

1500m 走記録と最大酸素摂取量及び 無酸素性作業閾値の関係

北 村 潔 和

富山大学教養部運動生理学教室

Relationship of Maximum Oxygen Uptake and Anaerobic Threshold with 1500 m Run

Kiyokazu Kitamura

Laboratory for Work Physiology, College of Liberal Arts, Toyama University

I. 目 的

競技力（競技成績）を決定する要因を明らかにすることは、トレーニングの方法を考える場合やその競技適性を検討する場合に有用であると考えられる。

猪飼¹⁰⁾は、競技力を次のように定義している。

$$P = C \int E (M)$$

ここで、P（Performance）は競技力であり、Cはサイバネティクス（Cybernetics）で技術に相当するものである。Eはエネルギー（Energy）で、身体運動のために必要な化学的エネルギーを指す。また、Mは意欲（Motivation）であり、“やる気”である。したがって、競技力は、これらを総合された結果と考えることができる。

さらに、この定義によると、競技特性によって、その決定要因が変わることが考えられる。すなわち、技術的要因の大きい競技（例えば卓球、バレーボールなど）では、エネルギー的要因よりも技術的要因によって、また、陸上の長距離走のような技術的要因の小さいと考えられる競技では、技術的要因よりもエネルギー的要因の大小が競技力を決定するように考えられる。事実、三浦^{18,19)}らは、技術的要因や意欲の差が小さいと考えられる選手たちの間の、5000m走記録と体重当り最大酸素摂取量の間に密接な関係があり、エネルギー

ギーの大きい選手ほど競技力が優れていることを報告している。また、三浦は¹⁹⁾ エネルギー量（最大酸素摂取量）が同じにもかかわらず、競技力（記録）に違いのある選手について、その差の要因を技術的な面から検討している。そして、競技力が劣った選手は、競技力の優れていた選手に比べて、重心の上下動の大きな走りをしていたことを明らかにしている。

最近では、10km 走やマラソンなどに優れた成績をおさめている選手は、乳酸が急激に増大しはじめる閾値（無酸素性作業閾値）が一般人に比べて高いことが明らかにされてきている。^{7,23)} また、この閾値が長距離走記録と密接な関係にあることも報告されている。^{1,2,5,23)} これらの報告は、同じエネルギー（最大酸素摂取量）を有する選手であっても、無酸素性作業閾値の大小によって競技力が変ることを示唆している。しかし、長距離走記録を決定する要因を、エネルギーの代謝特性から検討した報告は少ない。

本実験では、同程度の最大酸素摂取量を有する長距離選手と短距離選手を対象に1500m 走、最大酸素摂取量及び無酸素性作業閾値（anaerobic threshold : AT）を測定し、これらの関係から1500m 走記録を決定する要因をエネルギーの代謝特性から検討することを目的とした。

II. 実験方法

1) 被検者

被検者は、毎日（週3回は合同練習）2～3時間の練習を行っている、T大学陸上競技部に所属する男子11名と女子3名の合計14名である。その内の9名は中長距離選手（男子8名と女子1名）で、他の5名は短距離選手4名（男子3名と女子1名）と女子投てき選手1名である。その年齢及び身体的特徴は、表1に示した。

2) 最大酸素摂取量の測定と無酸素性作業閾値の決定

最大酸素摂取量の測定と無酸素性作業閾値を決定するための最大作業は、モナーク社製の自転車エルゴメーターを用いた負荷漸増法により行わせた。すなわち、ペダルの回転数は60回/分にし、メトロノームに合わせてリズム調整を行わせた。負荷は、0.5kp から開始し、作業開始4分目までは1分毎に0.5kp ずつ増し、その後は疲労困憊まで0.25kp ずつ漸増した。疲労困憊の判定は、被検者が規定のリズムでペダリングができなくなることを目安にして検者が行った。

作業開始から疲労困憊までの酸素摂取量の測定は、OXYCON-4（フクダ産業株式会社）を用いて行った。すなわち、換気量は、30秒間隔で乾式ガスメーター（BELOWS方式）で自動的に計量し、呼気ガス中の酸素濃度はパラマグネット方式で、二酸化炭素は赤外線方式で分析し、得られたこれらの値を1分間値に換算して酸素摂取量（l/min）を自動的に算出した。また、作業中に得られた酸素摂取量の最大値を最大酸素摂取量とした。

無酸素性作業閾値 (AT) は, Skinner と Mclellan²¹⁾の方法にしたがい, FECO_2 (呼気二酸化炭素濃度) のピーク値を基準にして決定した。このピーク値の判定にあたっては, 作業中に得られた FEO_2 (呼気酸素濃度), FECO_2 及び換気量 ($\dot{V}\text{E}$) を作業時間経過に対してグラフ用紙にプロットして, FEO_2 の極小値や換気量の変曲点を参考にして検者が決定した。その例を2名の被検者について図1に示した。

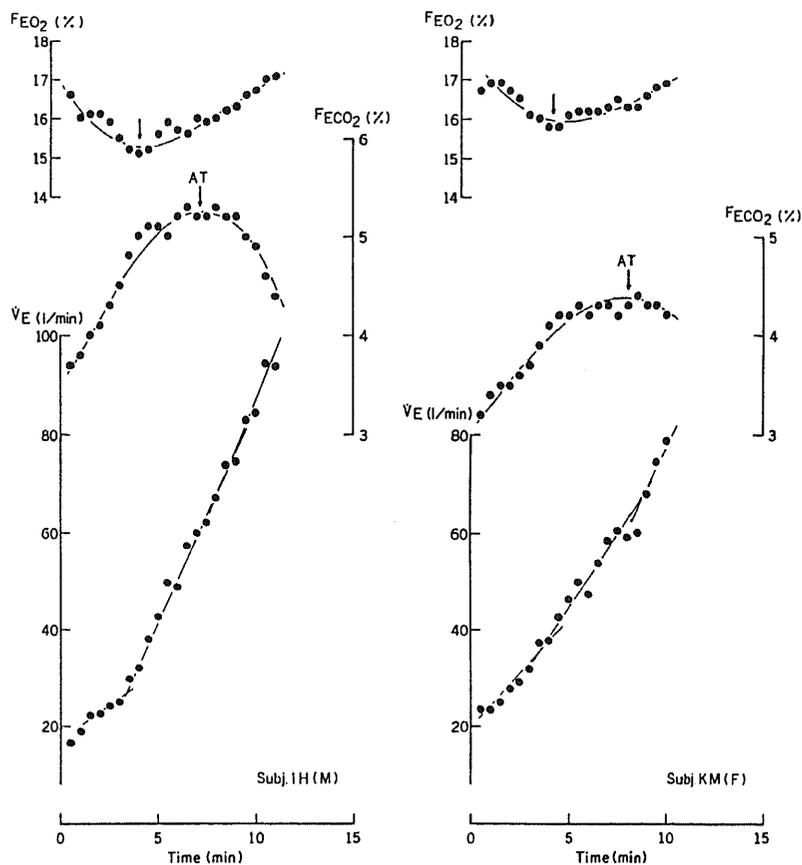


図1 漸増負荷作業中におけるガス交換変数諸量の変化。 FECO_2 : 二酸化炭素濃度, FEO_2 : 酸素濃度, $\dot{V}\text{E}$: 換気量を示す。 FEO_2 の矢印は有酸素性作業閾値, FECO_2 の矢印は無酸素性作業閾値を示す。被検者IH(男性)とKM(女性)の場合。

3) 心拍数の測定

心拍数は, 胸部双極誘導により, 作業開始から疲労困憊まで作業中を通じて連続して多用途記録監視装置(日本光電工学株式会社)に心電図を記録し, 酸素摂取量測定時の30秒間のR波を読み取り, 1分間値に換算して求めた。

4) 1500m 走

1500m 走の記録は、合同練習中に400m の公認トラックを用いて測定した。

III. 結 果

最高心拍数，最大換気量，最大酸素摂取量，体重当り最大酸素摂取量，無酸素性作業閾値及び1500m 走記録を一括にして表1 に示した。

男子中長距離選手の最大酸素摂取量は3.11 l/min であり，短距離選手 (3.34 l/min) の値とよく一致した。また，体重当り最大酸素摂取量においても，中長距離選手 (50.8 ml/kg・min) と短距離選手 (53.6ml/kg・min) の値はよく一致した。

女子選手の最大酸素摂取量は，長距離選手，短距離選手及び投てき選手の間でよく似た値を示した。しかし，体重当り最大酸素摂取量は，短距離選手，長距離選手に比べて投てき選手は低い値を示した (表1)。

男子中長距離選手の無酸素性作業閾値の平均値は，最大酸素摂取量の78.0%であり，短距離選手 (53.4%) の値よりも高い値を示した。女子においても，長距離選手の無酸素性作業閾値は，投てき及び短距離選手のそれに比べて高い値を示した。

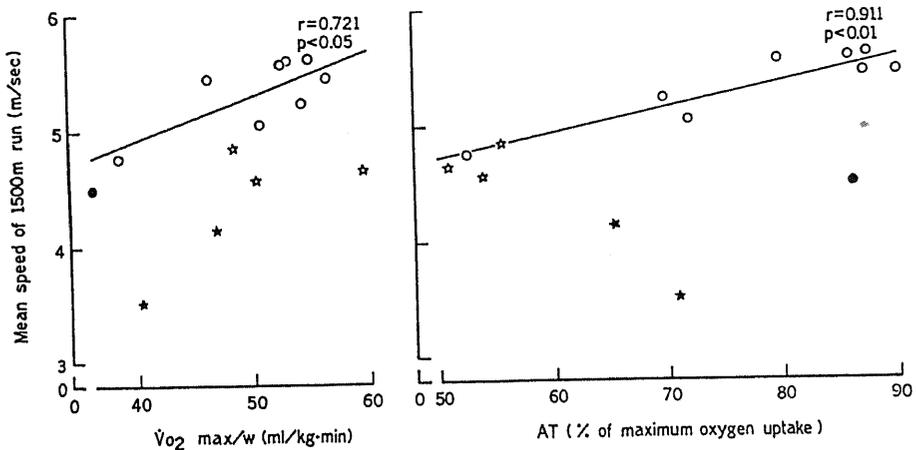


図2 左図は，1500m 走平均スピードと体重当り最大酸素摂取量の関係を示す。右図は，1500m 走平均スピードと無酸素性作業閾値の関係を示す。白丸印は男子中長距離選手，黒丸印は女子中長距離選手，白星印は男子短距離選手，黒星印は女子短距離選手と投てき選手を示す。

図2の左図は，1500m 走の平均スピードと体重当り最大酸素摂取量の関係を示したものである。中長距離選手の1500m 走の平均スピードと体重当り最大酸素摂取量の間には，密接な関係が認められた ($r=0.721$, $p<0.05$)。また，女子長距離選手は，その回帰直線上に位置した。しかし，男女の短距離選手と投てき選手は，男子中長距離選手の間で得られた回帰直線よりも下位に位置した。

表 1. 被検者の年齢及び身体的特徴とガス交換諸変量

被検者	性別	年齢 (yr)	身長 (cm)	体重 (kg)	HR max (beats/min)	VE max (l/min)	V02 max (l/min)	V02 max/w (ml/kg·min)	AT (%)	1500m (min:sec)	種目
HO	M	21	175	61	188	97.8	3.09	50.7	71.8	4'57"	中長
MK	M	20	169	64	164	99.3	3.52	55.0	87.5	4'27"	長
HK	M	19	174	59	190	81.9	3.21	54.4	69.8	4'46"	長
I H	M	19	171	65	210	94.4	3.00	46.2	90.0	4'35"	中長
TM	M	19	170	59	186	77.9	3.13	53.1	85.9	4'28"	中長
TT	M	20	173	58	190	78.6	2.23	38.4	52.5	5'15"	長
O I	M	20	168	60	168	72.6	3.15	52.5	79.7	4'29"	中
TO	M	21	173	63	176	133.4	3.56	56.2	87.1	4'35"	長
TS	M	20	177	62	194	105.0	3.69	59.5	50.9	5'22"	短
TH	M	19	169	63	176	91.2	3.17	50.3	53.9	5'28"	短
KT	M	18	170	62	194	74.2	3.17	51.1	55.5	5'09"	短
KM	F	18	160	64	192	78.8	2.58	40.3	70.9	7'15"	投
TN	F	19	155	50	184	92.1	2.34	46.7	65.4	6'01"	短
TI	F	20	156	47	180	69.0	2.15	45.7	86.1	5'33"	長

HR max : 最高心拍数, VE max : 最大換気量, $\dot{V}O_2$: 最大酸素摂取量, $\dot{V}O_2$ max/w : 体重当り最大酸素摂取量,
 AT : 無酸素性作業閾値 (最大酸素摂取量に対する相対値で示した)

図2の右図は、無酸素性作業閾値（最大酸素摂取量に対する相対値で示す）と1500m走の平均スピードとの関係を示したものである。男子中長距離選手の間には、相関係数 $r=0.911$ と密接な関係が認められた（ $p<0.01$ ）。また、男子の短距離選手は、回帰直線上に位置した。しかし、女子の長距離、短距離選手及び投てき選手は、この回帰直線の下に位置した。

IV. 考 察

最大酸素摂取量が正しく測定されていたかどうかは、被検者を疲労困憊に導いていたかどうかにかかわっている。この疲労困憊の判定は、先にも述べたように、規定のリズムで作業が遂行できなくなることを目安にして決定した。しかし、これでは、被検者を生理学的に疲労困憊まで導いていたかは明らかでない。

これまでに、この判定を生理学的に決定するための、いくつかの指標が明らかにされてきている。その中でも、悲観血的に測定できる指標として心拍数（180拍/分以上）と呼吸商（1.0以上）が一般に用いられてきている。^{11,13)}本研究では、この2つの指標のどちらか一方を満足したものを、疲労困憊であったと判定した。どちらか一方の指標としたのは、長距離走などの高度な持久性トレーニングを積むと、最高心拍数が一般人に比べて低くなるという報告があるためである。¹⁴⁾

本実験においても、180拍/分を越えなかった被検者が4名いた。これらの被検者は、先の報告と同じように日常のトレーニングによって最高心拍数が低くなったものと考えられる。¹⁴⁾しかし、これら4名の被検者を含め、全ての被検者の呼吸商は1.0以上であり、結果的には、先の4名の被検者以外は、心拍数と呼吸商の2つの指標を満足したことになる。したがって、本実験では、被検者を疲労困憊まで導いて、正しく最大酸素摂取量が測定できたものと考えられる。

次に、無酸素性作業閾値は、作業方法や作業形態などによって変ることが知られている。^{5,20,22,24)}本実験では、自転車エルゴメーターを用いた、1分毎の負荷漸増法によって測定した。その時のガス交換変数諸量の変動は、これまでの報告とよく一致した（図1）。また、図1にみられるように、 FECO_2 のピーク、 FEO_2 の極小値及び換気量の変曲点は明瞭であった。さらに、 FECO_2 のピーク値によって決定された無酸素性作業閾値は、最大酸素摂取量の50.9%~90%の範囲にあり、SkinnerとMcIlellanの報告とほぼ同じ範囲に分布していた。²¹⁾

さらに問題となるのは、1500m走記録が、高い意欲の中で測定できていたかどうかである。本実験では、実験の目的や意義を十分に説明し、この実験に積極的に参加を申し出た選手のみを被検者にしたことや合同練習中の記録会の中で測定したことから、短距離選手であっても高い意欲の中で1500m走記録の測定ができたものと考えられる。

ところで、本実験の中長距離選手の体重当り最大酸素摂取量と1500m走記録（平均ス

ピード)の間には、密接な関係が認められ、これまでの報告とよく一致した^{2,12,18,19)}。しかし、短距離選手は、この回帰直線よりも明らかに下位に位置し、最大酸素摂取量以外の要因が、短距離選手の1500m 走記録に影響を及ぼしていたことが示唆された。

筋内に乳酸が蓄積すると、運動を遂行することができなくなることが知られている。したがって、長時間の運動を疲労することなく遂行するためには、この乳酸の蓄積をできるだけ遅らせることや競技記録を考えると、できるだけ高いエネルギー出力水準まで乳酸の発現を抑えることが重要であるといえる。事実、高い持久性能力を有する選手では、乳酸が加速度的に増大する閾値が一般人に比べて高いことや、^{7,23)} 持久的トレーニングによって、その閾値が高まる⁶⁾ことが報告されている。

乳酸が加速度的に増大する閾値を決定するためには、運動中の血液を連続的に採血する必要がある。しかし、最近では、運動中のガス交換変数から、悲観的にこの閾値が推定できることが報告されてきている。この指標が、無酸素性作業閾値であり、ガス交換変数から求められた値と乳酸から求められた値の間に密接な関係のあることが報告されている。⁵⁾

本実験では、先の最大酸素摂取量が同じにもかかわらず、1500m 走の記録に違いのある原因をさぐるために、この無酸素性作業閾値(乳酸の加速度的に増大する閾値)を測定した。その結果、中長距離選手の無酸素性作業閾値と1500m 走記録の間に密接な関係が認められ、また、中長距離選手の無酸素性作業閾値が短距離選手のそれに比べて高いことが認められた。興味あることは、中長距離選手の間で得られた回帰直線上に、短距離選手が位置したことである。これは、中長距離選手と短距離選手の間にみられた1500m 走記録の差は、無酸素性作業閾値にあったことを示すものであろう。したがって、同じ最大酸素摂取量を有する選手の1500m 走記録は、無酸素性作業閾値によって決定されると考えられる。

最大酸素摂取量が同じであるにもかかわらず、無酸素性作業閾値が大きく異なる原因については、さらに検討する必要がある。しかし、中長距離選手では、SDH(コハク酸脱水素酵素)活性が、短距離選手に比べて低いことや、また、その逆に、短距離選手や投てき選手のLDH(乳酸脱水素酵素)やPHOSP(フォスフォリラーゼ)活性が中長距離選手に比べて高いことが報告されている^{3,7)}。さらに、このような酵素活性が、短距離的なトレーニングや長距離的トレーニングによって変ることが知られている^{4,8,9)}。これらのことを考えると、この原因の1つには、中長距離選手と短距離選手の間にみられた酵素活性の違いによる⁶⁾ことが推測される。

以上の検討から、同じ最大酸素摂取量を有する男子中長距離選手と短距離選手の1500m 走記録の差は、無酸素性作業閾値の違いによる⁶⁾ことが示唆された。また、その無酸素性作業閾値の差は、トレーニングの質の違いによる⁶⁾ことが推測された。しかし、女子選手については、さらに検討する必要がある。

V. 要 約

中長距離選手 9 名（男子 8 名と女子 1 名）、短距離選手 4 名（男子 3 名と女子 1 名）及び女子投てき選手 1 名を被検者にして、1500m 走、最大酸素摂取量及び無酸素性作業閾値を測定した。

男子中長距離選手の最大酸素摂取量 (3.11 l/min) と体重当り最大酸素摂取量 (50.8 ml/kg · min) は、短距離選手の最大酸素摂取量 (3.34 l/min) と体重当り最大酸素摂取量 (53.6ml/kg · min) とほぼ同じであった。しかし、無酸素性作業閾値は、中長距離選手 (78.0%) の方が短距離選手 (53.4%) に比べて高い値を示した。

男子中長距離選手の体重当り最大酸素摂取量と1500m 走記録の間には、密接な関係が認められた ($r=0.721$, $p<0.05$)。しかし、短距離選手は、その回帰直線よりも明らかに下位に位置した。

また、中長距離選手の無酸素性作業閾値は1500m 走記録との間に密接な関係を示した ($r=0.911$, $p<0.01$)。興味あることは、短距離選手が、その回帰直線上に位置した。したがって、最大酸素摂取量が同じにもかかわらず、中長距離選手と短距離選手の間にもみられた、1500m 走記録の差は、無酸素性作業閾値の違いにあったことが示唆された。

文 献

- 1) Cisar, C.J., W.G. Thorland, G.O. Johnson and T.J. Housh (1986) The effect of endurance training on metabolic responses and the prediction of distance running performance. *J. Sports Med.*, **26** : 234-240.
- 2) Costill, D.L. (1967) The relationship between selected physiological variables and distance running performance. *J. Sports Med.*, **7** : 61-66.
- 3) Costill, D.L. (1976) Skeletal muscle enzymes and fiber composition in male and female track athletes. *J. Appl. Physiol.*, **40** : 149-154.
- 4) Costill, D.L. (1979) Adaptations in skeletal muscle following strength training. *J. Appl. Physiol.*, **46** : 96-99.
- 5) Davis, J.A., P. Vodak, J.H. Wilmore, J. Vodak and P. Kurtz (1976) Anaerobic threshold and maximal aerobic power for three modes of exercise. *J. Appl. Physiol.*, **41** : 544-550.
- 6) Davis, J.A., M.H. Frank, B.J. Whipp and K. Wasserman (1979) Anaerobic threshold alterations caused by endurance training middle-aged men. *J. Appl. Physiol.*, **46** : 1039-1046.
- 7) Gollnick, P.D. (1972) Enzyme activity and fiber composition in skeletal muscle of untrained and trained men. *J. Appl. Physiol.*, **33** : 312-319.
- 8) Gollnick, P.D. (1973) Effect of training on enzyme activity and fiber composition of human skeletal muscle. *J. Appl. Physiol.*, **34** : 107-111.
- 9) Henriksson, J. and J.S. Reilman (1977) Time course of activity changes in human skeletal muscle succinate dehydrogenase and cytochrome oxidase dehydrogenase and maximal oxygen uptake

- with physical activity and inactivity. *Acta Physiol. Scand.*, **99** : 91-97.
- 10) 猪飼道夫 (1973) 身体運動の生理学, 猪飼道夫編. 杏林書院 pp.4
 - 11) Kobayasi, K., K. Kitamura, M. Miura, H. Sodeyama, Y. Murase, M. Miyasita and H. Matsui (1978) Aerobic power as related body growth and training in Japanese boys : a longitudinal study. *J. Appl. Physiol.*, **44** : 666-672.
 - 12) 小林寛道, 北村潔和, 早水サヨ子, 太田順子, 松井秀治 (1979) 中学・高校生の持久走力と Aerobic power との関係, *総合保健体育科学*, **2** : 1-12.
 - 13) 小林寛道, 北村潔和, 松井秀治 (1980) 一般健康成人男子および中高年スポーツ愛好者の Aerobic power. *体育学研究*, **24** : 313-323.
 - 14) Koeslag J.H. and A.W. Sloan (1976) Maximal heart rate and maximal oxygen consumption of long distance runners and other athletes. *J. Sports Med.*, **16** : 17-21.
 - 15) Kumagai, S., K. Tanaka, Y. Matsuura, A. Matuzaka, K. Hirakoba and K. Asano (1982) Relationship of the anaerobic threshold with the 5km, 10km and 10 mile races. *Eur. J. Appl. Physiol.*, **49** : 13-23.
 - 16) Lopatequi, E., H.R. Perez, T.K. Smith and R.M. Otto (1986) The anaerobic threshold of elite and novice cyclists. *J. Sports. Med.*, **26** : 123-127.
 - 17) Maughan, R.J. and J.B. Leiper (1983) Aerobic capacity and fractional utilisation of aerobic capacity in elite and non-elite male and female marathon runners. *Eur. J. Appl. Physiol.*, **52** : 80-87.
 - 18) 三浦望慶, 松井秀治, 星川 保, 宮下充正, 小林寛道, 袖山 紘 (1971) 走運動における身体資源 (Physical resources) と運動成果 (Physical performance) の関係について, *体育の科学*, **21** : 114-119.
 - 19) 三浦望慶 (1985) 運動のパフォーマンスと効率. *J.J. Sports Sci.* **4** : 22-28.
 - 20) Reybrouck, T., J. Ghesquiere, A. Cattaert, R. Fagard and A. Amery (1983) Ventilatory thresholds during short- and long-term exercise. *J. Appl. Physiol.*, **55** : 1694-1700.
 - 21) Skinner, J.S. and T.H. McLellan (1980) The transition from aerobic to anaerobic metabolism. *Res. Quart. Exer. Sports*, **51** : 234-248.
 - 22) Stanford, B.A., A. Weltman and C. Fulco (1978) Anaerobic threshold and cardiovascular responses during one-versus two-legged cycling. *Res. Quart.*, **49** : 351-362.
 - 23) Tanaka, K., Y. Matsuura, S. Kumagai, A. Matuzaka, K. Hirakoba and K. Asano (1983) Relationship of anaerobic threshold and onset of blood lactate accumulation with endurance performance. *Eur. J. Appl. Physiol.*, **52** : 51-56.
 - 24) Wasserman, K., B.J. Wipp, S.N. Koyal and W.L. Beaver (1973) Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *J. Appl. Physiol.*, **35** : 236-243.