短時間最大運動時の酸素摂取が作業成績に及ぼす影響

藤 瀬 武 彦¹⁾ 玉 木 哲 朗¹⁾ 寺 尾 保¹⁾
永 見 邦 篤¹⁾ 中 野 昭 一¹⁾

Effect of oxygen uptake on performance during short-term strenuous exercise

Takehiko Fujise¹, Tetsuro Tamaki¹, Tamotsu Terao¹,
Kuniatsu Nagami¹ and Shoichi Nakano¹

Abstract

The purpose of this study was to investigate the effect of NetVO₂ (excess increase to resting value) on performance during short-term strenuous exercise in each sports event, and also the relationship between NetVO₂ and $\dot{V}O_{2\max}$ by using incremental exercise. Thirty-two trained males (100 m runners: n=6, 400 m runners: n=8, ice hockey players: n=10, long distance sports men: n=8) and six untrained males, aged 23.6 ± 3.1 yrs, performed cycle ergometer exercise, pedaling against 0.1 kp/kg wt with maximal effort for 45s. NetVO₂ in trained groups were significantly higher than that of untrained group. The differences of $\dot{V}O_{2\max}$ between trained groups were significant, except between both groups of 400 m runner and ice hockey player, while there were no significant differences among NetVO₂. Total work and peak power were highest in the groups of 100 m and 400 m runner, whose ratio of NetVO₂ to O₂ requirement were both 14.6%, and this percentage was lowest in the five groups. The correlations between NetVO₂ and total work were significant only in the groups of 100 m ($r=0.858$; $p<0.05$) and 400 m runner ($r=0.857$; $p<0.01$). The correlations of O₂debt and total work, and $\dot{V}O_{2\max}$ and NetVO₂ were significant in all subjects ($r=0.610$, $p<0.01$; $r=0.600$, $p<0.01$), however, both relations were not significant in each group. These results suggest that in the athletes with high anaerobic capacity NetVO₂ markedly contribute to perform a short-strenuous exercise. In general, maximum oxygen uptake might be associated with an increase of NetVO₂ during short-strenuous exercise, but there was no relation between NetVO₂ and $\dot{V}O_{2\max}$ in the trained subjects.

(Japan J. Phys. Educ., 35: 133—142, September, 1990.)

緒 言

従来, 短時間最大運動に対するエネルギーの供給は, 運動開始後40—50秒までは主として解糖過程に依存し, 60秒を経過すると有酸素的過程からの供給が主体になるとされている^{12), 17), 20)}. したがって, 約1分以内のいわゆる無酸素的運動時の有酸素的エネルギー供給の影響についてはあまり注目されていなかった.

しかし, 近年, 短時間最大運動の作業成績に,

そのヒトの有酸素的作業能力が影響を及ぼすとの報告がなされた. すなわち, Ivy et al.¹³⁾はCybex IIを用いた45秒間の脚伸展—屈曲運動を行わせ, 運動開始後45秒時の筋パワーと最大酸素摂取量(以下 $\dot{V}O_{2\max}$ とする)との間に有意な相関を認めた. また, 山本ら³⁰⁾は90秒間の自転車ペダリング運動で, 運動開始後10秒以降の筋出力と $\dot{V}O_{2\max}$ とが有意に相関することを認めた. これらの成績から, 彼らは無酸素的運動といえども, その運動の遂行に酸素利用能力

1) 東海大学医学部生理学教室

〒259-11 神奈川県伊勢原市望星台

1. Department of Physiology, School of Medicine, Tokai University,
Bohseidai, Isehara, Kanagawa (259-11)

が影響を与えることを示唆した。最近、根本ら²²⁾もこれらの成績を支持する報告を行っている。しかし、これらの実験ではいずれも運動時の酸素摂取量(以下 $\dot{V}O_2$ とする)を測定していない。

一方、Cunningham and Faulkner³⁾は、1分程度で終了するトレッドミルランニングのトレーニング効果を検討し、その持続時間の向上が、無酸素的能力と運動開始後30秒以降の $\dot{V}O_2$ の増加によると報告した。また、Thomson and Garvie の報告²⁹⁾では、トレッドミルを用いたスプリントランニングを非鍛練者、マラソン選手および短距離選手に行わせ、運動開始後45秒までの $\dot{V}O_2$ に差異がなかったことを示している。これらの成績は、短時間最大運動の場合、運動開始後30—45秒までは、その作業成績に $\dot{V}O_2$ がほとんど影響を及ぼさないことを示唆するとともに、運動時の酸素摂取能力と $\dot{V}O_{2\max}$ や競技特性とが、必ずしも関連していないことを推測させる。

しかし、この考えは前述の報告^{13),22),30)}とは矛盾する。この理由のひとつとして、両者で運動負荷法の異なっている点が挙げられる。すなわち、運動開始時から全力を強要した場合と、運動強度が高水準とはいえ、トレッドミルランニングのように一定強度を持続する場合とでは、エネルギー供給の過程、筋疲労の発現やその推移などが異なり、運動時の $\dot{V}O_2$ の関与も異なってくる可能性が考えられる。

そこで、本実験では、運動開始時から全力で行う45秒間最大自転車ペダリング運動を選び、この運動時の酸素摂取が作業成績に及ぼす影響を検討した。特にこの両者の関係が競技特性の

異なる被験者各々で相違するか否かに着目し、総仕事量と酸素摂取量との関連を比較した。さらに、無酸素的運動に最大酸素摂取能力が影響を及ぼすとの報告^{13),22),30)}を考慮し、短時間最大運動時における酸素摂取量と $\dot{V}O_{2\max}$ との関連も合わせて検討した。

実験方法

A. 被験者の選出

被験者には、競技特性を考慮し、表1に示すような5群、計38名いずれも男性を選んだ。すなわち、

1. 陸上100m 選手6名(ハイパワー持続鍛練者①, 以下100m 群とする)。100m の最高記録は平均 10.77 ± 0.17 (標準偏差) 秒である。

2. 陸上400m 選手8名(ハイパワー持続鍛練者②, 以下400m 群とする)。400m の最高記録は平均 48.86 ± 1.71 秒である。

なお、陸上短距離選手の最高記録が電気計測の場合には、その記録から0.24秒差し引いた記録とした。

3. アイスホッケー選手10名(間欠的ハイパワー鍛練者, 以下IH 群とする)。競技歴7年以上の東海大学アイスホッケー部員を選んだ。

4. 長距離愛好者8名(持久的鍛練者, 以下LD 群とする)。自転車ロード、マラソンおよびトライアスロン愛好者で、マラソンの記録を有する2名の平均最高記録は2時間48分48秒である。

5. 非鍛練者6名。日常、特別なトレーニングを行っていない者である。

表1に示した体脂肪率は、Brozek et al. の方

Table 1. Physical characteristics of five groups.

	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)	Fat (%)	LBM (kg)
100m Runner(6)	22.0 $\pm$ 1.7	173.6 $\pm$ 4.2	68.1 $\pm$ 1.9	12.1 $\pm$ 1.6	59.8 $\pm$ 0.8
400m Runner(8)	23.0 $\pm$ 2.6	172.4 $\pm$ 4.6	63.0 $\pm$ 6.1	10.6 $\pm$ 1.3	56.3 $\pm$ 4.9
Ice hockey(10)	20.1 $\pm$ 1.2	170.5 $\pm$ 3.4	60.9 $\pm$ 3.2	11.1 $\pm$ 1.0	54.1 $\pm$ 2.8
Long distance(8)	29.9 $\pm$ 7.3	169.0 $\pm$ 5.0	59.8 $\pm$ 3.3	11.5 $\pm$ 1.7	52.8 $\pm$ 3.1
Untrained(6)	23.5 $\pm$ 2.9	170.3 $\pm$ 2.7	67.4 $\pm$ 4.8	15.7 $\pm$ 3.4	56.7 $\pm$ 2.8

Values are means $\pm$ SD. Values in parenthesis indicate number of subjects.

法²⁾により上腕背部および肩甲骨下部の皮脂厚から算出した。なお、被験者には、実験を実施するにあたり、その目的、方法および運動について説明し、実験の意義を理解させるとともに実験に参加する同意を得た。

B. $\dot{V}O_2\text{max}$ の測定

$\dot{V}O_2\text{max}$ は、自転車エルゴメーター（モナーク社製）を用いた負荷漸増法、すなわち、60rpm のペダリング頻度で0.0kp から1分毎に0.5kp の負荷を増加させ、疲労困憊に至らしめる方法で測定した。呼気は、ダグラスバッグ法により採取し、標準ガスにて校正した O_2 アナライザー RAS-31 および CO_2 アナライザー RAS-41（AIC 社製）を用いてそれぞれ分析し、 $\dot{V}O_2$ を算出した。なお、標準ガスはあらかじめショランダー微量ガス分析器にて検定した。 $\dot{V}O_2\text{max}$ の判定は、1) 最高心拍数180b/min 以上、2) $\dot{V}O_2$ の leveling off、3) 呼吸商1.00以上、などの基準を指標とした。

C. 45秒間最大運動の負荷方法とパワーおよび仕事量の算出

運動負荷は、自転車エルゴメーターを用い、体重1kg 当り約0.1kp の負荷を基準とした。被験者にはウォーミングアップを行わせず、直ちに45秒間終始最大努力のペダリング運動をサドルから腰を上げずに行わせた。パワーおよび仕事量は、車輪回転に伴う on-off スイッチから1秒毎の回転数を求め、生田の方法¹¹⁾によって算出した。

D. 45秒間最大運動における $\dot{V}O_2$ の測定

安静時5分間、運動中45秒間および回復期60

分間の $\dot{V}O_2$ を測定した。すなわち、安静時の呼気は、食後2時間以上経過した被験者を30分間仰臥させ、その25—30分の5分間採取した。運動時の呼気は、0—15、15—30、30—45秒の各期間3回採取した。回復期の呼気は、運動終了後直ちに被験者を仰臥させ、1分後までの1分間、次いで1—3分後までの2分間、3—6分後までの3分間、6—10分後までの4分間、以後、10—20分後までは5分間隔、20—60分後までは10分間隔で採気し、 $\dot{V}O_2$ を算出した。なお、 $\dot{V}O_2$ の測定誤差を少なくするために、採気マスクからダグラスバッグまでの蛇管を30cm とし、運動時の採気には50l の小型ダグラスバッグを使用した。運動時の $\dot{V}O_2$ から安静値を差し引いた $\dot{V}O_2$ を以後 Net $\dot{V}O_2$ と表示する。

酸素負債量（以下 $O_2\text{debt}$ とする）は、安静時の $\dot{V}O_2$ を基準値として、回復期60分間にこの値を超過している $\dot{V}O_2$ とした。運動終了60分後もなお安静値に回復しなかった場合には、回復期50—60分までの10分間の $\dot{V}O_2$ を基準値として $O_2\text{debt}$ を算出した⁴⁾。

各群の各測定項目における平均値の有意差検定は、t-検定により行い、5%水準以下を有意とした。

測定中の室温は $24.3 \pm 1.4^\circ\text{C}$ 、気圧は $757.3 \pm 6.9\text{mmHg}$ であった。

実験成績

Table 2-A は、各被験者群の $\dot{V}O_2\text{max}$ 、ピークパワーおよび総仕事量の値を示したものである。各測定項目について群間相互の有意差検定

Table 2-A. $\dot{V}O_2\text{max}$ by using incremental exercise, peak power and total work on 45s maximal cycle ergometer pedaling.

	$\dot{V}O_2\text{ max}$ (ml/min/kg)	Peak power (kpm/sec/kg)	Total work (kpm/kg)
100m Runner(6)	52.3 ± 1.7	1.51 ± 0.11	41.1 ± 2.1
400m Runner(8)	57.1 ± 4.1	1.41 ± 0.10	41.7 ± 2.8
Ice hockey(10)	57.2 ± 3.2	1.36 ± 0.06	38.6 ± 1.8
Long distance(8)	62.2 ± 4.5	1.29 ± 0.15	38.3 ± 3.0
Untrained(6)	45.0 ± 3.8	1.31 ± 0.09	34.1 ± 2.2

Values are means $\pm$ SD. Values in parenthesis indicate number of subjects.

Table 2-B. Significant differences in $\dot{V}O_2\text{max}$, peak power and total work among each group.

	$\dot{V}O_2\text{ max}$ (ml/min/kg)				Peak power (kpm/sec/kg)				Total work (kpm/kg)			
	2	3	4	5	2	3	4	5	2	3	4	5
1. 100m Runner (6)	*	**	*	*	ns	**	**	**	ns	*	ns	**
2. 400m Runner (8)		ns	*	*		ns	ns	ns		*	*	**
3. Ice hockey (10)			*	**			ns	ns			ns	*
4. Long distance (8)				**				ns				*
5. Untrained (6)												

Values in parenthesis indicate number of subjects. 2: 400m Runner, 3: Ice hockey, 4: Long distance, 5: Untrained. ns: not significant, significant level: * $p<0.05$, ** $p<0.01$.

をした結果が Table 2-B である。 $\dot{V}O_2\text{max}$ は、LD 群が他の群に比較し有意に高値を示した。次に IH 群と 400m 群が続く、以下、100m 群、非鍛練者群と有意に低い値であった。ピークパワーは、100m 群が IH 群、LD 群および非鍛練者群より有意に高値を示した。また、総仕事量は、100m 群および 400m 群で最も高く、IH 群および LD 群がこれに続き、非鍛練者群が最も低い値であった。

次に 45 秒間自転車ペダリング運動時における各群の各 15 秒毎の NetVO_2 と、 $\dot{V}O_2\text{max}$ に対する各 15 秒毎の $\dot{V}O_2$ (安静時の $\dot{V}O_2$ を含む) の割合 (以下 % $\dot{V}O_2\text{max}$ とする) を Fig. 1 に示した。 NetVO_2 は、非鍛練者群が 0—15 秒で IH 群より、15—30 秒で 100m 群と 400m 群より、30—45 秒では他の 4 群よりもすべて有意に低値を示した。% $\dot{V}O_2\text{max}$ は、LD 群が 15—30 秒で非鍛練者群と 100m 群よりも、30—45 秒で 100m 群よりも有意に少なかった。なお、 NetVO_2 と $\dot{V}O_2\text{max}$ との間には、全被験者を一括した場合、有意な相関 ($r=0.600$: $p<0.01$) が示された。しかし、各群毎に両者の関係をみると、いずれの群にも有意な相関が認められなかった (100m 群: $r=0.021$, 400m: $r=0.473$, IH 群: $r=0.267$, LD 群: $r=0.679$, 非鍛練者群: $r=0.705$)。

各群の NetVO_2 、 $O_2\text{debt}$ およびこれらの O_2 需要量に対する割合を Fig. 2 に示した。 NetVO_2 は各鍛練者群が非鍛練者群よりも有意に高値を示した。また、 $O_2\text{debt}$ は、各鍛練者群

が非鍛練者群より、100m 群および 400m 群が LD 群よりも有意に高値を示した。 O_2 需要量に対する NetVO_2 の割合は、LD 群が 17.2% と最も多く、100m 群と 400m 群がともに 14.6% と 5 群中最も少なかった。

Fig. 3 に、各群の 45 秒間最大自転車ペダリング運動時の総仕事量と NetVO_2 、および $O_2\text{debt}$ との関係を示した。総仕事量と NetVO_2 との関係は、全被験者を一括した場合、有意な相関 ($r=0.721$: $p<0.01$) が示された。しかし、各群毎に両者の関係をみると、100m 群で 5% 水準、400m 群で 1% 水準で有意な相関が示されたものの、他の 3 群では有意な相関を認めなかった。また、総仕事量と $O_2\text{debt}$ との関係は、全被験者を一括した場合、有意な相関 ($r=0.610$: $p<0.01$) が示された。しかし、各群毎に両者の関係をみると、いずれの群でも有意な相関が認められなかった。

考 察

本実験では、ピークパワーおよび総仕事量が高値を示した 100m 群および 400m 群の各群で、 NetVO_2 と総仕事量との間に正の相関関係がみられた (Fig. 3)。そこで、100m 群および 400m 群 (以下短距離群とする) と他の 3 群とを比較すると、短距離群ほど $O_2\text{debt}$ が多く、 O_2 需要量に対する VO_2 の割合が低値を示した (Fig. 2)。これは短距離群の方がより無酸素状態で運動を遂行したことを示し、従来の成績とも一致した^{1),10)}。

Fig. 1. Net $\dot{V}O_2$ (upper panel) and percentage of $\dot{V}O_2$ uptake to $\dot{V}O_{2max}$ (lower panel) in each 15s segments on 45s maximal cycle ergometer pedaling. Values are means $\pm$ SD. * : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$.

本実験では、血中乳酸を測定しなかった。しかし、既に報告した⁴⁾ように本実験と同一の運動負荷条件下での最高血中乳酸値は14.5 mmol/l (130.2mg/dl)まで上昇し、このときの作業成績や O_2 debt (体重当りに換算) は、本実

験の短距離群の成績とはほぼ一致した。Jones et al.¹⁴⁾は、最大アイソキネティックペダリング運動 (60rpm および140rpm) を30秒間行わせたとき、血中乳酸値が約14—16mmol/l にまで達し、そのときの筋中乳酸値が60rpm で 31.0 ± 2.26

Fig. 2. O₂ uptake and O₂ debt in O₂ requirement on 45s maximal cycle ergometer pedaling. Values are means $\pm$ SD. Percentages in the columns indicate the ratio of O₂ uptake and O₂ debt in O₂ requirement. * : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$.

mmol/kg wet wt, 140rpm で 29.0 ± 1.99 mmol/kg wet wt であったことを示した。これらの成績から、本実験の短距離群の筋中乳酸値は 30 mmol/kg wet wt 程度に達していたものと推測される。短時間最大運動による血中乳酸値は、仕事量や O₂ debt が多い者ほど高値を示す^{4), 5), 12)}ことから、本実験の短距離群が、他の 3 群に比較し、筋中乳酸値が高い状態で運動を遂行していたと推察される。一方、乳酸生成に伴う筋中 pH の変動が筋出力発揮を左右するとの指摘もある²³⁾。Tesch et al.²⁸⁾は、筋中乳酸値が 22.2 mmol/kg wet wt に達すると筋出力の低下をもたらすと報告した。乳酸蓄積に対する緩衝能力は、非鍛練者よりも競技鍛練者の方が高く²⁴⁾、無酸素的トレーニングによって増加する²⁵⁾。しかし、持久的鍛練者とスプリントの鍛練者の緩衝能力がほとんど変わらないとの報告もある²¹⁾。これらのことから、筋出力低下をもたらすとされる高濃度の筋中乳酸レベル下での筋出力発揮に際し、運動時の酸素摂取が有効になるのかも

しれない。

45秒間最大運動時の NetVO₂には、機械的仕事量への変換のみならず、ペダリング姿勢の保持や呼吸運動による O₂ 利用も包含されていることが考えられる。Shephard²⁶⁾は、80% $\dot{V}O_2$ max の運動強度のトレッドミル走を負荷したとき(換気量は 89–130 l/min である)、呼吸数に関係なく、全酸素摂取量の約 20% が呼吸筋に消費されると報告した(本実験での短距離群の換気量は 101.8 ± 25.7 l/min であった)。また、玉木と石河²⁷⁾は、80% $\dot{V}O_2$ max の運動強度の自転車ペダリング運動時における呼吸筋の酸素消費量が、鍛練者で全酸素摂取量の 16%、非鍛練者で 23% となったことを報告した。一方、30秒間の最大運動終了時に、 $\dot{V}O_2$ が 2.7 l/min まで上昇し、このときの大腿の動静脈酸素較差は 169 ml/l であったという報告がある¹⁸⁾。一般に、この値は筋の O₂ 利用のほぼ最大値と考えられる。本実験の短距離群の場合、運動開始後 30 から 45 秒までの 15 秒間の $\dot{V}O_2$ は、 2.83 ± 0.27 l/min であっ

Fig. 3. Relationship between total work and NetVO₂, and O₂debt on 45s maximal cycle ergometer pedaling in each groups. Regression equation was determined by linear regression analysis. ● : 100m runners, ○ : 400m runners, ▲ : ice hockey players, △ : long distance sports men, and ■ : untrained men, respectively.

た。したがって、NetVO₂は主として自転車ペダリング運動の主動筋である大腿四頭筋などの下肢筋群で利用されたものと思われる。このNetVO₂利用により全活動筋に対する相対的な酸素不足が緩和され、乳酸蓄積の抑制や酸化過程によるATPの生成をも招来して、高水準のパワー発揮を可能にしたとも推察される。

一般にO₂debtは、無酸素的運動能力の指標として測定されてきた^{10),12),19)}。本実験で行ったO₂debtの算出方法による値は、既に報告した⁴⁾ように安静時のVO₂のみを基準値として求めた値よりも14%少なく見積られるが(本実験では、平均18%, 100m群-27.3ml/kg, 400m群-20.4ml/kg, IH群-21.4ml/kg, LD群-18.8

ml/kg, 非鍛練者群—29.9ml/kg, それぞれ少なかった), 作業成績とより高い相関を示す。本実験でも全被験者を一括した場合, O_2debt と総仕事量との間に有意な相関 ($r=0.610: p<0.01$) が認められた。しかし, Fig. 3 で示したように, 各群毎の両者の関係は, 有意ではなかった。Hermansen⁹⁾は, O_2debt が運動能力の指標として, 競技鍛練者と非鍛練者などの群間の区別に用いることができると述べている。換言すれば, O_2debt と作業成績との関係が同じ競技者や運動能力の同等な者どうし間で比較しても明確にならないことを示唆している。また, 本実験条件では, O_2 需要量に対する O_2debt の占める割合が約85%と量的には $NetVO_2$ より多いが (Fig. 2), O_2debt および $NetVO_2$ の運動遂行のための貢献度を Fig. 3 に示した相関関係から比較すると, それはほぼ同等であるように思われる。

$NetVO_2$ は, 100m, 400m, IH および LD 群などの鍛練者群の方が非鍛練者群より有意に高かった (Fig. 2)。 $\dot{V}O_{2max}$ を鍛練者群間で比較すると, Table 2-B で示したように, 400m 群と IH 群間を除くいずれの群間にも有意差が認められた。一方, 鍛練者群間で $NetVO_2$ を比較すると, いずれも有意差を認めなかった (Fig. 1)。また, $NetVO_2$ と $\dot{V}O_{2max}$ との関係は, 全被験者を一括した場合, 有意 ($r=0.600: p<0.01$) であったものの, 各群毎に両者の関係をみるといずれの群も有意ではなかった。これらのことは, 鍛練者の場合, $NetVO_2$ と $\dot{V}O_{2max}$ との関連性が少ないことを示唆している。しかし, 小林と天野¹⁶⁾は, 30および60秒間の最大自転車ペダリング運動時の $\dot{V}O_2$ が, $\dot{V}O_{2max}$ の高い中・長距離選手群の方で, その絶対値および体重当りの量とも短距離選手群より高値であったことを報告しており, 本実験の成績とは異なっていた。この原因のひとつに, 運動方法の違いが考えられる。すなわち, 前者では, パワーを一定に発揮できるような条件下 (アイソパワー) で運動を行わせており, 本実験ではパワーが運動開始後 4—7 秒でピークに達し, 運動終了時点

(45秒後) で約60%低下する運動条件であった。また, Wingate test (30秒間の最大自転車ペダリングテスト) の場合, Kavanagh et al.¹⁵⁾は $\dot{V}O_{2max}$ の高い被験者の方が相対的な有酸素的エネルギーの貢献度が高いと報告した。しかし, 吉田ら³¹⁾は, 持久能力によって運動開始後の $\dot{V}O_2$ 応答特性が変化することはなかったと報告し, 一致した見解が得られていない。この原因として, 用いた被験者の違いが考えられる。すなわち, 前者で用いた被験者は, 健康な男性ボランティアでその $\dot{V}O_{2max}$ の範囲が比較的大きい (45.1—58.3ml/kg/min) が, 後者では, 被験者として女子陸上中長距離選手を用いており, その $\dot{V}O_{2max}$ は記載されていないが, 身体特性が似ていたものと思われる。

いずれにしても, 本実験の成績は, 特に鍛練者において短時間最大運動時の酸素摂取能力が, 負荷漸増運動による最大酸素摂取能力とは必ずしも一致しないことを示唆している。その原因のひとつとして, 45秒間最大運動と $\dot{V}O_{2max}$ 測定のための負荷漸増運動との運動強度の相違が挙げられる。最大下運動の場合には, $\dot{V}O_{2max}$ の高い被験者ほど, 運動開始後の $\dot{V}O_2$ 応答がより速いことが知られている^{7), 8)}。しかし, 本実験条件の場合, 45秒間の最大自転車ペダリングの運動強度 (535 ± 59 watts) は, $\dot{V}O_{2max}$ 測定時 (負荷漸増運動終了時点) の運動強度 (303 ± 24 watts) の約1.8倍であった。Gollnick et al.⁶⁾は, 自転車ペダリングの運動強度の違いによって, 大腿四頭筋の FT と ST 線維におけるグリコーゲンの減少パターンが異なると報告している。このことは, 45秒間最大運動と負荷漸増運動とでは, 動員される筋線維タイプや筋量の相違することを伺わせ, それが $NetVO_2$ と $\dot{V}O_{2max}$ との間に有意な相関の認められなかった一因として考慮されるべきかもしれない。さらに, LD 群の $\% \dot{V}O_{2max}$ は他の群に比べて最も低値であった (Fig. 2)。このことも負荷漸増運動で測定した $\dot{V}O_{2max}$ が, 短時間最大運動時の酸素摂取量と関連性の少ないことを示唆している。

ま と め

本実験は、短時間最大運動時の酸素摂取が作業成績に影響を及ぼすか、特にこの両者の関係が競技特性により相違するか否かを明らかにすること、さらに運動時の酸素摂取量と $\dot{V}O_2\max$ との関連も合わせて検討することを目的とした。被験者は、鍛練者32名(陸上100m 選手6名、陸上400m 選手8名、アイスホッケー選手10名、長距離愛好者8名)および非鍛練者6名いずれも男性(23.6 ± 3.1 歳)を選び、彼らに45秒間最大自転車ペダリング運動を負荷し、総仕事量と酸素摂取量との関連を比較検討した。その結果、

1. $\dot{V}O_2\max$ は、LD 群($62.2 \pm 4.5 \text{ ml/min/kg}$)が他の群に比較し有意に高値を示した。次にIH 群($57.2 \pm 3.2 \text{ ml/min/kg}$)と400m 群($57.1 \pm 4.1 \text{ ml/min/kg}$)がほぼ同値で続き、以下、100m 群($52.3 \pm 1.7 \text{ ml/min/kg}$)、非鍛練者群($45.0 \pm 3.8 \text{ ml/min/kg}$)と有意に低値を示した。

2. 総仕事量は、100m 群($41.1 \pm 2.1 \text{ kpm/kg}$)と400m 群($41.7 \pm 2.8 \text{ kpm/kg}$)がほぼ同値で最も高値を示し、次にIH 群($38.6 \pm 1.8 \text{ kpm/kg}$)とLD 群($38.3 \pm 3.0 \text{ kpm/kg}$)がほぼ同値で続き、非鍛練者群($34.1 \pm 2.2 \text{ kpm/kg}$)が最も低値を示した。

3. 最大運動時の NetVO_2 は、各鍛練者群が非鍛練者群より有意に高値を示したが、鍛練者群間ではいずれも有意差を認めなかった。

4. O_2 需要量に占める $\dot{V}O_2$ の割合は、100m 群および400m 群がともに14.6%で最も少なく、次にIH 群が15.5%、非鍛練者群が16.5%と続き、LD 群が17.2%と最も多かった。

5. NetVO_2 と総仕事量との関係は、全被験者を一括した場合、有意な相関($r=0.721: p<0.01$)を示した。しかし、各群毎に両者の関係をみると、100m 群および400m 群でのみ、有意な相関($r=0.858: p<0.05$, $r=0.857: p<0.01$)が認められたものの、他の群においては有意ではなかった。

6. $O_2\text{debt}$ と総仕事量との関係は、全被験者

を一括した場合、有意な相関($r=0.610: p<0.01$)を示した。しかし、各群毎に両者の関係をみると、いずれの群でも有意ではなかった。

7. NetVO_2 と $\dot{V}O_2\max$ との関係は、全被験者を一括した場合、有意な相関($r=0.600: p<0.01$)を示した。しかし、各群毎に両者の関係をみると、いずれの群でも有意ではなかった。

以上の成績から、短時間最大運動を行わせた場合、無酸素的作業能力が高い競技者では、運動時の酸素摂取量の作業成績に与える影響が比較的大きいことが示唆された。また、一般に $\dot{V}O_2\max$ は短時間最大運動時の酸素摂取量に影響を及ぼすが、競技鍛練者においては、両者の関連性はなかった。

引用・参考文献

- 1) 青木純一郎・形本静雄「100m 走における疾走時間と非乳酸性および乳酸性負債について」昭和47年度日本体育協会スポーツ科学研究報告：3—11, 1972.
- 2) Brozek, J., Grande, F., Anderson, J.T. and Keys, A., "Densitometric analysis of body composition: revision of some quantitative assumptions," *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 110: 113—40, 1963.
- 3) Cunningham, D.A. and Faulkner, J.A., "The effect of training on aerobic and anaerobic metabolism during a short exhaustive run," *Med. Sci. Sports*, 1: 65—69, 1969.
- 4) 藤瀬武彦・玉木哲朗・寺尾 保・中野昭一「血中乳酸値および酸素負債量による無酸素的運動能力評価法の検討」体力科学, 38: 85—94, 1989.
- 5) Fujitsuka, N., Yamamoto, T., Ohkuwa, T., Saito, M. and Miyamura, M., "Peak blood lactate after short periods of maximal treadmill running," *Eur. J. Appl. Physiol.*, 48: 289—96, 1982.
- 6) Gollnick, P.D., Piehl, K. and Saltin, B., "Selective glycogen depletion pattern in human muscle fibres after exercise of varying intensity and at varying pedalling rate," *J. Physiol. (Lond.)*, 241: 45—57, 1974.
- 7) Hagberg, J.M., Nagle, F.J. and Carlson, J.L., "Transient O_2 uptake response at the onset of exercise," *J. Appl. Physiol.*, 44: 90—92, 1978.
- 8) Hickson, R.C., Bomze, H.A. and Holloszy, J.O., "Faster adjustment of O_2 uptake to the energy requirement of exercise in the trained state," *J. Appl. Physiol.*, 44: 877—91, 1978.
- 9) Hermansen, L., "Anaerobic energy release,"

- Med. Sci. Sports, 1: 32—38, 1969.
- 10) 猪飼道夫・生田香明・島岡 清「パワー発揮能力・持続能力の酸素負債量の面からの探究」昭和46年度日本体育協会スポーツ科学研究報告: 4—15, 1971.
 - 11) 生田香明, 「モナーク製自転車エルゴメーターによる anaerobic power の測定法」身体運動の科学 I, human power の研究, 杏林書院, 1972, pp. 45—62.
 - 12) 生田香明・猪飼道夫「Mechanical power, 血液乳酸量, 酸素負債量による Anaerobic work の研究」体力科学, 22: 1—8, 1973.
 - 13) Ivy, J.L., Sherman, W.M., Miller, L.M., Maxwell, B.D. and Costill, D.L. "Relationship between muscle $\dot{V}O_2$ and fatigue during repeated isokinetic contractions," J. Appl. Physiol., 53: 470—74, 1982.
 - 14) Jones, N.L., McCartney, N., Graham, T., Spriet, L.L., Kowalchuk, J.M., Heigenhauser, G.J.F. and Sutton, J.R., "Muscle performance and metabolism in maximal isokinetic cycling at slow and fast speeds," J. Appl. Physiol., 59: 132—36, 1985.
 - 15) Kavanagh, M.F. and Jacobs, I., "Breath-by-breath oxygen consumption during performance of the Wingate test" Can. J. Spt. Sci., 13: 91—93, 1988.
 - 16) 小林寛道・天野義裕「無酸素性および有酸素性パワー発揮能力の相互作用に関する研究」昭和60年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告: 21—30, 1985.
 - 17) Keul, J., Doll, E. and Kepler, D., "Energy metabolism of human muscle," Medicine and Sport, 7: S. Karger, Basel, 1972.
 - 18) Kowalchuk, J.M., "Acid-base balance and metabolism in short-term maximal exercise," Hamilton, Ont.: McMaster University, 1985.(Ph D thesis)
 - 19) 黒川隆志・富樫泰一・野村武男・池上晴夫「最大酸素負債量, 最大酸素摂取量および酸素需要量と水泳記録との関係」体育学研究, 29: 295—305, 1985.
 - 20) Margaria, R., Cerretelli, P. and Mangili, F., "Balance and kinetics of anaerobic energy release during strenuous exercise in man," J. Appl. Physiol., 19: 624—28, 1964.
 - 21) Medbø, J.I. and Sehersted, O.M., "Acid-base and electrolyte balance after exhausting exercise in endurance-trained and sprint-trained subjects," Acta Physiol. Scand., 125: 97—109, 1985.
 - 22) 根本 勇・金久博昭・福永哲夫・角田直也・下敷領光一・吉岡伸彦・宮下充正「最大有酸素性パワーと等速性筋出力との関係」体力科学, 37: 77—84, 1988.
 - 23) Sahlin, K., "Muscle fatigue and lactic acid accumulation," Acta Physiol. Scand., 128(Suppl., 556): 83—91, 1986.
 - 24) Sahlin, K. and Henriksson, J., "Buffer capacity and lactate accumulation in skeletal muscle of trained and untrained men" Acta. Physiol. Scand., 122: 331—39, 1984.
 - 25) Sharp, R.L., Costill, D.L., Fink, W.J. and King, D. S., "The effects of eight weeks of bicycle ergometer sprint training on buffer capacity," Int. J. Sports Med., 7: 13—17, 1983.
 - 26) Shepherd, R.J., "The oxygen cost of breathing during vigorous exercise," Quart. J. Exper. Physiol., 51: 336—50, 1966.
 - 27) 玉木伸和・石河利寛「鍛練者および非鍛練者の運動中の呼吸筋の酸素消費量」体力科学, 25: 78—84, 1976.
 - 28) Tesch, P., Sjodin, B., Thorstensson, A. and Karlsson, J., "Muscle fatigue and its relation to lactate accumulation and LDH activity in man," Acta Physiol. Scand., 103: 413—20, 1978.
 - 29) Thomson, J.M. and Garvie, K.J., "A laboratory method for determination of anaerobic energy expenditure during sprinting," Can. J. Appl. Spt. Sci., 6: 21—26, 1981.
 - 30) 山本正嘉・中村好男・宮下充正「90秒間連続の最大努力作業時に発揮されるパワーに関する研究—最大無酸素性パワーおよび最大有酸素性パワーとの関連から—」J.J. Sports Sci., 4: 308—13, 1985.
 - 31) 吉田教義・有働正夫・生田香明・松本洋次郎・衣川幸作・中嶋二三生「Wingate Anaerobic Test 中および回復時の breath-by-breath 測定によるガス交換パラメーターの特性について」体力科学, 37: 493, 1988.

(平成元年 9 月 11 日受付)