

最大酸素摂取量をより快適に発揮する ための自己選択負荷法

國學院大學 原 英 喜

(共同研究者) 同 大 森 俊 夫

同 山 田 佳 弘

同 仁 平 律 子

The Test of Maximum Oxygen Intake by Measuring Self-Selected Protocol

by

Hideki Hara, Toshio Ohmori,

Yoshihiro Yamada, Rituko Nihei

Kokugakuin University, Physical Education Laboratory

ABSTRACT

To make the program of training, such as running speed, maximum oxygen intake is very useful. The purpose of this research is to investigate better method of measuring oxygen intake, not only for large value but also for subjective feeling. In this reseach, we compared two different methods.

The first method is the progressive protocol, which has been used for many years. In every two minutes, treadmill speed increased by 20 m/min and kept same speed for two minutes. The second is self-selected protocol. The subjects were able to select running speed by themselves using remote control switch while running on the treadmill. All through these protocols, the treadmill was fixed at 5% uphill, and the expired gas was analyzed breath by breath, then calculated for one minute in both protocols.

The subjects were healthy male students belonged to the track and fields club and average record of 5000 m was 14 minutes and 55 seconds.

The maximum oxygen intake measured by the self-selected protocol was 75.9 ml/kg/min and was 73.5 ml/kg/min taken by the progressive protocol. In case of the self-selected protocol, the maximum oxygen intake appeared earlier than in the progressive protocol. And the coefficient of variation of oxygen intake, analyzed breath by breath, was smaller in case of the self-selected protocol than in the progressive way during the period of maximum oxygen intake for one minute. The fact of steady state about oxygen intake, which could be supposed by small coefficient of variation, seems optimum running pace for the runner.

Running speed was decided from all the conditions, running road and climate of the season and physical responses such as cardiovascular system and muscles. The breath by breath analyzing system is not only easy but also beneficial for subjects.

要 旨

運動能力を知るひとつの大きな要素となっている、最大酸素摂取量を得るための負荷のかけ方について、これまでの負荷漸増法と、被検者自ら走りながら、スピードを調節する方法（自己選択法）で比較検討した。自己選択法では、トレッドミルを走りながら、リモートコントロールスイッチでスピードの無段階調節を可能とした。最大酸素摂取量を測定するための呼気ガス分析は、一呼吸ごとのブレス-バイ-ブレス（B×B）法を用いた。

被検者は、陸上競技の中長距離を専門とする健康な男子大学生で、5,000 m を平均 14 分 55 秒で走る陸上競技部員であった。自己選択法で得られた平均値は、75.9 ml/kg/min で、負荷漸増法の 73.5 ml/kg/min より大きかった。最大酸素摂取量の発現時間は、自己選択法の方がやや早く、そ

デサントスポーツ科学 Vol. 14

の 1 分間の一呼吸ごとの酸素摂取量などのばらつきが少なかった。被検者は、スピードの選択に迷う点もあるが、呼吸の安定性が示唆され、走りやすさを感じていた。呼気ガス分析が B×B 法を用いることにより、単に測定値を比較するだけではなく、最大酸素摂取量の発現過程についても検討されることが、実際の運動場面で重要になると推察された。

はじめに

健常者が、健康の維持や増進を図る目的で運動をする場合、運動負荷試験を行って、目標となる運動強度を設定することが、多く行われるようになってきた。瞬時に呼気ガスを分析する装置の開発により、安全性の面などから、いわゆる無酸素性の作業閾値が利用されるようになってきているが、運動を生活の中に習慣として取り入れている

一般人では、最大酸素摂取量の有効性がなくなったわけではない。さらに、個人の能力を理解しながら、目標の設定という観点から、一定の距離やコースの記録、あるいは大会などの成績を念頭において、スポーツを実践している人々にとっては、最大酸素摂取量を測定しながら練習計画を立てることは重要なことといえる。その際、段階的に負荷を上昇させる方法や、最近多く用いられるようになってきたランブ負荷法など、一定の増加率で負荷を強制的に上げる方法がとられて、最大酸素摂取量を求めてきている。

このような測定で用いられるのは、実際にその人がこれから行おうとする、運動形態に近いものがよいはずである。さらに、エルゴメータのように、容易に心拍数や脈拍数をモニターしながら、客観的なデータを見て運動が継続されるものを除いて、ランニングの場合は主観的に負荷強度を感じとり、スピードの調節を行うのが実践的と言えよう。

そこで、今回はトレッドミルのスピードを被検者自らの調子で選択させて、最大酸素摂取量を測定した場合と、従来から行われてきたような段階的な負荷漸増法を用いて、最大酸素摂取量を測定した場合の比較を試みた。これまでの方法では、被検者が能力を発揮しやすい強度を無視しており、本来の個人の最大能力を測定しているか否か、疑問が残る点を明らかにしようと考えた。

そこで、本研究は、トレッドミルを用い、運動中に被検者が最大能力を発揮できるように、その時々コンディションに合わせたスピードの調節を、リモートコントロールスイッチにより、被検者自身で行い、最も適切な状態を作り出して、その時点での生理的な能力を測定し、これまでの方法の欠点を補おうとするものである。

また、最大酸素摂取量という言葉の定義に対して、その時の条件によって異なるのは、真の値は一つしかないという考え方に合わないことになる

が、その時々、被検者が最大努力をして得たと考えられること、ここでは最大酸素摂取量を求めるために「最大酸素摂取量」という言い方をした。

1. 研究方法

今回の実験では、被検者が最大努力で走り、自己申告で疲労困憊まで走ることにした。第1の実験は、トレッドミルに5%の上昇角度をつけ、初速は170 m/minから始めて、2分ごとに20 m/minずつ増速させた。第2の実験では、傾斜角度は第1実験と同様に5%上昇として、トレッドミルスピードを被検者が自由に増減して、自分の最も走りやすいスピードを、最初から最後まで選択した。ランニングによる最大酸素摂取量の測定のために用いたトレッドミル（ランニングベルトⅡ型：竹井機器工業製）は、被検者が走りながらスピードを調節することができるように、手の振りに妨げにならないように、リモートコントロールスイッチで操作することができるものである。呼気ガスは、顔面に装着したマスク（2-way #7900：Rudolph社製）にて採取し、呼気ガス分析はMMC 4400 tc（Sensormedics社製）を用いて一呼吸ごとにデータを取った。得られたデータについて、まず最大酸素摂取量は、1分間隔の値に計算し直して比較した。さらに、その1分間について、一呼吸ごとに体重当たりの酸素摂取量（ $\dot{V}O_2$ /kg/min）換算値と、呼気終末酸素濃度（ $PE\dot{T}O_2$ ）や、呼気終末二酸化炭素濃度

表1 Characteristics of Subjects

Sub.	Age (yrs)	Hight (cm)	Weight (kg)	S.F. (mm)	Best record of 5000m running
H.I.	19	170.9	54.0	9.5	15'00"
Y.A.	19	173.3	59.0	9.5	14'58"
H.S.	21	172.8	59.1	12.5	14'47"
Mean	19.7	172.3	57.4	10.5	14'55"

(PETCO₂) などの変化について分析を行った。

被検者は、表1に示すような、大学の男子陸上競技部員で、高校時代より中長距離を専門としてトレーニングしてきた健康な学生で、自ら進んで測定に協力し、競技成績の向上に意欲のある者とした。各実験は、中1日あけて、双方とも午前中に行った。

2. 研究結果

今回の実験によって得られた、最大酸素摂取量 ($\dot{V}_{O_{2max}}$) は、表2に示すように3名中2名での第2実験、すなわち自己選択法で得られた値の方が高かった。負荷の選択の仕方は、3名の被検者とも第1実験の負荷より早くにスピードを上げていた。

表2 $\dot{V}_{O_{2max}}$ (ml/kg/min) & (RQ)

Sub.	1st	2nd	Dif
H.I.	70.4 (1.23)	77.0 (1.16)	+6.6
Y.A.	73.8 (1.35)	75.4 (1.31)	+1.6
H.S.	76.3 (1.22)	75.2 (1.24)	-1.1
Mean	73.5	75.9	2.37
S.D.	2.42	0.81	3.19

$\dot{V}_{O_{2max}}$ の出現時間は、被検者 H. I. が第1実験において15分であり、第2実験の時は7分、Y. A. では15分と14分、H. S. においては13分と8分となり、自らスピードを選択していた第2実験の方が短い傾向にあった。 $\dot{V}_{O_{2max}}$ が得られた時のスピードは、被検者 H. I. が第1実験で290 m/min だったのが、第2実験で267 m/min と23 m/min の差があり、H. S. は290 m/min が297 m/min、Y. A. は310 m/min が308 m/min のスピードを選択していた。 $\dot{V}_{O_{2max}}$ を示した1分間について詳細を見ると、表3に見られるように、一

表3 Mean & C.V. of \dot{V}_{O_2} /kg/min during Maximum 1 min. in the analysis of breath by breath data

Sub.		1st	2nd
H.I.	n	56	46
	m	68.62	76.85
	cv	11.21	3.25
Y.A.	n	70	74
	m	73.14	74.97
	cv	6.83	5.84
H.S.	n	60	55
	m	76.30	75.61
	cv	11.82	5.41
Mean		72.69	75.81
S.D.		3.15	0.78
n		62.0	58.3

呼吸ごとの \dot{V}_{O_2} /kg/min 換算値の標準偏差が、第1実験の方が3.15と、第2実験の時の0.78より大きいことから、走りやすいスピードを選択できる場合に変動が小さいことがうかがえる。

3. 考 察

今回の実験においては、走ることに慣れている大学の陸上競技部に所属する男子を対象に、最大酸素摂取量を発揮するための、よりよい条件を探ることを目的とした。これまでの、漸増負荷法で行われたものは、走る速さを被検者に合わせるのではなく、負荷条件や分析する機器や用具に合わせていたのが実状といえる。山地¹⁾がまとめて述べているように、最大酸素摂取量として認められる条件は、いずれの場合も心拍数は180拍/分を越え、表2に示すように呼吸商も、その範囲にあり妥当性があるといえよう。

最大酸素摂取量を、たびたび競技の最中で発揮することはそれほど考えられないが、走るときのストライドやピッチによって、スピードにあらわされるパフォーマンス全体を総合的に決定している。したがって、高野ら^{8,9)}が、エルゴメータを用

いて、呼吸と動作の一致 (entrainment) がかえって、換気作業閾値をわかりにくくしていると報告しているが、運動と呼吸が同調することが敏感に行われることによって、生理的な反応の円滑さのようなものをうまく引き出してやるのが、個人の運動能力の最大酸素摂取量を得る、有効な手段となり得るのではないだろうか。

そこで、今回の結果においては、 $\dot{V}_{O_{2max}}$ を発揮したスピードが、被検者 Y. A. では、2 m/min しか違わなかったが、H. S. では、7 m/min、H. I. では 23 m/min と、やや大きな差もあったことは、漸増負荷法の限界を考えさせられる材料とも言えよう。あるいは、山地¹⁾がまとめたように、ランニング、エルゴメータ、水泳など運動形態が違

えば生理的な反応が変化するように、走り方を被検者の思い通りにすることによる有利性が考えられよう。最も高い最大酸素摂取量を発揮した被検者 H. S. は、最終的なスピードの選択を、296, 290, 280 m/min と細かく調整していた。

日常のトレーニングにおいて、実際に多く利用されるスピードに近いことが、今回の被検者が第2の実験で早めにスピードを上げた理由に述べている。

被検者 H. I. は、走り始めてから2分間で、280 m/min の速さまでスピードを上げてから3分後に 267 m/min に下げている。1分ごとにまとめた酸素摂取量にはあらわれないが、15秒間隔にまで細かくすると明確にされる。(図1) このよう

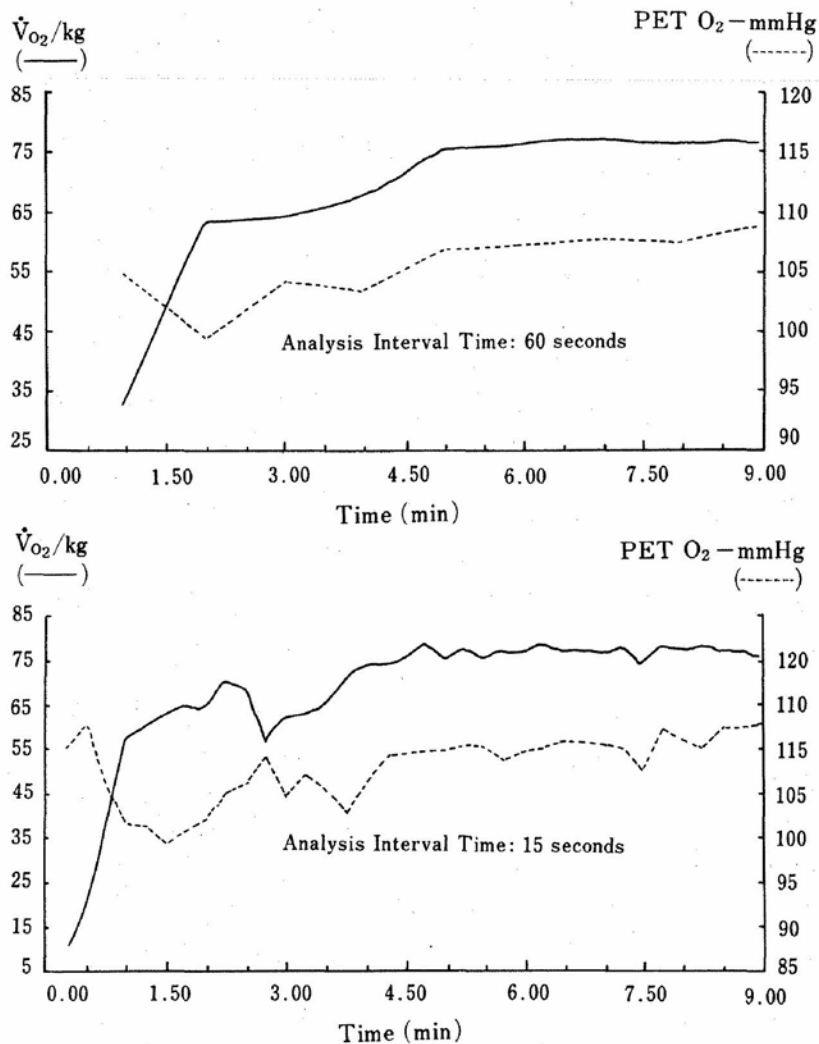


図1 Difference of analysis interval in the same subject

な、ランニングスピードの調節を分析してみると、被検者自身がスピードをコントロールした場合に、酸素摂取量との関連が十分推測される。一方では、自分で考えることなく、ただ走っていればいいといったことから、漸増負荷の方が測定しやすいという感想も聞かれた。インターバルトレーニングなどを多く経験し、自分のペースをしっかりとつかんでいる場合には、主観的な判断と実際の走行スピードは一致するが、5%の上昇角度がついたり、ロードレースのように起伏があった場合の自覚と、実際のスピードの一致は容易ではないようである。しかし、生体を感じる負荷強度としては、そのスピードをどこまで維持するのか、どこでスピードを変更するのかは、かなり敏

感に調整することが可能であろう。

たとえば、Borg²⁻⁴⁾の報告にあるように、主観的な運動強度と心拍数の関係が、かなり有効であると考えれば、酸素摂取量についても同様に考えることができよう。田中¹⁰⁾が明らかにしたのは、まさにこの点といえよう。そうした場合に、図2に示したように、酸素摂取量の変動が小さいことは、巧みな調節ができていたことを支持するデータといえるのではないだろうか。図2は、被検者Y. A. の実験によって得られたものであるが、一呼吸ごとのに示すように、 \dot{V}_{O_2} を決める一つの要因であるPETCO₂についても、自己選択という条件によって、より変動の少ないコントロールができていていることの証明といえよう。

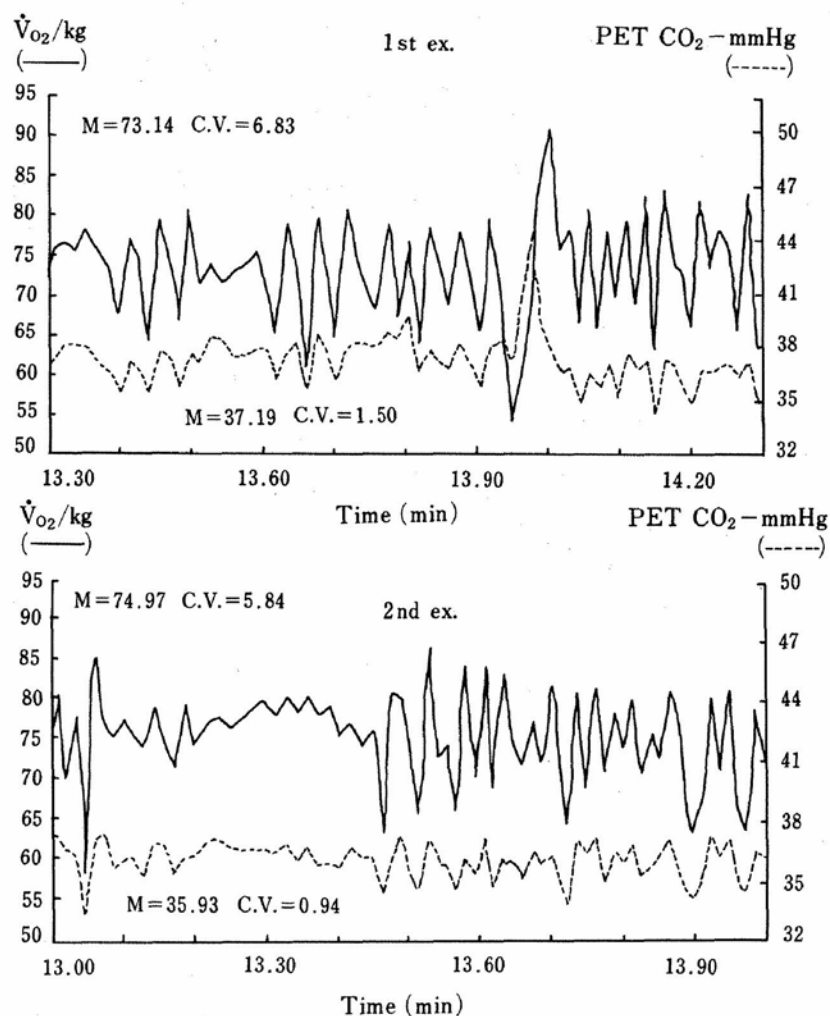


図2 Breath by breath data of \dot{V}_{O_2} /kg/min & PETCO₂

走行中に決定されるスピードは、走路や気象と言った外的環境と、呼吸循環系や筋肉の内的環境のすべてのフィードバックされた結果ととらえることができるが、最大酸素摂取量を測定する際にも、従来のような、測定に都合がよければかりではなく、被検者のコンディションに合わせた方法をとることの有効性が示唆された。

4. ま と め

走ることに習熟した、大学陸上部中長距離ブロックに所属する健康な男子を対象に、最大酸素摂取量の測定を、漸増負荷法と自己選択負荷法で行った。トレッドミルを5%上昇に固定して、20 m/min ずつスピードを上げた場合と、被検者がリモートコントロールスイッチで走りやすいように、スピードを調節した場合を比較すると、自分で選択した場合がやや高い値を示した。また、一呼吸ごとの分析データを適切に組み合わせることによって、得られた $\dot{V}O_{2max}$ の生理的な変動まで見られた。この方法により、運動処方を中心数や酸素摂取量といった数字だけに頼らず、主観的なものと客観的なものをあわせたものへと発展させることが可能となろう。

被検者が快調に走れる状態と、最大能力に近い状態では、自らスピードコントロールを行い、一定の幅にとらわれない最適強度における、生体反

応を探ることの可能性が支持され、今後の最大酸素摂取量測定の方法への配慮が、検討されることが必要と思われた。

文 献

- 1) 浅見俊雄 ほか;主観による運動強度の選択について, 体育科学, 4, 1-5 (1976)
- 2) Borg, G.; The perception of physical performance, *Frontiers of Fitness* (Shephard R. J.) Charles C Thomas Publisher (1971)
- 3) Borg, G.; Perceived exertion as an indicator of somatic stress. *Scand. J. Rehab. Med.*, 2-3, 92-98 (1970)
- 4) Borg, G.; Perceived exertion: a note on "history" and methods, *Med. Sci. Sports*, 5 (2), 90-93 (1985)
- 5) 原 英喜, 大森俊夫, 長浜尚史; 最小負荷による呼吸心拍応答の評価, *デサントスポーツ科学*, 8, 285-291 (1987)
- 6) 本田良行; 運動と呼吸, *体力科学*, 41 (4), 425-435 (1992)
- 7) 黒田善雄 ほか; 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集 (IX)*, 1-11 (1975)
- 8) 高野成子, 茶木香代子, 田村暢熙; 無酸素性作業閾値測定に及ぼす運動時の呼吸法, *体力科学*, 39 (6), 723 (1990)
- 9) 高野成子, 茶木香代子, 田村暢熙; 無酸素性作業閾値測定に及ぼす運動時の呼吸法の影響, *体力科学*, 40 (2), 268 (1991)
- 10) 田中秀一; RPEによる運動強度の選択について, *デサントスポーツ科学*, 9, 217-224 (1988)
- 11) 山地啓司; 最大酸素摂取量の科学, 杏林書院, (1992)