

資料

自転車エルゴメーターにおける負荷精度の検討

野村 由実*, 杉田 正明*

Load accuracy in three types of bicycle ergometers

Yumi Nomura*, Masaaki Sugita*

要 約

本研究では、自転車エルゴメーターの発揮パワーについて、機械的に求めた実際の出力との差について検討を行い、負荷精度を検証することを目的とした。風神雷神～極 (FR), POWER MAX V3 (PM), EXCALIBUR SPORT 2500 (ES) を用い、3つの負荷様式で機械的に駆動させ、車軸にトルクメーターを連結した。得られたトルクからパワーを算出し、設定負荷にペダル回転数を乗じた基準値との差をパーセンテージで示し、比較を行った。その結果、FRは60分間定常負荷テスト ($-1.8 \pm 0.5\%$)、30秒間ウィングートテスト ($0.2 \pm 0.2\%$)、漸増負荷テスト ($-1.5 \pm 0.2\%$) において、PMおよびESに比べ設定負荷に対するパワー値の誤差が小さいことが示された。また、漸増負荷テストでは他のテストに比べ全ての機種においてパワー値の誤差が大きかった。結論として、自転車エルゴメーターの負荷精度は機種および負荷様式によって差異が認められることが明らかとなった。

キーワード: 自転車エルゴメーター, 自転車, 出力, ウィングートテスト, トレーニング

* 日本体育大学
〒158-8508 東京都世田谷区深沢 7-1-1
Nippon Sports Science University
7-1-1 Fukasawa, Setagaya-ku, Tokyo 158-8508, Japan

受付日: 2019年8月27日

受諾日: 2019年12月25日

Abstract

The purpose of this study is to determine the accuracy in the three types of bicycle ergometers with electromagnetic brake : Fujin rajjin (FR), POWER MAX V3 (PM), and EXCALIBUR SPORT 2500 (ES). Output power was measured by torque meter bonded to the crank shafts during three trials (low-intensity continuous test, wingate test, incremental exercise test). Power difference calculated by dividing power output by set load. The power differences during all three tests were significantly smaller in FR than in PM and ES. Power difference during low-intensity continuous test was FR-1.8 %; PM-3.0 %; ES-4.8 %, wingate test was FR 0.2 %; PM-3.2 %; ES-5.1 %, and incremental exercise test was FR-1.5 %; PM -11.0 %; ES-2.2 %. In addition, when the three trials were compared, power difference is higher during the incremental exercise test (FR-0.7-4.0%; PM : -14.3%- -7.7; ES-6.9-0.0%). These findings indicated that FR has a smaller error between set load and actual power output in aerobic / anaerobic load modes, and stable power display is achieved.

Key words : bicycle ergometer, cycling, power, wingate test, training

I. 緒 言

自転車エルゴメーターはトレーニングやリハビリテーション、運動負荷試験等を目的としてスポーツや医療の現場において幅広く利用され、多くの機種が普及している。自転車エルゴメーターは目的や対象者に応じて簡単に負荷を設定できることが特徴であるが、その負荷精度については海外製の自転車エルゴメーターに関する先行研究において機種によって差があることが報告されている^{1,4,6,10,14)}。しかしながら、現在国内で流通している日本製の自転車エルゴメーター（POWER MAX V3: コナミライフ & フィットネススポーツ社製、風神雷神: 大橋知創研究所社製）の負荷精度についてこれまでに検討した研究は見受けられない。

自転車エルゴメーターの負荷精度はトレーニングや科学的評価を行う上で重要であり、同様の項目が測定可能な装置が複数存在するが、それらに関して得られる測定値を様々な評価に用いることの妥当性を検証する必要がある。現存する複数の自転車エルゴメーターの測定値を比較・検証することは、スポーツや医療の現場において自転車エルゴメーターを選択する際の参考となることや異なる機種間での測定値を比較や評価をする際の目安と

なり、意義深いといえる。

本研究では、3機種の自転車エルゴメーターから求められる発揮パワーと実際の出力の差について検討を行い、その負荷精度を検証することを目的とした。比較対象として用いる自転車エルゴメーターは、前述の日本製2機種に加え、同様の渦電流制御式の負荷システムを有し、国際誌において広く使用されている海外製1機種を選定した。また、負荷精度の検討にあたっては、自転車エルゴメーターによる運動負荷試験やトレーニングとして一般的に実施されているテストプロトコル（定常負荷運動、ウィングートテスト、漸増負荷運動）を模したものを使用した。なお、同一の被験者による全力駆動を3つの自転車エルゴメーター間で正確には再現できない限界があることから、本研究では被験者は乗車せず機械的に同じ負荷をかけて検討を行うこととした。

II. 方 法

(1) 使用機器

自転車エルゴメーターは、渦電流制御式の負荷システムを搭載する風神雷神〜極（大橋知創研究所社製、日本: 以下FR）、POWER MAX V3（コナミラ

Table 1 Product Specifications of each bicycle ergometer

	Load system	Load accuracy	Control range
FR	Electromagnetic brakes	P<2kp: $\pm 0.1\%$ P>2kp: $\pm 3\%$	0.1-16 kp (Max: 2200 W)
PM	Electromagnetic brakes	No listed	0-12kp
ES	Electromagnetic brakes	P<100 W: $\pm 2\%$ 100 W<P<1500 W: $\pm 2\%$ P>1500 W: $\pm 5\%$	8-2500 W

FR: Fujin rajjin, PM: POWER MAX V3, ES: EXCALIBUR SPORT 2500

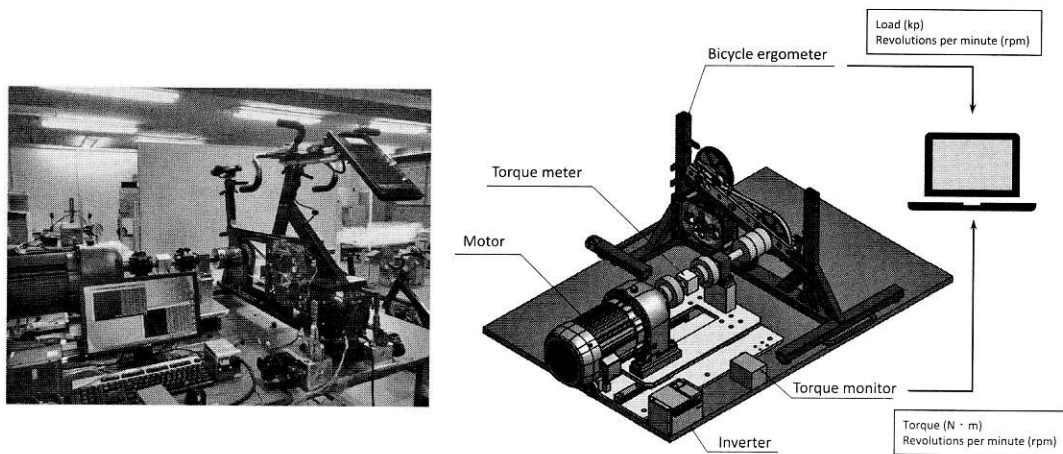


Fig.1 Experimental set-up

イフ & フィットネススポーツ社製、日本：以下 PM)、EXCALIBUR SPORT 2500 (Groningen, Netherlands：以下 ES) の計 3 機種を用いた。なお、3 機種の自転車エルゴメーターはいずれも本測定を実施した年に納品されたものであり、使用期間は 1 年未満であった。表 1 に取扱説明書より抜粋した各機種の仕様について示す。

(2) 測定方法

試験

試験は、自転車エルゴメーターによる運動負荷試験やトレーニングとして一般的に実施されているテストプロトコルの様式（定負荷運動、ウィングートテスト、漸増負荷運動）を採用した^{3,5,15)}。設定負荷、駆動時間、セット数の設定に際しては、様々な競技スポーツ選手が複数人で連続使用することや競技によって様々なトレーニングの形態が想定されるため、通常の測定に用いられる方法よりもより高重量・長時間・高反復回数で設定した⁷⁾。

60 分間定常負荷テスト (Low-intensity continuous test) は負荷 3.5 kp、回転数 90 rpm に設定し、60 分間継続して自転車エルゴメーターを駆動させ、低負荷における長時間使用について検証した。30 秒間ウィングートテスト (Wingate test) は負荷 8 kp、回転数 130 rpm の設定で 30 秒間の駆動を 150 秒間の休息を入れて 20 回繰り返し、高負荷における連続使用について検証した。漸増負荷テスト (Incremental exercise test) は初期負荷 1 kp、回転数 90 rpm から 5 分毎に 0.5 kp ずつ増加させ、最大負荷 6 kp まで行い、漸増負荷における連続使用について検証した。各テストの測定回数はそれぞれ

10 回とし、測定環境は、室温 25～26 度、湿度 50～65% を保つようにした。なお、いずれの試験においても被験者は乗車していない。

トルク測定

自転車エルゴメーターの車軸にトルクメーター（ユニパルス社製、日本）を連結させ、インターフェイスを介して各テストにおけるトルクおよび回転数の情報をコンピュータに記録した（図 1）。サンプリング周波数は 1000 Hz とした。

(3) データ処理

60 分間定常負荷テストは、5 分毎のトルクをサンプリングし、平均値を算出した。30 秒間ウィングートテストおよび漸増負荷テストは、トルクおよびペダル回転数が安定した開始 5 秒以降¹¹⁾をサンプリングした。30 秒間ウィングートテストは開始 5 秒を除いた 20 秒間の平均値、漸増負荷テストは負荷の増加後 5 秒を除いた 4 分 55 秒間の平均値を算出した。(1) の式の通り、得られたトルクデータにペダル回転数を乗じてパワー値 (W: ワット) に換算した。

$$\text{出力 (W)} = \frac{\text{トルク (N} \cdot \text{m)} \times \text{ペダル回転数 (rpm)}}{9.55} \dots\dots (1)$$

次に、自転車エルゴメーターの設定負荷にペダル回転数を乗じて基準値 (Reference value) を算出し、パワー値と基準値の差 (Power difference) をパーセンテージで示した。

(4) 統計処理

パワー値に関して、二元配置分散分析（60 分間定常負荷テスト・漸増負荷テスト：機種 × 時間，30 秒間ウィングートテスト：機種 × 回数）を行い、交互作用および主効果の検討を行った。さらに、有意な主効果および交互作用が確認された要因に関しては Bonferroni 法による多重比較検定を行った。なお、有意水準は 5% 未満とし、統計処理ソフトは IBM SPSS Statistics 25 を使用した。

Ⅲ. 結 果

60 分間定常負荷テスト（表 2）、30 秒間ウィングートテスト（表 3）、漸増負荷テスト（表 4）における各機種のパワー値および変動係数（CV）について示した。図 2 に時間または回数の経過にともなう各機種のパワーと基準値の差をパーセンテージで示した。以下に各テストの詳細な結果について述べる。

(1) 60 分間定常負荷テスト

機種と時間の間に交互作用は認められなかった（ $F=0.228$, $\eta^2=0.010$, $p=1.000$ ）。機種間のパワー値に有意な主効果が認められた（ $F=74.987$, $\eta^2=0.307$, $p<0.001$ ）。FR は ES に比べ、開始 55 分を除いてパワー値が有意に大きかった（ $p<0.05$ ）。また、PM は

Table 2 Power output at the time of every five minutes during low-intensity continuous test

Time (min)	Power output (W)		
	FR	PM	ES
5	311.9±1.5*	307.6±9.8	300.5±7.6
10	310.9±1.1*	305.5±10.5	301.4±7.2
15	310.0±1.4*	305.7±9.0	299.6±7.8
20	308.3±1.4*	304.8±7.2	299.0±6.0
25	310.4±1.3*	306.8±7.6 [#]	299.6±6.6
30	309.5±1.8*	306.0±7.4 [#]	298.6±6.1
35	309.7±1.7*	305.9±8.4 [#]	298.5±6.2
40	309.9±1.2*	305.9±8.2	300.1±6.2
45	309.1±1.5*	305.1±8.8	299.6±5.5
50	308.7±1.6*	305.2±7.6	300.5±5.4
55	307.4±1.0	303.9±7.7	301.4±5.0
60	306.3±0.8*	303.2±6.8	298.5±5.7
Average	309.3±1.5	305.5±1.2	299.8±1.0
CV	0.4 %	2.7 %	2.1 %

Values are mean and SD. Reference value is 309 W

* Significant difference between FR and ES

[#] Significant difference between ES and PM

CV : coefficient of variation

ES に比べ、開始 25 分・30 分・35 分においてパワー値が有意に大きかった（ $p<0.05$ ）。加えて、パワー値の変動係数は FR 0.4%, PM 2.7%, ES 2.1% であった。

(2) 30 秒間ウィングートテスト

機種と回数の間に有意な交互作用が認められた

Table 3 Power output at each session during wingate test

Session	Power output (W)		
	FR	PM	ES
1	1021.1±2.6*	1006.6±3.4 [#]	979.2±20.6
2	1018.5±2.6*	992.8±2.8 [#]	974.4±18.7
3	1018.0±3.1*	987.9±2.6 [#]	972.7±16.8
4	1018.7±3.0*	982.8±2.8 [#]	971.5±15.8
5	1019.0±2.8*	980.3±2.7	970.4±14.7
6	1020.0±3.1*	978.8±2.7	969.6±13.4
7	1020.8±3.2*	978.4±3.1 [#]	969.2±13.2
8	1020.8±3.1*	978.6±3.5 [#]	968.2±12.2
9	1022.1±3.1*	979.4±3.4 [#]	967.6±11.9
10	1022.7±2.2*	980.4±3.6 [#]	966.4±11.0
11	1024.3±2.3*	979.6±5.0 [#]	966.5±10.8
12	1024.6±1.7*	982.9±4.8 [#]	966.0±10.7
13	1022.3±2.3*	984.2±4.9 [#]	964.1±10.0
14	1018.9±1.9*	985.3±4.9 [#]	964.4±11.0
15	1020.8±2.8*	986.7±5.1 [#]	964.8±9.4
16	1023.0±2.5*	986.8±7.3 [#]	964.2±8.9
17	1018.5±2.5*	989.9±5.4 [#]	963.6±8.4
18	1021.7±2.6*	990.8±5.0 [#]	962.9±8.6
19	1019.6±2.4*	992.3±5.3 [#]	962.6±8.0
20	1021.7±3.7*	993.3±5.0 [#]	962.3±7.6
Average	1020.9±2.0	985.9±2.0	967.5±4.4
CV	0.3 %	0.4 %	1.2 %

Values are mean and SD. Reference value is 1019 W

* Significant difference between FR and PM, FR and ES

[#] Significant difference between ES and PM

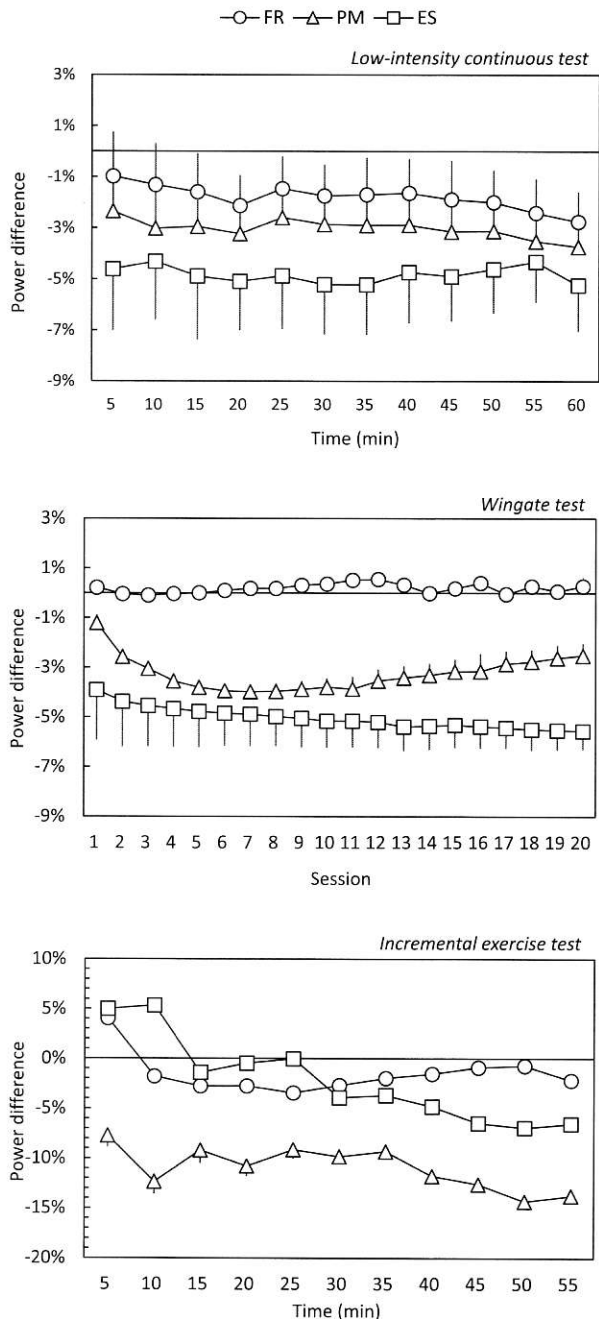
Table 4 Power output at the time of every five minutes during incremental exercise test

Time (min)	Power output (W)			Reference value (W)
	FR	PM	ES	
5	93.6±0.2*	83.1±1.1 [#]	94.5±0.7	90
10	132.6±0.4*	118.3±1.7 [#]	142.2±0.6	135
15	175.0±0.3*	163.5±2.3 [#]	177.5±0.7	180
20	218.8±0.4*	200.7±2.3 [#]	223.9±0.6	225
25	260.7±0.6*	245.3±2.3 [#]	269.9±0.9	270
30	306.5±0.7*	284.0±2.2 [#]	302.6±1.2	315
35	352.9±0.5*	326.5±2.1 [#]	346.7±1.2	360
40	398.7±0.8*	357.3±2.0 [#]	385.5±1.4	405
45	445.9±0.8*	393.3±2.3 [#]	420.9±1.7	450
50	491.4±0.7*	424.1±1.8 [#]	460.7±1.8	495
55	528.2±0.3*	465.7±1.7 [#]	504.8±2.0	540
CV	0.2 %	0.9 %	0.4 %	

Values are mean and SD

* Significant difference between FR and PM, FR and ES

[#] Significant difference between ES and PM



FR: Fujin rajjin, PM: POWER MAX V3, ES: EXCALIBUR SPORT 2500

Fig. 2 Power difference during each test shown as power output relative to reference value

($F=3.842$, $\eta^2=0.026$, $p<0.001$). また、機種間のパワー値に有意な主効果が認められた ($F=2397.984$, $\eta^2=0.862$, $p<0.001$). FR は PM および ES に比べ、すべての回においてパワー値が有意に大きかった ($p<0.05$). また、PM は ES に比べ 5 回および 6 回目を除いてパワー値が有意に大きかった ($p<0.05$). 加えて、パワーの変動係数は FR 0.3%, PM 0.4%, ES 1.2% であった。

(3) 漸増負荷テスト

機種と時間の間に有意な交互作用が認められた ($F=604.943$, $\eta^2=0.985$, $p<0.001$). また、機種間のパワー値に有意な主効果が認められた ($F=1418.902$, $\eta^2=0.010$, $p<0.001$). FR は PM および ES に比べ、開始 5 分から 55 分においてパワー値が有意に大きかった ($p<0.01$). また、PM は ES に比べ開始 5 分から 55 分においてパワー値が有意に大きかった ($p<0.001$). 加えて、パワーの変動係数は FR 0.2%, PM 0.9%, ES 0.4% であった。

IV. 考 察

本研究では、3 機種の自転車エルゴメーターについて、設定負荷と車軸から発揮されるパワー値との差の比較により負荷精度の検討を行った。その結果、FR は PM および ES に比べ、定常負荷・高負荷・漸増負荷の負荷様式において、設定負荷に対するパワーの誤差が小さく、自転車エルゴメーターの使用時間および回数の経過にともなうパワーの変動も少ない傾向にあることが示された。

まず、仕様書に記載されている負荷精度 (Load accuracy) (表 1) と本実験における実際の誤差 (Power difference) (表 2, 3) について考察を行う。FR の誤差平均は 60 分間定常負荷テスト (-1.8%), 30 秒間ウィングートテスト (0.2%) において仕様書に示されている負荷精度 $\pm 3\%$ 以内であった。一方、ES の誤差平均は 60 分間定常負荷テスト (-4.8%), 30 秒間ウィングートテスト (-5.1%) において負荷精度 $\pm 2\%$ を上回っていた。PM については仕様書に負荷精度の記載はなく、誤差平均は 60 分間定常負荷テスト (-3.0%), 30 秒間ウィングートテスト (-3.2%) であった。本研究で使用した自転車エルゴメーターと同様の渦電流制御式の海外製品に関する先行研究では、Maxwell ら⁹⁾が自転車エルゴメーター 5 種 (Siemens 2 機種, Elema-Schonander, Ergoline, Warren E. Collins) の負荷精度を検証した結果、100~400 W の負荷条件における誤差平均は 0.5~2.3% であった。また、Wilmore ら¹⁶⁾は 49~147 W の負荷で被験者が駆動させた際の自転車エルゴメーター 4 種 (機種名は明示していない) の誤差平均は $\pm 3\%$ であったことを報告している。これら 2 つの先行研究と本研究の設定負荷や回転数が異なるため、一概に

比較はできないが 309 W の定常負荷テストと約 1019 W の負荷での 30 秒間ウィングテストを用いた本研究では負荷設定が先行研究よりも大きいにも関わらず、FR および PM は先行研究と同程度の誤差範囲であるといえる。

90 rpm で 1~6 kp までの漸増負荷テストでの誤差平均は、FR (-0.7~4.0%)、PM (-14.3~-7.7%)、ES (-6.9~0.0%) であり、他の試験に比べて全ての自転車エルゴメーターにおいてパワー値の誤差が大きかった。しかし、ES は負荷が 1.5~2.5 kp の 15 分間は仕様書に示されている負荷精度 $\pm 2\%$ 以内を示し、FR は負荷値が 2 kp 以上となる 15 分以降においては負荷精度 $\pm 3\%$ 以内であり、機種によってその特徴は異なることが示唆された。

中村¹¹⁾は、0~200 rpm までの様々なペダル回転数の初期値からスタートした場合のパワーの変化を検討し、漸増負荷に対するペダル回転数の応答が目標値に到達するまでには 1~5 秒程度の時間を要することを示している。この点を考慮し、漸増負荷テストのデータ処理の際はトルクやペダル回転数が安定する開始 5 秒以降のデータをサンプリングしたが、定負荷条件に比べパワーの誤差が大きかった。自転車エルゴメーターのパワーは車輪の慣性力により直近の数値に影響を受けるという先行研究^{1,2,10)}と本研究の結果を鑑みると、負荷が段階的に変化する漸増負荷テストのような条件下ではパワー発揮の際に直近の負荷の影響を受けやすいことが推測される。また、PM および ES は時間経過すなわち負荷増加にともないパワーの誤差が大きくなる傾向に対し、FR は時間変動が少なかった。先に述べた車輪の慣性力に加え、連続使用にともなう機械的熱産生による摩擦抵抗の変化が影響している可能性が推察される。

自転車エルゴメーターのパワー発揮においては、クランク長、クランク角度、サドルの高さ、負荷装置等の自転車エルゴメーターの構造的要因に加え、対象者の身体的要因が相互に影響を与えながらパワー値を決定している^{8,12,16)}。本研究では、被験者の身体的要因による影響を除外し、自転車エルゴメーターの車軸から発生するトルクを計測しているため、自転車エルゴメーター内部の負荷装置が発揮パワーと関連していることが考えられるが、今回使用した 3 つの自転車エルゴメーターは、いずれも渦電流制御式の負荷システムを搭載している。本

究では負荷装置の構造について詳細な比較検討を行っていないものの、連続使用に伴う温度上昇や回転数の増加に対する負荷調整機能がそれぞれの自転車エルゴメーターで異なる可能性が考えられる。FR は、温度センサーで温度上昇を検知・抑制すると同時に回転数に合わせて負荷を調整する機能を有していることが、安定したパワー発揮の要因の一つとして推測される。いずれにしても機種によっては複数人で連続的に繰り返し行う測定やトレーニングでの使用については、注意を払う必要があるといえよう。今後の検討課題として、被験者が自転車エルゴメーターを駆動させた場合の負荷精度についてさらに検証を行い、本研究の結果と比較するなどして実際の測定やトレーニングで用いる際のデータの評価や解釈に役立たせることが期待される。

V. 結 語

本研究より、既存の 3 機種の自転車エルゴメーターにおける設定負荷と実際に車軸から発揮されるパワーとの間には一定の誤差が存在し、自転車エルゴメーターの機種および負荷様式によってその傾向が異なることが明らかとなった。本研究では、実際の測定やトレーニング等のスポーツ現場を想定し、様々な競技で自転車エルゴメーターを複数人が連続使用するような設定としたため、高負荷で駆動時間や回数を多く設定し測定を行った。その結果、風神雷神は定常負荷・高負荷・漸増負荷のいずれの負荷様式においても、今回使用した他の 2 機種に比べ、設定負荷と実負荷の誤差および時間・回数の経過にともなう変動が少なく、安定したパワー発揮がなされていることや、機種によって繰り返し連続使用する場合には、注意が必要であることが示唆された。本研究で得られた知見が、医療・スポーツ現場のトレーニングやフィジカルチェックの測定等において、それらのデータを評価する際の参考となることが期待される。本研究では被験者が関与しておらず、自転車エルゴメーターの構造的要因を反映した結果ともいえるため、人が駆動した場合の負荷精度をさらに検討することが今後の課題である。

引用文献

- 1) Abbis, C. R., Quod, M. J., Levin G, Martin, D. T., Laursen, P. B.: Accuracy of the Velotron ergometer and SRM power

- meter. *Int J Sports Med.*, 30: 107-112, 2009.
- 2) Bassett, D. R.: Correcting the Wingate test for changes in kinetic energy of the Ergometer flywheel. *Int J Sports Med.*, 10: 446-449, 1989.
 - 3) Beneke, R., Pollmann, C., Bleif, I., Leithäuser, R., Hütler, M.: How anaerobic is the Wingate Anaerobic Test for humans? *Eur J Appl Physiol.*, 87: 388-392, 2002.
 - 4) Bertucci, W., Duc, S., Villerius, V., Grappe, F.: Validity and reliability of the Axiom Power Train cycle ergometer when compared with an SRM powermeter. *Int J Sports Med.*, 26: 59-65, 2005.
 - 5) Dotan, R., Bar-Or, O.: Load optimization for the Wingate anaerobic test. *Eur J Appl Physiol.*, 51: 409-417, 1983.
 - 6) Hopker, J., Myers, S., Jobson, S.A., Bruce, W., Passfield, L.: Validity and Reliability of the Wattbike Cycle Ergometer. *Int J Sports Med.*, 31: 731-736, 2010.
 - 7) 池田達昭: 日本人一流競技者の形態および一般的体力測定の結果に基づく評価基準表の作成. *Japan J Elite Sports Support.*, 4: 1-14, 2012.
 - 8) Inbar, O., Dotan, R., Trosul, T., Dvir, Z.: The effect of bicycle crank-length variation upon power performance. *Ergonomics.*, 26: 1139-1146, 1983.
 - 9) Lakomy, H. K. A.: Measurement of work and power output using friction-loaded cycle ergometers. *Ergonomics.*, 29: 509-517, 1986.
 - 10) Maxwell, B. F., Withers, R. T., Ilsley, A. H., Wakim, M. J., Woods, G. F., Day, L.: Dynamic calibration of mechanically, air- and electromagnetically braked cycle ergometers. *Eur J Appl Physiol.*, 78: 346-352, 1998.
 - 11) 中村好男: 自転車エルゴメーターによる最大パワー評価の問題点. *早稲田大学人間科学研究.*, 1: 105-113, 1988.
 - 12) Nordeen-Snyder, K. S.: The effect of bicycle seat height variation upon oxygen consumption and lower limb kinematics. *Med Sci Sports Exerc.*, 9: 3-117, 1977.
 - 13) Paton, C. D., Hopkins, W. G.: Tests of cycling performance. *Sports Med.*, 31: 489-496, 2001.
 - 14) Paton, C. D., Hopkins, W. G.: Ergometer error and biological variation in power output in a performance test with three cycle ergometers. *Int J Sports Med.*, 27: 444-447, 2006.
 - 15) Tashiro, K., Hirakawa, K.: Training Effects on Endurance Capacity in Maximal Intermittent Exercise: Comparison Between Continuous and Interval Training. *J Strength Cond Res.*, 23: 2405-2410, 2009.
 - 16) Vandewalle, H. and Driss, T.: Friction-loaded cycle ergometers: Past, present and future. *Cognet Engineering.*, 2: 1-25, 2015.
 - 17) Wilmore, J. H., Constable, S. H., Stanforth, P. R., Buono, M. J., Tsao, Y. W., Roby, F. B. Jr., Lowdon, B. J., Ratliff, R. A.: Mechanical and physiological calibration of four cycle ergometers. *Med Sci Sports Exerc.*, 14: 322-325, 1982.