

Wingate test における広範囲負荷設定での 発揮パワーと疾走能力との関係

森 健 一

I. 緒言

短距離走の疾走能力に影響する代表的な体力要因として、下肢のパワーが挙げられ、短距離走パフォーマンスとの間には有意な相関関係が認められたとする報告は多数存在している（石井ほか、1987；加藤ほか、1992；Meckel et al., 1995；森ほか、2012；岡野、2001；若吉ほか、2024）。この下肢による筋パワー、すなわち、無酸素性パワーは最大努力により出力発揮される機械的パワーであり、競技パフォーマンスや体力要素を評価する重要な指標である。無酸素性パワーの測定においては、自転車エルゴメータを用いた全力ペダリング運動によるテストが広く実施されている。無酸素性パワーと短距離走パフォーマンスとの間に強い関係性が認められていることに加えて、自転車エルゴメータによって発揮されたパワーの推移は短距離走における速度曲線と概ね一致するためである。

自転車エルゴメータによる無酸素性パワーの測定は負荷や運動時間、セット数を任意に設定でき、負荷とペダル回転数からパワーを容易に測定できる特徴を有している。主な測定方法としては、異なる 3 種類の負荷によって実施される 5～10 秒間の全力ペダリングで得られる車輪 1 回転当たりの最小所用時間から最小自乗法を用い、ペダル 1 回転当たりの平均パワーの最大値を一次回帰式によって推定する方法（中村ほか、1984）や Wingate test のように体重の 7.5%の負荷で 30 秒間の全力ペダリング運動を実施し、最高パワーと平均パワーなどを算出する方法（Bar-Or, 1987；Inbar et al., 1996）がある。上述したように、Wingate test においては一般的には体重の 7.5%の負荷を用いて測定が実施されるものの、最大パワーを求めるのであれば 10～12%程度の負荷が至適であるとする先行研究もある（中村ほか、1984；岡野、2015）。さらに、算出されるパワーは「力×速度」（「負

荷×回転数)で決定されるため、負荷を高重量に設定し最大パワーを獲得できる「力型」の競技者ほど最大無酸素性パワーが高くなる(若山、2015)ことを踏まえると、必ずしも最大パワーを発揮できる負荷によって算出されたパワーが短距離走パフォーマンスを反映しているとはいえないことも考えられる。

また、短距離走はスタート局面から加速局面、最高疾走速度局面、減速局面に分類され(Mero et al., 1992; Delecluse et al., 1995)、これらの局面において求められる体力要素は異なることが報告されている(土江、2008)。すなわち、加速局面ではより高負荷での出力が求められ筋力に依存し、減速局面では筋持久力の影響を受ける。そして、Wingate test は開始直後から全力で運動をする特性上、上記局面の表出はより顕著に表れる。

これらの特性を踏まえ、自転車エルゴメータによる発揮パワーと短距離走パフォーマンスとの関係について、異なる負荷からパフォーマンスを適切に評価する必要があると考えられる。加えて、短距離走におけるそれぞれの局面に応じて発揮パワーとの関係性についても明らかにできればコントロールテストの評価としての有用性がより高まると考えられる。そこで、本研究では、広範囲の負荷設定における Wingate test の発揮パワーと疾走能力との関係について検証することを目的とした。

Ⅱ. 方法

1. 被検者

大学陸上競技部に所属し、短距離走を専門としている男子学生 16 名(年齢 21.8 ± 3.0 years、身長 172.2 ± 4.1 cm、体重 63.4 ± 3.8 kg、体脂肪率 $9.3 \pm 3.4\%$)を対象に実施した(表 1)。測定はシーズン終了後の 10 月下旬から 11 月上旬にかけて実施した。体組成の測定には体組成計(BC-118D、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。なお、本研究は、武蔵大学の研究倫理に関する審査(第 684 号)を受けて実施した。

Table 1. Physical characteristics and 100 m performance.

Variables	Height	Weight	Body fat	100mSB	100mTrial	Achievement rate
	cm	kg	%	sec.	sec.	%
Mean	172.2	63.4	9.1	11.20	11.87	95.5
SD	4.1	3.8	3.4	0.31	0.29	2.7

SB: season best record

2. 測定項目および測定方法

実験試技は 100m 走と電磁ブレーキ式自転車エルゴメータ（Power Max-VII、コンビウエルネス社）を用いた Wingate test を実施した。

100m 走の試技は、被検者にそれぞれ十分なウォーミングアップを行わせた後、スターティングブロックを用いたクラウチングスタートから 100m の全力疾走をオールウェザー走路で行わせた。カメラ映像を用いて被検者がスタートから 10m 間隔での通過地点のタイムを算出できるよう、走路とカメラの間にポールを立てた。ビデオカメラ（FZ200、Panasonic 社製）を用いて、走路の側方よりスタートから 100m 地点まで、被検者をパンニング撮影した（240fps）。スタートはスターターピストルの煙がカメラに映った瞬間とし、各区間の通過タイムは被検者がポールを通過する際の時刻にて計測を行った。

各地点の通過タイムから各区間タイムを算出した。区間距離を区間タイムで除することにより、10m 毎の各区間および 0-100m における平均疾走速度を疾走能力の指標として算出した。各区間において、スタートおよびポールを通過した直後の接地を 1 歩目の接地とし、次のポールを通過した直後の接地までの歩数と所要時間から各区間の平均ピッチを算出した。また、各区間において平均疾走速度を平均ピッチで除することにより各区間の平均ストライドを算出した。

本研究では、Wingate test の運動時間を 20 秒とした。負荷は個々の体重の 2.5% から 12.5% までの 5 段階（2.5% 刻み）で実施した。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 10ms 毎にパーソナルコンピュータ（INSPIRON1300、Dell 社製）に入力した。得られたデータを 5 秒毎に平均し、最高パワー（Peak power；PP）および平均パワー（Mean power；MP）を算出した。そして、得られたパワーを体重で除し、体重 1 kgあたりの相対的なパワーを算出した。試技中は、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。

3. 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 の積率相関係数を用いた。Wingate test における各負荷のパワーの比較には、一要因分散分析を用いた。その後、F 値が有意であると認められた場合には、Bonferroni の方法を用いて多重比較を行った。

統計ソフトには SPSS version 27 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

実験試技における 100m 走の平均タイムは、 11.87 ± 0.29 秒であり、シーズン自己最高記録における達成率は $95.5 \pm 2.7\%$ であった。表 2 に Wingate test の結果を示した。各負荷における PP および MP は、絶対値および体重に対する相対値ともに 12.5kp の負荷によるパワーが最も高値を示し、10.0 および 12.5kp の負荷での PP および MP が 2.5～7.5kp の負荷における PP および MP よりも有意に高値を示した。ペダリング回転数（rpm）は、2.5kp の負荷において最も高値を示し、5.0～12.5kp での rpm よりも有意に高値を示した。発揮パワーの立ち上がり（rate of power development; RPD）は、各負荷において差がみられなかった。

Table 2. Output power at each load in Wingate test.

Load	PP	PP	MP	MP	revolution	RPD
kp	Watt	W/kg	Watt	W/kg	rpm	sec.
12.5	952 ± 167	14.5 ± 2.7	754 ± 122	11.5 ± 2.0	115 ± 30	7.0 ± 3.5
10.0	907 ± 98	14.3 ± 1.1	725 ± 82	11.4 ± 0.9	148 ± 12	5.9 ± 1.4
7.5	825 ± 74	13.0 ± 0.6	674 ± 62	10.7 ± 0.6	179 ± 10	6.1 ± 1.0
5.0	613 ± 50	9.7 ± 0.5	524 ± 44	8.3 ± 0.4	199 ± 11	6.0 ± 1.1
2.5	343 ± 34	5.4 ± 0.3	299 ± 29	4.7 ± 0.2	221 ± 13	5.9 ± 1.1

PP(Watt) and PP(W/kg): 12.5 , 10.0 > 7.5 > 5.0 > 2.5 kp

MP(Watt) and MP(W/kg): 12.5 , 10.0 > 7.5 > 5.0 > 2.5 kp

rpm: 2.5 > 5.0 > 7.5 > 5.0 > 12.5 kp

RPD: n.s.

図 1 には、Wingate test における 5 秒ごとの発揮パワーの推移を示した。いずれの負荷においても 10 秒時点において発揮パワーの最高値を出力しており、その後は漸減する波形となった。

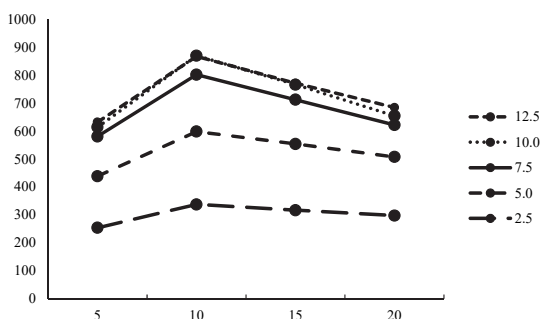


Fig. 1 Transition of output power in Wingate test.

5 sec.: 12.5 , 10.0 , 7.5 > 5.0 > 2.5 kp

10 sec.: 12.5 , 10.0 > 7.5 > 5.0 > 2.5 kp

15 sec.: 12.5 , 10.0 > 7.5 > 5.0 > 2.5 kp

20 sec.: 12.5 , 10.0 , 7.5 > 5.0 > 2.5 kp

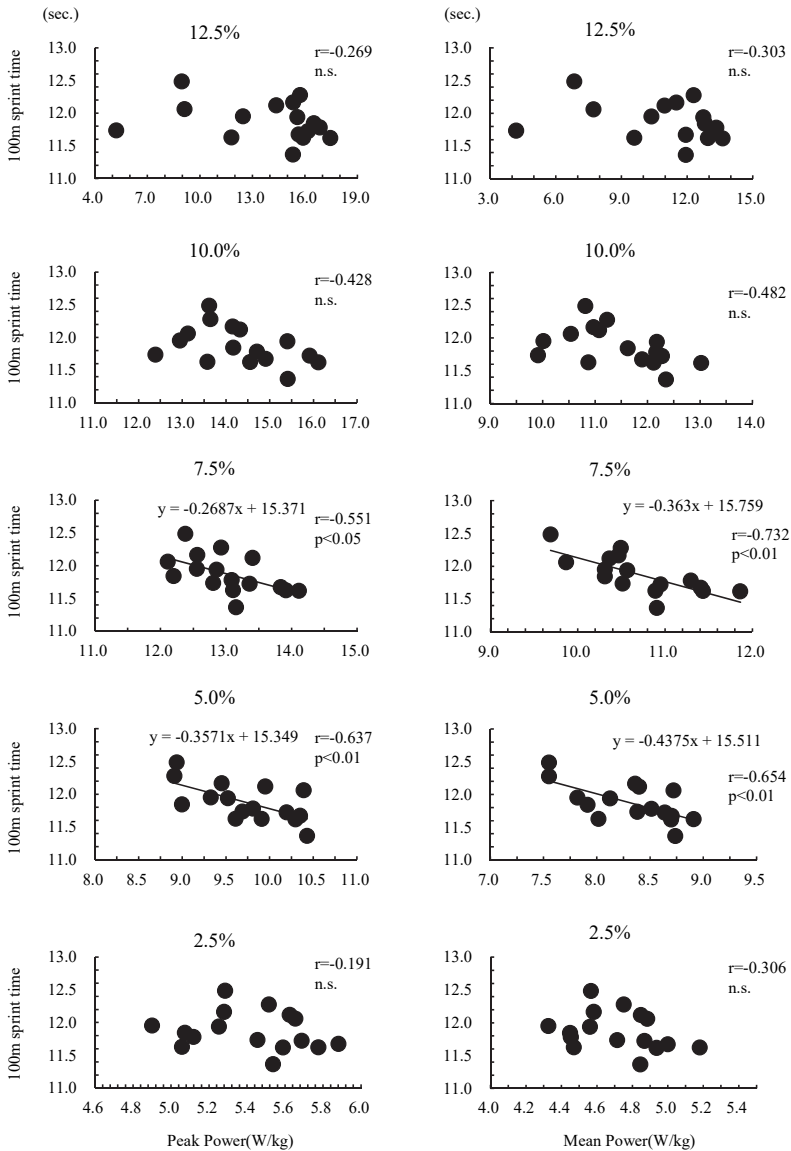


Fig.2 The relationship between 100m sprint time and relative output power in Wingate test.

各負荷における PP および MP と 100m 走タイムとの関係を検証したところ、5.0%および 7.5%の負荷において体重当たりの相対的なパワーとの間に有意な負の相関関係が認められた（図 2）。他の負荷においては PP および MP ともに相関関係が認められなかった。また、絶対的なパワーとの間にはいずれの負荷においても相関関係が認められなかった。

各負荷における PP および MP と 100m 走における各区間の速度との関係を検証したところ、5.0%および 7.5%の負荷における体重当たりの相対的なパワーとの間に、主に 30–40m 区間から 60–70m 区間にかけて有意な相関関係が認められた（図 3）。なお、10.0%において PP/kg と 0–10m 区間および MP/kg と 40–50m 区間の速度との間に有意な相関関係が認められた。その他の負荷における PP および MP と 区間速度との間には相関関係が認められなかった。

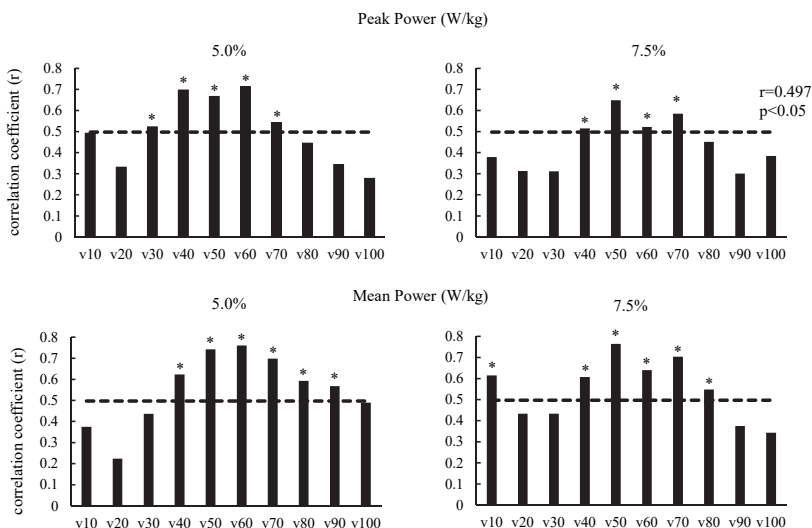


Fig.3 The relationship between interval velocity in 100m sprint and output power in Wingate test.

*: $p < 0.05$ (above the dotted line)

100m 走における 10m 区間毎の疾走速度、ピッチおよびストライドと Wingate test における 5 秒毎の発揮パワー、rpm および RPD との関係性をそれぞれ検証した。その結果、5.0 と 7.5%における負荷での PP および MP と 30-40m から 60-70m の区間速度において有意な相関関係が認められた。また、5.0kp における rpm と 50-60m 区間でのピッチとの間に有意な相関関係が認められた。

IV. 考察

本研究は、広範囲の負荷設定における Wingate test の発揮パワーと疾走能力との関係について検証することを目的とした。

コントロールテストとして用いられる Wingate test において、無酸素性パワーと短距離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報告は多数あり、本研究においてもこれまでの先行研究（石井ほか、1987；岡野、2001）と同様に絶対値のパワーとの間には有意な相関関係が認められなかったものの、5.0 と 7.5% の負荷における体重当たりの PP および MP との間に有意な負の相関関係が認められた。体重当たりで負荷を設定する方法を用いた場合、当然のことながら体重の重い競技者ほど絶対的なパワーは高くなる。しかしながら、短距離走においては自身の身体を前方へ移動させる必要があることから、パワーを外部に出力することだけに特化した形式で評価することは望ましくないといえる。そのため、体重当たりの相対的な発揮パワーとの間にのみ有意な相関関係が認められたと考えられる。

また、先行研究では、より高負荷での発揮パワーと短距離走パフォーマンスとの間に関係が認められている。岡野（2001）は、3 または 4kp、体重当たり 7.5% および 10%の 3 種類の負荷を用いて、得られた無酸素性パワーと 100m 走におけるタイムなどの様々なパラメータの変化を評価する際には、10.0%の負荷が適切であると報告している。また、若吉ほか（2024）は 5.0、7.5、9.0%の 3 種類の負荷を用いて 30m 走タイムとの関係について検証した。その結果、9.0%における PP と MP との間にのみ有意な相関関係が認められたと報告している。いずれの先行研究においても本研究での結果よりもより高負荷での発揮パワーとの間に短距離

Wingate test における広範囲負荷設定での発揮パワーと疾走能力との関係 森 健一

走パフォーマンスとの関係性が認められた。このように異なる結果が得られたことについては競技レベルによる差も考えられるが、岡野（2001）の対象者の 100m 走試技の平均記録が 11.87 秒であり、本研究の対象者と同様であった（ 11.87 ± 0.29 秒）。そのため明確な根拠を示すことは出来ない。一方で、試技時間の違いがあり、岡野（2001）は 100m 走タイムを参考に自転車エルゴメータでの運動時間を 12 秒としている。本研究では森ほか（2011）を参考に、エネルギー供給能力の関係から 20 秒間としたことも少なからず影響していると考えられる。Wingate test はスタート開始後から全力で駆動する最大努力による運動と考えると、全力を出すことが困難であった可能性も否めないが推測の域を出ないため、運動時間による影響も考慮し今後の検討課題としたい。

これまでに、自転車エルゴメータにおける発揮パワーの推移と 100m 走における速度変化の推移は同様の波形を示すことが知られており、短距離走パフォーマンスを評価するテストとしての有用性が様々なパラメータを用いて検証されている。本研究でも、Wingate test における発揮パワー、rpm、RPD を 5 秒毎に区分し、100m 走においても 10m 区間毎に速度、ピッチ、ストライドを算出して、それぞれの変数間の関係を検証した。その結果、5.0 と 7.5% における負荷での PP および MP と 30-40m から 60-70m の区間速度において有意な相関関係が認められた。また、5.0kp における rpm と 50-60m 区間でのピッチとの間にのみ有意な相関関係が認められた。これらの結果については、自転車エルゴメータにおける発揮パワーは、負荷と回転数に規定されること、そして疾走速度においてもピッチとストライドに規定されることを踏まえると、5.0kp での rpm と 50-60m 区間でのピッチとの間に有意な相関関係が認められたことは、5.0kp において PP および MP と 100m 走タイムとの間に有意な相関関係が認められたことについて他の変数からも裏付けたこととなる。一方で、発揮パワーおよび RPD とピッチおよびストライドとの間には関係性が認められなかった。岡野（2004）は、100m 走における平均疾走速度を 0-30m、30-60m、60-90m に区分し、発揮パワーとの関係を検討したところ、30-60m の平均疾走速度と 10.0% の負荷におけるパワーなどの各パラメータとの間にのみ有意な相関関係が認められたと報告してい

る。また、杉田と小林（2004）は、ペダル回転数に着目し 1～10kp における負荷での最高回転数と 100m 走タイムとの間には 1～3kp での回転数において有意な相関関係が認められたと報告している。さらに、1kp における最高回転数と最高ピッチとの間においても有意な相関関係が認められたとし、1kp から得られる情報が 100m 走パフォーマンスを評価する上で最も有用な指標であることを報告している。このように、本研究と異なり先行研究では、より高負荷あるいは低負荷での発揮パワーや回転数などの指標と短距離走パフォーマンスとの間に関係が認められている。これらの結果の差異については本研究で得られたデータから明らかにすることはできないが、対象者の体力レベル等に合った負荷設定の必要性を示唆するものであり、個別性の原則に則った負荷選択が重要であることが考えられる。これまでも Wingate test の測定においては、最大無酸素性パワーを測定することを目的とする場合には、10kp 以上の負荷を推奨する研究（三秋ほか、2008）や Wingate test において発揮されたパワーは、脚筋力を測定していることになりかねないという指摘（会田ほか、1992；尾縣ほか、2000）もある。加えて、一般的に筋量の劣る女性において 10kp は過負荷となる可能性についても報告がなされており（石井ほか、1987）、年齢によっても一般的な 7.5%の負荷よりも低負荷で測定がなされている（Inbar et al., 1996）。そのため、負荷設定を含み、Wingate test によって得られる様々なパラメータを用いて短距離走パフォーマンスおよび個人の体力指標を評価するためには、対象者の特性を十分に把握して実施することが求められているといえる。

V. まとめ

大学陸上競技部に所属し、短距離走を専門としている男子学生 16 名を対象に、広範囲の負荷設定における Wingate test の発揮パワーと 100m 走パフォーマンスとの関係について検証することを目的とした。

主な結果として、5.0 および 7.5%での負荷における PP および MP と 100m 走タイムとの間に有意な相関関係が認められた。そして、30～40m から 60～70m 区間速度との間にも有意な相関関係が認められた。その他の負荷およびペダル回転数

Wingate test における広範囲負荷設定での発揮パワーと疾走能力との関係 森 健一

(rpm) や力の立ち上がり時間 (RPD)、100m 走パフォーマンスを構成するピッチやストライドとの間には関係性が認められなかった。

以上の結果から、Wingate test における 5.0 および 7.5%での負荷によって得られた発揮パワーは 100m 走パフォーマンスを評価する指標として有用であることが示唆された。そして、負荷設定を含み、Wingate test によって得られる様々なパラメータを用いて短距離走パフォーマンスおよび個人の体力指標を評価するためには、対象者の特性を十分に把握して実施することの重要性が示唆された。

参考文献

- Bar-Or, O. (1987) The wingate anaerobic test - an update on methodology, reliability, and validity. *Sports Med.*, 4: 381-394.
- Delecluse, C. H., Coppenolle, H. V., Willems, E., Diels, R., Goris, M., Van Leemputte, M. and Vuylsteke, M. (1995) Analysis of 100 meter sprint performance as a multidimensional skill. *Journal of Human Movement Studies*, 28: 87-101.
- Inbar, O., Bar-Or, O. and James, S. (1996) The wingate anaerobic test. Champaign, IL, *Human Kinetics*, 1-7.
- 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.
- Meckel, Y., Atterbom, H., Grodjinovsky, A., Ben-Sira, D. and Rotstein, A. (1995) Physiological characteristics of female 100 metre sprinters of different performance levels. *J Sports Med Phys Fitness*, 35(3): 169-75.
- Mero, A., Komi, P. V., and Gregor, R. J. (1992) Biomechanics of sprint running. *Sports Medicine*, 13(6): 376-392.
- 三秋欣彦・脇本敏裕・中嶋雅子・長尾光城・松枝秀二・長尾憲樹 (2005) 広範囲の負荷設定で秒間全力自転車駆動を実施した時のパフォーマンスと血中乳酸濃度との関係. *川崎医療福祉学会誌*, 15(1): 201-208.
- 森 健一・山中美和子・吉岡利貢・荻山 靖・尾縣 貢 (2011) 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.
- 中村好男・武藤芳照・宮下充正 (1984) 最大無酸素パワーの自転車エルゴメーターによる測定方法. Jpn. J. Sports Sci., 3(10): 834-839.
- 尾縣 貢・高本 恵美・大山下圭悟 (2000) 下肢関節の等速性筋力と Wingate test により測定された無酸素性パワーとの関係. 体力科学, 49: 523-526.
- 岡野亮介 (2001) 自転車エルゴメータ全力漕ぎ運動時の無酸素パワーと陸上競技 100m 走の記録との関係. 萩国際大学論集, 2(2): 129-139.
- 岡野亮介 (2015) 自転車エルゴメーターによる最大無酸素性パワーと体重や脚筋力等の関係及び設定負荷と脚筋力との関係. 至誠館大学研究紀要, 73-81.
- Okano R., Nana S., Urushihara M., Usui S., Katsuki K and Katsuki M. (1996) Comparison of anaerobic power outputs measured by maximal pedalling of a bicycle ergometer against different loads and the estimated maximal anaerobic power outputs. Japanese Journal of Physical Fitness and Sports Medicine, 45(5): 545.
- 杉田正明・小林寛道 (2004) 100m 疾走能力と自転車エルゴメーターによる発揮パワーとの関係. 日本体育学会第 55 回大会大会号, 320.
- 若山章信 (2015) 自転車エルゴメータを用いた無酸素性パワー測定値をどう評価するか. 東京女子体育大学・東京女子体育短期大学紀要, 50: 1-9.