

## 有酸素性能力の相違が Wingate test におけるエネルギー供給比に及ぼす影響

森 健 一<sup>1)</sup> 吉岡 利 貢<sup>2)</sup> 白松 宏 輔<sup>1)</sup>  
荻 山 靖<sup>1)</sup> 尾 縣 貢<sup>1)</sup>

### EFFECT OF THE DIFFERENCE OF AEROBIC CAPACITY ON ENERGY CONTRIBUTION RATE IN WINGATE TEST

KENICHI MORI, TOSHITSUGU YOSHIOKA, KOSUKE SHIRAMATSU,  
YASUSHI KARIYAMA and MITSUGI OGATA

(Received April 12, 2011; Accepted August 5, 2011)

#### Abstract

The purpose of this study was to investigate the influence of physiological factors which effect oxygen kinetics and energy system contribution on the power of Wingate test (WT), with focusing on the difference of aerobic capacity. Twenty three male track and field athletes (sprinters, long distance runners and decathletes) performed the WT on electromagnetic-braked cycle ergometer. The applied resistance was 7.5% of body weight, and the duration was 60 seconds. Moreover, aerobic capacity (maximal oxygen uptake [ $\dot{V}O_2\text{max}$ ]) was determined by an incremental test, and anaerobic capacity (maximal accumulated oxygen deficit [MAOD]) was determined by a supramaximal constant load test. The oxygen uptake during each test was recorded by a breath-by-breath method. The participants were divided into two group which was high  $\dot{V}O_2\text{max}$  group (High group; n = 11) and low  $\dot{V}O_2\text{max}$  group (Low group; n = 12). In the results, although the  $\dot{V}O_2\text{max}$  was significantly higher in the High group, the MAOD was not significantly different between two groups. The oxygen uptake during WT was significantly higher in the High group, and the accumulated oxygen deficit during WT was significantly higher in the Low group. The aerobic contribution was significantly higher in the High group than in the Low group. In contrast, the anaerobic contribution was significantly higher in the Low group than in the High group. These results suggest that by the difference of aerobic capacity, aerobic and anaerobic energy supply contribution was different in WT.

(Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med., 60(5): 503~510 (2011))

**Key words :** Wingate test, Aerobic capacity, Anaerobic capacity, Energy contribution rate

#### I. 緒 言

短時間高強度の全力ペダリング運動である Wingate test は、無酸素性能力（無酸素性パワーおよび無酸素性容量）を簡易的に評価するパフォーマンステストとして広く普及しており<sup>1,2)</sup>、その運動時間は30秒が多く採用されている。運動開始と同時に全力でペダルを回転させ、得られたパワーがパフォー

マンス結果として評価される。最高パワーは無酸素性パワーを平均パワーは無酸素性容量を反映していると考えられている<sup>3)</sup>。

30秒の Wingate test に必要とされるエネルギーは非乳酸性および乳酸性によるエネルギー供給機構から主に供給される。このことは、このような運動の後にリン酸の枯渇と乳酸の蓄積が起こることからも明らかである<sup>4)</sup>。また、無酸素性能力を反映して

<sup>1)</sup> 筑波大学大学院人間総合科学研究科  
〒305-8574 茨城県つくば市天王台1-1-1

<sup>2)</sup> 筑波大学スポーツR&Dコア  
〒305-8574 茨城県つくば市天王台1-1-1

Graduate School of Comprehensive Human Science, University of Tsukuba

1-1-1 Tennohdai, Tsukuba, Ibaraki 305-8574, Japan

Sports Research & Development Division Core, University of Tsukuba

1-1-1 Tennohdai, Tsukuba, Ibaraki 305-8574, Japan

いると考えられる指標と発揮パワーとの間に関係がみられた報告が数多くある。例えば、最大酸素借 (Maximal accumulated oxygen deficit; MAOD)<sup>5)</sup>、30秒のWingate test終了後の最高血中乳酸値<sup>6)</sup>や速筋線維の横断面積<sup>7,8)</sup>と発揮パワーとの間に相関関係が認められている。そのため、30秒のWingate testにおける発揮パワーが無酸素性能力を反映していると考えられている。

しかし、30秒のWingate test中の有酸素性機構からのエネルギー供給比はおよそ30%であり、エネルギー需要量に対する有酸素性機構の供給量は少ないことが報告されている<sup>9-12)</sup>。また、30秒のWingate test中に達する最高酸素摂取量 ( $\dot{V}O_{2peak}$ ) は、最大酸素摂取量 ( $\dot{V}O_{2max}$ ) のおよそ80-90%に達することが報告されている<sup>10,13,14)</sup>。そして、Bhambhani et al.<sup>15)</sup>は、 $\dot{V}O_{2max}$ と60秒Wingate testでの $\dot{V}O_{2peak}$ との間に有意差はなく同様の値を示したことを報告しており、有酸素性能力の貢献が大きい事を示している。加えて、Wingate testにおけるエネルギー供給比や酸素摂取動態は、体力特性や専門とする競技の特性によっても異なる。これまでに、中距離走選手における30秒のWingate test中の酸素摂取量 ( $\dot{V}O_2$ ) は、短距離走選手と比較して高い値を示すことが報告されている<sup>12)</sup>。このことは、短距離走と中距離走選手間の筋線維タイプの割合、ミトコンドリア量、酵素活性レベルなどの相違<sup>16-18)</sup>などが関係していると考えられる。また、中強度および高強度の一定負荷運動を対象とした研究においても、長距離走選手は、短距離走選手と比較して酸素摂取動態における時定数 ( $\tau$ ) が有意に速く、Amplitude (振幅) が有意に高いことが報告されている<sup>19,20)</sup>。このことは、中長距離選手は、運動強度や時間に関係なく $\dot{V}O_2$ の立ち上がりが速く、運動初期から運動に必要なエネルギーを有酸素性機構によって優先的に供給していることを示している。そのため、無酸素性機構からのエネルギー供給が主体とされるWingate testにおいて、有酸素性機構からのエネルギー供給の関与を無視することはできない。

しかし、Wingate testにおける発揮パワーに影響を及ぼす要因と考えられるエネルギー供給比について無酸素性および有酸素性エネルギー供給能力の両者から検討した研究は見られない。また、有酸素

性能力の相違が酸素摂取動態に影響を及ぼすと考えられ、その差がエネルギー供給比にも影響を及ぼしていると考えられる。そのため、酸素摂取動態についても検討が必要であると考えられる。そこで本研究では、有酸素性能力の相違が、Wingate testにおける発揮パワーに影響する要因である無酸素性および有酸素性機構からのエネルギーの供給比および酸素摂取動態に及ぼす影響について検討することを目的とした。

## II. 方 法

### A. 被検者

被検者は、大学陸上競技部に所属する男子学生23名とした (表1)。体組成の測定には、体組成計を用いた (TANITA社, BC-118D)。被検者には、事前に文書および口頭にて実験の主旨、内容および危険性を説明し、書面にて実験参加の同意を得た。また、本研究は、筑波大学人間総合科学研究科研究倫理委員会の承認を得て実施した。

### B. 測定項目および測定方法

すべての運動試技には電磁ブレーキ式自転車エルゴメータ (コンビウエルネス社, Power Max-V III) を用いた。

#### 1. 最大酸素摂取量

漸増負荷テストを行い $\dot{V}O_{2max}$ を決定した。漸増負荷テストは、1.0kpで5分間のペダリング運動と

Table 1 Physical characteristics.

	Total (n=23)	High (n=11)	Low (n=12)
Age (years)	21.8 ± 3.0	22.7 ± 3.6	20.9 ± 2.2
Height (cm)	174.7 ± 5.1	172.3 ± 4.0	176.9 ± 5.2 *
Weight (kg)	66.3 ± 5.9	63.1 ± 4.6	69.2 ± 5.6 *
%Fat (%)	7.8 ± 2.1	6.9 ± 2.4	8.6 ± 1.6
LBM (kg)	58.1 ± 4.4	55.8 ± 3.1	60.0 ± 4.5 *

\*; p<0.05

Values presented are means ± SD. Twenty three athletes participated in the present study. Eight are Sprinters, nine are long distance runners, and six are decathletes.

Asterisk indicate significant difference between High and Low group.

ストレッチング等の準備運動の後に開始した。最初の負荷を1.6または1.8kpに設定し、1分毎に0.2kpずつ漸増させ、指定した回転数(90rpm)を維持できなくなるまで行わせた。運動中の呼気ガス指標は呼気ガス分析器(Mijnhardt社, Oxycon Alpha)を用いて、breath-by-breath法により分析した。この機器を用いて、運動中の酸素摂取量( $\dot{V}O_2$ )を1呼吸毎に分析し、30秒平均として出力した。心拍数(HR)はHRモニタ(Polar社, S610s)を用いて5秒毎に測定した。 $\dot{V}O_{2max}$ は $\dot{V}O_2$ のレベリングオフ、1.1以上の呼吸交換比、180拍/分以上の心拍数および10mmol/L以上の血中乳酸濃度のうちいずれか2つ以上を満たす値が出現していることを条件として求めた<sup>21)</sup>。 $\dot{V}O_{2max}$ は体重1kgあたりの相対値で示した。上記の算出条件によって求められた $\dot{V}O_{2max}$ から、上位11名をHigh  $\dot{V}O_{2max}$ 群(High群)、下位12名をLow  $\dot{V}O_{2max}$ 群(Low群)として、2群分け、それぞれの指標に対する関係を検討した。また、漸増負荷テスト終了後1, 3, 5, 7, 10分後に指先から血液を採取し、血中乳酸濃度を血中乳酸分析装置(YSI社, 1500SPORT)を用いて測定した。

## 2. 最大酸素借

最大下間欠的漸増負荷テストおよび超最大固定負荷テストを行った。まず、最大下テストは、最大下強度での4分間の固定負荷テストを2分間の休息を挟み、5回行なった<sup>22)</sup>。この時のペダル回転数は90rpmとした。各運動終了後に指先より採血し、血中乳酸濃度を測定した。なお、本研究での最大下テストにおける、2-3分と3-4分の $\dot{V}O_2$ との間に有意な差はなく、定常状態であったと判断した。また、5回の最大下テストの負荷はすべて血中乳酸濃度が4mmol/l未満であった。次に、最大下テスト終了後、20分程度の休息をはさみ、2~3分程度で疲労困憊に達する強度での超最大固定負荷テスト(90rpm)を行った。回転数の維持が不可能になり、85rpmを下回った時点で運動を終了させた。

MAODの算出は以下の通りとした。まず、各最大下テスト中の最後の2分間の酸素摂取量の平均値をその負荷での値とし、運動負荷と酸素摂取量の直線回帰式を求めた。次に、超最大固定負荷テストで得られた負荷強度を直線式に外挿した値を高負荷強度の運動における酸素需要量とし、得られた酸素需要量に運動時間をかけて総酸素需要量を算出した。

総酸素需要量から運動中の総酸素摂取量を引くことにより総酸素借を求め、この値をMAODとした<sup>23)</sup>。MAODは体重1kgあたりの相対値で示した。なお、最大下テストで得られた直線回帰式から30秒および60秒のWingate testにおける酸素需要量も算出した。

## 3. Wingate test

本研究では、Wingate testの運動時間を60秒とした。負荷は個々の体重の7.5%に設定した。運動中に発揮したパワーを測定するために、エルゴメータから出力したパワーを、ADコンバーター(サンワ社, KRS-413XF1K)及びUSB変換ケーブル(プラスアップ社, RUUSRL1)を介して10ms毎にパーソナルコンピュータ(DELL社, INSPIRON1300)に入力した。得られたデータを1秒毎に平均し、最高値を最高パワー(Peak power; PP)、ペダリング開始時点から30秒までと60秒までの平均パワー(Mean power; MP)をそれぞれ、MP30, MP60とした。最高パワーから最低パワーに低下したパワーの比率をFatigue Index (FI)として、以下の式により算出した。

$$FI(\%) = \frac{(\text{最大パワー} - \text{最小パワー})}{(\text{最小パワー出現時間} - \text{最大パワー出現時間})} \times 100$$

60秒のWingate testにおける呼気ガスを10秒毎に平均して算出した。また、60秒のWingate test終了後1, 3, 5, 7, 10分後に指先から血液を採取し、血中乳酸濃度を測定した。被検者には最初から最後まで常に全力を出し切るように指示した。サドルの高さは、各自に適した位置にセットさせ、ペダリング中はサドルから腰を上げないように指示した。

## C. 統計処理

各測定値は、平均値±標準偏差で示した。各測定項目間の相関関係の検討には、Pearsonの積率相関係数を、各群の比較には対応のないT-検定を用いた。Wingate test中の酸素摂取動態の各群の比較には二元配置の分散分析および多重比較(Tukey-Kramer法)を用いた。なお、統計的有意性は、危険率5%未満で有意差ありと判断した。

## III. 結 果

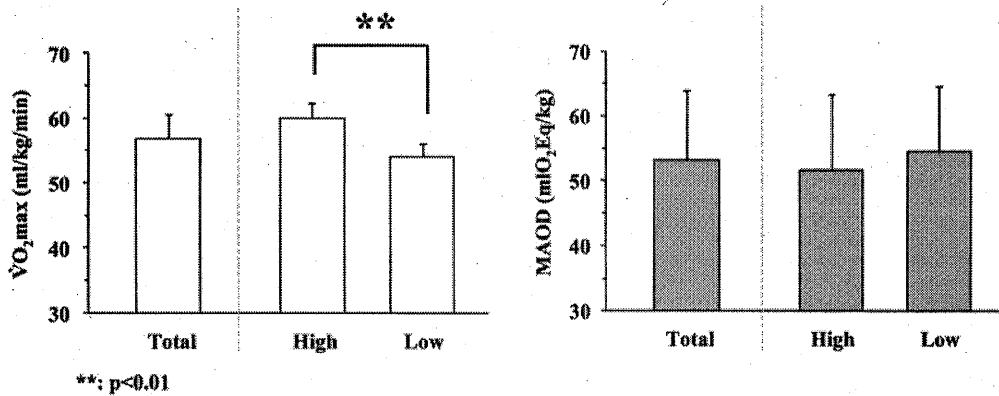
本研究では、被検者23名をHigh  $\dot{V}O_{2max}$ 群(High群=11名)とLow  $\dot{V}O_{2max}$ 群(Low群=12名)に分

けて検討した. 図1に,  $\dot{V}O_2\max$ およびMAODの結果を示した. High群およびLow群の $\dot{V}O_2\max$ はそれぞれ,  $59.9 \pm 2.4 \text{ ml/kg/min}$ ,  $54.0 \pm 2.0 \text{ ml/kg/min}$ であり, High群が有意に高い値を示したものの, MAODはHigh群およびLow群でそれぞれ,  $51.7 \pm 11.7 \text{ mlO}_2\text{Eq/kg}$ ,  $54.6 \pm 10.0 \text{ mlO}_2\text{Eq/kg}$ であり, 群間に有意な差は認められなかった.

図2に, 30秒および60秒Wingate testの酸素需要量に対する無酸素性および有酸素性エネルギー供給比(%Anaeroおよび%Aero)を示した. %AnaeroはHigh群, Low群がそれぞれ30秒平均では $59.5 \pm 9.3$ 対

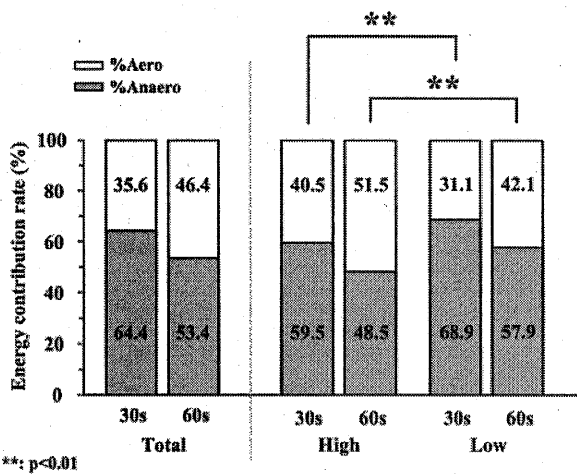
$68.9 \pm 4.7\%$ , 60秒平均では $48.5 \pm 8.8$ 対 $57.9 \pm 6.9\%$ であった. %AeroはHigh群, Low群がそれぞれ30秒平均では $40.5 \pm 9.3$ 対 $31.1 \pm 4.7\%$ , 60秒平均では $51.5 \pm 8.8$ 対 $42.1 \pm 6.9\%$ であった. いずれの運動時間においても, Low群の無酸素性エネルギーの供給比がHigh群のそれと比較して有意に高く, High群の有酸素性エネルギーの供給比がLow群のそれと比較して有意に高い値を示した.

図3に, 60秒のWingate test中の酸素摂取動態を示した. 10秒毎における経時変化は, 20秒, 30秒, 50秒, 60秒においてHigh群がLow群と比較して有意



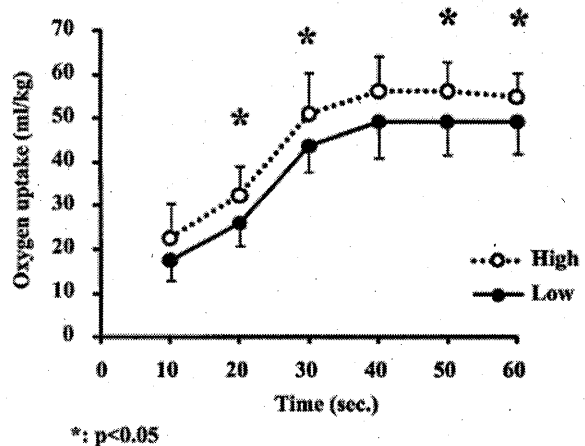
\*\* :  $p < 0.01$

Fig. 1 Maximal oxygen uptake ( $\dot{V}O_2\max$ ; white bar) and maximal accumulated oxygen deficit (MAOD; grey bar) in High, Low group, and whole subject. Asterisk indicate significant difference between High and Low group.



\*\* :  $p < 0.01$

Fig. 2 Relative energy system (aerobic and anaerobic metabolism) contribution for 30 and 60 seconds wingate test. %Aero and %Anaero show in white and grey bar, respectively. Asterisk indicate significant difference between High and Low group in %Aero and %Anaero.



\* :  $p < 0.05$

Fig. 3 Time course of oxygen uptake over the 60 seconds of the wingate test in High (dotted line) and Low group (solid line). Asterisk indicate significant difference between High and Low group.

Table 2 Performance and physiological responses in wingate test.

		Total	High	Low	Difference	
PP	(W)	805 ± 146	721 ± 115	881 ± 132	**	
	(W/kg)	12.08 ± 1.03	11.44 ± 1.07	12.67 ± 1.28	*	
MP30	(W)	654 ± 92	605 ± 76	699 ± 83	*	
	(W/kg)	9.84 ± 0.65	9.61 ± 0.64	10.05 ± 0.61	n.s.	
MP60	(W)	537 ± 58	510 ± 47	561 ± 57	*	
	(W/kg)	8.08 ± 0.32	8.12 ± 0.28	8.08 ± 0.31	n.s.	
FI	(%)	12.60 ± 2.99	10.84 ± 2.55	14.20 ± 2.47	**	
La	(mmol/L)	10.93 ± 1.77	10.23 ± 1.78	11.57 ± 1.55	#	
30sec.	$\dot{V}O_2$ -WT	(ml/kg/min)	32.7 ± 7.2	36.6 ± 7.8	29.1 ± 4.4	**
		(% $\dot{V}O_{2max}$ )	57.4 ± 11.4	61.3 ± 13.8	53.9 ± 7.6	n.s.
	AOD-WT	(mlO <sub>2</sub> Eq/kg)	36.4 ± 10.4	30.0 ± 9.1	42.3 ± 7.8	**
		(%MAOD)	68.4 ± 14.3	57.9 ± 10.9	78.0 ± 9.8	**
60sec.	$\dot{V}O_2$ -WT	(ml/kg/min)	42.7 ± 7.1	46.5 ± 6.7	39.3 ± 5.6	*
		(% $\dot{V}O_{2max}$ )	96.4 ± 11.5	97.9 ± 10.0	95.0 ± 13.1	n.s.
	AOD-WT	(mlO <sub>2</sub> Eq/kg)	49.7 ± 10.9	44.4 ± 9.8	54.7 ± 9.7	*
		(%MAOD)	94.6 ± 15.2	86.8 ± 14.7	101.7 ± 12.3	*

\*\* : p<0.01, \* : p<0.05, # : p<0.10

Significant difference between High and Low group.

に高い値を示した。表2に、Wingate test中における酸素摂取量 ( $\dot{V}O_2$ -WT), 酸素借 (AOD-WT) を30秒および60秒の平均値で示した。また、Wingate testにおける30秒および60秒地点までに達する最高酸素摂取量および酸素借を有酸素性および無酸素性能力の最大値に対する相対的な割合 (それぞれ % $\dot{V}O_{2max}$ , %MAOD) で示した。 $\dot{V}O_2$ -WTはHigh群, Low群がそれぞれ30秒平均で36.6±7.8ml/kg/min, 29.1±4.4ml/kg/min, 60秒平均で46.5±6.7ml/kg/min, 39.3±5.6 ml/kg/minであり, いずれもHigh群が有意に高い値を示した。一方, AOD-WTはHigh群, Low群がそれぞれ30秒平均で30.0±9.1 mlO<sub>2</sub>Eq/kg, 42.3±7.8 mlO<sub>2</sub>Eq/kg, 60秒平均で44.4±9.8 mlO<sub>2</sub>Eq/kg, 54.7±9.7 mlO<sub>2</sub>Eq/kgであり, いずれもLow群が有意に高い値を示した。% $\dot{V}O_{2max}$ は, High群およびLow群がそれぞれ30秒平均で61.3±13.8%, 53.9±7.6%, 60秒平均で97.9±10.0%, 95.0±13.1%であった。%MAODはHigh群およびLow群がそれぞれ30秒平均で57.9±10.6%, 78.0±9.8%, 60秒平均で86.8±14.7%, 101.7±12.3%であった。% $\dot{V}O_{2max}$ は各群に有意差が認められなかったが, %MAODはLow群が

High群と比較して有意に高い値を示した。

同じく表2に、60秒のWingate testにおける発揮パワーおよび血中乳酸値 (La) を示した。体重当たりの相対値で示したPPはHigh群が11.44±1.07W/kg, Low群が12.67±1.28 W/kgであり, Low群が有意に高い値を示した。しかし, MP30, MP60およびLaは各群で有意差が認められなかった。60秒のWingate testにおける発揮パワーとエネルギー供給能力との関係は, 全体でMAODとPP, MP30およびMP60 (それぞれ r=0.65, p<0.01; r=0.70, p<0.01; r=0.56, p<0.01) との間に有意な正の相関関係が認められた。

#### IV. 考 察

有酸素性能力の相違に着目し, Wingate testにおける発揮パワーに影響する要因である酸素摂取動態, 無酸素性および有酸素性エネルギー供給機構の供給比について検討した。

各群の $\dot{V}O_{2max}$ が有意に異なるにも関わらず, MAODは同様の値を示した。このことは, 本研究の被検者が陸上競技の短距離から長距離走, 混成競技

選手であり, 体力特性が多岐に亘っていることが影響していたと考えられる。また, 近年では, 短距離走選手における有酸素性能力の, 長距離走選手における無酸素性能力の重要性が報告されており<sup>24,25)</sup>, 短距離および長距離走選手ともに一方の能力だけでなく, 両能力が必要であり, 一方の能力に偏った体力特性を有する選手が少ないことも考えられる。

30秒および60秒のWingate testの酸素需要量に対する無酸素性および有酸素性エネルギーの供給比は, 30秒で $64.4 \pm 8.5\%$ および $35.6 \pm 8.5\%$ , 60秒で $53.4 \pm 9.1\%$ および $46.6 \pm 9.1\%$ であった。全体での値は先行研究の値(30秒; $60\%$ および $40\%$ , 60秒; $51.0-52.2\%$ および $47.0-47.8\%$ )と同様の値を示した<sup>9,10)</sup>。しかし, 各群で検討すると, 30秒および60秒ともにHigh群は%Aeroが, Low群は%Anaeroが, それぞれLow群およびHigh群のそれよりも有意に高い値を示した。Low群で有意に%Anaeroが高い値を示したのは, 筋出力の影響を受けていると考えられる。Low群において有意に最高パワーが高かったこと, すなわち, High群と比較して筋出力が高いことから, Low群ではHigh群よりも筋収縮に伴う筋内圧の上昇<sup>26)</sup>が高く, さらなる血流の抑制が引き起こされ, 作業筋内における無酸素性代謝を亢進させた可能性が考えられる。

さらに, Wingate testにおける酸素摂取量( $\dot{V}O_2$ -WT)および酸素借(AOD-WT)について比較すると, 30秒および60秒での平均値とともに, High群で $\dot{V}O_2$ -WTが, Low群でAOD-WTがそれぞれ有意に高い値を示した。また, 経時的变化においても20, 30, 50, 60秒時点の $\dot{V}O_2$ -WTがHigh群において有意に高い値を示した。酸素摂取動態に関する研究は, 中強度および高強度での定常負荷テストを対象としたものが多く, 長距離走者は短距離走者と比較して, 第二相の時定数が有意に短いこと, すなわち,  $\dot{V}O_2$ の立ち上がりが速いことが報告されている<sup>19,20)</sup>。そして,  $\dot{V}O_2$ の時定数は有酸素性能力を反映する指標であり, 活動筋における酸素利用能力を示していると考えられている<sup>27)</sup>。Granier et al.<sup>12)</sup>は, 短距離走者と中距離走者における30秒の $\dot{V}O_2$ -WTは中距離走者において有意に高く, 中でも25秒および30秒時点において有意に高い値を示すことを報告している。そのため, High群においてLow群と比較して $\dot{V}O_2$ -WTが有意に高い値を示したことは, High群

は活動筋における酸素利用能力が高く, 無酸素性機構からのエネルギー供給が優位とされる運動<sup>9-12)</sup>においても, 有酸素性機構からエネルギーを多く供給できることを示している。また, 30秒および60秒のWingate testに必要とされる酸素需要量は, 各群に有意な差は認められなかった(High群およびLow群でそれぞれ, 30秒; $90.9 \pm 7.7$ および $94.0 \pm 8.3$ ml, 60秒; $105.7 \pm 10.8$ および $114.8 \pm 13.5$ ml)。このことを考慮すると, Low群ではHigh群と比較してWingate test中の酸素摂取量が低いため, 有酸素性エネルギーからの供給量の不足分を, 無酸素性代謝の亢進によって補っていると考えられる。

次に,  $\% \dot{V}O_{2max}$ および%MAODからWingate testに対するエネルギー供給機構の供給比を比較した。30秒および60秒での平均値とともに, 各群の $\% \dot{V}O_{2max}$ に有意な差は認められなかった。一方, %MAODは30秒および60秒での平均値とともにLow群がHigh群と比較して有意に高い値を示した。30秒および45秒のAOD-WTは, およそ80-90%MAODであることが報告されている<sup>11,14)</sup>。また, Withers et al.<sup>10,11)</sup>は, %MAODの値は45秒, 60秒, 75秒, 90秒においてそれぞれ, 90.2%, 96.0%, 97.6%, 96.1%に達し, Wingate testにおける酸素借は60秒でプラトーに達することを報告している。全体ではWithers et al.<sup>11)</sup>の報告と同様の結果を示したが, 各群との比較では, 先行研究の値と比較してHigh群が低い値を, Low群が高い値を示した。このことは, 被検者の無酸素性能力の相違および競技の専門性に起因していると考えられる。MAODを決定する要因として, 活動筋量<sup>28,29)</sup>, 乳酸生成量, クレアチンリン酸の分解量や筋活動レベル<sup>30)</sup>などが挙げられ, 特に, 活動筋量は運動形態に影響を受けることが報告されている<sup>31)</sup>。すなわち, サイクリストは自転車運動において走運動よりも活動筋量が多いことが考えられる。このことから, Withers et al.<sup>11)</sup>の対象者が長距離サイクリストであり, 有酸素性能力が非常に高い集団であった( $\dot{V}O_{2max}$ ;  $70.1 \pm 6.3$ ml/kg/min)にも関わらず%MAODが96%以上にも達したことは, 専門競技の巧緻性に起因していると考えられる。その結果, 本研究における有酸素性能力が上位の群であるHigh群( $\dot{V}O_{2max}$ ;  $59.9 \pm 2.4$ ml/kg/min)よりも高い値を示したと考えられる。また, 本研究の被検者は陸上競技者であり, 走運動が中心のトレーニングを行っ

ていることから、High群は有酸素性機構からエネルギーを多く供給していることに加えて、活動筋量を多く動員できなかつたため、無酸素性能力の動員を増加させることができなかつたと考えられる。一方で、Low群の%MAODが高い値を示したのは、高い筋出力を発揮できること、すなわち無酸素性能力の動員を高めることによって無酸素性機構からのエネルギーを供給していたためと考えられる。そのため、 $\dot{V}O_2\max$ に有意な差は見られず、相対的に有酸素性機構からのエネルギー供給量は同程度であることから、Wingate testにおけるエネルギー供給比は、無酸素性能力に依存すると考えられる。

本研究では、各群のMAODに有意な差は認められなかつた。しかし、AOD-WTおよび%MAODは、Low群がHigh群と比較して有意に高い値を示した。これらの結果は、無酸素性能力の最大値は同等のレベルであるが、Wingate testにおける無酸素性機構からのエネルギー供給比がLow群において高いことは、その利用能力に差があると考えられる。すなわち、Low群は運動初期から無酸素性能力を最大限に利用していると考えられる。これは、La-WTにおいてLow群がHigh群と比較して高い値を示す傾向 ( $p=0.068$ ) が見られたことから推察される。

上述したように、高い有酸素性能力を有する者は、無酸素性能力の貢献が大きい短時間の運動においても、多くのエネルギーを有酸素性機構から供給していると考えられる。しかし、High群における発揮パワーとMAODとの間には有意な相関関係が認められており、これまでの先行研究と同様に、発揮パワーと $\dot{V}O_2\max$ との間に相関関係が認められなかつた。しかし、本研究において、有意な差は認められないもののMP30ではLow群が高い値を示しているがMP60ではHigh群が高い値を示した。すなわち、後半の30秒では出力されたパワーの高低が逆転することを示しており、有酸素性能力の高さによって後半のパワー出力が維持されたと推察される。このことは、陸上競技の400m走において、全力疾走速度に対する後半の相対的疾走速度 (%max. speed) と有酸素性能力との間に有意な正の相関関係が認められた報告<sup>24)</sup>と同様の結果である。そのため、パワー発揮の維持には有酸素性能力が関与すると考えられ、時間毎に詳細に検討する必要がある。

## V. ま と め

本研究では、Wingate testにおけるパワー発揮に及ぼす生理的要因の影響について、有酸素性能力の相違に着目し、酸素摂取動態とエネルギー供給能力の供給比から検討した。高い有酸素性能力を有する者においては、短時間の全力運動においても有酸素性機構からのエネルギー供給量が多いことが明らかとなった。一方で、有酸素性能力の低い者においては、個人内で相対的に無酸素性能力の利用能力が高いと考えられた。そして、Wingate testにおけるエネルギー代謝の供給比は有酸素性能力の高低に関わらず、無酸素性能力に依存する可能性が示唆された。

## 参 考 文 献

- 1) Bar-Or, O., The wingate anaerobic test - an update on methodology, reliability, and validity. *Sports Med.*, 4, 381-394, 1987.
- 2) Dotan. The wingate anaerobic test's past and future and the compatibility of mechanically versus electro-magnetically braked cycle-ergometers. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 98, 113-116, 2006.
- 3) Inbar, O., Bar-Or, O., and James, S. The wingate anaerobic test. Champaign, IL, *Human Kinetics*, 1-7, 1996.
- 4) Jacobs, I., Tesch, P. A., Bar-Or, O., Karlsson, J., and Dotan, R. Lactate in human skeletal muscle after 10 and 30 seconds of supra-maximal exercise. *J. Appl. Physiol.*, 55, 365-367, 1983.
- 5) Scott, C. B., Roby, F. B., Lohman, T. G. and Bunt, J.C. The maximally accumulated oxygen deficit as an indicator of anaerobic capacity. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 23(5), 618-624, 1991.
- 6) Tamayo, M., Sucec, A., Phillips, W., Buon, M., Laubach, L., and Frey, M. The wingate anaerobic test, peak blood lactate, and maximal oxygen debt in elite volleyball players: a validation study. *Med. Sci. Sports Exerc.* 16, S126, 1984.
- 7) Bar-Or, O., Dotan, R., Inbar, O., Rothstein, A., Karlsson, J., and Tesch, P. Anaerobic capacity and muscle fiber type distribution in man. *Int. J. Sports Med.*, 1, 82-85, 1980.
- 8) Froese, E. A., and Houston, M. E. Performance during the wingate anaerobic test and muscle morphology in males and females. *Int. J. Sports Med.*, 8, 35-39, 1987.
- 9) Medbø, J. I., and Tabata, I. Relative importance of aerobic and anaerobic energy release during short-lasting exhausting bicycle exercise. *J. Appl. Physiol.*, 67(5), 1881-1886, 1989.

- 10) Withers, R. T., Sherman, W. M., Clark, D. G., Esselbach, P. C., Nolan, S. R., Mackay, M. H., and Brinkman, M. Muscle metabolism during 30, 60 and 90s of maximal cycling on an air-braked ergometer. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 63, 354-362, 1991.
- 11) Withers, R. T., Van Der Ploeg, G., and Finn, J. P. Oxygen deficits incurred during 45, 60, 75, and 90-s maximal cycling on an air-braked ergometer. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 67, 185-191, 1993.
- 12) Granier, P., Mercier, B., Mercier, J., Anselme, F., and Prefaut, C. Aerobic and anaerobic contribution to wingate test performance in sprint and middle-distance runners. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 70, 58-65, 1995.
- 13) Bhambhani, Y., Maikala, R., and Esmail, S. Oxygenation trends in vastus lateralis muscle during incremental and anaerobic cycle exercise in young men and women. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 84, 547-556, 2001.
- 14) Calbet, J. A. L., Chavarren, J., and Dorado, C. Fractional use of anaerobic capacity during a 30- and a 45-s wingate test. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 76, 308-313, 1997.
- 15) Bhambhani, Y., Kennedy, M., and Maikala, R. Cardiorespiratory and vastus lateralis oxygenation-blood volume responses during incremental and modified wingate tests. *Int. J. Ind. Ergon.*, 40, 197-205, 2010.
- 16) Macdougall, J., Sale, D., Moroz, J., Elder, G., Sutton, J., and Howald, H. Mitochondrial volume density in human skeletal muscle following heavy-resistance training. *Med. Sci. Sports.*, 11, 164-166, 1979.
- 17) Luthi, J., Howald, H., Claassen, H., Rosler, K., Vock, P., and Hoppeler, H. Structural changes in skeletal muscle tissue with heavy-resistance exercise. *Int. J. Sports Med.*, 7, 123-127, 1986.
- 18) Tesch, nP., Thorsson, A., and Essen-Gustavsson, B. Enzyme activities of FT and ST muscle fibers in heavy-resistance trained athletes. *J. Appl. Physiol.*, 67, 83-87, 1989.
- 19) Draper, S., and Wood, D. The oxygen uptake responses of sprint- vs endurance- trained runner to severe intensity running. *J. Sci. Med. Sport.*, 8(2), 233-243, 2005.
- 20) Berger, N., and Jones, A. Pulmonary O<sub>2</sub> uptake on-kinematics in sprint- and endurance-trained athletes. *Appl. Physiol Nutr. Metab.*, 32, 383-393, 2007.
- 21) 山地啓司: 第2章  $\dot{V}O_2\max$  の測定方法 -直接法-, 改訂第2版 最大酸素摂取量の科学, 杏林書院, 東京, pp.3-42, 2001.
- 22) Finn, J., Gastin, P., Withers, R., and Green, S. The estimation of peak power and anaerobic capacity of athletes. In: Gore, C. J. ed. *Physiological tests for elite athletes*. Champaign, IL, Human kinetics, 37-49, 2000.
- 23) Medbø, J. I., Mohn, A. C., Tabata, I., Bahr, R., Vaage, O., and Ole, M. Anaerobic capacity determined by maximal accumulated O<sub>2</sub> deficit. *J. Appl. Physiol.*, 64, 50-60, 1988.
- 24) 尾縣貢, 福島洋樹, 大山圭悟, 安井年文, 関岡康雄. 筋疲労時の疾走能力と体力的要因との関係. *体力科学*, 47, 535-542, 1998.
- 25) 佐伯徹郎, 三本木温, 高松薫. 一定速度による無気的・有気的・最大走行の後半局面における酸素摂取量の変化量と血中乳酸濃度の変化量との関係. *体力科学*, 47, 327-332, 1998.
- 26) 高石鉄雄. 最適なベダリング速度. *バイオメカニクス研究*, 8(1), 42-51, 2004.
- 27) 久保裕介, 西田裕介.  $\dot{V}O_2$  の時定数 ( $\tau$ ) を用いた酸素不足の評価による運動耐容能の把握. *理学療法科学*, 24(4), 625-632, 2009.
- 28) Weyand, P. G., Cureton, K. J., Conley, D. S., and Higbie, E. J. Peak oxygen deficit during one- and two- legged cycling in men and women. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 25, 584-591, 1993.
- 29) Weber, C. L., and Schneider, D. A. Maximal accumulated oxygen deficit expressed relative to the active muscle mass for cycling in untrained male and female subjects. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 82, 255-261, 2000.
- 30) 吉岡利貢, 中垣浩平, 鍋倉賢治. 異なる運動様式における筋活動レベルの違いが最大酸素借に及ぼす影響. *筑波大学体育科学系紀要*, 33, 211-214, 2010.
- 31) Hill, D. W., Davey, K. M., and Stevens, E. C. Maximal accumulated O<sub>2</sub> deficit in running and cycling. *Can. J. Appl. Physiol.*, 27, 463-478, 2002.