

$\dot{V}O_2AT$ および $\dot{V}O_2submax$ による長距離選手 Performance の推定について

丸山 敦夫・美坂 幸治

(1983年10月15日 受理)

Prediction of Running Performance from $\dot{V}O_2AT$ and $\dot{V}O_2submax$ in the Long Distance Runners

Atsuo MARUYAMA and Kouji MISAKA

I はじめに

すべての身体運動は、主に、糖質と脂質のエネルギー源を使って、TCA 回路および電子伝達系をもつ有酸素的代謝 (aerobic metabolism) や、ATP-CP 系および解糖系をもつ無酸素的代謝 (anaerobic metabolism) を経て ATP を産生し、筋の収縮を引き起こすことによって成立している。この両代謝が運動強度に対してどのような割合で関与するかについては、つぎのように考えられる。すなわち、日常生活、体操、ジョギング等、最大運動強度の40~50%までの強度の身体運動は、ほとんど有酸素的代謝に依存するが、50%を超えて、強度が高くなるにつれ、有酸素的代謝の他に無酸素的代謝系が動員され、この両者から ATP が供給される。さらに100%以上の強度になると、そのほとんどが無酸素的代謝に依存する。この有酸素的代謝を代表する生理学的パラメータは酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$) で、無酸素的代謝のそれは酸素負債量 (O_2debt) である。特に、酸素摂取量の最大値は持久性評価や体力の指標として活用され、重要な生理学的パラメータである。

この最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_2max$) は、持久性競技者^{16) 24) 26)} では、一般人や他の競技者と比較して著しく高く、70~80 ml/kg·min を示している。陸上競技の長距離種目の選手は高い $\dot{V}O_2max$ を有し、さらに $\dot{V}O_2max$ 値と長距離走 performance との間には密接な関連が認められている。しかしながら、数多くの長距離選手の $\dot{V}O_2max$ が測定され、その performance との関連が検討されている中で、一概に、 $\dot{V}O_2max$ から performance を推定することはできなくなっている。すなわち、 $\dot{V}O_2max$ が performance を決定づける唯一の生理学的パラメータではないことが指摘されている。このように、鍛練度の高い長距離選手の performance に影響を与える身体的要因としては、無酸素的能力^{4) 20) 38)}、走行時の酸素摂取水準の維持能力^{17) 18)}、走行時の酸素摂取量の経済性・効率^{5) 10)}、有酸素的代謝から代謝性 acidosis への変移点での $\dot{V}O_2$ で表される無酸素的閾値^{19) 25) 36)}、さらに走の技術^{1) 23)}、などをあげることができる。

特に、走の経済性・効率および無酸素的閾値での $\dot{V}O_2$ は、 $\dot{V}O_2max$ が量的能力を代表するのに

対して、質的な能力を表し、performance の優劣に大きく影響を与えていると考えられる。つまり、走の経済性・効率の良さは、 $\dot{V}O_{2max}$ が同水準であるが、同一スピードで走行している時の $\dot{V}O_2$ が低い者ほど、相対的な生体負担度が低いことを示している。そして、無酸素的閾値は³³⁾³⁵⁾³⁶⁾、疲労物質である乳酸の蓄積に伴う代謝性の acidosis の臨界値であり、この値が高い者ほど、走スピードが高くても有酸素的に走行することが可能であることを示している。

本研究は、この走の経済性・効率と無酸素的閾値における $\dot{V}O_2$ に注目し、長距離選手の performance をより客観的に評価しうる指標について検討した。

II 実験方法

被験者は、5000 m, 10 km および 20 km の記録をもつ11名の鹿児島大学陸上競技部に所属している長距離選手で、毎日定期的に専門練習を実施している者である。彼らの身体的特性は表1に示したように、年齢、身重、および体重は、それぞれ平均21才、168.8 cm および 58.5 kg であり、最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2max}$) は 67.3 ~ 76.3 ml/kg·min の範囲にわたり、平均値および標準偏差値は、 71.6 ± 3.28 ml/kg·min であった。また、5000 m, 10 km および 20 km の記録は、それぞれ15分40秒、32分53秒および66分56秒であった。

最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2max}$) および無酸素的閾値の酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$ anaerobic threshold, $\dot{V}O_2AT$) を得るために、図1で示したように、被験者に斜度5°のトレッドミルを用いて、速度漸増法による走行を行わせ、exhaustion に至らせた。そのトレッドミル速度は、53.3 m/min で開始し、1分ごとに16.7 m/min ずつ増加させた。走の経済性・効率の $\dot{V}O_2$ を求めるために、一定速度を負荷した。この速度は、Costill ら⁸⁾、および Farrell ら¹⁰⁾、の268 m/min のレースペースを参考にし、斜度0°のトレッドミルを267 m/min で6分間走行させた。この走行中の酸素摂取

表 1. 被験者の身体特性, $\dot{V}O_2 max$ および Performance について

SUBJ	AGE yr	HEIGHT cm	WEIGHT kg	$\dot{V}O_2 MAX$ ml/kg·min	PERFORMANCE		
					5000m	10km	20km
					min sec		
1	22	178.0	66.0	75.4	15' 10"	31' 24"	65' 01"
2	19	164.5	55.0	69.1	14' 56"	31' 19"	62' 57"
3	22	165.7	56.0	72.4	14' 52"	31' 36"	66' 00"
4	21	166.6	57.3	69.5	15' 42"	32' 46"	66' 45"
5	20	171.8	58.6	74.9	15' 57"	33' 40"	69' 34"
6	21	179.0	69.2	67.6	15' 56"	33' 58"	68' 34"
7	20	165.5	52.9	67.3	16' 32"	37' 30"	70' 02"
8	20	174.0	59.0	75.0	15' 15"	31' 30"	65' 21"
9	23	160.0	53.5	76.3	14' 38"	31' 00"	63' 00"
10	2	173.3	61.9	68.8	15' 43"	32' 52"	67' 20"
11	22	166.0	54.5	71.3	16' 20"	34' 05"	71' 37"
\bar{X}	21	168.8	58.5	71.6	15' 40"	32' 53"	66' 56"
SD	1.1	6.02	5.00	3.28	41" 7	1' 48" 5	2' 41" 5

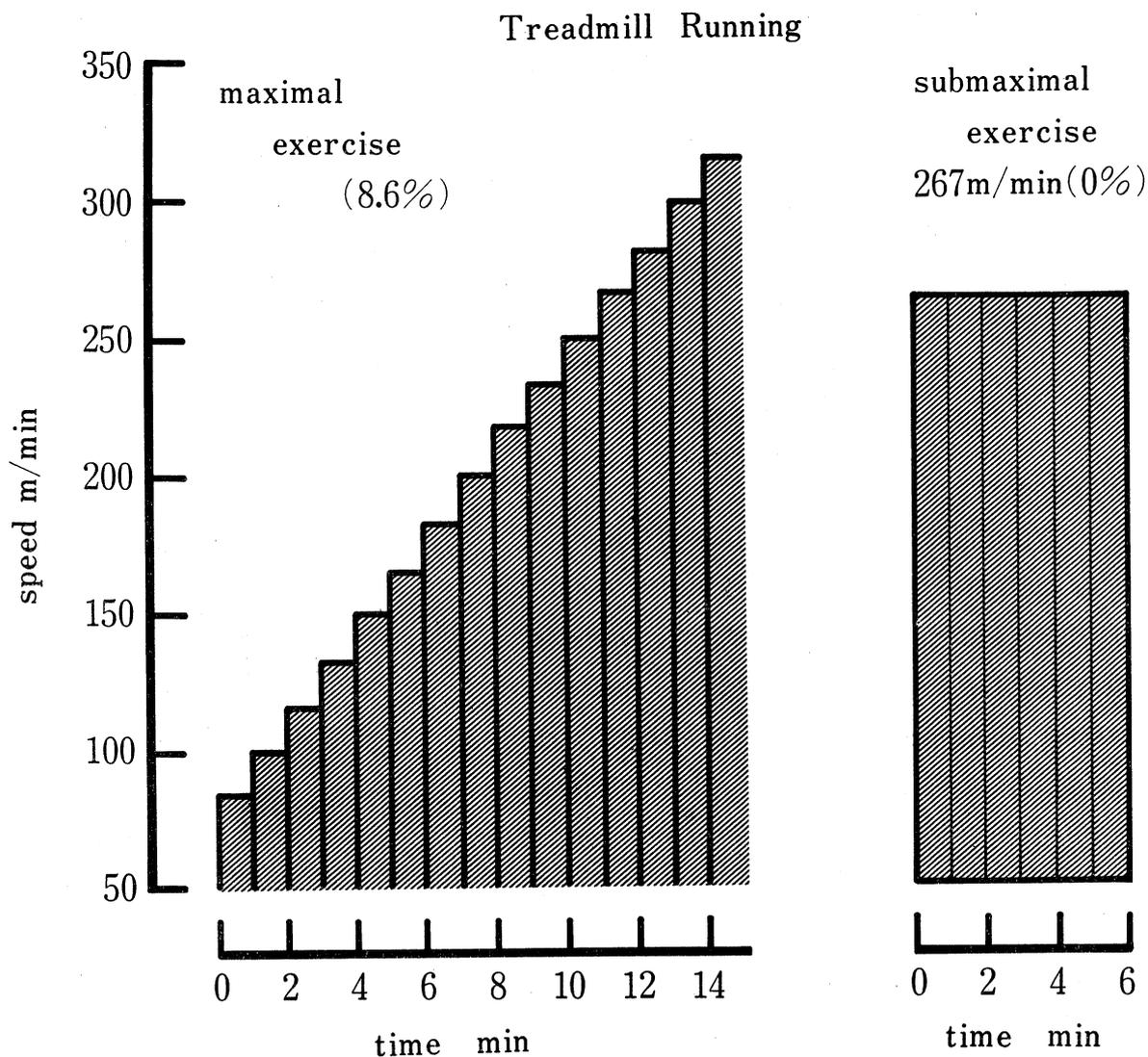


図 1 最大運動および最大下運動の負荷法について

量 ($\dot{V}O_2$ 267) は走行開始の1分目から6分目の $\dot{V}O_2$ を1分間値に平均して求めた。無酸素的閾値の酸素摂取量 ($\dot{V}O_2AT$) は、図2にみられるように、肺換気量 ($\dot{V}ESTPD$ l/min)、二酸化炭素排泄量 ($\dot{V}CO_2$ ml/min)、呼吸交換比 (R)、 $\dot{V}O_2$ に対する $\dot{V}E$ ($\dot{V}E/\dot{V}O_2$) および $\dot{V}CO_2$ に対する $\dot{V}E$ ($\dot{V}E/\dot{V}CO_2$) の各 gas exchange parameter から AT 出現時間を決定した。特に、 $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ が上昇しない状態でも $\dot{V}E/\dot{V}O_2$ が上昇する時点を重視した。この AT 出現時間を、 x を時間 (min) とし、 y を体重当りの $\dot{V}O_2$ (ml/kg·min) とした $y = Ax + B$ の回帰式に代入して $\dot{V}O_2AT$ を求めた。

心拍数 (HR)、 $\dot{V}O_2$ および各 gas exchange parameter は、最大走行運動および一定の最大下走行運動中すべて連続して測定した。HR は ECG 法による R 棘波を1分ごとに数えた。 $\dot{V}O_2$ および各 gas exchange parameter は、aerobic processor (日本電機三栄社製) の respiratory

metabolic analyzer を使用した。この analyzer の較正は従来の Douglas' bag 法によって行った。 $\dot{V}O_2$ は、 $y=0.999x+2.75$ (x : Douglas' bag 法, y : analyzer), $Se=1.58$ ml/kg·min, $r=0.995$ となり、 $\dot{V}E$ は、 $y=0.999x+1.63$, $Se=1.39$ l/min STPD, $r=0.999$ という回帰式、標準誤差および相関係数が得られ、この analyzer は測定に際し、信頼できる値を得ることができると考えられる。

III 結果および考察

1 $\dot{V}O_{2max}$

持久性評価の指標として生理学的に最も信頼されている $\dot{V}O_{2max}$ は、体重当りで見ても平均 71.6 ± 3.28 ml/kg·min となり、持久性競技者の $\dot{V}O_{2max}$ 同様に高い値を示した。本研究の被験者の $\dot{V}O_{2max}$ および 5000 m performance (15 分 40 秒 \pm 41 秒 7) は、長距離選手を対象とした山崎および青木³⁸⁾、Tanaka³²⁾、丸山および美坂²¹⁾ の報告とほぼ同水準であった。Costill⁹⁾ も、3 マイルの平均記録が 13 分 18 秒 (5000 m 相当 13 分 47 秒) となる一流長距離選手の $\dot{V}O_{2max}$ は、平均で 77.4 ± 3.69 ml/kg·min と非常に高い値を持っていることを報告している。

また、このような長距離選手の筋線維タイプは 70% 以上が slow twitch fiber で占められていると言われ、この slow twitch fiber (%ST) はミトコンドリア量、コハク酸脱水素酵素量、毛細血管の密度など、酸素を摂取するのに非常に有益な基質を豊富にもっている。Ivy¹²⁾ は、 $\dot{V}O_{2max}$ が 38.3~70.9 ml/kg·min の 20 名の被験者を用いて、 $\dot{V}O_{2max}$ —%ST, $\dot{V}O_{2max}$ —筋の呼吸能力および %ST—筋の呼吸能力の関係を調べたところ、それぞれに 0.1% 水準で、有意な相関を得ている。また $\dot{V}O_{2max}$ を制限する因子として、%ST や筋の呼吸能力をあげており、筋自体の酸化能力が $\dot{V}O_{2max}$ に大きく影響していることを示唆している。本研究では、 $\dot{V}O_{2max}$ —performance の関係は、Foster¹¹⁾ や Farrell¹⁰⁾ と異なり、有意な相関が得られなかった (図 3) が、これは被験者群の $\dot{V}O_{2max}$ の範囲が 67.3~76.3 ml/kg·min と比較的狭かったからであろう^{3) 5) 38)}。

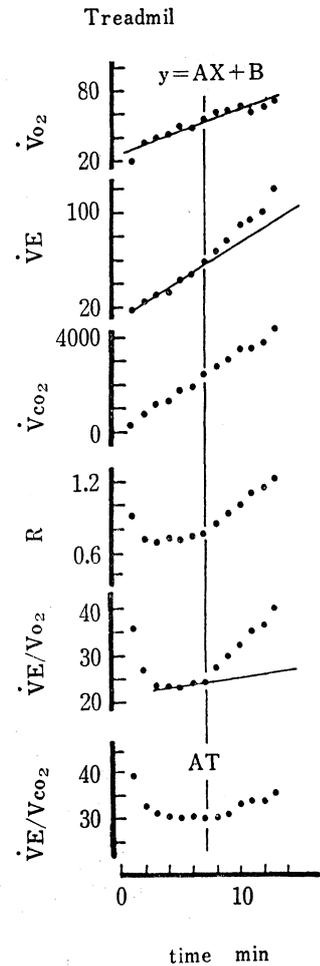
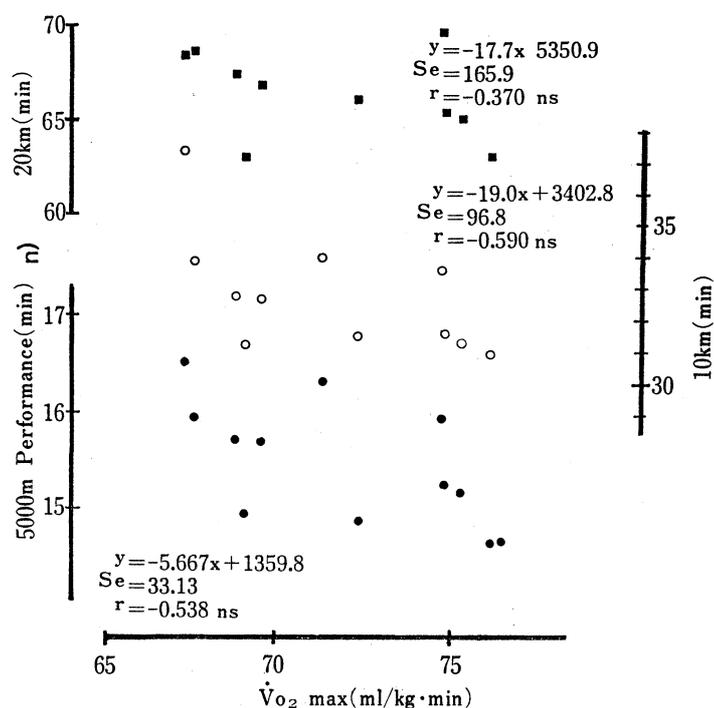


図 2 Anaerobic threshold の決定方法

図 3 $\dot{V}O_2 \max$ と Performance の関係について

2 $\dot{V}O_2$ 267 および $\% \dot{V}O_2$ 267

267 m/min の一定速度で走行した時の平均 $\dot{V}O_2$ ($\dot{V}O_2$ 267) は表 2 のように平均 50.0 ± 3.3 ml/kg·min となり, その範囲は 44.8~54.4 ml/kg·min に亘った。 $\dot{V}O_2 \max$ に対する $\dot{V}O_2$ 267 の割

表 2. 各被験者の $\dot{V}O_2$ 267, $\dot{V}O_2$ AT, $\% \dot{V}O_2$ 267 および $\%$ AT について

SUBJ.	$\dot{V}O_2$ 267 ml/min ml/kg·min	$\dot{V}O_2$ AT ml/kg·min	$\% \dot{V}O_2$ 267 %	$\%$ AT %
1	48.5	55.0	64.3	72.9
2	44.8	56.1	65.0	81.2
3	51.1	58.7	70.6	81.1
4	51.3	53.5	73.8	76.8
5	53.4	50.4	71.3	67.4
6	46.2	48.6	68.4	72.0
7	52.3	45.6	77.8	67.8
8	52.3	56.9	70.0	75.9
9	49.9	56.2	65.3	73.7
10	45.5	47.1	66.2	68.5
11	54.4	52.7	76.3	73.9
\bar{X}	50.0	52.8	69.9	73.8
SD	3.31	4.33	4.42	4.58

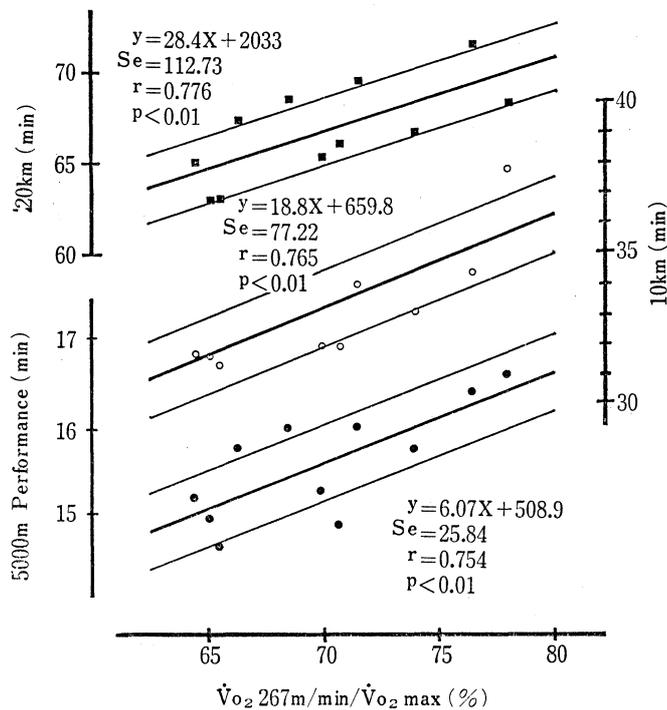


図 4 $\% \dot{V}O_2$ 267 と Performance との関係について

合 ($\% \dot{V}O_2$ 267) は、平均 $69.9 \pm 4.42\%$ であった。Costill ら⁸⁾、Farrell ら¹⁰⁾ および Bransford および Howley²⁾ の 268 ml/min の $\dot{V}O_2$ は、それぞれ 51.2 、 50.2 および $50.8 \text{ ml/kg} \cdot \text{min}$ となっており、本研究の値とほぼ同じ値を示した。Scheen ら²⁷⁾ は、6段階の一定負荷で20分間運動させ、ほぼ連続的に乳酸を測定しているが、 $\dot{V}O_2$ max の71%強度での一定運動は、 $\dot{V}O_2$ が一定であるのに対し、血中乳酸が著しく上昇していた。この乳酸値は63%の運動での乳酸上昇より、1.5倍以上大きいことを指摘している。本研究の6分間の $\% \dot{V}O_2$ 267 が71%以上を示した被験者が、No. 5.7 および 11 の3名おり、これらの被験者は鍛練者であるが、走行中に乳酸蓄積の可能性が大きく、performance にも大きく影響していると考えられる。

$\dot{V}O_2$ 267-performance の関係は、Conley および Krauhenbuhl⁵⁾ の報告と異なり、5000m、10km および 20km とも有意な相関が得られなかった。しかしながら、 $\% \dot{V}O_2$ 267-performance の関係は図4に示したように、3種目とも1%水準で有意な相関を認めた。走の経済性や効率を評価する際に、 $\dot{V}O_2$ 267 の絶対値と $\% \dot{V}O_2$ 267 の相対値はほとんど変わらないとされているが、本研究の結果 $\dot{V}O_2$ max の範囲が狭い場合、絶対値だけでなく、相対値でも検討することが必要である。このことは、ある走スピードに対する経済性のよさを表わすものであり、最大下走行時の $\dot{V}O_2$ 相対値の performance への影響についても考慮すべきであるといえよう。

3 $\dot{V}O_2$ AT および $\%AT$

$\dot{V}O_2$ AT ($\dot{V}O_2$ anaerobic threshold) は、運動強度が一定の割合で漸増する状況で、有酸素的代

謝に無酸素的代謝が加わり、後者の産物である乳酸の増加によって、筋中および血中の pH, HCO_3^- などが低下し、酸性に傾く（代謝性 acidosis）変移点での \dot{V}_O_2 で表されている³⁰⁾³³⁾。この \dot{V}_O_2 AT は、表2で示されたように平均で $52.8 \pm 4.33 \text{ ml/kg}\cdot\text{min}$ であり、%AT は、 $73.8 \pm 4.58\%$ となった。Tanaka ら³²⁾ は27名の、中、長距離選手を対象にトレッドミルを用いて、distance performance, \dot{V}_O_2 AT, \dot{V}_O_2 max について検討しているが、3マイルの performance が平均14分50秒2（5000 m 15分22秒）をもつ選手群の \dot{V}_O_2 max が $70.1 \pm 5.9 \text{ ml/kg}\cdot\text{min}$ で、その \dot{V}_O_2 AT が $52.8 \pm 7.9 \text{ ml/kg}\cdot\text{min}$ であり、%AT は、 $75.6 \pm 7.9\%$ であったという。この \dot{V}_O_2 AT の値は、本研究のものと一致し、%AT は、わずかに高い値である。また、Withers ら³⁷⁾ も長距離選手を対象に \dot{V}_O_2 AT および %AT をみており、 $52.7 \pm 6.2 \text{ ml/kg}\cdot\text{min}$ および $77.3 \pm 2.6\%$ という値を示した。本研究の \dot{V}_O_2 AT および %AT 値はほぼ妥当な値であると考えられる。

\dot{V}_O_2 AT は高度に鍛練された選手ほど高いと言われている²⁴⁾³⁶⁾ が、一流選手を対象とした \dot{V}_O_2 AT をみると、Rusko ら²⁵⁾ は女子のクロスカントリースキーヤーを bicycle ergometer で測定し、 \dot{V}_O_2 max が $47.3 \text{ ml/kg}\cdot\text{min}$, \dot{V}_O_2 AT が $40.9 \text{ ml/kg}\cdot\text{min}$ であり、%AT は86%という高い値であったと報告している。また Mickelson および Hagerenn²²⁾ は25名のエリートボート選手を対象に row ergometer を用いて、 \dot{V}_O_2 AT を測定し、絶対値で 4.77 l/min (weight 89.85 kg), %AT が83.5%であった。直接、 \dot{V}_O_2 AT を測定した報告ではないが、Costill ら⁷⁾ の報告によると、2時間8分33秒の記録をもつマラソン元世界最高記録保持者のクレイトンの \dot{V}_O_2 max は $69.3 \text{ ml/kg}\cdot\text{min}$ でしかないが、マラソン時平均スピードで、30分間トレッドミルを走らせ、 \dot{V}_O_2 を測定したところ、 \dot{V}_O_2 max の86%にも相当する値でマラソンを走破していることを指摘している。マラソン時の血中乳酸値が低いこと⁶⁾ から、この86% \dot{V}_O_2 max は無酸素的閾値に相当する負荷であろうと考えられる。これらのことから、一流選手では80%以上の %AT を必要とすると考えられる。

次に、このATと、筋自体の特性や筋の酸化能力との関係について検討する。Ivy ら¹³⁾ は、 \dot{V}_O_2 max, lactate threshold (LT), %ST および筋の呼吸能力について、これらの相互関係を考察している。それによると、%ST- \dot{V}_O_2 max の相関は0.62で、%ST-LT は0.74となり、%ST との結びつきはLTが高い。さらに、筋の呼吸能力- \dot{V}_O_2 max は0.83

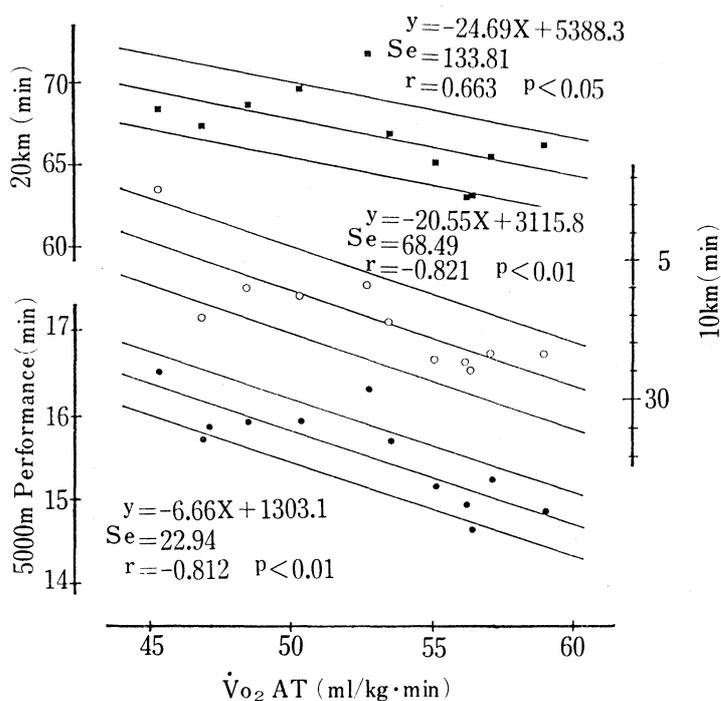


図5 \dot{V}_O_2 AT と Performance の関係について

表 3. 各指数と Performance の相関係数について

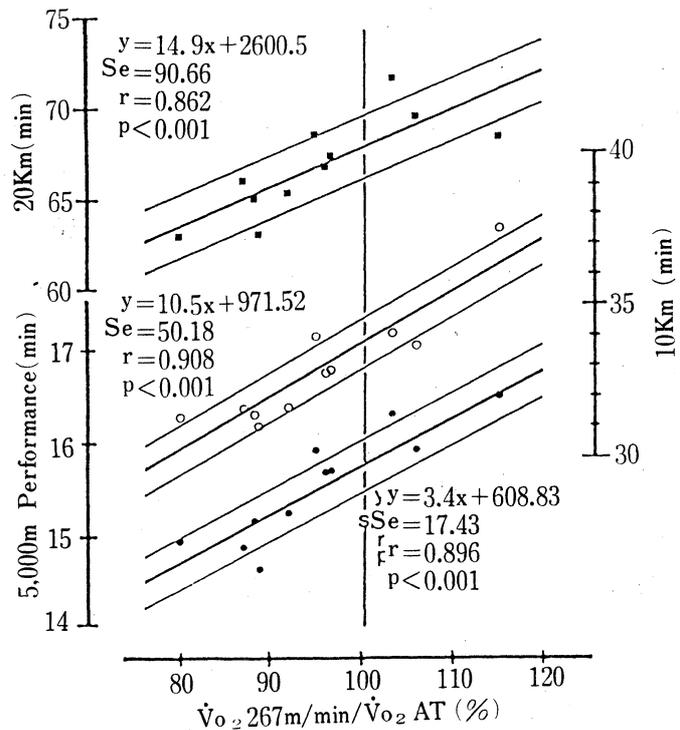
Performance Index	5000m	10km	20km
$\dot{V}O_2max$	-0.540	-0.590	-0.370
$\dot{V}O_{2267m}/min$	0.370	0.334	0.515
$\dot{V}O_2 AT$	-0.812 **	-0.821 **	-0.663 *
$\dot{V}O_{2267}/\dot{V}O_2max$	0.754 **	0.765 **	0.776 **
$\dot{V}O_2AT/\dot{V}O_2max$	-0.645 *	-0.625 *	-0.576
$\dot{V}O_{2267}/\dot{V}O_2AT$	0.896 ***	0.908 ***	0.862 ***

* $p < 0.05$ ** $p < 0.01$ *** $p < 0.001$

で、筋の呼吸能力—LT は 0.94 となり、筋の呼吸能力も LT の方が密接な関係のあることを示している。これは、ST の筋線維に含まれているミトコンドリア量が筋の酸化能力を高め、運動強度が高くなっても筋中乳酸の蓄積を遅らせ、循環血中への乳酸の放出、血液内蓄積等に関し重要な要因となることを示唆している。

$\dot{V}O_2 AT$, および %AT と performance との関係を見ると、表 3 でもわかるように $\dot{V}O_2 AT$ -performance の関係は、図 5 のように 5000 m, 10 km および 20 km で、それぞれ、-0.812, -0.821 および -0.663 と、ともに有意な相関が認められた。%AT-performance は 5000 m および 10 km で、それ

ぞれ -0.645 および -0.625 の有意な相関が認められたが、20 km では、有意な相関は認められなかった。 $\dot{V}O_2 AT$ -performance の関係について、Tanaka ら³²⁾ は、3 マイルの記録との関係で、-0.869 という高い有意な相関を得ている。Farrell ら¹⁰⁾ も、 $\dot{V}O_2 AT$ -4 種目の長距離走の performance の相関が $\dot{V}O_2max$ -performance の相関より高い値を示している。Tanaka らおよび Farrell らの $\dot{V}O_2 AT$ -performance の相関係数が本研究より高いのは、 $\dot{V}O_2 AT$ の範囲が広いためであると考えられる。

図 6 $\dot{V}O_2 267/\dot{V}O_2AT$ と Performance の関係について

Sjödin と Jacobs²⁹⁾ および Jacobs¹⁴⁾ はマラソン時の走行速度を OBLA (LA4mmole/l) の走行速度を 100% にした時の割合で表しているが、本研究ではこの方法を参考に、有酸素的代謝に無酸素的代謝が加わる anaerobic threshold の $\dot{V}O_2$ ($\dot{V}O_2$ AT) を 100% とし、そして、競技のペースに相当する 267m/min で走行する時の $\dot{V}O_2$ ($\dot{V}O_2$ 267) の割合 ($\dot{V}O_2$ 267/ $\dot{V}O_2$ AT) と performance の関係をみた。図 6 に示されたように、5000 m, 10 km および 20 km で、 $r=0.896, 0.908$ および 0.862 という 0.1%水準で有意に高い相関が認められ、 $\dot{V}O_2$ AT-performance 関係より密接な関連がみられた。

Jacobs ら¹⁵⁾ は、持久性運動能力の指標としての血中乳酸値について検討している。ここでは OBLA の仕事量が高いほど、運動時の exhaustion 時間が長く、また、200 W の運動を 6 分間行なった時の血中乳酸値が低いほど、exhaustion 時間の長いことを指摘している。彼らは、exhaustion 時間で performance を表したが、本研究で示されたように、 $\dot{V}O_2$ 267 が低いこと、 $\dot{V}O_2$ AT が高いことが、performance が良くなることを裏付けていると考えられる。また、Stegmann および Kindermann³¹⁾ は、4 mmole/l の血中乳酸値で決めた AT 強度 (OBLA) と固有 AT の強度 (ほぼ同じ概念) で、長時間の運動を行わせた結果、4 mmole/l の AT 強度は 14.4 分で exhaustion に達したが、固有の AT 強度は 50 分間の運動を完結することができたことを指摘し、Simon ら²⁸⁾ も同様の結果を報告している。この 4 mmole/l 値の強度は既に乳酸が蓄積した状態を示しており、%OBLA は %AT よりかなり高い強度を示していると思われる。

我々の $\dot{V}O_2$ AT 決定は Wassermann³³⁾³⁴⁾ の方法に従って決定したが、この値はほぼ 2 mmole/l に近い値であり、この 2 mmole/l の LA は有酸素的代謝領域に近く、乳酸の急な上昇開始点ともほぼ一致していると思われる。このように $\dot{V}O_2$ AT を 100% としてみると、その最大下運動が、身体にとってどのような負担になるか、その程度を把握することができる。すなわち $\dot{V}O_2$ 267/ $\dot{V}O_2$ AT が 100% を越える場合、その選手は無酸素的代謝領域で走行しており、持久性には不利であることを表し、70~80% の値で走行する選手はその競技レースの絶対スピードが、相対的に低いことを表している。以上のことから、この値は、競技の performance を推定するのにたいへんよい客観的指標になるものと考えられる。

IV 結 論

本研究は、長距離選手の performance を客観的に評価する生理学的指標について、 $\dot{V}O_2$ max, $\dot{V}O_2$ AT, %AT, $\dot{V}O_2$ 267, % $\dot{V}O_2$ 267, $\dot{V}O_2$ 267/ $\dot{V}O_2$ AT 等の指数を用いて検討した。

(1) 5000 m, 10 km および 20 km の performance が平均 15 分 40 秒, 32 分 53 秒, および 66 分 56 秒をもつ 11 名の長距離選手の $\dot{V}O_2$ max は、平均 71.6 ± 3.28 ml/kg·min であった。その $\dot{V}O_2$ max と performance との相関は、3 種目とも有意な差がなかった。

(2) $\dot{V}O_2$ 267 および % $\dot{V}O_2$ 267 は平均で 50.0 ± 3.31 ml/kg·min および $69.9 \pm 4.42\%$ であり、 $\dot{V}O_2$ 267-performance の関係は、3 種目とも有意な差が認められなかったが、% $\dot{V}O_2$ 267-perfor-

mance の関係は、3種目とも1%水準で有意な相関が認められた。

(3) $\dot{V}O_2 AT$ および %AT は、平均 52.8 ± 4.33 ml/kg·min および $73.8 \pm 4.58\%$ であり、 $\dot{V}O_2 AT$ -performance との関係は、3種目とも1%水準で有意な相関がみられた。%AT-performance の関係は5000 m および10 km の2種目に5%水準で有意な相関が得られた。

(4) $\dot{V}O_2 AT$ を100%とした時の $\dot{V}O_2 267$ の割合でみた指数と performance との関係を見たところ、3種目とも0.1%水準で有意な相関が得られた。いくつかの指数の中で、 $\dot{V}O_2 267/\dot{V}O_2 AT$ の値が、最も performance と密接な関係が得られ、この指数は、 $\dot{V}O_{2max}$ がほぼ同水準にある長距離選手の performance をより客観的に評価するのによい指標となると考えられる。

終稿にあたり、本実験に協力してくれた四元清路学士、有蘭公博学士、並びに被験者の各位に、厚く御礼申し上げます。

なお、本研究の要旨は、昭和58年、第32回九州体育学会に発表した。

参 考 文 献

- 1) Åstrand, P.O. and Rodahl, K.: Physical work capacity: Textbook of work physiology, 305-315 (1970)
- 2) Bransford, D.R. and Howley, E.T.: Oxygen cost of running in trained and untrained men and women: Med. Sci. Sports 9: 41-44 (1977)
- 3) Caiozzo, V. J., Davis, J. A., Ellis, J.F., Azus, J.L., Vandogriff, R., Prietto, C.A. and McMaster, W.C.: A comparison of gas exchange indices used to detect the anaerobic threshold: J. Appl. Physiol. Respirat. Environ. Exercise Physiol. 53(5): 1184-1189 (1982)
- 4) 帖佐寛章, 栗本闊夫, 青木純一郎: 長距離走の $\dot{V}O_2 max$ の縦断的研究: 順天堂大学保健体育紀要 14: 91-93 (1971)
- 5) Conley, D.L. and Krahenbuhl, G.S.: Running economy and distance running performance of highly trained athletes: Med. Sci. Sports. 12(5): 357-360 (1980)
- 6) Costill, D.L. and Fox, E.L.: Energetics of marathon running: Med. Sci. Sports 1(2): 81-86 (1969)
- 7) Costill, D.L., Branam, G., Eddy, D. and Sparks, K.: Determinants of marathon running success: In. Z. Angew. Physiol. 29: 249-254 (1971)
- 8) Costill, D.L., Thomason, H. and Robert, E.: Fractional utilization of the aerobic capacity during distance running: Med. Sci. Sports. 5: 248-252 (1973)
- 9) Costill, D.L., Fink, W.J. and Pollok, M.L.: Muscle fiber composition and enzyme activities of elite distance runners: Med. Sci. Sports 8(2): 96-100 (1976)
- 10) Farrell, P.A., Wilinore, J.H., Coyle, E.F., Biling, J.E. and Costill, D.L.: Plasma lactate accumulation and distance running performance: Med. Sci. Sports 11(4): 338-344 (1979)
- 11) Foster, C.D., Costill, D.L., Daniels, J.T. and Fink, W.J.: Skeletal muscle enzyme activity, fiber composition and $\dot{V}O_{2max}$ in relation to distance running performance: Eur. J. Appl. Physiol. 39: 73-80 (1978)
- 12) Ivy, J.L., Costill, D.L. and Maxwell, B.D.: Skeletal muscle determinants of maximum aerobic power in man: Eur. J. Appl. Physiol. 44: 1-8 (1980)
- 13) Ivy, J.L., Withers, R.T., Van Handel, P.J., Elger, D.H. and Costill, D.L.: Muscle respiratory capacity and fiber type as determinants of the lactate threshold: J. Appl. Physiol. Respirat. Environ. Exercise Physiol. 48: 523-526 (1980)

- 14) Jacobs, I. : Lactate muscle glycogen and exercise performance in man: *Acta Physiol. Scand. suppl.* **495**: 1-35 (1981)
- 15) Jacobs, I., Sjödin, B. and Schele, R. : A single blood lactate determination as an indicator of cycle ergometer endurance capacity: *Eur. J. Appl. Physiol.* **50**: 355-364 (1983)
- 16) 黒田善雄, 加賀谷潤彦, 塚越克己, 雨宮輝也, 太田裕造, 酒井惇子: 日本人一流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)
- 17) 黒田善雄, 雨宮輝也, 塚越克己, 鈴木洋児, 伊藤静夫, 北嶋久雄: 酸素摂取水準の維持能力に関する研究第2報: 日本体育協会スポーツ科学研究報告. 1-11 (1975)
- 18) 黒田善雄, 雨宮輝也, 塚越克己, 伊藤静夫, 金子敬二, 松井美智子: 酸素摂取水準の維持能力に関する研究第3報 最大酸素摂取量と定常状態維持可能な $\dot{V}O_2 \max$ との関係: 日本体育協会スポーツ科学研究報告. 1-14 (1977)
- 19) MacDougall, J.D. : The anaerobic threshold: Its significance for the endurance athlete: *Can. J. Appl. Sport Sci.* **2**: 137-140 (1977)
- 20) 丸山敦夫, 大永政人, 徳田修司: 長距離の鍛練者における2種類の最大下走行後酸素負債量について: 鹿児島大学教育学部紀要 **31**: 33-40 (1980)
- 21) 丸山敦夫, 美坂幸治: Distance training が長距離選手の $\dot{V}O_2$ AT, $\dot{V}O_2 \max$ および performance に及ぼす影響について: 体力科学抄録集 **38** (1983)
- 22) Mickelson, T.C. and Hagermann, F.C. : Anaerobic threshold measurements of elite oarsmen: *Med. Sci. Sports* **14**(6): 440-444 (1982)
- 23) Miyashita, M., Miura, M., Kobayashi, K. and Hoshikawa, T. : A study on relations between physical performance and physical resources: *Med. Sports 8 Biomechanics III*: 349-353 (1973)
- 24) Rusko, H., Havu, M. and Karvinen, E. : Anaerobic performance capacity in athletes: *Eur. J. Appl. Physiol.* **38**: 151-159 (1978)
- 25) Rusko, H., Rahkila, P. and Karvinen, E. : Anaerobic threshold, skeletal muscle enzymes and fiber composition in young female cross-country skiers: *Acta Physiol. Scand.* **108**: 264-268 (1980)
- 26) Saltin, B. and Åstrand, P.O. : Maximal oxygen uptake in athletes: *J. Appl. Physiol.* **23**(3): 353-358 (1967)
- 27) Scheen, A., Juchmes, J. and C-Fossion, A. : Critical analysis of the "Anaerobic threshold" during exercise at constant workloads: *Eur. J. Appl. Physiol.* **46**: 367-377 (1981)
- 28) Simon, J., Young, J.L., Gutin, B., Blood, D.K. and Case, R.B. : Lactate accumulation relative to the anaerobic and respiratory compensation threshold: *J. Appl. Physiol. Respirat. Environ. Exercise Physiol.* **54**(1): 13-17 (1983)
- 29) Sjödin, B. and Jacobs, I. : Onset of blood lactate accumulation and marathon running performance: *Int. J. Sports Med.* **2**: 23-26 (1981)
- 30) Skinner, J.S. and Mclellan, T.H. : The transition from aerobic to anaerobic metabolism: *Res. Quart.* **51**(1): 234-248 (1980)
- 31) Stegmann, H. and Kindermann, W. : Comparison of prolonged exercise tests at the individual anaerobic threshold and the fixed anaerobic threshold of 4mmole^{-1} lactate: *Int. J. Sports Med.* **3**: 105-110 (1982)
- 32) Tanaka, K., Matsuura, Y. and Moritani, T. : A correlational analysis of maximal oxygen uptake and anaerobic threshold as compared with middle and long distance performances: *J. Physical Fitness Japan.* **30**: 94-102 (1981)
- 33) Wassermann, K. and McIlroy, M.B. : Detecting the threshold of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise: *Am. J. Cardiol.* **14**: 844-852 (1964)
- 34) Wassermann, K., Whipp, B.J., Koyal, S.N. and Beaver, W.L. : Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise: *J. Appl. Physiol. Respirat. Environ. Exercise Physiol.* **54**(2): 587-593 (1983)

- 35) Wassermann, K. and Whipp, B. J. : Exercise physiology in health and disease: Am. Review Respirat. Disease 112: 219-249 (1975)
- 36) Williams, C.G., Wyndham, C.H., Kok, R. and Von Rahdem, M.J.E. : Effect of training on maximum oxygen intake and on anaerobic metabolism in man: Int. Z. Angew. Physiol. Arb. 24: 18-23 (1967)
- 37) Withers, R.T, Shermann, W.M., Miller, J.M. and Costill, D.L. : Specificity of the anaerobic threshold in endurance trained cyclists and runners: Eur. J. Appl. Physiol. 47: 93-104 (1981)
- 38) 山崎省一, 青木純一郎: 長距離走者の競技記録と無酸素的能力: 体力科学 26: 87-96 (1977)