

体力特性の相違が Wingate test における 発揮パワーに及ぼす影響

森 健一
比留間 浩介

I. 緒言

体力測定において、測定されたデータが競技者の体力を正確に反映していることは極めて重要である。様々なスポーツにおいて、簡易的に実施できるコントロールテストにおいて選択される代表的な種目として、Wingate test (WT) が挙げられる (Popadic et al., 2009)。WT は、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り、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テストとして広く普及しており (Bar-Or, 1987; Dotan, 2006)、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 (Inbar et al., 1996)。実際、エネルギーの大半を無酸素性エネルギー供給機構から獲得している短距離走種目において、パフォーマンスと WT 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とする報告は多数ある。そして、それらを基に、それぞれのスポーツ種目におけるエリート選手の測定値をまとめた資料 (Inbar et al., 1996; 山本ほか, 1997; Gacesa et al., 2009) や、評価基準表 (山本, 2004) が作成され、提示されている。これらのように、データの蓄積により目標とする水準や、自身の競技パフォーマンスと評価表を比較することによって、現在のトレーニングの進行状況を確認することが可能である。

しかしながら、個々の競技者は無酸素性能力と有酸素性能力の優劣からみて、多様な体力特性を有している。短距離走者のように相対的に無酸素性能力に優れるタイプの競技者もいれば、長距離走者のように有酸素性能力に優れる競技者もいる。エネルギー系の体力からみたこの両者のタイプの相違は、両者が組み合わさって発揮されるパフォーマンスにおいて大きな影響を及ぼすと考えられる。これまでに、WT に対する有酸素性能力の影響について報告している研究はいくつかある。30 秒の WT では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からのエネルギー供給量は少ないことが報告されている (Medbø and Tabata, 1989; Withers et al., 1991)。そして、WT におけるエネルギー供給比や酸素摂取動態は、体力特性によって異なることが報告されている (Granier et al., 1995; 森ほか, 2011b)。また、森ほか (2011a) は、40 秒の WT における発揮パワーを 5 秒毎に詳細に分析し、25-30 秒における発揮パワーから 35-40 秒における発揮パワーは無酸素性能力と有酸素性能力の両者において有意な相関関係が認められることを報告し、さらに、偏相関関係を検討した結果、35-40 秒の発揮パワーにおいてはより有酸素性能力の影響を強く受けていることを報告している。これらのことは、WT は無酸素性能力を評価するテストであるものの、有酸素性能力の影響も強く受けることを示唆するものであり、体力特性によってもパワー発揮の特性が異なる可能性を有する。そのため、WT を無酸素性能力の評価として個別にみるだけでなく、有酸素性能力の貢献についても考慮し、発揮パワーから読み取れる数値を構造的に解釈する必要があろう。

そこで、本研究では、体力特性に着目し、無酸素性および有酸素性能力からみた体力特性の相違が全力ベダリング運動における発揮パワーに及ぼす影響について検討することを目的とした。体力特性の相違がパワー発揮特性に及ぼす影響について明らかにできれば、得られたデータの解釈に非常に有用な基礎的知見が得られると考える。さらに、全力ベダリング運動はタレント発掘における体力測定の種目としても広く実施されること (高松, 1992) から、体力特性を判断する知見が得られることは意義深いと考える。

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（短距離走者 8 名，長距離走者 9 名，混成競技者 6 名：年齢 21.8 ± 3.0 years，身長 174.7 ± 5.1 cm，体重 66.3 ± 5.9 kg，体脂肪率 $7.8 \pm 2.1\%$ ）であり，種目特性の相違から本研究の被検者の体力特性は多岐にわたっていると考えられる．体組成の測定には体組成計（BC-118 D，TANITA 社）を用いた．被検者には，事前に文書および口頭で実験の主旨，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．

B. 測定項目および測定方法

実験試技は電磁ブレーキ式自転車エルゴメータ（Power Max-Ⅷ，コンビウエルネス社）を用いて自転車運動を行った．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．無酸素性能力の指標として最大下関欠的漸増負荷テスト（最大下テスト）および超最大固定負荷テストによって最大酸素借（Maximal accumulated oxygen deficit；MAOD）を，有酸素性能力の指標として漸増負荷テストによって最大酸素摂取量（Maximal oxygen uptake； $\dot{V}O_2\text{max}$ ）を測定した．そして，得られた MAOD および $\dot{V}O_2\text{max}$ を T-score に変換し，体力特性のタイプの分類を行った．

1. 最大酸素摂取量

自転車運動による漸増負荷テストを行い $\dot{V}O_2\text{max}$ を決定した．漸増負荷テストは，1.0 kp で 5 分間のペダリング運動とストレッチング等の準備運動の後に開始した．漸増負荷テストは，最初の負荷を 1.6 または 1.8 kp に設定し，1 分毎に 0.2 kp ずつ漸増させ，指定した回転数（90 rpm）を維持できなくなるまで行われた．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，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．心拍数は HR モニタ（S610s，Polar 社）を用いて 5 秒毎に測定した． $\dot{V}O_2\text{max}$ 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 10 mmol/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 (山地, 2001). $\dot{V}O_2\text{max}$ は体重 1 kg あたりの相対値で示した.

2. 最大酸素借

最大下テストと超最大固定負荷テストを行った. 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 (1500 SPORT, 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% $\dot{V}O_2\text{max}$ 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).

体力特性の相違が Wingate test における発揮パワーに及ぼす影響 森 健一・比留間浩介

MAOD は体重 1 kg あたりの相対値で示した。

3. Wingate test

本研究では、WT 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 5 秒毎に平均し、ペダリング開始時点からの平均パワー (Mean power ; MP) および 5 秒毎の区間平均パワー (Sectional mean power ; SP) を、それぞれ、MP60 (ペダリング開始から 60 秒までの MP)、SP 10-15 (10 から 15 秒間の SP) のように表記した。疲労指数として Fatigue index (FI) を算出した (式)。なお、発揮パワーは体重 1 kg 当たりの相対値として算出した。また、WT 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。

$$\text{Fatigue index}(\%) = \frac{(\text{最高パワー} - \text{最低パワー})}{(\text{最低パワー出現時間} - \text{最高パワー出現時間})} \times 100 \cdots (\text{式})$$

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。無酸素性タイプと有酸素性タイプの比較には対応のない T-検定を用いた。また、4 群間の比較には、一元配置の分散分析を用い、多重比較には 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、体力特性の相違に着目することから、無酸素性および有酸素性能力の優劣によって、タイプの分類を行った。MAOD ($53.2 \pm 10.7 \text{ mlO}_2\text{Eq/kg}$; $29.6\text{--}71.2 \text{ mlO}_2\text{Eq/kg}$) および $\dot{V}\text{O}_2\text{max}$ ($56.8 \pm 3.7 \text{ ml/min/kg}$; $50.1\text{--}63.7 \text{ ml/min/kg}$) をそれぞれ T-score に変換し、その値を無酸素性能力 (Anaerobic score) および有酸素性能力 (Aerobic score) の指標として用いた。まず、Aerobic score に対する Anaerobic score の比が、1 以上の被検者を相対的に無酸素性能力が優れる無酸素性タイプ (Anaerobic type; 13 名) とした。一方で、score 比が、1 未満の被検者を相対的に有酸素性能力が優れる有酸素性タイプ (Aerobic type; 10 名) とし、2 群に分類した (図 1)。続いて、上記において算出した Anaerobic score と Aerobic score の平均値を基準に、4 つの領域に分類した (図 2)。すなわち、無酸素性能力および有酸素性能力がいずれも平均以上である A 群 (5 名)、有酸素性能力のみ平均以上である B 群 (6 名)、無酸素性能力のみ平均以上である C 群 (7 名)、そして、無酸素性能力および有酸素性能力ともに平均未満の D 群 (5 名) である。

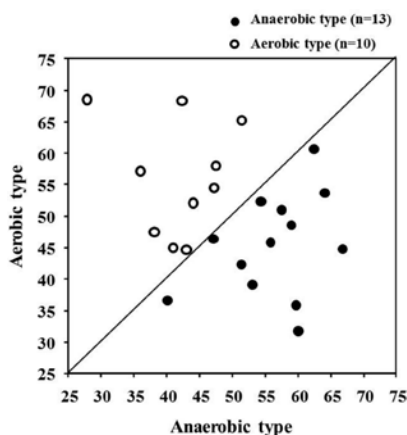


Fig. 1 Two groups divided according to score in anaerobic and aerobic capacities.

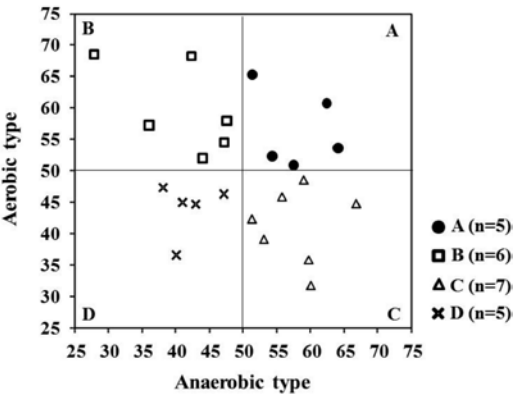


Fig. 2 Four groups divided according to score in anaerobic and aerobic capacities.

まず、無酸素タイプと有酸素タイプの比較では、Anaerobic scoreは無酸素性タイプが、Aerobic scoreは有酸素性タイプが有意に高値を示した（表1）。パワー発揮特性は、MP30において無酸素性タイプが有酸素性タイプと比較して有意に高値を示した。また、SPにおいて詳細に検討すると、SP0-5からSP15-20においては無酸素性タイプが有酸素性タイプと比較して有意に高値を示し、一方、SP45-50からSP55-60では有酸素性タイプが無酸素性タイプと比較して有意に高

Table 1 Comparisons of scores, power, La and FI between Anaerobic and Aerobic types.

	Anaerobic Score	Aerobic Score	MP30 (W/kg)	MP60 (W/kg)	La-WT (mmol/L)	FI (%)
Anaerobic Type (n=13)	56.26 7.22	45.29 8.16	10.26 0.39	8.23 0.22	10.90 1.87	14.58 2.12
Aerobic Type (n=10)	41.86 6.68	56.12 9.06	9.30 0.50	7.93 0.29	10.96 1.71	10.02 1.69
Difference	**	**	**	**	n.s.	**

** : p<0.01

値を示した（図3）。La-WTにおいては、タイプによって差はみられなかった。

次に、A、B、C、D群の比較では、Anaerobic scoreはA群およびC群が、BおよびD群と比較して、Aerobic scoreはA群およびB群が、CおよびD群と比較して有意に高値を示した（表2）。パワー発揮特性は、MP30において、C

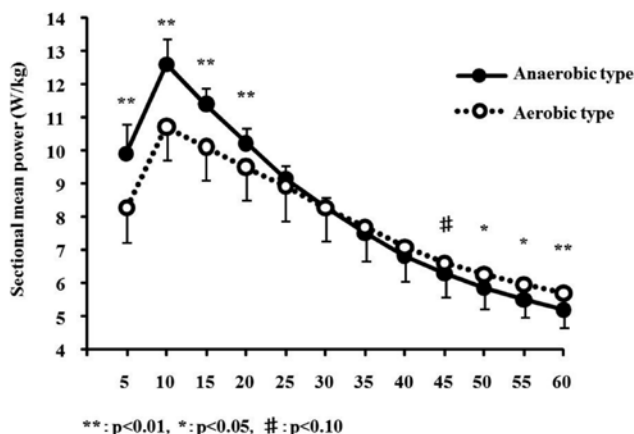


Fig. 3 Change of the power output in five seconds time intervals in anaerobic and aerobic types.

Table 2 Comparisons of scores, power, La and FI among 4 groups.

	Anaerobic Score	Aerobic Score	MP30 (W/kg)	MP60 (W/kg)	La-WT (mmol/L)	FI (%)
A Group (n=5)	57.95 5.32	56.61 6.15	10.06 0.60	8.35 0.19	11.54 1.29	12.24 3.31
B Group (n=6)	40.85 7.60	59.77 7.03	9.24 0.40	7.93 0.18	9.14 1.38	9.68 0.82
C Group (n=7)	57.97 5.13	41.16 5.94	10.37 0.34	8.16 0.23	12.05 1.23	15.65 1.54
D Group (n=6)	41.88 3.40	44.05 4.29	9.62 0.66	7.97 0.39	10.89 1.83	12.18 2.10
Difference	A,C > B,D	A,B > C,D	C > B	n.s.	C > B	C > A, B, D

> : p<0.05

体力特性の相違が Wingate test における発揮パワーに及ぼす影響 森 健一・比留間浩介

群が B 群と比較して有意に高値を示した。また、SP において詳細に検討した結果は図 4 中に示した。FI は C 群が、A・B・D 群と比較して有意に高値を示した。

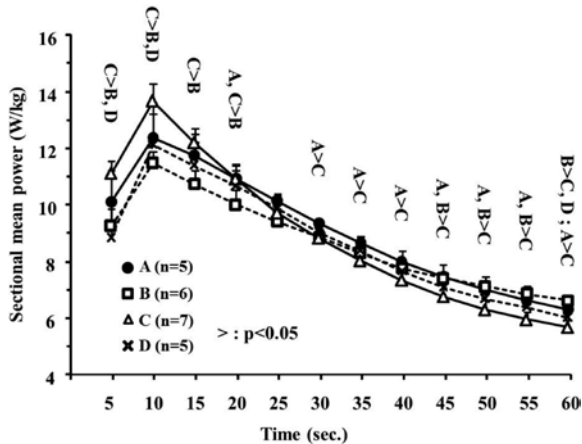


Fig. 4 Change of the power output in five seconds time intervals in four groups.

IV. 考察

T-score を用いた評価方法は、測定値がその集団の影響を強く受けるという欠点があるものの、集団内での相対的な評価が可能であるという利点もある。本研究の被検者は、短距離走者から長距離走者および混成競技者と専門とする種目が幅広く、様々な体力特性を有していると考えられる。そのため、体力特性の相違から検討するための被検者として、妥当であったと考えられる。

これまで、様々なスポーツ競技者を対象に、種目特性の相違から、発揮パワーの特性を検討した研究はいくつか報告されている (Inbar et al., 1996; 山本ほか, 1997; Gacesa et al., 2009)。山本 (1987) は、100 m 走から 5000 m 走を専門とする競技者を対象に、7.5%の負荷を用いて、90 秒の全力ペダリング運動を行った。その結果、100 m、800 m および 1500 m 走でパフォーマンスが高い競技者は、パフォーマンスが低い競技者と比較して、100 走者は 1-10 秒、800 m 走者は 31-60

秒, 1500 m 走者は 71-80 秒および 41-90 秒の発揮パワーが有意に高値を示したことを報告している。これらの結果は、各種目のパフォーマンスに強く関与している 3 つのエネルギー供給機構の特性が反映されていると考えられる。しかし、尾縣ほか (1998) は短距離走者において、無酸素性能力のみならず有酸素性能力も、佐伯ほか (1999) は長距離走者において、有酸素性能力のみならず無酸素性能力も走パフォーマンスに影響を与えていることを明らかにし、その重要性を述べている。そのため、競技種目の特性が発揮パワーに与える影響とともに、体力特性の相違が発揮パワーに与える影響も大きいと考えられることから、詳細に検討する必要がある。

まず、無酸素性および有酸素性タイプの検討では、MP30 において無酸素性タイプが有酸素性タイプと比較して有意に高値を示した。また、SP によって詳細に検討すると、運動前半の SP0-5 から SP15-20 においては無酸素性タイプが有酸素性タイプと比較して有意に高値を示し、一方、運動後半の SP45-50 から SP55-60 では有酸素性タイプが無酸素性タイプと比較して有意に高値を示した。すなわち、Anaerobic score が無酸素性タイプで高値を示すことは無酸素性能力が高いことを示しており、全力ペダリング運動における運動初期から中期の発揮パワーは無酸素性能力に依存することを改めて示した結果といえる。また、運動中期から後期の発揮パワーは有酸素性能力に依存することも同様の結果であると言える。

次に、被検者を無酸素性および有酸素性能力の優劣から 4 群に分け、発揮パワーの特性を検討した。Anaerobic score は A 群および C 群において、B および D 群と比較して有意に高値を示し、Aerobic score は A 群および B 群において、C および D 群と比較して有意に高値を示した。すなわち、各群の体力特性はそれぞれ異なるといえる。発揮パワーについては、MP30 において、無酸素性能力にのみ優れる C 群が B 群と比較して有意に高値を示したものの、無酸素性および有酸素性能力の両者が優れている A 群との間にはいずれの群との間にも有意な差はみられなかった。さらに、MP60 においては、いずれの群においても有意な差はみられなかった。これらのことは、発揮パワーを平均パワーを用いて評価す

ることによって、体力特性が意味する発揮パワーの本質を見逃してしまう可能性を危惧するものであろう。すなわち、エネルギー供給能力の優劣によって運動時間の前半あるいは後半で特異的に出力される発揮パワーの推移が反映されない指標となる。そのため、SP によって詳細に検討すると、図 4 から読み取れるように、運動初期の発揮パワーでは、SP0-5 から SP15-20 において C 群は B 群と比較して有意に高値を示した。また、SP0-5 および SP5-10 においては、C 群が D 群と比較して有意に高値を示した。すなわち、運動初期の発揮パワーに優れることは、相対的に無酸素性能力が優れていることが前提条件であることが示唆される。続く局面では、SP25-30 以降において、A 群は C 群と比較して、有意に高値を示した。A 群と C 群は、同等の無酸素性能力を有するが、有酸素性能力は A 群において有意に高値を示している。そのため、この結果は、運動中期から後期にかけての発揮パワーは有酸素性能力の高低が関与する結果を支持する。さらに、SP40-45 以降においては、B 群の発揮パワーが C 群と比較して有意に高値を示したこと、そして、有意差はないもののすべての群の中で B 群の発揮パワーが最も高値を示していることも、上述の結果を強調する。C 群は無酸素性能力に優れるが、有酸素性能力に劣る。一方、B 群は無酸素性能力に劣るものの有酸素性能力に優れているため、運動後半の発揮パワーを高く出力できたことから、C 群との間に発揮パワーの逆転が生じたと考えられる。すなわち、運動後半においては、パワーの発揮に対して有酸素性能力が補助的な役割を果たしているのではなく、有酸素性機構からのエネルギー供給が主体となり、パワーを出力していることを示しており、体力特性が反映されているといえる。そのランジションとしては、パワー発揮特性のグラフが交差し、いずれの群の間にも発揮パワーに有意差がみられなくなる SP20-25 の区間であると考えられる。また、Anaerobic type と Aerobic type の 2 群に分け検討したパワー発揮特性も同様の結果を示している。これらのことは、WT の運動時間についても改めて考慮しなければならないことを示唆するものである。WT は一般的に 30 秒の運動時間が選択され広く実施されているが、本研究で示したように、無酸素性能力に優れる C 群が有酸素性能力に優れる B 群よりも発揮パワーが高値を示している区間、すなわち有酸

素性機構からのエネルギー供給が主となる時間を除外した区間において無酸素性能力を評価すべきであり、WTで無酸素性能力を評価するには20秒の運動時間でも十分であることが考えられよう。

これまで、最高パワーから最低パワーの発揮パワーの低減率を指標としたFIによっても無酸素性および有酸素性能力が評価されてきた(Inbar et al., 1996; Mainahan et al., 2007)。しかし、FIはその算出方法から、最高パワーおよび最低パワーの両者に影響を受けるため、使用する際には注意が必要であろう。本研究において、C群のFIはA・B・D群と比較して有意に高値を示した。Minahan et al. (2007)はFIとMAODの間に有意な相関関係が認められたことから、FIは有酸素性能力、すなわち発揮パワーを維持する能力指標ではなく、無酸素性能力を反映する指標であると結論づけている。本研究においても無酸素性能力が最も優れているC群において他の群と比較して有意に高値を示している。しかし、他の群を比較してみると、A群およびD群のFIに有意差はなくほぼ同等の数値を示している。この解釈については注意が必要である。図4のパワー発揮特性の推移を見てみると、A群とD群は同じ波形であるが、発揮パワーの高低が異なる。すなわち、A群とD群は、個人内では無酸素性能力と有酸素性能力が同レベルであるが、個人間では絶対的にA群がD群よりも両能力において優れているため、エネルギー供給能力を反映するとされるFIが意味する内容は大きく異なるはずであるが、その点については明瞭にされていない。トレーニングによって、体力特性に変化が生じれば発揮パワーの推移も変化することが予想されるが、FIのみから判断した場合、無酸素性および有酸素性能力のいずれの変数に変化したことによる影響であるのかの判断が困難である。そのため、各区間におけるパワー発揮の推移から判断することが重要となるため、パワー発揮の波形を照らし合わせて検討する必要がある。

これらの結果から、最高パワーや平均パワーのみでの結果の解釈に留まることなく、区間平均パワーによって個人が有する体力特性を詳細に分析できること、そして、蓄積したデータを照らし合わせて検討することにより、体力特性からみたそれぞれのトレーニング課題を明確にするための基礎的資料になり得ると考え

体力特性の相違が Wingate test における発揮パワーに及ぼす影響 森 健一・比留間浩介
られる。

V. まとめ

無酸素性タイプと有酸素性タイプの2群に分類した場合、また、無酸素性および有酸素性能力の優劣から4群に分類した場合のいずれにおいても、全力ペダリング運動の初期における発揮パワーは、無酸素性能力を、中期から後期における発揮パワーは有酸素性能力の高低に依存し、そのトランジションはおよそ25秒目が基準となることが明らかとなった。最高パワーや平均パワーのみならず、区間平均パワーを用いることにより、無酸素性能力と有酸素性能力を個別に評価でき、発揮パワーの変化を照らし合わせることで、体力の変化を判断する指標としても役立つことが、さらに、データの蓄積により体力特性の分類が可能であることが示唆された。

参考文献

- Bar-Or, O. (1987) The wingate anaerobic test – an update on methodology, reliability, and validity. *Sports Med.*, 4 : 381-394.
- Dotan, R. (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.
- 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 : pp.37-49.
- Inbar, O., Bar-Or, O. and James, S. (1996) The wingate anaerobic test. Champaign, IL, Human Kinetics, 1-7.
- Gacesa, J. Z. P., Barak, O. F. and Grujic, N. G. (2009) Maximal anaerobic power test in athletes of different Sport disciplines. *J. Strength Cond. Res.*, 23 : 751-755.
- Gastin, P. B., Costill, D. L., Lawson, D. 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.
- 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.
- Medbø, J. I. and Tabata, I. (1989) Relative importance of aerobic and anaerobic energy release during short-lasting exhausting bicycle exercise. *J. Appl. Physiol.*, 67 (5) : 1881-1886.
- 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.
- Minahan, C., Chia, M. and Inbar, O. (2007) Power indicate capacity? 30-s wingate anaerobic test vs. maximal accumulated O₂ deficit, *Int. J. Sports. Med.*, 28 : 836-843.
- 森 健一・山中美和子・吉岡利貢・荻山 靖・尾縣 貢 (2011a) 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. 陸上競技研究 86 (3) : 10-17.
- 森 健一・吉岡利貢・白松宏輔・荻山 靖・尾縣 貢 (2011b) 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. 体力科学 60 (5) : 503-510.
- 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.
- Popadic, Gacesa J.Z, Barak, O.F and Grujic, N.G. (2009) Maximal anaerobic power test in athletes of different sport disciplines. *J. Strength Cond. Res.*, 23 (3) : 751-755.
- 佐伯徹郎・三本木温・高松 薫 (1998) 一定速度による無氣的・有氣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.

- 体力特性の相違が Wingate test における発揮パワーに及ぼす影響 森 健一・比留間浩介
- 高松 薫 (1992) 体力・運動能力からみたスポーツタレントの発掘法. J. J. Sports Sci., 11 (11) : 716-724.
- 山地啓司 (2001) 改訂第 2 版 最大酸素摂取量の科学, 杏林書院, 東京.
- 山本正嘉 (1987) 疲労曲線の筋出力に関する研究—筋線維組成, 筋のエネルギー供給能力, および競技種目との関連から—, 疲労と休養の科学, 2 : 57-68.
- 山本利春 (2004) 測定と評価. パワー発揮様式からみた競技選手の体力特性—単発的パワーと反復的パワーの評価—, ブックハウス・エイチディ, 東京. pp.128-133.
- 山本利春・山本正嘉・吉永孝徳・井上哲朗 (1997) 競技特性からみたエリートスポーツ選手の筋パワー. 国際武道大学武道・スポーツ科学研究所年報, 2 : 135-139.
- 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 90s of maximal cycling on an air-braked ergometer. Eur. J. Appl. Physiol., 63 : 354-362.

