

短距離走者における無酸素性能力および 走パフォーマンス評価としての Wingate test の有用性

森 健一¹⁾ 吉岡 利貢²⁾ 荻山 靖¹⁾ 尾縣 貢¹⁾

Kenichi Mori¹, Toshitsugu Yoshioka², Yasushi Kariyama¹ and Mitsugi Ogata¹: Applicability of the Wingate test for evaluation of anaerobic capacity and performance in sprinters. *Japan J. Phys. Educ. Hlth. Sport Sci.* 57: 275-284, June, 2012

Abstract : The purpose of this study was to verify the applicability of the Wingate test (WT) for evaluation of anaerobic capacity and performance in sprinters, based on the relationships among the maximal accumulated oxygen deficit (MAOD) during cycling, accumulated oxygen deficit (AOD-WT), and output power during the WT.

Eight 400-m sprinters (SP group; 49.29 ± 1.56 s) and six decathletes (DC group; 50.29 ± 1.27 s) participated. They performed the WT on an electromagnetically braked cycle ergometer. The applied resistance was 7.5% of body weight, and the duration was 60 s. Moreover, anaerobic capacity (MAOD) was determined using a supramaximal constant load test. The oxygen uptake during each test was recorded using the breath-by-breath method.

The results were as follows: 1) There was no significant difference between MAOD during cycling and AOD-WT, and a significant correlation between these parameters was evident. 2) In the SP group, there were significant correlations between 400-m performance and MAOD during cycling, and the mean power at 30 s in the WT. However, no significant correlations were observed in the DC group.

These results suggest that in sprinters, the applicability of the WT for evaluation of anaerobic capacity and sprint performance differs between cycling exercise and running exercise.

Key words : wingate test, cycling exercise, anaerobic capacity, 400 m running performance
キーワード : 全力ペダリング運動, 自転車運動, 無酸素性能力, 400 m 走パフォーマンス

I. 緒 言

自転車エルゴメータを用いた短時間高強度の全力ペダリング運動である Wingate test は、無酸素性能力を簡易的に評価できるテストとして広く用いられている (Dotan, 2006; Bar-Or, 1987). 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エネルギー供給機構から主に

供給される。このことは、無酸素性能力の指標とされる最大酸素負債 (Goslin and Graham, 1985), 最大酸素借 (Maximal accumulated oxygen deficit: MAOD) (Scott et al., 1991), Wingate test 終了後の最高血中乳酸値 (Scott et al., 1991; Granier et al., 1995) や速筋線維の横断面積 (Bar-Or et al., 1980; Froese and Houston, 1987) と発揮パワーとの間に有意な相関関係が認められている報告が数多くあることから明らかである。

1) 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
2) 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
連絡先 森 健一

1. *Graduate School of Comprehensive Human Science, University of Tsukuba*
1-1-1 Tennoudai, Tsukuba, Ibaraki 305-8574
2. *Sports Research & Development Division Core, University of Tsukuba*
1-1-1 Tennoudai, Tsukuba, Ibaraki 305-8574
Corresponding author moriken.tf@gmail.com

陸上競技種目の400 m 走においても同様に、パフォーマンスと無酸素性能力との間に有意な相関関係が認められている (Lacour et al., 1990 ; 尾縣ほか, 1998 ; 吉岡ほか, 2009a). また, 400 m 走における無酸素性および有酸素性エネルギーの供給比は, それぞれ57—72%および28—43%であることが報告されている (Lacour et al., 1990; Nummela and Rusko, 1995; Hill, 1999; Spencer and Gastin, 2001; Duffield et al., 2005). これらの知見は, 400 m 走において, 無酸素性能力がパフォーマンスを決定する重要な因子であることを示唆するものである. 同様に, 30秒のWingate testにおける無酸素性および有酸素性エネルギーの供給比は, それぞれ60—77%および23—40%であることが報告されており (Withers et al., 1991; Calbet et al., 1997), 400 m 走および30秒のWingate testにおける無酸素性および有酸素性エネルギーの供給比はほぼ同様であると言える. また, Wingate test中に達する酸素借は45秒の運動時間で, MAOD に対しておよそ90.2%に達すること (Withers et al., 1993) が報告されており, 短時間の運動においても無酸素性能力は最大まで動員されることが示唆される. そのため, Wingate testにおける発揮パワーはそのエネルギー代謝特性からみて, 400 m 走パフォーマンスを反映する指標であると考えられる. しかし, これまでに400 m 走パフォーマンスと発揮パワーとの関係を検討した報告 (尾縣ほか, 2003; Zaggatto et al., 2009; Arrese et al., 2011) はいくつか散見されるが, 両者の間に有意な関係を認めた報告は極めて少ない (前村ほか, 2005). その要因として, 被検者の特性が関与していると考えられる. 尾縣ほか (2003) は十種競技者を, Zaggatto et al. (2009) は非競技者を対象としており, 400 m 走を専門とする競技者を対象としていない. 十種競技者は短距離者と比較して, 特異的な体力を有していること (森ほか, 2009), 非競技者は技術および戦術的に異質な集団であることなどから, 体力以外の要因がパフォーマンスの高低に強く関与した結果であると推察される. そのため, 被検者の特性の相違につい

ても着目する必要がある.

自転車運動は走運動と運動様式が異なるものの, 自転車エルゴメータは安全性も高く, 比較的安価であることに加えて, 短距離走パフォーマンスと関係の強い内転筋群やハムストリングス (狩野ほか, 1997; 渡邊ほか, 2000) が高い水準で動員されること (吉岡ほか, 2009b) から, 現場においてWingate testの利用価値は非常に高い. そのため, 無酸素性エネルギー代謝からみたWingate testの特性を明らかにすること, Wingate testによって得られる変数と走パフォーマンスとの関係を明らかにすることによって, 短距離走者において, Wingate testを用いた無酸素性能力や走パフォーマンスの評価の有用性を実証できると考える.

これらのことを勘案し, 本研究では, 400 m 走を専門とする短距離走者および十種競技者を対象に, 自転車運動によるMAODとWingate testにおける酸素借および発揮パワー, そして, 400 m 走パフォーマンスとの関係から, Wingate testを用いた無酸素性能力および走パフォーマンスの評価の有用性について, 総合的に検証することを目的とした.

II. 方 法

A. 被検者

被検者は, 大学男子陸上競技者14名 (短距離走者8名: SP群, 十種競技者6名: DC群) とした (Table 1). 本研究では, 400 m 走を専門とする短距離走者の比較対象群として十種競技者を

Table 1 Physical characteristics and 400 m performance

Variables	Total (n=14)	Sprinter (n=8)	Decathlete (n=6)
Age (years)	21.1±2.0	20.5±1.4	22.0±2.4
Height (cm)	177.1±4.0	176.1±3.8	178.4±4.3
Weight (kg)	69.2±5.1	67.3±4.5	71.8±4.9
Fat (%)	8.9±1.8	8.4±1.6	9.4±2.2
400 m Time (s)	49.72±1.48	49.29±1.56	50.29±1.27

採用した。十種競技はその種目の中に400 m 走を含むが、十種競技者はその種目特性上、多種目のトレーニングを実施しており、短距離走者とは異なる体力特性を有していると考えられる。なお、本実験は、2010年6—8月に行われ、この年のシーズンにおける400 m 走の公認最高記録をパフォーマンス（全体：49.72 ± 1.48秒，SP群：49.29 ± 1.56秒，DC群：50.29 ± 1.27秒）として採用した。各群に有意な差は認められなかった。

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

1. 最大酸素借

最大下間欠の漸増負荷テスト（最大下テスト）と超最大固定負荷テストを行った。自転車運動には電磁ブレーキ式自転車エルゴメータ（Power Max-VⅢ，コンピュエルネス社）を用いた。サドル高は、各自適した位置にセットし、すべての運動試技において統一した。運動中の呼気ガス指標は、呼気ガス分析器（Oxycon Alpha，Mijnhardt社）を用いてbreath-by-breath法により分析した。この機器を用いて、酸素摂取量（ $\dot{V}O_2$ ）を測定し、30秒毎の平均値を出力した。また、運動中はHRモニター（S610i，Polar社）を用いて、5秒毎に断続的に心拍数を記録した。また、各運動終了後に指先より採血し、血中乳酸濃度を血中乳酸分析装置（1500SPORT，YSI社）を用いて測定した。

運動テストの前に1.0 kpで5分間の自転車運動とストレッチング等の準備運動を行わせた後、開始した。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（Finn et al., 2002）。最大下テストにおける初期負荷はすべての被検者において1.2 kpとし、ステージ毎に0.2 kpずつ漸増させた。この時のペダル回転数は90 rpmとした。5回の最大下テストの負荷はすべて血中乳酸濃度が4 mmol/l未満となるように設定し、定常状態であるこ

との判定基準は、酸素摂取量の増加量が、150 ml以下（山地，2001）であることとし、本研究では、定常状態に達していた。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を行った。この時の負荷は、プレテストによって求めた最大酸素摂取量の測定時の負荷を基準に、110% $\dot{V}O_{2max}$ とした（Gastin et al., 1995）。指定した回転数（90 rpm）の維持が不可能になり、85 rpm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（ $r = 0.995 \pm 0.002$, range: 0.992—0.999）を求めた。次に、超最大固定負荷テストでの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（Medbø et al., 1988）。MAODは体重1 kg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。

2. 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、自転車エルゴメータから出力されたパワーを、ADコンバータ（KRS-413XF1K，サンワ社）及びUSB変換ケーブル（RUUSRL1，プラスアップ社）を介して10 ms毎にパーソナルコンピュータ（INSPIRON1300，DELL社）に入力した。得られたデータを1秒毎に平均し、最高パワー（Peak power: PP）および30秒間および60秒間の平均パワー（Mean power: MP30, MP60）を算出した。なお、発揮パワーは体重1 kg当たりの数値として算出した。Wingate testにおける呼気ガスは10秒毎に平均して算出し、Wingate test中の酸素借も算出した。酸素借は、発揮パワーと

同様に、30および60秒間の平均値として算出した (AOD30 および AOD60)。また、Wingate test 終了 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。なお、得られた血中乳酸濃度の内、最高値を解析に用いた。

本研究では自転車専用シューズを着用させ、足部とペダルをストラップで固定することによって、不安定感を解消した。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。また、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。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

超最大固定負荷テストによって測定した結果を Table 2 に示した。MAOD は、全体、SP 群および DC 群において、それぞれ、 54.9 ± 11.8 , 51.1 ± 14.5 および 59.9 ± 3.8 mlO₂Eq/kg であり、各群に有意な差は認められなかった。

Table 3 に、Wingate test における測定結果を示した。最高パワーは、全体、SP 群および DC

Table 2 Performance and physiological responses in supramaximal test

Variables		Total (n = 14)	Sprinters (n = 8)	Decathletes (n = 6)
MAOD	(mlO ₂ Eq)	3800 ± 855	3428 ± 968	4296 ± 273 [#]
	(mlO ₂ Eq/kg)	54.9 ± 11.8	51.1 ± 14.5	59.9 ± 3.8
La	(mmol/l)	9.92 ± 1.03	9.86 ± 1.06	9.99 ± 1.09
HR	(b/min)	177 ± 10	178 ± 11	177 ± 9
Exercise time	(sec.)	160 ± 28	164 ± 30	155 ± 26

[#]: p < 0.10

Significant difference between Sprinters and Decathletes groups.

Table 3 Performance and physiological responses in Wingate test

Variables		Total (n = 14)	Sprinters (n = 8)	Decathletes (n = 6)
PP	(W)	895 ± 103	846 ± 108	960 ± 47 [*]
	(W/kg)	12.88 ± 0.93	12.57 ± 1.09	13.30 ± 0.46
La-WT	(mmol/l)	11.81 ± 1.40	11.40 ± 1.62	12.35 ± 0.87
HR-WT	(b/min)	177 ± 9	175 ± 11	181 ± 7
30 sec.	MP30 (W)	709 ± 63	683 ± 64	744 ± 47 ^{##}
	MP30 (W/kg)	10.22 ± 0.40	10.16 ± 0.48	10.30 ± 0.27
	AOD30 (mlO ₂ Eq/kg)	42.2 ± 8.1	39.2 ± 9.2	46.3 ± 4.1
%MAOD	(%)	78.0 ± 8.6	78.5 ± 8.9	77.5 ± 9.1
60 sec.	MP60 (W)	569 ± 45	552 ± 47	590 ± 34
	MP60 (W/kg)	8.20 ± 0.23	8.22 ± 0.24	8.17 ± 0.22
	AOD60 (mlO ₂ Eq/kg)	54.4 ± 10.3	49.6 ± 10.5	60.9 ± 5.6 [*]
%MAOD	(%)	100.6 ± 12.9	99.4 ± 13.2	102.2 ± 13.6

^{*}: p < 0.05, ^{##}: p < 0.10

Significant difference between Sprinters and Decathletes groups.

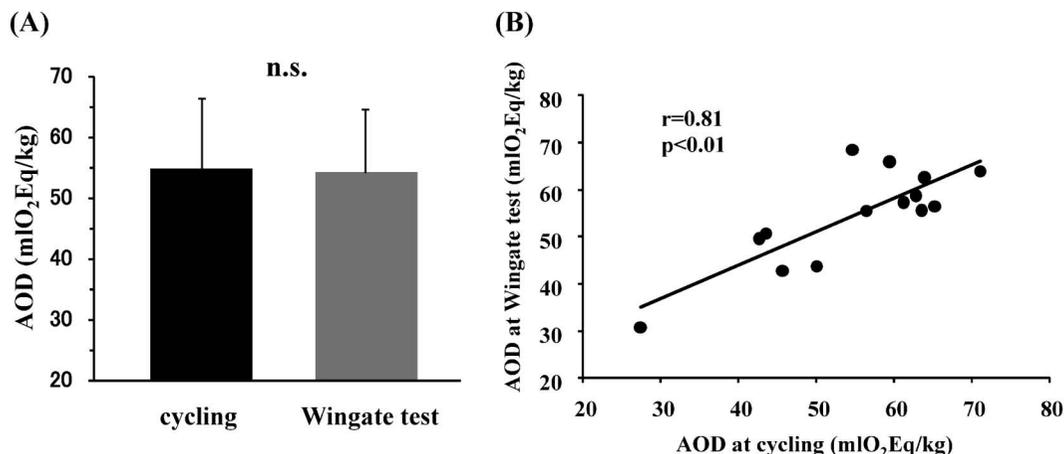


Fig. 1 (A) Accumulated oxygen deficit at cycling and Wingate test. (B) Relationship between accumulated oxygen deficit at cycling and Wingate test.

群において、それぞれ、 12.88 ± 0.93 , 12.57 ± 1.09 および 13.30 ± 0.46 W/kg, MP30は、 10.22 ± 0.40 , 10.16 ± 0.48 および 10.30 ± 0.27 W/kg, MP60は、 8.20 ± 0.23 , 8.22 ± 0.24 および 8.17 ± 0.22 W/kg であり、いずれの変数も群間に有意な差は認められなかった。また、Wingate test 終了後の最高血中乳酸値 (La-WT) は、全体、SP 群および DC 群において、それぞれ、 11.81 ± 1.40 , 11.40 ± 1.62 および 12.35 ± 0.87 mmol/l であり、各群に有意な差は認められなかった。

発揮パワーと無酸素性能力の指標とした MAOD および La-WT との関係を検討した結果、MP30と MAOD ($r=0.77$, $p<0.01$) および La-WT ($r=0.59$, $p<0.05$) との間に有意な相関関係が認められた。そして、60秒のWingate test中に達する酸素借 (AOD60) は 54.4 ± 10.3 mlO₂ Eq/kg であり、自転車運動で測定した MAOD との間に有意な差はなく同様の値を示し (Fig. 1A), その両者の間には有意な正の相関関係が認められた (Fig. 1B)。また、MP30と AOD30 および AOD60 との間に有意な相関関係が認められた (それぞれ $r=0.62$, $p<0.05$; $r=0.74$, $p<0.01$)。

各群において、Fig. 2に、400 m 走パフォーマンスと MAOD との関係を示した。SP 群においては400 m 走パフォーマンスと MAOD との間に有意な相関関係が認められたものの ($r = -0.79$,

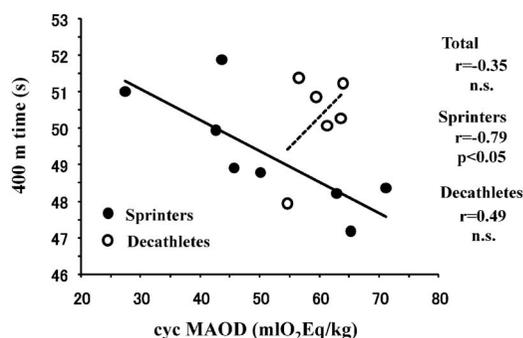


Fig. 2 Relationship between 400 m time and MAOD at cycling. Significant correlation between 400 m time and cycMAOD in Sprinters (solid line), but not Decathletes (dotted line).

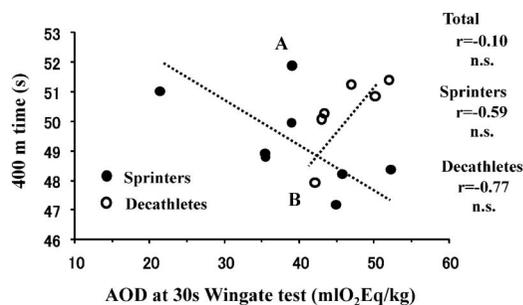


Fig. 3 Relationship between 400 m time and mean power in 30 s Wingate test. There is no correlation between 400 m time and AOD-WT.

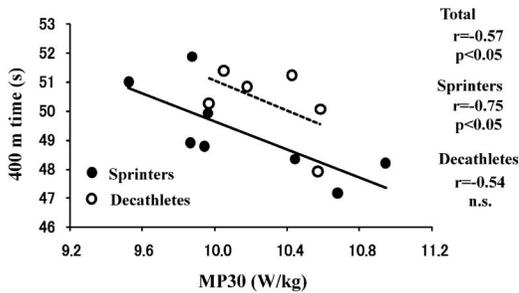


Fig. 4 Relationship between 400 m time and mean power in 30 s Wingate test. Significant correlation between 400 m time and cycMAOD in Sprinters (solid line), but not Decathletes (dotted line).

$p < 0.05$), 全体および DC 群では認められなかった. Fig. 3 に, 400 m 走パフォーマンスと AOD30 との関係を示した. 全体および各群においても, 有意な関係は認められなかった. Fig. 4 に, 400 m 走パフォーマンスと MP30 との関係を示した. 全体および SP 群において間に有意な相関関係が認められ (それぞれ $r = -0.57$, $p < 0.05$; $r = -0.75$, $p < 0.05$), その関係は, SP 群において高い相関係数を示した. 一方で, DC 群には認められなかった.

IV. 考 察

本研究では, 400 m 走を専門とする短距離走者および十種競技者を対象に, 自転車運動による MAOD と Wingate test における酸素借および発揮パワー, そして, 400 m 走パフォーマンスとの関係から, Wingate test を用いた無酸素性能力および走パフォーマンスの評価の有用性について, 総合的に検証することを目的とした.

まず, 無酸素性エネルギー代謝からみた Wingate test の特性を明らかにするために, MAOD と 60 秒の Wingate test 中の酸素借 (AOD60) との関係を検討した. その結果, 両者の間に有意な差はなく, また, 両者の間には有意な正の相関関係が認められた. Withers et al. (1993) は, Wingate test 中の酸素借は 60 秒で定常状態になり, その値は最大酸素借に対して 96% 以上になるこ

とを報告している. これらの結果は, Wingate test においても個人の無酸素性能力を最大に近い値まで動員できることを示しており, 短時間の全力ペダリング運動においても無酸素性能力を適切に評価できることが示唆される. さらに, 30 秒の AOD の MAOD に対する割合は $78.0 \pm 8.6\%$ であり, その両者の関係も有意な正の相関関係が認められた. すなわち, 30 秒という短時間においても無酸素性代謝エネルギーの動員率は高く, また, その値は MAOD の高低に依存していた. このことは, 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ことを示唆するものである. これまで, 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か否かについては, 最大酸素負債 (Goslin and Graham, 1985) や速筋線維の含有率 (Bar-Or et al., 1984; Froese and Houston, 1987), Wingate test 後の最高血中乳酸値 (Scott et al., 1991; Granier et al., 1995) と発揮パワーとの間に相関関係が認められることなどから検討されている. 本研究では, MAOD および AOD30 と MP30 との間に有意な相関関係が認められた. したがって, 無酸素性エネルギー代謝量を示す代表的な指標である最大酸素借との関係性からみても, Wingate test における発揮パワーが無酸素性能力を評価するのに有用であることが明らかになったと言える. 加えて, MP30 と La-WT との間に有意な相関関係が認められた ($r = 0.59$, $p < 0.05$) ことは, 先行研究と同様の結果であり, Wingate test の発揮パワーが無酸素性能力を反映していることを強調する.

短距離走における 400 m 走パフォーマンスは, Wingate test における発揮パワーと同様に, 最大酸素負債や最大酸素借との間に有意な相関関係が認められている (Ramsbottom et al., 1994; Weyand et al., 1994; 尾縣ほか, 1998; 吉岡ほか, 2009a). また, 400 m 走における無酸素性および有酸素性エネルギーの供給比は, それぞれ 57–72% および 28–43% であることが報告されており (Lacour et al., 1990; Nummela and Rusko, 1995; Spencer and Gustin, 2001 Duffield et al.,

2005), この割合は30秒の Wingate test のそれとほぼ同様の値 (60—77.1% および 22.9—40%) である (Withers et al., 1991; Calbet et al., 1997). すなわち, 400 m 走, Wingate test とともに, そのパフォーマンスは無酸素性能力に強く依存することは明らかである. 本研究において, 全体では, MAOD と 400 m 走パフォーマンスとの間に有意な相関関係はみられなかった. しかし, 各群で検討すると, SP 群において MAOD と 400 m 走パフォーマンスとの間に有意な相関関係が認められた. 一方で, DC 群においてはみられなかった. 森ほか (2009) は, 十種競技者を対象とした研究において, 走パフォーマンス (100 m, 400 m, 1500 m 走) とエネルギー供給能力 (最大酸素借および最大酸素摂取量) との間には, いずれの変数間においても有意な相関関係がみられなかったことを報告しており, 十種競技者の体力特性が特異的であることを述べている. すなわち, 被検者の体力特性が結果に強く影響を及ぼしていることが考えられる. 実際, 森ほか (2009) と本研究の被検者の MAOD の変動係数は, それぞれ 14.2% と 6.3% であり, 無酸素性能力は大きく異なる値を示していると言えるが, 関係はみられなかった. 十種競技は, その種目特性上, 走, 跳, 投のすべての種目のトレーニングが必要であり, 体力と技術的要因が多岐に亘る複雑な種目であることから, 体力特性は様々に異なることが考えられる. 本研究の結果からも, 十種競技者の体力特性が特異的であることを強調する結果であろう.

これまで, 400 m 走パフォーマンスと MAOD との関係は検討されているものの, Wingate test 中に達する酸素借 (AOD-WT) に着目すると, その関係は検討されていない. しかしながら, 短時間の運動において, 無酸素性能力の動員を高められること, さらに, その供給量が大きいことは, 400 m 走パフォーマンスに対して有利に作用すると考えられる. そのため, 400 m 走パフォーマンスと AOD30 との関係を検討した. しかしながら, 全体および各群の検討のいずれにおいても, 有意な相関関係はみられなかった. DC 群において, 関係がみられなかったことは, 上述したよう

に, 十種競技者の体力特性が特異的であることが考えられる. しかし, SP 群においても関係がみられなかったことについては, 回帰直線から大きく逸脱した被検者 A の影響が考えられる. 本研究の SP 群は, 同一の大学の陸上競技部に所属する学生であり, 同様の短距離走のトレーニングを専門に実施している. トレーニング状況はある程度統一され, 技術・戦術的にも熟練した集団であったと考えられる. しかし, 被検者 A は, 昨シーズンまで 100 m を専門としていた競技者であった. そのため, 400 m 走における技術・戦術的には他の SP 群の者よりも, 劣っていた可能性が考えられ, Wingate test の AOD に対してパフォーマンスが低かったと考えられる. なお, 被検者 A を除く 7 名で検討してみると, 有意な相関関係が認められた ($r = -0.79$, $p < 0.05$). 一方で, 十種競技者において, SP 群の回帰直線上にプロットされる被検者 B も存在した. この被検者 B は, 高校まで 400 m 走を専門としており, 大学進学後に十種競技を始めた競技者である. すなわち, 被検者 B は他の十種競技者と比較して, 戦術および技術的に優れている可能性が考えられる. しかしながら, 戦術および技術的要因に関して, 本研究では測定を行っていないため, その可能性については推測の域を出ない.

Wingate test における発揮パワーは 400 m 走パフォーマンスを反映する指標であると考えられることから, 発揮パワーと 400 m 走パフォーマンスとの関係を検討した. これまで 50 m 走および 100 m 走パフォーマンスと 5—10 秒の発揮パワーとの間に有意な相関関係を認めている研究 (生田ほか, 1972; 石井ほか, 1987; Meckel et al., 1995; 加藤ほか, 1992) は多くあるが, 400 m 走において, そのパフォーマンスと 30 秒の Wingate test における発揮パワーとの間に相関関係が認められたことを報告している研究は極めて少ない (前村ほか, 2005). しかし, Wingate test および 400 m 走のパフォーマンスは共に無酸素性能力に強く依存することから, 両者の間に関係性がみられることは十分に考えられる. 本研究では, 全体において, 400 m 走パフォーマンスと

MP30との間に有意な相関関係が認められた。さらに、各群で詳細に比較すると、SP群において、400 m 走パフォーマンスと MP30との間に有意な相関関係が認められたものの、DC群においてはみられなかった。先行研究において、尾縣ほか(2003)は、十種競技者のみを対象としており、有意な関係がみられなかったことは、上述したように、十種競技者の体力特性が特異的であることが影響していると考えられ、本研究でも同様の結果を示したと言える。一方で、Zagatto et al. (2009)は、非競技者を対象 (66.85 ± 4.49 秒) にしていることから、体力および技術レベルが様々であることが推察される。また、Arrese et al. (2011)は400 m 走を専門とする競技者を対象 {男子22名: 47.78 ± 1.00 秒 (2010年度日本ランキング61位相当), $CV = 2.1\%$ } としているが、発揮パワーと走パフォーマンスとの間に関係はみられなかったことを報告している。このことは、競技レベルの高い選手においては、発揮パワーなどの走パフォーマンスに対する体力的要因以外の要因が関与している可能性が考えられる。村木(1998)は、上位のレベルの働きを下位のレベルの法則によって明らかにすることはできないと述べている。そのため、十種競技者のような特異的な体力特性を有する競技者に加えて、競技レベルの高い競技者の体力評価においても、対象者の特性を十分に理解する必要性が示唆される。

ところで、本研究の測定では、Wingate testにおける酸素需要量をペダル回転数を規定した最大下テストにおいて得られた直線回帰式を用いて算出した。しかしながら、自転車運動における酸素摂取量はペダル回転数の増加に伴い、二次曲線的に酸素摂取量も増加することが報告されている (Coast and Welch, 1985)。そのため、Wingate testのように、ペダル回転数が運動初期では極めて高く、運動終盤になるにつれて低く推移していく運動に対しては、局面毎に異なる直線回帰式から酸素需要量を求め、ペダル回転数の相違による酸素供給系や機械的効率などの影響についても考慮する必要があるが、本研究の結果からは、これらの事に関して言及することはできない。今後、

詳細に検討する必要がある。

V. 結 論

本研究では、400 m 走を専門とする短距離走者および十種競技者を対象に、Wingate testを用いた自転車運動による無酸素性能力および走パフォーマンスの評価の有用性について検討した。主な結果は以下の通りである。

- 1) Wingate testにおける酸素借と自転車運動における最大酸素借との間には有意な差はなく、同様の値を示した。そして、両者の関係には有意な相関関係が認められた。
- 2) 短距離走者において、400 m 走パフォーマンスと自転車運動による最大酸素借およびWingate testにおける発揮パワーとの間に有意な相関関係が認められた。一方で、十種競技者にはいずれの変数間においても関係はみられなかった。

以上のことから、短距離走者において、Wingate testにおける発揮パワーは無酸素性能力を反映しており、さらに、発揮パワーは走パフォーマンスも反映していることから、無酸素性能力および走パフォーマンスの評価に対して、Wingate testの有用性が示唆された。

文 献

- Arrese, A.L., Izquierdo, D.M., Garcia, L.C., and Davila, C.T. (2011) Validity of the wingate anaerobic test for the evaluation of elite runners. *J. Strength Cond. Res.*, 25(3): 819-824.
- Bar-Or, O. (1987) The wingate anaerobic test—an update on methodology, reliability, and validity. *Sports Med.*, 4: 381-394.
- Bar-Or, O., Dotan, R., Inbar, O., Rothstein, A., Karlsson, J., and Tesch, P. (1980) Anaerobic capacity and muscle fiber type distribution in man. *Int. J. Sports Med.*, 1: 82-85.
- Calbet, J.A.L., Chavarren, J., and Dorado, C. (1997) Fractional use of anaerobic capacity during a 30- and a 45-s wingate test. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 76: 308-313.
- Coast, J.R. and Welch, H.G. (1985) Linear increase in optimal pedal rate with increased power output in cy-

- cle ergometry. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 53: 339-342.
- Dotan. (2006) 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.
- Duffield, R., Dawson, B., and Goodman C. (2005) Energy system contribution to 400-metre and 800-metre track running. *J. Sports Sci.*, 23(3): 299-307.
- Finn, J., Gastin, P., Withers, R., and Green, S. (2000) 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.
- Froese, E.A. and Houston, M.E. (1987) Performance during the wingate anaerobic test and muscle morphology in males and females. *Int. J. Sports Med.*, 8: 35-39.
- Gastin, P.B., Costill, D.L., Lawson, K.L., Krzeminski, K., and McConell, G.K. (1995) Accumulated oxygen deficit during supramaximal all-out constant intensity exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 27: 255-263.
- Goslin, B.R. and Graham, T.E. (1985) A comparison of 'Anaerobic' components of O₂ debt and the wingate test. *Can. J. Appl. Sports. Sci.*, 10(3): 134-140.
- Granier, P., Mercier, B., Mercier, J., Anselme, F., and Prefaut, C. (1995) Aerobic and anaerobic contribution to wingate test performance in sprint and middle-distance runners. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 70: 58-65.
- Hill, D.W. (1999) Energy system contribution in middle-distance running events. *J. Sports Sci.*, 17: 477-483.
- 生田香明・渡部和彦・大築立志 (1972) 50 m 走におけるパワーの研究. *体育学研究*, 17: 61-67.
- 石井喜八・山田 保・高橋勝美・伊坂忠夫 (1987) 100 m 疾走記録と機械的出力パワー—本学入学選考実技試験の自転車エルゴメーターテストの検証—.
日本体育大学紀要, 17(1): 7-22.
- 狩野 豊・高橋英幸・森丘保典・秋間 広・宮下憲・久野譜也・勝田 茂 (1997) スプリンターにおける内転筋群の形態的特性とスプリント能力の関係. *体育学研究*, 41: 352-359.
- 加藤謙一・山中任広・宮丸凱史・阿江通良 (1992) 男子高校生の疾走能力および最大無酸素パワーの発達. *体育学研究*, 37: 291-304.
- Lacour, J.R., Padilla-Magunacelaya, S., Barthelemy, J.C., and Dormois, D. (1990) The energetic of middle-distance running. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 60: 38-43.
- 前村公彦・宮下 憲・高松 薫 (2005) 重炭酸緩衝能力と400 m 走パフォーマンスとの関係. *陸上競技研究*, 62: 10-17.
- Meckel, Y., Atterbom, H., Grodjinovsky, A., Ben-Sira, D., and Rotsteini, A. (1995) Physiological characteristics of female 100 meter sprinters of different performance levels. *J. Sports Med. Phys. Fitness.*, 35: 169-175.
- Medbø, J.I., Mohn, A.C., Tabata, I., Bahr, R., Vaage, O., and Ole, M. (1988) Anaerobic capacity determined by maximal accumulated O₂ deficit. *J. Appl. Physiol.*, 64: 50-60.
- 森 健一・岩橋翔太・尾縣 貢 (2009) 十種競技者における走パフォーマンスと体力的要因との関係. *陸上競技研究*, 77(2): 43-50.
- 村木征人 (1998) スポーツ・トレーニング理論. ブックハウス・エイチディ, 東京: pp. 24-38.
- Nummela, A. and Rusko, H. (1995) Time course of anaerobic and aerobic energy expenditure during short term exhaustive running in athletes. *Int. J. Sports Med.*, 16(8): 522-527.
- 尾縣 貢・福島洋樹・大山圭悟・安井年文・関岡康雄 (1998) 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.
- 尾縣 貢・高本恵美・伊藤新太郎 (2003) 上肢の無気的作業能が400 m 走タイムおよび走速度逡減に及ぼす影響. *体育学研究*, 48: 573-583.
- Ramsbottom, R., Nevill, A.M., Nevill, M.E., Newport, S., and Williams C. (1994) Accumulated oxygen deficit and short-distance running performance. *J. Sports Sci.*, 12: 447-453.
- Scott, C.B., Roby, F.B., Lohman, T.G., and Bunt, J.C. (1991) The maximally accumulated oxygen deficit as an indicator of anaerobic capacity. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 23(5): 618-624.
- Spencer, M.R. and Gastin, P.B. (2001) Energy contribution during 200- to 1500-m running in highly trained athletes. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 33(1): 157-162.
- 渡邊信晃・榎本好孝・大山圭悟・狩野 豊・安井年文・宮下 憲・久野譜也・勝田 茂 (2000) スプリンターの股関節筋力とスプリント走パフォーマンスとの関係. *体育学研究*, 45: 520-529.
- Weyand, P.G., Cureton, K., Conley, D.S., Sloniger, M.A., and Liu, Y.L. (1994) Peak oxygen deficit predicts sprint and middle-distance track performance. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 26(9): 1174-1180.
- Withers, R.T., Sherman, W.M., Clark, D.G., Esselbach, P.C., Nolan, S.R., Mackay, M.H., and Brinkman, M.

- (1991) Muscle metabolism during 30, 60 and 90 s of maximal cycling on an air-braked ergometer. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 63: 354-362.
- Withers, R.T., Van Der Ploeg, G., and Finn, J.P. (1993) Oxygen deficits incurred during 45, 60, 75, and 90-s maximal cycling on an air-braked ergometer, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 67: 185-191.
- 吉岡利貢・前村公彦・井上洋佑・宮下 憲・鍋倉賢治 (2009a) 400 m スプリンターを対象とした自転車運動による体力評価の有用性. *陸上競技研究*, 77(2): 10-16.
- 吉岡利貢・中垣浩平・鍋倉賢治 (2009b) 走運動と自転車運動の最大酸素摂取量の差を決定する要因—MRI画像からみた筋活動レベルに着目して—. *体力科学*, 58: 265-274.
- Zagatto, A.M., Beck, W.R., and Gobatto, G.A. (2009) Validity of the running anaerobic sprint test for assessing anaerobic power and predicting short-distance performances. *J. Strength Cond. Res.*, 23(6): 1820-1827.
- 山地啓司 (2001) 最大酸素摂取量の科学, 杏林書院, 東京: pp. 3-42.

(平成23年9月15日受付)
(平成24年2月20日受理)

Advance Publication by J-STAGE
Published online 2012/4/5