

最大酸素摂取量と体格の関係

—クロスカンントリー・スキー選手における評価—

古川 順光・大森 圭・吉野 直美・宮下 智・内田 勝雄・大島 義彦・丹羽 健市*

A Relation between Maximal Oxygen Uptake and Anthropometric Parameters. -Examination for Cross-country Skiing Racers-

Yorimitsu FURUKAWA, Kei OMORI, Naomi YOSHINO, Satoshi MIYASHITA
Katsuo UCHIDA, Yoshihiko OSHIMA, Ken-ichi NIWA*

Abstract : Maximal oxygen uptake ($\dot{V}O_{2max}$) is the most fundamental index to evaluate the endurance during exercise. Maximum effort exercise to obtain $\dot{V}O_{2max}$ is difficult to apply to untrained people. We measured $\dot{V}O_{2max}$ for young elite cross-country skiing racers in Yamagata Prefecture with stepwise exercise using a treadmill, and analyzed the correlation between $\dot{V}O_{2max}$ and their anthropometric parameters with the multiple regression analysis. $\dot{V}O_{2max}$ showed significant positive correlation with body weight, and negative correlation with body fat ratio for female subjects. These results suggest that $\dot{V}O_{2max}$ can be estimated from parameters measured without exercise.

Key words : $\dot{V}O_{2max}$, endurance, body weight, body fat ratio

はじめに

最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2max}$) は呼吸循環系持久力を表す指標として広く知られている。その測定は被験者に漸増的な運動負荷を加え、持続的に呼吸を採取・分析することにより行われる¹⁾。運動負荷の方法に立位、坐位および臥位があり¹⁻³⁾、一般的に自転車エルゴメーターまたはトレッドミルが使用される。いずれの場合も、被験者に最大努力(最大運動負荷)を強いるため、スポーツ選手や青年者には適用可能であるが、中高年者、非鍛錬者にとってはリスクが大きい。そのため Sub-Maximal Exercise Test (最大下運動負荷試験) が考案され、心拍数 (HR)、酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$)、被験

者の年齢などから $\dot{V}O_{2max}$ を推定することが試みられてきた。Åstrand および Ryhming⁴⁾ は、最大下運動時の HR や仕事量が $\dot{V}O_2$ とほぼ直線的に増加すること、同一年齢の最大心拍数 (HRmax) はほぼ一定であるという仮説に基づいて、 $\dot{V}O_{2max}$ 推定のノモグラムを作成した。Maritz⁵⁾ は最大作業近くでは HR の増加率よりも $\dot{V}O_2$ の増加率が大きくなることに着目し、最大作業近くの HR と $\dot{V}O_2$ の関係を最小自乗法で求めることにより $\dot{V}O_{2max}$ を推定した。Legge および Bannister⁶⁾ は、最大下作業中の $\Delta\dot{V}O_2$ と ΔHR を用いて推定するノモグラムを考案している。この方法による推定値は実測値との間に $r = 0.98$ の関係を有し、正確性が高いとされた。

しかし、これまで考案されてきた推定法にはいくつかの問題点がある。HR と $\dot{V}O_2$ の関係が直線的になるという仮説に基づいているために、実測値よりも 15 ~ 20% 低い推定値となる傾向があること⁷⁻⁹⁾、同一年齢での HRmax がほぼ一定であると

山形県立保健医療短期大学理学療法学科
* 山形大学教育学部保健体育学科
Department of Physical Therapy, Yamagata School of Health Science,
* Department of Physical Education, Faculty of Education, Yamagata University

することに対する疑問^{7,9,10}などである。また、最大下運動とは言え、これらの方法は被験者に最大負荷に近い運動を強いることになる。

そこで本研究では、最大運動負荷が比較的安全に行える青少年のスポーツ選手を対象に $\dot{V}O_2\max$ の測定を行い、身長、体重、体脂肪率など運動負荷なしに測定できるパラメータとの相関関係を分析し、 $\dot{V}O_2\max$ の非運動的予測法を検討することを目的とした。

方 法

対象は山形県スキー連盟が指定したクロスカントリー・スキー・ジュニア強化選手である。その内訳は、中学生男子2名(平均年齢 13.5 ± 0.71 歳)、同女子3名(同 12.7 ± 0.58 歳)、高校生男子6名(同 16.3 ± 1.51 歳)、同女子7名(同 16.4 ± 1.51 歳)の計18名(同 15.4 ± 2.0 歳)であった。

測定は、1998年6月に山形県立保健医療短期大学運動学実習室において行った。各被験者には測定の方法、測定による危険、期待される結果を十分に説明し、実験に参加する承諾を得た上で測定を行った。また、測定による危険を回避する目的で、胸部双極誘導による心電図(バイオビュー1000A, NEC)を連続的に、血圧(EBP300, ミナト医科学)は1分毎にモニターし、被験者の状態把握に努めた。最大運動(all-out)到達を、 $\dot{V}O_2$ の増加率の低下で判断し、トレッドミルを停止させた。また、被験者の安全確保、all-out 達成の判断のために、運動時の被験者の自覚的運動強度(RPE: Rating of Perceived Exertion)の聞き取りも行い、トレッドミルは被験者が自らの意志で停止できるような設定にした。

1) 運動負荷プロトコール

$\dot{V}O_2\max$ の測定にはトレッドミル(AR-160A, ミナト医科学)を用いた漸増負荷法を採用した。漸増負荷のプロトコールは、まず立位のまま3分間の安静をとり、5.8 km/h のスピードで2分間のウォーミングアップを行った。その後3分間の安静立位をとり、本実験を開始した。走行斜度は男女とも8.0%で一定にした。走行速度は、男子では8.4 km/h でスタートし、4分ごとに9.6 km/h、10.8 km/h に増加させた。その後は1分ごとに1.2

km/h ずつ増加させた。女子においては男子の80%の速度で、同様の時間間隔で増加させた。測定は被験者がall-outに達してから3分後まで行った。

2) 測定項目および測定機器

- (1) 1回換気量(TV), 分時換気量($\dot{V}E$):
呼気流量計(レスピロモニタ RM-300I, ミナト医科学)でbreath-by-breathの呼出量を測定し、これをTVとした。TVに呼吸数を掛けて $\dot{V}E$ を求めた。
 - (2) $\dot{V}O_2$, 炭酸ガス排出量($\dot{V}CO_2$):
質量分析計(RL-600, WESTRON)で呼気酸素および炭酸ガス濃度を測定し、上記 $\dot{V}E$ を用いて $\dot{V}O_2$ および $\dot{V}CO_2$ を算出した。
 - (3) HR:
心電図のR-R間隔から心拍数を求めた(バイオビュー1000A, NEC)。
 - (4) 身長, 体重:
身長は運動負荷前に測定した。体重は運動負荷直前および直後に精密体重計(HP-100K, エーアンドディー)で測定した。
 - (5) 発汗量:
(4)で測定した精密体重の差を求め発汗量とした。
 - (6) 体脂肪率:
体内脂肪計(TBF-102, タニタ)を使用した。
 - (7) 鼓膜温:
赤外線鼓膜体温計(Thermo Scan ProLT, ブラウン)で鼓膜温を測定し、深部体温とした。
- (1) - (3) はウォーミングアップ前の安静時から実験終了時まで連続して測定した。

3) 統計処理

被験者の身体的特徴、 $\dot{V}O_2\max$ に達した時点での各測定値の平均値について男女間でt検定を、安静時測定値と $\dot{V}O_2\max$ との相関について重回帰分析を、有意水準5%で行った。

結 果

- 1) 被験者の身体的特徴 (Table1)
身長、体重および体脂肪率の平均値は男女間に有意差があった ($p < 0.05$)。
- 2) $\dot{V}O_2\max$ に達した時点での各測定値 (Table2)

Table 1 被験者の身体的特徴

	年齢 (years)	身長 (cm)	体重 (kg)	体脂肪率 (%)
M1	13	165.0	52.7	6.0
M2	14	163.6	59.5	9.5
M3	15	168.1	53.6	6.3
M4	15	172.8	64.0	8.0
M5	15	174.7	69.2	9.5
M6	17	170.2	62.5	9.3
M7	18	167.0	59.7	8.8
M8	18	173.4	61.2	7.5
M-mean	15.6	169.4*	60.3*	8.1*
SD	1.8	4.1	5.4	1.4
F1	12	145.1	34.8	11.5
F2	13	148.1	35.3	10.3
F3	13	159.2	49.5	17.2
F4	15	155.6	52.8	21.5
F5	15	153.4	41.9	16.1
F6	15	160.6	54.0	19.9
F7	16	157.1	50.4	18.4
F8	18	158.6	56.8	20.2
F9	18	157.2	52.7	17.8
F10	18	165.5	52.9	17.2
F-mean	15.3	156.0*	48.1*	17.0*
SD	2.2	6.0	7.9	3.6

Table 2 $\dot{V}O_2\max$ 時の呼吸循環系各測定値と発汗量・鼓膜温増加

	最大酸素摂取量 (ml/min/kg)	炭酸ガス排出量 (ml/min/kg)	呼吸商	分時換気量 (L/min)	1回換気量 (ml)	呼吸数 (回/min)	心拍数 (beats/min)	発汗量 (kg)	鼓膜増加 (°C)
M1	66.6	68.6	1.03	109.0	2203	49.5	204	0.34	0.8
M2	67.1	68.3	1.02	131.2	2152	61.0	197	0.68	0.5
M3	72.4	85.6	1.18	135.1	2112	64.0	199	0.41	0.8
M4	68.5	73.1	1.07	147.0	2535	58.0	190	0.48	0.2
M5	64.9	66.1	1.02	143.3	2256	63.5	143	0.51	0.9
M6	67.9	76.0	1.12	133.5	2288	58.3	166	0.38	1.0
M7	72.1	88.4	1.23	151.8	2282	66.5	154	0.63	1.7
M8	70.0	71.9	1.03	146.4	2356	62.1	154	0.63	0.8
M-mean	68.7*	74.7*	1.09	137.2*	2273*	60.4	176	0.51*	0.8
SD	2.6	8.2	0.08	13.52	132	5.2	24	0.13	0.4
F1	52.6	50.6	0.96	65.05	1081	60.2	188	0.23	1.2
F2	50.9	42.2	0.83	61.06	1095	56.3	187	0.15	0.3
F3	49.7	53.6	1.08	98.81	1684	58.7	171	0.32	0.3
F4	44.6	43.6	0.98	84.99	1729	49.2	195	0.33	0.9
F5	50.0	50.9	1.02	77.89	1321	59.0	176	0.20	0.6
F6	51.7	56.4	1.09	101.6	1830	55.5	163	0.36	0.8
F7	48.5	52.7	1.09	93.78	1590	59.0	186	0.35	1.3
F8	59.6	61.3	1.03	115.7	1873	61.8	175	0.53	1.1
F9	59.6	67.3	1.13	120.7	1762	68.5	198	0.39	2.0
F10	54.3	59.7	1.10	103.4	1829	56.5	181	0.45	0.8
F-mean	52.1*	53.8*	1.03	92.35*	1579*	58.5	182	0.33*	0.9
SD	4.7	7.7	0.09	19.87	303	4.9	11	0.11	0.5

(M : male ; F : female)

* : $p < 0.05$

Table 3 $\dot{V}O_2\max$ と安静時測定量との相関

	回帰係数	標準誤差	標準回帰係数	t 値	p 値
切片	121	52.83	120.8	2.29	<0.05
身長	-0.69	0.43	-0.87	-1.60	0.16
体重	1.86	0.60	3.13	3.11	<0.05
体脂肪率	-2.99	0.94	-2.29	-3.17	<0.05

$\dot{V}O_2\max$, $\dot{V}CO_2$, $\dot{V}E$, TV および発汗量の平均値は男女間に有意差があった ($p < 0.05$)。呼吸数, 呼吸商, 心拍数および鼓膜温の増加の平均値に有意差はなかった。

3) $\dot{V}O_2\max$ と男女別各測定値との重回帰分析

(Table3)

Table 3 は女子の被験者で, $\dot{V}O_2\max$ と身長, 体重および体脂肪率の関係を重回帰分析により分析した結果である。身長は有意に $\dot{V}O_2\max$ を規定する因子ではないことが示されている。身長を除いた体重, 体脂肪率と $\dot{V}O_2\max$ は以下の式で表される関係を示した。

$$y = 37.26 + 1.128 x_1 - 2.315 x_2 \quad (y : \dot{V}O_2\max \text{ (ml/min/kg)}, x_1 : \text{体重 (kg)}, x_2 : \text{体脂肪率 (\%)}, p < 0.05)$$

しかし, 男子の被験者において, $\dot{V}O_2\max$ と安静時測定値の間には一定の関係は認められなかった。

考 察

本研究では被験者の身体的特徴は、全ての項目の平均値に男女間で有意差がみられた (Table 1)。また、 \dot{V}_{O_2max} に達した時点での各測定値は $\dot{V}E$, TV の平均値は男女間に有意差が認められたが ($p < 0.05$), 呼吸数の平均値に有意差は認められなかった (Table 2)。呼吸数に有意差が認められないことから、 $\dot{V}E$ は TV に依存していることがわかる。TV の差は男女の体格 (身長, 体重) の差 (肺の大きさ) によって規定される。このことから、TV の差が男女間の \dot{V}_{O_2max} の差に反映していることが考えられる。 \dot{V}_{O_2max} と肺の大きさ (肺容量や肺活量) との正の相関関係は、Holmgren および Åstrand¹¹⁾, Davies¹²⁾ らの報告と一致する。

女子の被験者では、 \dot{V}_{O_2max} と体重, 体脂肪率の間に一定の関係が成立していた (Table 3)。体重とは正の相関, 体脂肪率とは負の相関が認められるということは、すなわち除脂肪体重 (LBM: Lean Body Mass) との正の相関関係を意味している。Buskirk および Taylor¹³⁾ も \dot{V}_{O_2max} と LBM の関係に注目している。Moody ら¹⁴⁾ は、痩身者と肥満者の間では、肥満者の \dot{V}_{O_2max} は痩身者のそれよりも高い値を示したが、体重当たりの \dot{V}_{O_2max} は痩身者のほうが高く、LBM 当たりの \dot{V}_{O_2max} では両者の値はほぼ等しくなったとしている。また、体脂肪率が大きく異なる被験者を対象とした研究では、体重が重いほど \dot{V}_{O_2max} が低値であった¹⁵⁾。本研究の結果はこれら従来の研究結果¹³⁻¹⁵⁾ と一致している。体重が重く体脂肪率が低い者、すなわち LBM が相対的に大きい者で \dot{V}_{O_2max} が高い値を示したことは、骨格筋エネルギー代謝の効率からも裏付けられる。しかし、男子被験者においては、 \dot{V}_{O_2max} と体重, 体脂肪率の間に女子のような関係は成立していなかった。このことは今回の男子被験者の身体的特徴や \dot{V}_{O_2max} のばらつきが小さく、持久性能力も比較的高い選手であったことに起因すると考えられる。

クロスカントリー・スキーでは \dot{V}_{O_2max} が高い選手が有利であるとされている¹⁶⁾。シーズン中、シーズン・オフなど時期の違いでも \dot{V}_{O_2max} の値が変化するといわれている¹⁷⁾。たとえば、アメリカのクロスカントリー・スキーチームではシーズン前よりもシーズン後で \dot{V}_{O_2max} が 4.5 ~ 8.7% 高いこと

が報告されている。一般に、持久性能力が問われる競技では、シーズン中かシーズン・オフ直後に \dot{V}_{O_2max} のピークが出現するといわれている。本研究が実施された時期は、シーズン・オフ直後とはいえないがシーズン・オフから2ヶ月を経過した時期であった。この時期に、男子被験者 M3, M8 は日本のナショナルチーム (男子) の $\dot{V}_{O_2max} = 73.7$ (ml / kg / min) と同レベルの値を記録した。この対象者の体脂肪率をみると、それぞれ 6.3, 7.5% と低値となっている。男子の対象者においては、 \dot{V}_{O_2max} と体重, 体脂肪率の間に女子のような関係は成立していなかったにもかかわらず、このような結果が得られた。このことは男子被験者においても体脂肪率の低く、LBM の大きい状態が有利にはたらいている可能性を示しているものと考えられる。

本研究では、女子の被験者においては体重や体脂肪率などの安静時測定量から、 \dot{V}_{O_2max} をある程度予測できることが示された。しかし、男子の被験者においては女子のような関係がみられないことから、同様のパラメーターだけでの予測は困難と思われた。また、本研究の被験者は十代のスポーツ選手に限られており、信頼性の高い予測とするには、さらに幅広い層の被験者を対象とする必要があると考えられる。

まとめ

本研究の結果から、体重, 体脂肪率のように被験者に比較的負担をかけない安静時の測定量から、 \dot{V}_{O_2max} をある程度予測できることが示唆された。

謝 辞

本研究の実験にご協力下さった選手ならびに関係者の方々に感謝申し上げます。

文 献

- 1) 吉田敬義, 林直亨: O_2 Kinetics の基礎. 理学療法ジャーナル 30, 5-11, 1996.
- 2) Nishiyasu, T., Nagashima, K., Nadel, E.R., Mack, G.W.: Effects of posture on cardiovascular responses to lower body positive pressure at rest and during dynamic exercise. Journal of Applied Physiology 85, 160-167, 1998.
- 3) Antonio, P., Sue, J., Garry, A.: Ventilatory and

- cardiovascular responses to unsupported low-intensity upper limb exercise in normal subjects. *Australian Journal of Physiotherapy*. 44, 123-129, 1998.
- 4) Åstrand, P. O., Ryhming, I. : A nomogram for calculation of aerobic capacity (physical fitness) from pulse rate during sub maximal work. *Journal of Applied Physiology* 7, 218-221, 1954.
 - 5) Maritz, J. S. : A practical method of estimating an individual's maximal oxygen intake. *Ergonomics*. 4, 97-122, 1961.
 - 6) Legge, B. J., Banister, E. W. : The Astrand-Ryhming nomogram revisited. *Journal of Applied Physiology* 61, 1203-1209, 1986.
 - 7) Davis, C. T. M. : Limitations to the prediction of maximum oxygen intake from cardiac frequency measurements. *Journal of Applied Physiology* 24, 700-706, 1968.
 - 8) Glassford, R. G. : Comparison of maximal oxygen uptake values determined by predicted and actual method. *Journal of Applied Physiology* 20, 509-513, 1965.
 - 9) Rowell, L. B. : Limitations to the prediction maximum oxygen intake. *Journal of Applied Physiology* 19, 919-927, 1962.
 - 10) Wright, G. R., Sidney, K., Shephard, R. J. : Variance of direct and indirect measurement of aerobic power. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 18, 33-42, 1978.
 - 11) Holmgren, A., Åstrand, P. O. : DL and the dimensions and functional capacities of the O₂ transport system in humans. *Journal of Applied Physiology* 21, 1463-1470, 1966.
 - 12) Davies, C.T.M. : Maximal aerobic power in relation to body composition in healthy, sedentary adults. *Human Biology* 44, 127-139, 1972.
 - 13) Buskirk, E., Taylor, H. L. : Maximal oxygen intake and its relation to body composition with special reference to chronic physical activity and obesity. *Journal of Applied Physiology* 11, 72-78, 1957.
 - 14) Moody, D. O., Kollias, J., Buskirk, E. R. : Evaluation of aerobic capacity in lean and obese women with four test procedures. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 9, 1-9, 1969.
 - 15) Williams, C. G., Wyndham, C. H., Morrison, J. F. : The influence of weight and of stature on the mechanical efficiency of men. *Internationale Zeitschrift für Angewandte Physiologie Einschliesslich Arbeitsphysiologie* 23, 107-124, 1966.
 - 16) Kohrt, W. M., Morgan, D. W., Bates, B., Skinner, J. S. : Physiological responses of triathletes to maximal swimming cycling and running. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 19, 51-55, 1987.
 - 17) Hanson, J. S. : Maximal exercise performance in members of US Nordic ski team. *Journal of Applied Physiology* 35, 592-595, 1973.
- 1998.11.11. 受稿, 1999.1. 22. 受理 -

要 約

最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2max}$) は呼吸循環系持久力評価の最も基本的な指標であるが、被験者に最大運動負荷を強いるため鍛錬者以外への適用は困難である。本研究では $\dot{V}O_{2max}$ の予測式を得る目的で山形県のクロスカントリー・スキー・ジュニア強化選手を対象にトレッドミル運動時の呼吸、循環および体温調節機能の諸因子を測定し、 $\dot{V}O_{2max}$ との関係重回帰分析により解析し、 $\dot{V}O_{2max}$ の予測式を検討した。その結果、女子の被験者において体重、体脂肪率と $\dot{V}O_{2max}$ 間に有意な相関が見られた。被験者に比較負担を与えずに測定できる安静時測定量 (体重、体脂肪率) から $\dot{V}O_{2max}$ をある程度予測できることが示唆された。

キーワード: 最大酸素摂取量、持久力、体重、体脂肪率