80\text{ mm Hg}$ であつた。

測定順序は、原則として、各被験者とも無酸素的パワー，無酸素的代謝閾値および最大酸素負債量の順に行なつた。なお，無酸素的代謝閾値を測定する際には，1日に2種類の最大下トレッドミル走行を行なわせたので，走行と走行の間に最低15分以上の休息をとつた。

第4節 統計処理

グループ間の平均値を比較するために, Student の t-テストを用いた。

第4章 実験結果

第1節 有酸素的能力

(1)トレッドミル走に伴う呼吸循環機能
各被験者の最大酸素摂取量出現時の呼吸循環機能および最大トレッドミル走時間を表3に示した。グループ間で統計的に有意な差が得られたのは、最大トレッドミル走時間($P < 0.01$)だけであった。呼吸循環機能に関する諸パラメーターの差はいずれも有意ではなく、両グループとも同一の有酸素的能力を有しているものと考えられた(表3)。

(2)無酸素的代謝閾値

無酸素的代謝閾値の平均値は、Aグループが最大酸素摂取量の71.5(66.7 - 79.8), Bグループが68.2(60.2 - 75.6)%であった(表4)。しかし、両グループのその差は統計的に有意ではなかった。

(3)走行効率

第3章実験方法第1節の(1)と(2)から、両グループの一定速度に対する酸素摂取量および

酸素摂取水準を求め、それぞれ図3および図4に示した。

走行速度 (x m/分) と酸素摂取量 (y ml/kg.分) との間には、Aグループで $y = 0.26x - 1.94$ ($r = 0.960$)、Bグループで $y = 0.25x - 0.845$ ($r = 0.979$) の関係があった。また、走行速度 (x m/分) と酸素摂取水準 (y % of $\dot{V}O_{2max}$) との関係は、Aグループで $y = 0.38x - 5.24$ ($r = 0.962$)、Bグループで $y = 0.39x - 4.71$ ($r = 0.980$) であった。いずれにおいても、Bグループに比べてAグループの回帰直線の方が同一速度に対する酸素摂取量および酸素摂取水準が一貫して低い傾向にあった。

第2節 無酸素的能力

(1) 無酸素的パワー

無酸素的パワーの平均値は、Aグループが 69.3 ($63.90 - 75.8$) $\frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot \text{hr}}$ 、Bグループが 71.3 ($63.0 - 75.8$) $\frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot \text{hr}}$ であった (表5)。両グループのその差は統計的に有意ではなかった。

なお、5,000 m 走記録と無酸素的パワーとの間にも有意な相関が見られなかった。

(2) 最大酸素負債量ならびに非乳酸性および乳酸性酸素負債量

各被験者の最大酸素負債量(ℓ, ml/kg)ならびに非乳酸性および乳酸性酸素負債量(ℓ, ml/kg)を表6に示した。

最大酸素負債量の絶対値は、Aグループが8.45 (7.73 - 9.76) ℓおよびBグループが6.79 (5.15 - 8.63) ℓで、両グループ間の差は5%水準で統計的に有意であった。しかし、体重1 kg当りの値(ml/kg)では、Aグループが141 (121.3 - 156.4) ml/kg およびBグループが119 (91.0 - 159.7) ml/kg であって、両グループ間の差は統計的に有意ではなかった。

なお、5,000 m 走記録と最大酸素負債量の絶対値(ℓ)との関係を図5に示した。5,000 m 走記録と最大酸素負債量の絶対値との相関は1%水準で統計的に有意であり、また、体重1 kg当りの最大酸素負債との相関(図6)も

5%水準で統計的に有意であった。

非乳酸性酸素負債量の絶対値と体重1kg当りの値は、Aグループが2.41 (2.07 - 2.61) におよび40.5 (37.3 - 43.6) ml/kg , Bグループが2.18 (1.72 - 2.67) におよび38.3 (28.9 - 51.0) ml/kg であり、Aグループの方が大きい値を示した。しかし、その差は統計的に有意ではなかった。しかし、5,000 m走記録と非乳酸性酸素負債量の絶対値との相関は、5%水準で統計的に有意であった(図7)。

乳酸性酸素負債量の絶対値および体重1kg当りの値は、Aグループが6.03 (4.70 - 6.89) におよび102.6 (79.3 - 116.0) ml/kg , Bグループが4.70 (3.28 - 6.39) におよび82.3 (54.0 - 110.7) ml/kg であり、Aグループの方が大きい値を示したが、その差は統計的には有意ではなかった。しかし、5,000 m走記録と乳酸性酸素負債量の絶対値および体重1kg当りの値との相関は、いずれも5%水準で統計的に有意であった(図8, 9)。

最大酸素負債量に対する乳酸性酸素負債量の比は、Aグループが平均0.711 (0.653 - 0.747), Bグループが0.687 (0.575 - 0.803) である。しかし、この差も統計的に有意ではなかった。

非乳酸性および乳酸性酸素負債量の半減時間(表7)は、Aグループがそれぞれ29秒0 (24秒2 - 36秒3), 7分40秒9 (6分30秒1 - 10分09秒7) およびBグループがそれぞれ33秒6 (20秒0 - 43秒1), 6分15秒6 (4分12秒6 - 8分06秒9) である。

また、非乳酸性酸素負債量の a_1 および k_1 (表7)は、Aグループがそれぞれ3506 (2652 - 4238), 1.46 (1.14 - 1.72), Bグループがそれぞれ2821 (1992 - 3878), 1.26 (0.89 - 1.60) である。乳酸性酸素負債量の a_2 および k_2 は、Aグループがそれぞれ551 (413 - 778), 0.09 (0.07 - 0.11), Bグループが537 (384 - 731), 0.12 (0.09 - 0.16) である。

非乳酸性酸素負債量の半減時間とは、Bグループの方が大きく、他はAグループの方が大きかった。しかし、これらの差も統計的には有意でなかった。

(3) 血中乳酸濃度

最大酸素摂取量測定時に得られたAグループとBグループの血中乳酸濃度は、それぞれ $148.5 (109.3 - 212.8) \text{ mg/dl}$ および $148.4 (109.0 - 170.4) \text{ mg/dl}$ であった(表8)。しかし、最大酸素負債量測定時に得られた血中乳酸濃度は、Aグループが $125.9 (107.5 - 152.4) \text{ mg/dl}$ 、Bグループが $148.5 (93.4 - 185.6) \text{ mg/dl}$ であった。Aグループの平均 125.9 mg/dl は、Bグループおよび最大酸素摂取量測定時に得られた値に比べて低かった。

第5章 考 察

第1節 有酸素的能力と持久的種目の競技成績

長距離走の競技成績と最大酸素摂取量，特に体重1 kg当りの最大酸素摂取量との間には密接な関係があることは，Robinsonら³⁶⁾(1937⁷⁾²⁰⁾²²⁾³⁴⁾³⁶⁾³⁸⁾)以来，数多くの報告がなされて来た。

確かに，長距離走の一流選手はいずれも高い最大酸素摂取量を有しており(表9)，長距離種目で成功を収めるためには，最大酸素摂取量を高めることが絶対必要条件と考えられている。しかし，Robinsonら³⁶⁾(1937)の報告以来，持久的競技種目の記録が著しく向上しているにもかかわらず，一流選手が到達した最大酸素摂取量(約 $80 \text{ ml/kg} \cdot \text{分}$)にはほとんど差が見られない。すなわち，最大酸素摂取量には80数 $\text{ml/kg} \cdot \text{分}$ あたりに上限があるかのようなのである。また，Wyndham⁴⁴⁾(1969)によれば，1マイル走を4分以内で走る時，走行中の酸素摂取水準は最大酸素摂取量の100%になり，

Costill ら (1969)⁸⁾ によれば, 1000 m 走における酸素摂取水準は最大酸素摂取量の 100 %, 5,000 m 走で約 90 % になり, さらに走行距離が長くなるとその水準が低下する。

したがって, 最大酸素摂取量が人間としての, あるいはその個人の上限に近い者ほど, 無酸素的代謝閾値が高いこと, および走行中の最大酸素摂取量に対する酸素摂取水準が高く, しかもそれを長く持続させることができることが重要になる。と考える。

たとえば, Williams ら (1967)⁴⁾ は無酸素的代謝閾値がトレーニングによって高まり, 血液中に過剰の乳酸が出現することなしに高い酸素摂取水準での走行が可能になることを報告している。本研究での無酸素的代謝閾値(表 4)は, A グループが最大酸素摂取量の 71.5 (66.7 - 79.8) %, B グループが 68.2 (60.2 - 75.6) % であり, Williams ら (1967)⁴⁾ および Saiki ら (1967)³⁾ の報告とほぼ一致している。しかも, 競技記録のあげられている A グループ

の方がBグループよりも3%程度高い数値を示した。

無酸素的代謝閾値が高いことは、無酸素的過程からのエネルギーを利用することなしに高い酸素摂取水準での走行が可能になるわけであるが、無酸素的代謝閾値に相当する強度で走ると仮定するならば、酸素摂取水準と走行速度との関係(図4)から、Aグループは202.5 m/分 およびBグループは189.1 m/分の速度で走れることになる。したがって、この速度で8.6%の上り坂を5,000 mを走ると仮定すると、所要時間は、Aグループが24分41秒5 およびBグループが26分26秒5 となる。Aグループの方がBグループよりも1分45秒良い記録である。

また、走行速度と酸素摂取量との関係(図3) および走行速度と酸素摂取水準との関係(図4)から、同一速度に対する酸素摂取量および酸素摂取水準は、Aグループの方がBグループよりも一様に低い傾向にあることが

解る。すなわち，Aグループの走行効率の
 がBグループのそれよりも高いことが明らか
 である。

実際のレース中により多くのエネルギーを
 利用できることは，それだけ多くの外的仕事
 がなされることを示している。すなわち，よ
 り速いスピードでの走行が可能になることを
 意味する。したがって，最大酸素摂取量が同
 一水準にあっても走行中の酸素摂取水準を高
 めることによつて競技記録を向上させること
 が可能であると考えられる。

第2節 無酸素的能力と持久的種目の競技 成績

(1) 無酸素的パワーと5,000 m走記録

本研究での無酸素的パワーは，Aグループ
 が $69.7 (63.9 - 75.8) \text{ Kcal/kg}\cdot\text{hr}$ ，Bグループが
 $71.3 (63.0 - 75.8) \text{ Kcal/kg}\cdot\text{hr}$ であった。これら
 の値は，Margaria³²⁾ (1966)の中距離走者の値
 と一致したが，青木¹⁾ (1971)の短距離およ
 び長距離選手，なぐに北嶋²⁴⁾ (1975)の短

距離選手よりも大きい値であった。

無酸素的パワーは、短時間で終了する種目、すなわち跳躍や短距離種目の選手の方が長距離種目の選手よりも大きいと報告^{13) 32)}されているが、本研究での値が青木ら¹⁾(1971)および北嶋ら²⁴⁾(1975)の短距離選手の値よりも大きかったのは、本研究において用いた助走距離(8 m)が原法(2 m)より長かったためと考えられる。したが、こゝ今後同一方法にて短距離選手との比較が必要である。

グループ間の無酸素的パワーの差は、統計的に有意ではなく、また5,000 m走記録と無酸素的パワーの相関もまた統計的に有意ではなかった。

(2) 最大酸素負債量、非乳酸性および乳酸性酸素負債量と5,000 m走記録

非乳酸性酸素負債量償却の速度定数である k_1 は、非乳酸性酸素負債量の酸化を支配し¹⁹⁾、運動負荷に関係なく一定の値を示す¹⁹⁾。しかし、競技的トレーニングによつてその値は増大す

る。本研究においては、Aグループの方が大きい K_1 の値を示した。したがって、 K_1 の大小がトレーニングの水準を示すものであるならば、Aグループの方が高いトレーニング水準にあることになる。

また、非乳酸性酸素負債量はAグループの方が大きく、その半減時間もAグループの方が速かった。すなわち、Aグループの方が非乳酸性酸素負債量の償却が非常に速いことになる。しかし、両グループ間のそれぞれの差は統計的に有意ではなかった。

最大酸素負債量に対する乳酸性酸素負債量の比(表6)は、DeMoor (1954)¹⁵⁾によると、機械的効率の悪いグループほど大きくなる傾向を示す。本研究でのこの比は、Aグループが0.71 (0.65 - 0.75)、Bグループが0.69 (0.58 - 0.80)で、前者の方が大きかった。また、効率の悪いグループの場合、 K_2 が小さく a_2 が大きいと報告されているが¹⁵⁾、本研究の場合Aグループの方が K_2 は小さく a_2 は大きいと

いう結果になり，De Moor (1954)¹⁵⁾の結果と相反する結果となった。乳酸性酸素負債量は $\frac{a_2}{k_2}$ で求められるから， a_2 が大きく k_2 が小さい方が大きい値となる。したがって，最大酸素負債量に対する乳酸性酸素負債量の比は大きくなり，本研究で得た効率の良いグループほど a_2 が大きく k_2 が小さくなる傾向は，妥当のよう³⁰⁾に考えられる。

乳酸性酸素負債量の制限因子として，(a)体内で産生される最高乳酸量および(b)乳酸の産生速度が挙げられている。最高血中乳酸濃度(表8)は両グループとも同じ値であった。しかし，最大酸素負債量測定時の血中乳酸濃度は，Aグループが125.9 (107.5 - 152.4) mg/dl ，Bグループが148.5 (93.4 - 185.6) mg/dl であり，血中乳酸濃度の値はAグループが85%，Bグループが約100%に相当し，もしAグループの血中乳酸濃度が100%まで産生されるならば，乳酸性酸素負債量はもっと増大したものと考えられる。また，最大酸素摂取量の120

%に相当する強度で1分間だけ走行させたが、そのまま疲労困憊に至るまでAグループの被験者を走行させたならば、血中乳酸濃度はBグループと同じ水準まで達したものと考えられる。

産生した乳酸からグリコーゲンへの再合成速度でもある乳酸性酸素負債量の半減時間は、乳酸性酸素負債量の大きいグループのうちAグループのものが遅い傾向を示した。

各項目におけるグループ間の平均値の差は、最大酸素負債量の絶対値だけが5%水準で統計的に有意であった。また、5,000 m走記と最大酸素負債量の絶対値との相関は1%水準、その体重1 kg当りの値、非乳酸性酸素負債量の絶対値および乳酸性酸素負債量の絶対値と体重1 kg当りの値との相関は5%水準でそれぞれ統計的に有意であった。

第3節 5,000 m走記録と各項目間の順位相関

5,000 m走記録と各項目間の順位相関を表10

に示した。5,000 m 走記録とトレッドミル走時間との順位相関は 1% 水準，最大酸素負債量の非乳酸性および乳酸性酸素負債量の絶対値との順位相関は 5% 水準で統計的に有意であつた。

5,000 m 走記録と各項目との相関は，最大酸素負債量の絶対値とが 1% 水準，体重 1 kg 当りの最大酸素負債量および乳酸性酸素負債量ならびに非乳酸性および乳酸性酸素負債量の絶対値とが 5% 水準でそれぞれ統計的に有意であつた。

さらに，各項目におけるグループ間の平均値の有意差は，最大酸素負債量の絶対値だけが 5% 水準で統計的に有意であつた。

以上のことから，同一水準の最大酸素摂取量を有する長距離選手の競技成績に有意な差をつける決定的な因子として，最大酸素負債量を挙げなければならぬものと考えられる。

第 6 章 結 論

同一水準の最大酸素摂取量を有する長距離選手の競技成績に有意な差をつける決定的な因は、最大酸素負債量である。

第 7 章 要 約

1) 持久的種目の競技成績に及ぼす無酸素的エネルギー出力の意義を検討するため、同一水準の最大酸素摂取量 (約 $70 \text{ ml/kg}\cdot\text{分}$) を有しながら、5,000 m 走記録が有意に異なる ($P < 0.01$) 長距離選手 12 名を対象に、無酸素的代謝閾値、走行効率、無酸素的パワー、血中乳酸濃度、最大酸素負債量、非乳酸性および乳酸性酸素負債量を測定した。

2) 最大酸素摂取量および 5,000 m 走記録の平均値は、A グループで $71.3 \text{ ml/kg}\cdot\text{分}$ および 14 分 51 秒のほかに B グループで $70.9 \text{ ml/kg}\cdot\text{分}$ および 15 分 53 秒であった。グループ間の前者の差は統計的に有意ではなかったが、後者の差は 1% 水準で有意であった。

3) 運動負荷は、①最大トレッドミル走、②2~4 種類の最大下速度での 15 分間走および③最大酸素摂取量の 85% に相当する速度で 14 分間走行した後、引きつづき 120% に相当する速度での 1 分間走であった。

4) 5,000 m 走記録と有意な相関のみられたパラメーターは、最大酸素負債量の絶対値 ($p < 0.01$)、体重 1 kg 当りの最大酸素負債量および乳酸性酸素負債量ならびに非乳酸性および乳酸性酸素負債量の絶対値 ($p < 0.05$) であった。

5) A グループにおける最大酸素負債量は、B グループより統計的に有意に大きかった ($p < 0.05$)。その他の測定項目においては統計的に有意差は認められなかった。

6) 以上のことから、同一水準の最大酸素摂取量を有する長距離選手の競技成績に有意な差をつける決定的な因子は、最大酸素負債量である。

引用文献

- 1) 青木純一郎, 前嶋孝: 無気的パワーの競技種目別特性. 第25回日本体力医学会報告集, 26 (1971)
- 2) 青木純一郎, 清水達雄, 形本静夫: 短距離走と酸素負債. 順天堂大学保健体育紀要, 第17号 1-12 (1974)
- 3) 青木純一郎, 玉木伸和: “階段かけあかり”による無気的パワー. 新体育, 45 544-547 (1975)
- 4) Åstrand, P.-O. : Experimental studies of physical working capacity in relation to sex and age. 23-27, Munksgaard: Copenhagen (1952)
- 5) Åstrand, P.-O. : New records in human power. Nature, 12 176-177 (1955)
- 6) Carter, J.E.L., F.W. Kasch, J.L. Boyer, W.H. Phyllips, W.D. Ross and A. Sucec : Structural and functional assessments on a champion runner. ---- Peter Snell. Res. Quart., 38 355-365 (1955)
- 7) 帖佐寛章, 栗本関夫, 青木純一郎 : 長距離走者の $\dot{V}O_{2max}$ の縦断的研究. 順天堂大学保健体育紀要, 第14号 91-93 (1971)
- 8) Costill, D.L. and E.L. Fox : Energetics of marathon running. Med. Sci. in Sports, 1 81-86 (1969)

- 9) Costill, D.L. and E. Winrow : A comparison of two middle-aged ultramarathon runners. Res. Quart., 41 135-139 (1970)
- 10) Costill, D.L. : Metabolic responses during distance running. J. Appl. Physiol., 28 251-255 (1970)
- 11) Costill, D.L., G. Branah, D. Eddy and K. Sharks : Determinants of marathon running success. Int. Z. angew. Physiol., 29 249-254 (1971)
- 12) Costill, D.L., H. Thomason and E. Roberts : Fractional utilization of the aerobic capacity during distance running. Med. Sci. in Sports, 5 248-252 (1971)
- 13) Cureton, T.K. : Physical fitness of champion athletes. The University of Illinois Press : Urbana (1951)
- 14) Davies, C.T.M., A.V. Knibbs and J. Musgrove : The rate of lactic acid removal in relation to different baselines of recovery exercise. Int. Z. angew Physiol., 28 155-166 (1970)
- 15) DeMoor, J.C. : Individual differences in oxygen debt curves related to mechanical efficiency and sex. J. Appl. Physiol., 6 460-466 (1954)
- 16) di Prampero, P.E., L. Peeters and R. Margaria : Alactic O₂ debt and lactic acid production after exhausting exercise in man. J. Appl. Physiol., 34 628-632 (1973)
- 17) Ekblom, B. : Effect of physical training on oxygen transport system in man. Acta physiol. scand., Suppl. 328 (1969)
- 18) Henry, F.M. and J.C. DeMoor : Metabolic efficiency of exercise in relation to work load at constant speed. J. Appl. Physiol., 2 481-487 (1950)

- 19) Henry, F.M. and J.C. DeMoor : Lactic and alactic oxygen consumption in moderate exercise of graded intensity. J. Appl. Physiol., 8 608-614 (1956)
- 20) 加賀谷 熙彦, 黒田善雄, 塚越克己, 雨宮輝也, 太田裕造, 成沢三雄 : 日本競技選手の最大酸素摂取量 (第2報) . 第24回日本体力医学会総会抄録集, 38 (1970)
- 21) 加賀谷 熙彦 : 酸素摂取量からみた持久走能力. 埼玉大学教育学部紀要, 21 37-44 (1972)
- 22) Karlsson, J. and B. Saltin : Diet, muscle glycogen, and endurance performance. J. Appl. Physiol. 31 203-206 (1971)
- 23) Katch, V.L. : Kinetics of oxygen uptake and recovery for supramaximal work of short duration. Int. Z. angew Physiol., 31 197-207 (1973)
- 24) 北嶋久雄, 浅見高明 : Margaria Power Test の日本成人男子への適用. 日本体育学会第26回大会号, 306 (1975)
- 25) 黒田善雄, 加賀谷 熙彦, 塚越克己, 雨宮輝也, 太田裕造, 酒井 惇三 : 日本人一流競技選手の最大酸素摂取量 (第1報). 日本体育協会スポーツ科学研究報告, 1-8 (1968)

- 26) 黒田善雄, 加賀谷潔彦, 塚越克己, 雨宮光雄也,
太田裕造, 成沢三雄 : 陸上長距離走時の呼
呼循環機能の変動. 日本体育協会スポーツ科
学研究報告, 1-10 (1969)
- 27) 黒田善雄, 塚越克己, 雨宮光雄也, 鈴木洋児 :
長距離走の実態調査報告 一第2次研究一.
日本体育協会スポーツ科学研究報告, 1-12 (1972)
- 28) Margaria, R., H.T. Edwards and D.B. Dill : The possible
mechanisms of contracting and paying the oxygen debt and
role of lactic acid in muscular contraction. Am. J.
Physiol., 106 689-715 (1933)
- 29) Margaria, R. and H.T. Edwards : The sources of energy in
muscular work performed in anaerobic conditions. Am. J.
Physiol., 108 341-348 (1934)
- 30) Margaria, R., P. Cerretelli, P.E. di Prampero, C. Maasri
and G. Torelli : Kinetics and mechanism of oxygen debt
contraction in man. J. Appl. Physiol., 18 371-377 (1963)
- 31) Margaria, R. , P. Cerretelli and F. Mangili : Balance and
kinetics of anaerobic energy release during strenuous
exercise in man. J. Appl. Physiol., 19 623-628 (1964)
- 32) Margaria, R., P. Aghemo and E. Rovelli : Measurement of
muscular power (anaerobic) in man. J. Appl. Physiol.,
21 1662-1664 (1966)

- 33) Margaria, R. : Capacity and power of the energy processes in muscle activity : Their practical relevance in athletics. Int. Z. angew. Physiol., 25 352-360 (1968)
- 34) Margaria, R. P. Aghemo and F.P. Limas : A simple relation between performance in running and maximal aerobic power. J. Appl. Physiol., 38 351-352 (1975)
- 35) 三浦望慶, 袖山紘 : 長距離疾走チームについて.
日本体育学会 第23回大会号, 238 (1972)
- 36) Robinson, S., H.T. Edwards and D.B. Dill : New records in human power. Science, 85 409-410 (1937)
- 37) Saiki, B., R. Margaria and F. Cuttica : Lactic acid product production in submaximal work. Int. Z. angew. Physiol., 24 57-61 (1967)
- 38) Saltin, B. and P.-O. Åstrand : Maximal oxygen uptake in athletes. J. Appl. Physiol., 23 353-358 (1967)
- 39) 高橋進, 帖佐寛章 : 中長距離走, 第1版.
193 講談社 : 東京 (1973)
- 40) Volkov, N.I., E.A. Shrkovets and V.E. Borilkevich : assessment of aerobic and anaerobic capacity of athletes in treadmill running test. Europ. J. appl. Physiol., 34 121-130 (1975)
- 41) Williams, C.G., C.H. Wyndham, R. Kok and M.J.E. von Rahden : Effect of training on maximum oxygen intake and on anaerobic metabolism in man. Int. Z. angew. Physiol., 24 18-23 (1967)

- 42) Wyndham, C.H., N.B. Strydom, J.S. Maritz, J.F. Morrison, J. Peter and Z.U. Potgieter : Maximum oxygen intake and maximum heart rate during work. J. Appl. Physiol., 14 927-936 (1959)
- 43) Wyndham, C.H., H.C. Seftel, C.G. Williams, V. Wilson, N.B. Strydom, G.A.G. Bredell and M.J.E. von Rahden : Circulatory mechanism of anaerobic metabolism in working muscle. S. Afr. Med. J., 39 1008 (1965)
- 44) Wyndham, C.H., N.B. Strydom, A.J. van Rensbrug and A.J.S. Benade : Physiological requirements for world-class performance in endurance running. S. Afr. Med. J., 43 996-1002 (1969)

Anaerobic capacity of distance runners on the same level
of maximal aerobic power

Shoichi YAMAZAKI

- (1) The purpose of the present study was to investigate the significance of anaerobic energy release in two groups of distance runners whose maximal aerobic power was known to be comparable ($\dot{V}O_2\text{max}$ averaged 71.1 ± 0.27 ml/kg·min) but differed each other significantly in their performance of 5,000m run (group A; n=6, timed in average $14'51''0 \pm 13''8$; and Group B; n=6, timed in average $15'53''0 \pm 16''0$).
- (2) Twelve runners were subjected to 3 experimental series of the treadmill running: 1. Maximal of "exhaustive" running, 2. Two to four trials of submaximal runnings for 15 min, and 3. Running at the intensity corresponding to 85 % of maximal oxygen uptake for 14 min, then the "last spurt" for 1 min at 120 % of maximal oxygen uptake. In addition they were asked to sprint up a staircase at a time with their top speed.
- (3) Exhaustive running time on the treadmill and maximal oxygen uptake in A group were $8'56''2 \pm 47''3$ and $8.454 \pm 1.012\ell$, respectively. Both were significantly larger than $8'02''8 \pm 34''0$ and $6.787 \pm 1.426\ell$ registered in B group ($p < 0.05$).
- (4) Differences between A and B group in the cardio-respiratory responses during maximal treadmill running, threshold of anaerobic metabolism, running efficiency, anaerobic power, alactic and lactic oxygen debt, maximal blood lactate concentration, etc. were found to be not significant.
- (5) These results indicated that the variance in maximal oxygen debt may exert a modifying influence in a positive or negative direction which could be the reason why the same level of aerobic power dose not gurantee a same performance in endurance event.

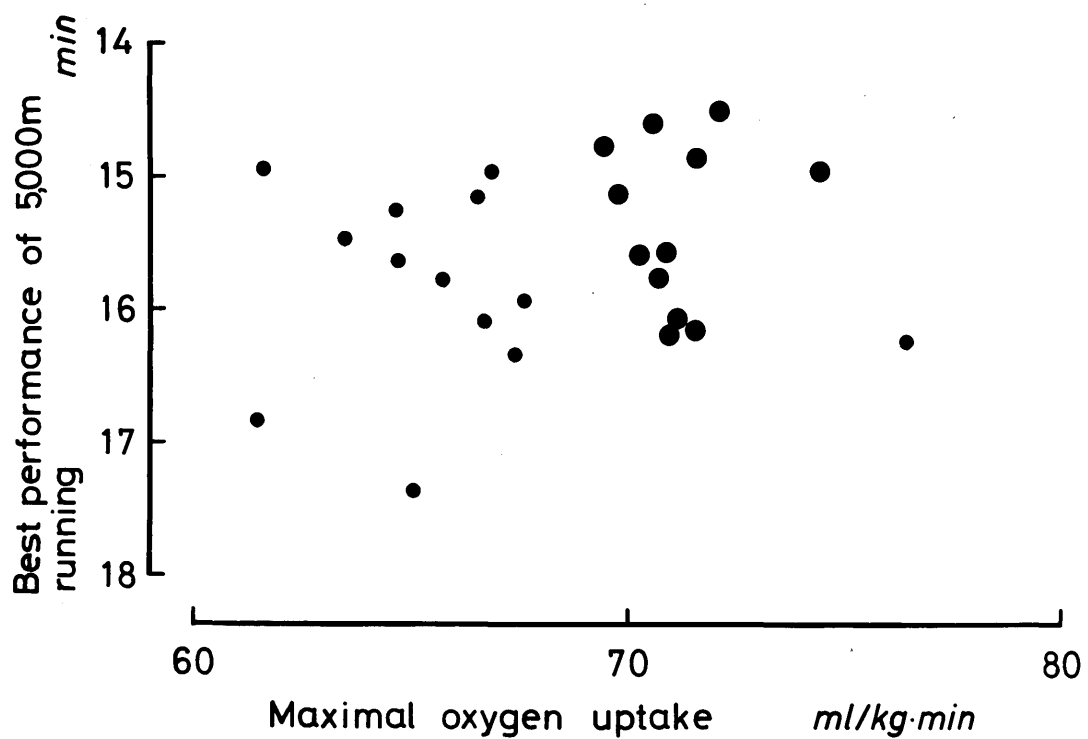


Fig. 1. Relationship between maximal oxygen uptake and best performance of 5,000m running. Twelve runners (larger dotted circles) were selected as subjects the present study.

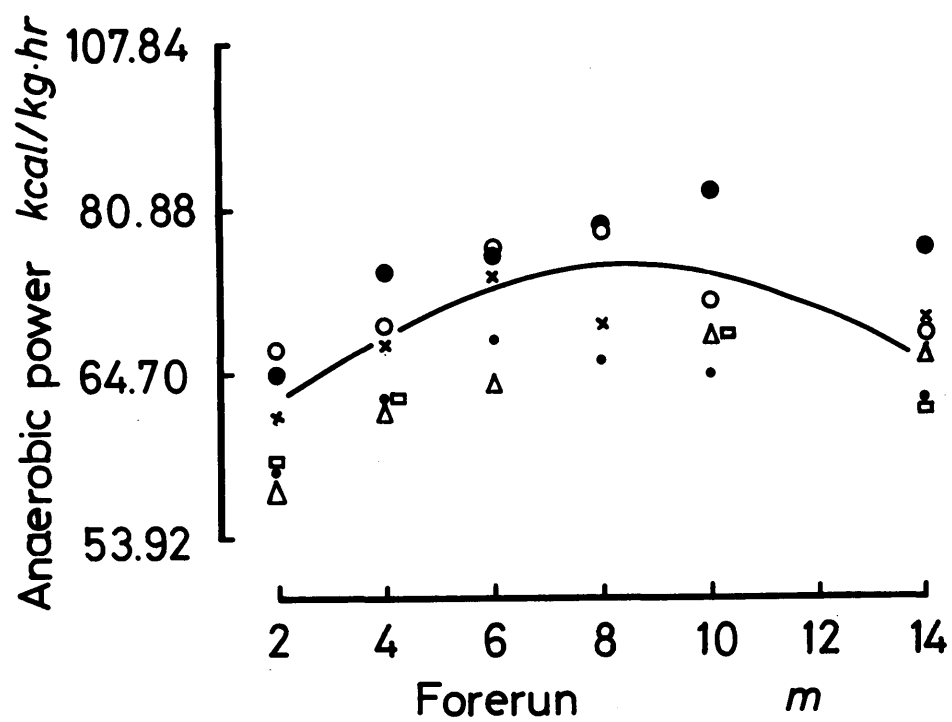


Fig.2. Relationship between each foreruns and anaerobic power.

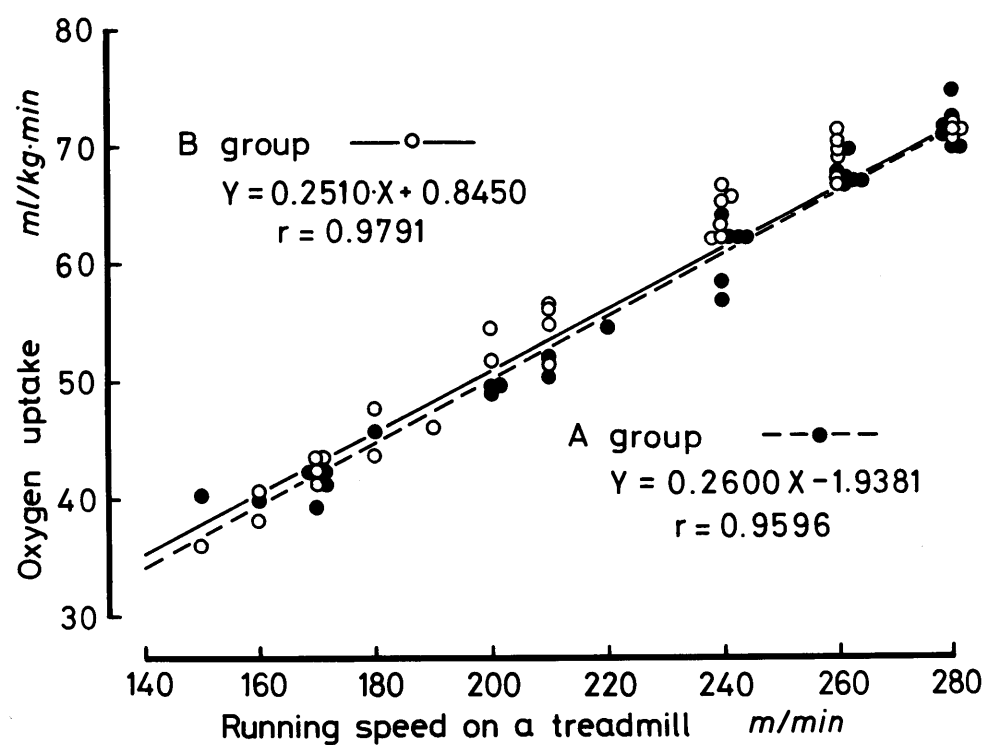


Fig. 3. Relationship between running speed on a treadmill and oxygen uptake.

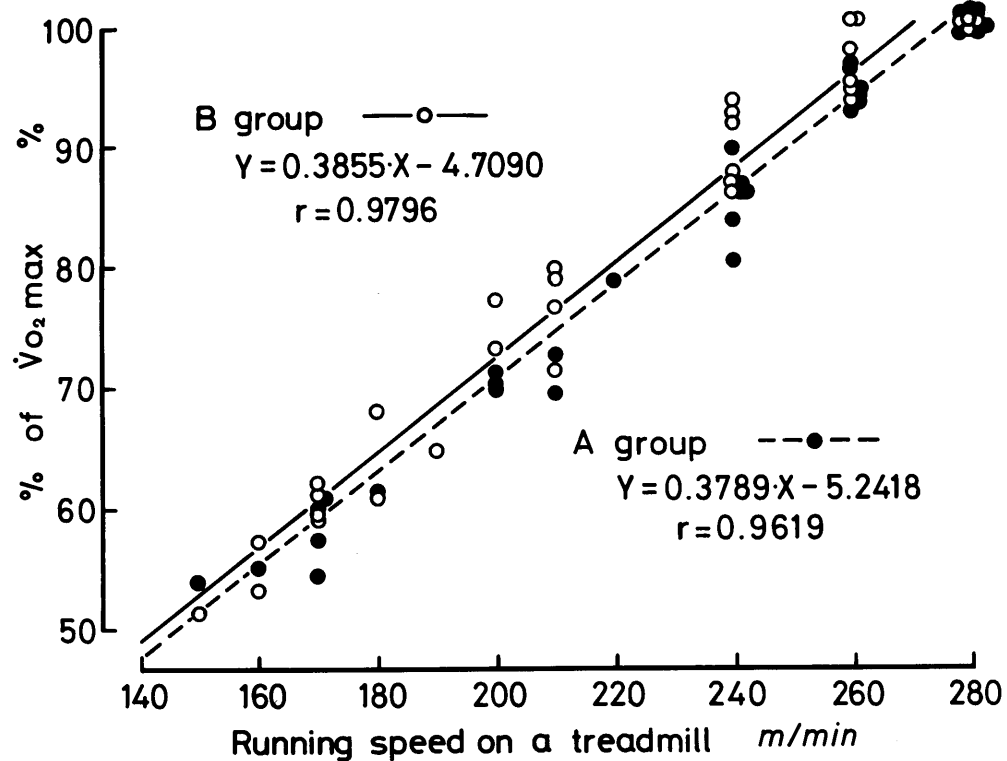


Fig. 4. Relationship between running speed on a treadmill and % of $\dot{V}O_2\text{max}$.

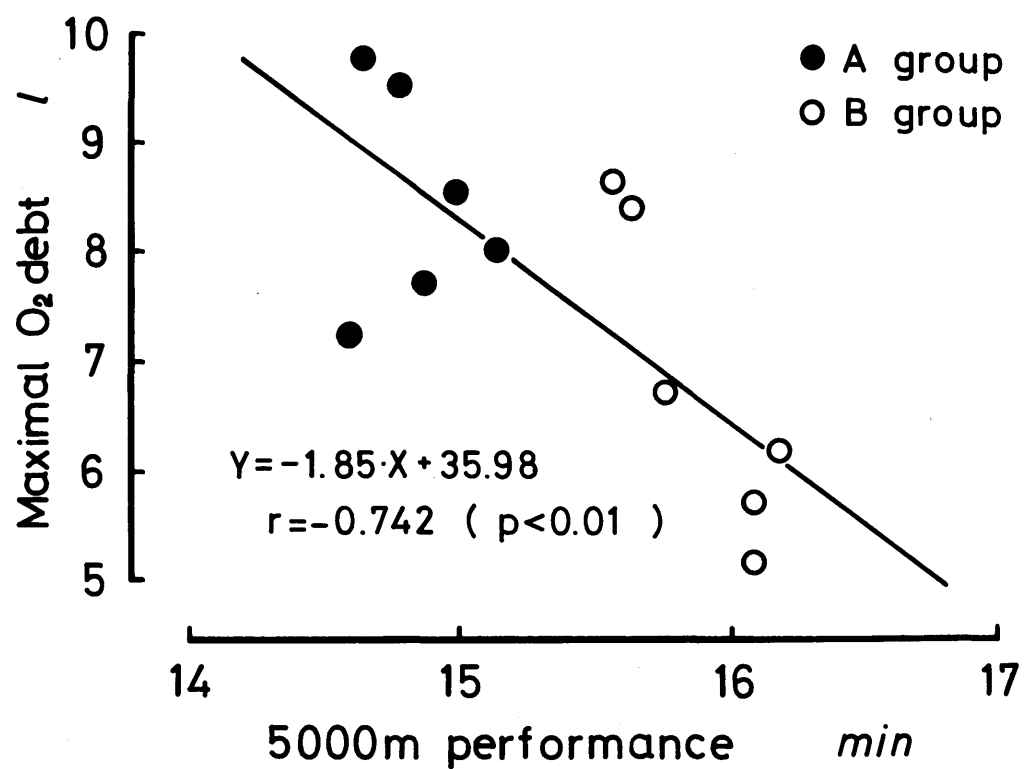


Fig. 5. Relationship between 5,000m performance and maximal oxygen debt.

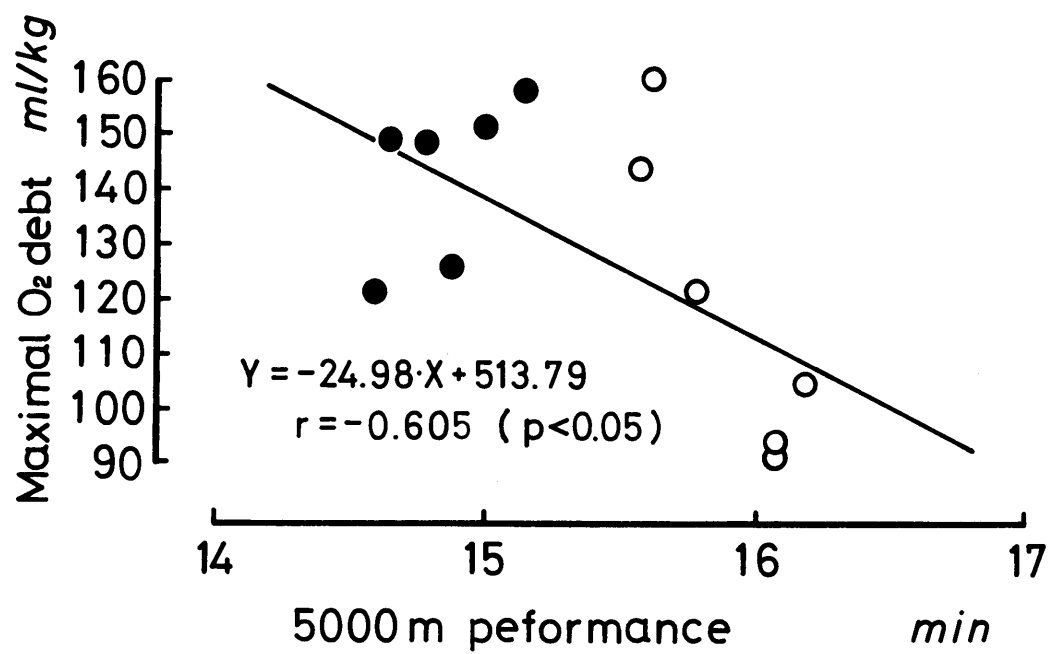


Fig. 6. Relationship between 5,000m performance and maximal oxygen debt/unit body weight.

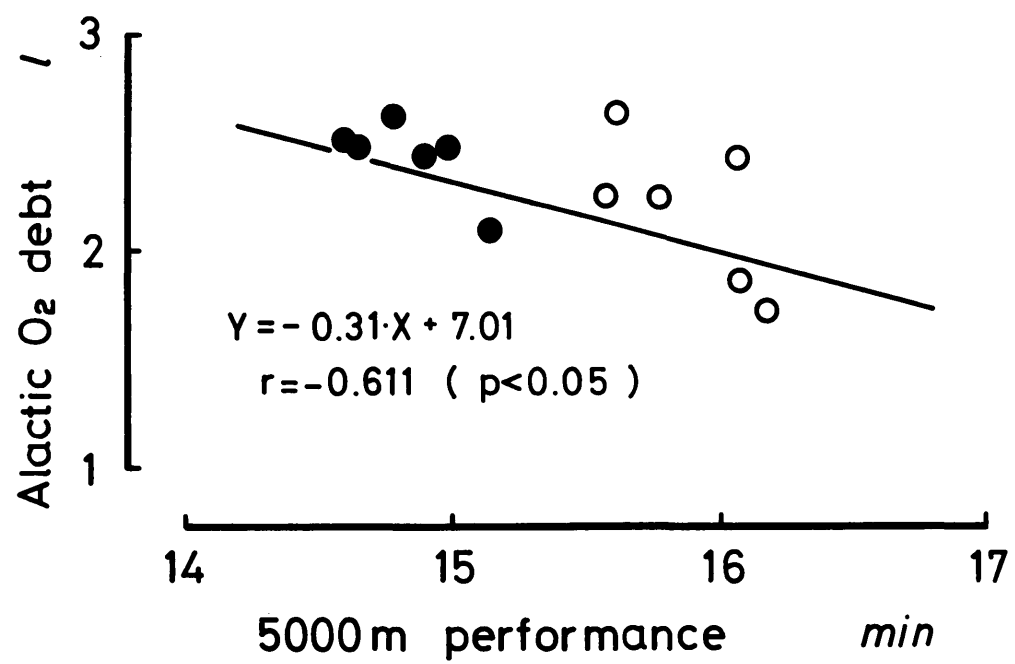


Fig. 7. Relationship between 5,000m performance and alactic oxygen debt.

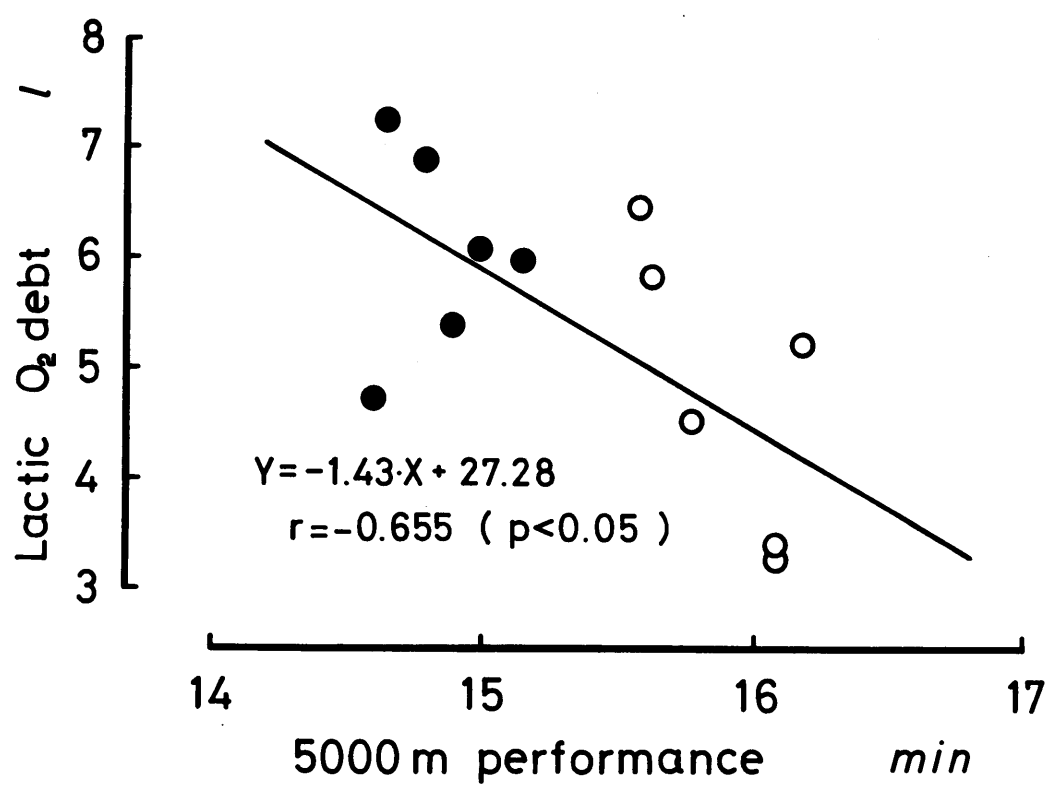


Fig. 8. Relationship between 5,000m performance and lactic oxygen debt.

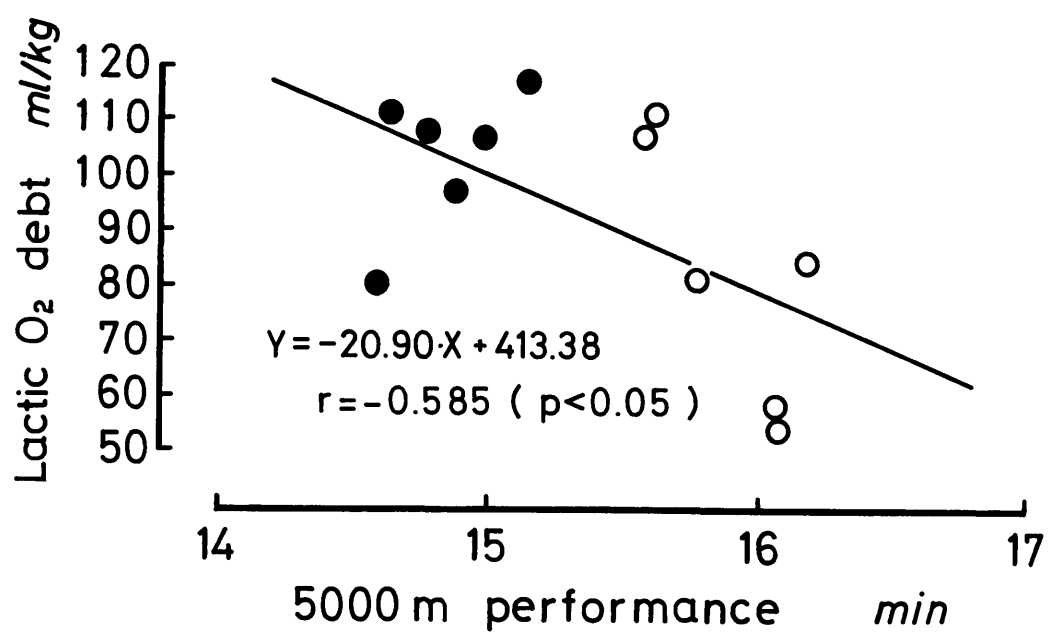


Fig. 9. Relationship between 5,000m performance and lactic oxygen debt/unit body weight.

Table 1. Physical characteristics, $\dot{V}O_2\text{max}$ and 5,000m performance of subjects.

Group	Subject	Age yr	Stature cm	Weight kg	$\dot{V}O_2\text{max}$ ml/kg·min	5000m performance min sec	*
A	M S	23	167.1	51.20	69.80	15'08"2	
	J M	21	180.2	64.25	69.50	14'47"0	
	H T	21	172.4	61.80	71.60	14'53"0	
	T S	24	177.0	66.05	72.10	14'38"8	
	Y N	20	173.3	59.30	70.60	14'36"0	
	F T	18	164.0	54.10	74.40	14'57"6	
	Mean	21	172.3	59.45	71.33	14'51"0	
	S D	2.1	5.97	5.81	1.81	13"8	
B	A N	22	169.4	60.80	71.10	16'04"0	
	N Y	21	167.5	59.35	71.60	16'10"0	
	K N	21	167.3	60.05	70.90	15'34"0	
	Y S	20	172.5	56.55	71.00	16'04"0	
	K S	18	164.0	52.45	70.30	15'37"0	
	T K	18	163.0	55.25	70.70	15'46"0	
	Mean	20	167.3	57.41	70.93	15'53"0	
	S D	1.7	3.49	3.23	0.43	16"0	

* The difference between A and B group was significant ($p < 0.01$).

Table 2. Blood lactate concentration with reference to forerun of Margaria's power test in the preliminary experiment.

Subject	at rest	10m-forerun	14m-forerun
	ml/dl	mg/dl	mg/dl
1	24.0	33.5	32.2
2	21.2	23.7	29.2
3	20.0	25.2	21.3
4	18.1	20.3	28.3
5	24.3	24.1	19.3
6	20.3	22.8	36.0
Mean	21.3	24.9	26.1
S D	2.42	4.51	7.42

Table 3. Cardio-respiratory responses and exhaustive time in maximal treadmill running.

Group	Subject	Vo ₂ max		VE(BTPS)	R Q	H R	O ₂ pulse	R R	T V	O ₂ removal	Treadmill	%
		l/min	ml/kg·min	l/min		beats/min	ml	breaths/min	ml	ml/l	exhaustive time	min sec
A	M S	3.574	69.8	172.58	0.92	200	17.87	66	2615	40.45	7'46"8	
	J H	4.462	69.5	174.46	0.91	180	24.79	65	2684	39.84	9'38"9	
	H T	4.424	71.6	164.67	1.03	180	24.58	70	2353	43.48	8'35"5	
	T S	4.762	72.1	166.28	1.08	182	26.16	64	2594	43.36	8'41"8	
	Y N	4.188	70.4	172.36	0.99	184	22.76	62	2780	40.96	9'47"4	
	F T	4.024	74.4	152.67	0.83	190	21.18	88	1735	48.73	9'06"5	
	Mean	4.239	71.3	167.17	0.96	186	22.89	69	2460	42.80	8'56"2	
	S D	0.412	1.82	0.08	0.09	7.8	3.01	9.6	382.53	3.27	47"3	
B	A N	4.323	71.1	180.64	0.83	178	24.29	96	1882	39.36	8'32"7	
	N Y	4.248	71.6	149.22	0.99	192	22.13	63	2369	47.98	8'02"6	
	K N	4.255	70.9	174.07	0.87	180	23.64	68	2560	40.73	8'13"4	
	Y S	4.016	71.0	151.16	1.03	190	21.14	62	2438	46.97	7'50"8	
	K S	3.689	70.3	132.28	0.88	182	20.27	64	2067	53.15	7'02"6	
	T K	3.908	70.7	178.06	0.93	190	20.57	68	2619	39.71	8'34"4	
	Mean	4.073	70.9	160.96	0.9	186	22.01	70	2322	44.65	8'02"8	
	S D	0.247	0.432	19.53	0.06	6.0	1.66	12.9	289.53	5.59	34"0	

* The difference between A and B group was significant ($p < 0.01$).

Table 4. Threshold of anaerobic metabolism.

Group	Subject	Threshold of anaerobic metabolism % of $\dot{V}O_2$ max
A	M S	69.00
	J M	71.59
	H T	66.67
	T S	73.68
	Y N	68.13
	F T	79.80
	Mean	71.48
	S D	4.79
B	A N	75.60
	N Y	66.19
	K N	60.17
	Y S	67.39
	K S	66.84
	T K	72.90
	Mean	68.18
	S D	5.44

Table 5 Anaerobic power.

Group	Subject	Anaerobic power kcal/kg·hr
A	M S	70.34
	J M	75.78
	H T	66.95
	T S	70.31
	Y N	63.90
	F T	68.30
	Mean	69.26
	S D	3.99
B	A N	71.52
	N Y	69.84
	K N	75.79
	Y S	71.52
	K S	63.04
	T K	75.79
	Mean	71.25
	S D	4.71

Table 6. Maximal oxygen debt and, alactic and lactic oxygen debt and lactic oxygen debt to maximal oxygen debt ratio.

Group	Subject	Alactic O ₂ debt		Lactic O ₂ debt		Maximal O ₂ debt		Lactic O ₂ debt
		l	ml/kg	l	ml/kg	l *	ml/kg	Maximal O ₂ debt
A	M S	2.071	40.45	5.935	115.92	8.006	156.37	0.741
	J M	2.605	40.64	6.894	107.27	9.499	147.84	0.726
	H T	2.406	38.93	5.322	96.12	7.728	125.05	0.689
	T S	2.466	37.34	7.294	110.45	9.761	147.78	0.747
	Y N	2.494	42.06	4.700	79.26	7.194	121.32	0.653
	F T	2.476	43.59	6.059	106.67	8.535	150.26	0.710
	Mean	2.411	40.50	6.034	102.62	8.454	141.44	0.711
	S D	0.183	2.21	0.962	13.15	1.012	14.53	0.035
B	A N	2.423	39.85	3.282	53.98	5.705	93.83	0.575
	N Y	1.716	28.91	4.956	83.50	6.172	103.99	0.803
	K N	2.237	37.25	6.390	106.41	8.627	143.66	0.741
	Y S	1.854	32.79	3.291	58.20	5.145	90.98	0.640
	K S	2.673	50.96	5.804	110.66	8.377	159.71	0.693
	T K	2.206	39.93	4.491	81.28	6.697	121.21	0.671
	Mean	2.185	38.28	4.702	82.34	6.787	118.90	0.687
	S D	0.354	7.55	1.279	23.54	1.426	27.98	0.079

* The difference between A and B group was significant ($p < 0.05$).

Table 7. Half reaction time and a_1 , k_1 , a_2 , and k_2 values of oxygen debt in the recovery period.

Group	Subject	Half reaction time		a_1	k_1	a_2	k_2
		Alactic sec	Lactic min sec				
A	M S	32"5	8'30"2	2652	1.2802	484	0.0815
	J M	25"6	7'09"1	4238	1.6268	668	0.0969
	H T	24"2	7'40"5	4129	1.7161	469	0.0903
	T S	36"3	6'30"1	2821	1.1439	778	0.1066
	Y N	28"5	6'42"1	3352	1.4598	492	0.1034
	F T	26"8	10'09"7	3845	1.5528	413	0.0682
	Mean	29"0	7'46"9	3506	1.4633	551	0.0912
B	S D	4"2	1'15"1	672.5	0.2164	140.7	0.0144
	A N	20"0	5'35"1	3878	1.6003	401	0.1241
	N Y	33"2	4'41"9	2147	1.2514	731	0.1475
	K N	43"1	7'41"0	1992	0.8906	613	0.0902
	Y S	28"7	4'12"6	2689	1.4501	542	0.1646
	K S	32"7	7'16"3	3400	1.2722	553	0.0953
	T K	38"2	8'06"9	2821	1.0885	384	0.0854
	Mean	33"6	6'15"6	2821	1.2589	537	0.1178
	S D	5"7	1'30"3	722.7	0.2522	130.8	0.0330

Table 8. Blood lactate concentration obtained in two maximal runnings.

Group	Subject	LA* mg/dl	LA** mg/dl
A	M S	212.8	152.4
	J M	109.3	107.5
	H T	126.2	129.0
	T S	158.2	143.7
	Y N	167.9	112.6
	F T	116.8	110.2
	Mean	148.5	125.9
	S D	39.1	18.9
B	A N	109.0	93.4
	N Y	156.2	179.3
	K N	170.2	166.5
	Y S	162.9	116.5
	K S	134.7	149.4
	T K	156.9	185.6
	Mean	148.4	148.5
	S D	22.7	36.6

* Blood lactate concentration obtained in the measurement of maximal oxygen uptake.

** Blood lactate concentration obtained in the measurement of maximal oxygen debt.

Table 9. Maximal oxygen uptake and performance of world-class athletes.

Runner	Reference	Maximal oxygen uptake		Performance		
		l/min	ml/kg.min	1,500m	5,000m	10,000m
Banister	13)	5.16	75.9	3'41"4		
Landy	5)	5.04	76.6	3'42"0		
Keino	39)	4.92	82.0	3'34"9	13'24"2	
Kimihara	20)	4.82	84.0			29'01"0
Usami	20)	4.95	83.0		14'02"0	28'36"6
Sawaki	26)	4.81	77.0	3'44"5	13'33"0	28'35"2
Koyama	7)	5.40	83.0		13'41"2	29'03"2

Fig.10. Spearman's rank-order correlation coefficient between 5,000m performance and each variable.

Variables		r
1) Maximal oxygen uptake		0.110
2) Treadmill exhaustive time		0.812 **
3) Threshold of anaerobic metabolism		0.228
4) Anaerobic power		0.343
5) Alactic O ₂ debt	l	0.632 *
6) Alactic O ₂ debt	ml/kg	0.477
7) Lactic O ₂ debt	l	0.611 *
8) Lactic O ₂ debt	ml/kg	0.401
9) Maximal O ₂ debt	l	0.690 *
10) Maximal O ₂ debt	ml/kg	0.508
11) Half reaction time	Alactic	0.185
12) Half reaction time	Lactic	0.039
13) a ₁		0.400
14) k ₁		0.261
15) a ₂		0.290
16) k ₂		0.252
17) Maximal blood lactate concentration		0.112

** The difference between A and B group was significant (p < 0.01).

* The difference between A and B group was significant (p < 0.05).