

## 研究ノート (資料)

# 自転車エルゴメーターにおける 負荷精度および最大無酸素パワー測定精度の検討

新谷 昴\*, 野村 由実\*\*, 杉田 正明\*

## The accuracy of load and maximum anaerobic power measurement in cycle ergometer

Subaru Shintani\*, Yumi Nomura\*\*, Masaaki Sugita\*

### 要 約

本研究は、自転車エルゴメーターに表示された負荷および回転数から算出される基準値とトルクおよび回転数から算出された実測値を検証することで、負荷精度、最大無酸素パワー測定精度を明らかにすることを目的とした。2機種 of 自転車エルゴメーターを対象とし、現場で取り組まれているトレーニングプロトコルを模した負荷精度測定試験を行い、機械的に駆動させ、車軸にトルクメーターを連結させた。その結果、1kp、2kp、4kpにおいてPOWER-MAX V3で精度誤差が有意に高値を示した ( $P < 0.001$ ,  $P < 0.001$ ,  $P < 0.01$ )。また、POWER-MAX V3は各負荷1セット目が最も負荷が大きくなりやすい傾向があることが示された。これらの結果より、自転車エルゴメーターの機種が異なると、同負荷であっても発揮パワー、最大無酸素パワーが異なる可能性が示された。

キーワード：自転車エルゴメーター、最大無酸素パワー、トルクメーター、負荷精度

### Abstract

The purpose of this study was to verify the accuracy of load and maximal anaerobic power measurement by comparing the reference values calculated from the load and rpm displayed on the cycle ergometer with the actual measured values calculated from the torque and rpm. The measurement test of load accuracy was performed using the Fujin-Raijin and POWER-MAX V3, with reference to the training protocol being used in the field. The cycle ergometer was mechanically driven, and a torque meter was connected to the axle. The power difference of POWER-MAX V3 was significantly higher at 1 kp, 2 kp, and 4 kp ( $P < 0.001$ ,  $P < 0.001$ ,  $P < 0.01$ ). It was also shown that POWER-MAX V3 tended to have the largest positive load accuracy in the first set, which was immediately after switching the load. These results indicate that different models of cycle ergometers may produce different power and different maximal anaerobic power even at the same load.

Key words : bicycle ergometer, maximum anaerobic power, torque meter, load accuracy

\* 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

\*\* 千葉工業大学  
〒275-0016 千葉県習志野市津田沼 2-17-1  
Chiba Institute of Technology  
2-17-1 Tsudanuma, Narashino-shi, Chiba, 275-0016, Japan

受付日：2022年7月6日

受諾日：2022年11月7日

## I. 緒 言

自転車エルゴメーターは、医療やスポーツの現場で活用されている固定式の自転車運動負荷機器である。安全性が高く、簡便に負荷を調整できることからリハビリテーションや運動療法、アスリートの有酸素性能力および無酸素性能力の向上などを目的とし幅広く活用されている。しかし、運動強度を決定する要因の一つである負荷の精度については機種によって差があることが報告されている<sup>3,4,5,11)</sup>。Abbissらは、海外で取り扱われている自転車エルゴメーターであるVelotronのパワー値の精度を検討したところ、定常負荷試験(250W, 414W)では、誤差が1%未満だったのに対し、高強度インターバル試験では、精度が低下することを報告している<sup>1)</sup>。また、負荷精度が明らかにされていない機種も存在することから、自転車エルゴメーターに表示された負荷および回転数から算出される基準値とトルクおよび回転数から算出された実測値を検証することは目的に応じたメニューを正確に作成する上で重要である。

先行研究では、自転車エルゴメーターの負荷精度および負荷様式によって差異が認められることが報告されているが、実施しているウィングテストで使用された負荷は1種類であったため、様々な体重の測定者を想定したものではなかった<sup>8)</sup>。無酸素パワー向上を目的とした自転車エルゴメーターを用いたトレーニングは、競技スポーツの現場で実施されている<sup>2,9)</sup>。また、アスリートの無酸素パワーを評価する目的で最大無酸素パワーの測定が行われている<sup>6,10)</sup>。現場での測定精度を議論するためには、実際に取り組まれているトレーニングプロトコルを模した負荷精度測定試験を実施する必要がある。

本研究は、国内で流通している2機種の自転車エルゴメーター(風神雷神, POWER-MAX V3)に表示された値と実測値を比較し、自転車エルゴメーターの負荷精度および最大無酸素パワー測定精度を検証することを目的とした。

## II. 方 法

### A. 使用機器

渦電流制御式の負荷システムを搭載する自転車エルゴメーターである風神雷神(大橋知創研究所社製, 日本),

表1 トルクメーターの校正結果(Nm)

錘(kg)	$\Delta T$ (Nm)	$T_0$ (Nm)	誤差(Nm)
2.04	2.03	2.09	-0.06
10.06	11.40	11.59	-0.19
20.06	21.23	21.50	-0.27

POWER-MAX V3(コナミライフ&フィットネススポーツ社製, 日本:以下POWER-MAX)の2機種を使用した。どちらの自転車エルゴメーターも本測定を実施した年に納品されたもので、使用期間は1年未満であった。

トルクの測定は、野村らの方法を用いて、自転車エルゴメーターに連結したモーター装置(GM-DP 5.5kW, 三菱電機社製)でクランク軸を回転させ、その際のトルクおよび回転数をトルクメーター(UTM II -500Nm, ユニパルス社製)で測定した<sup>7)</sup>。サンプリング周波数は1000Hzとした。

トルクメーターの校正は、以下の手順に沿って精度誤差が製品仕様の範囲内である $\pm 0.03\%$  F.S.(フルスケール)であることを確認し、測定を実施した。

自転車エルゴメーターにクランクシャフトを取り付けた際のトルクメーターの値を $T_1$ (N・m)、さらに錘をクランクシャフトに取り付けた際のトルクメーターの値を $T_2$ (N・m)とした。錘の実測トルク「 $\Delta T = T_2 - T_1$ 」と基準値 $T_0$ の誤差を算出した。基準値 $T_0$ は以下の式の通り算出した。

$$T_0 = LMg \cos \theta$$

L:クランク長(m), M:錘の重さ(kg), g:重力加速度( $m/s^2$ ),  $\theta$ :クランク角度( $^\circ$ )

本研究で使用した製品は適正範囲が $\pm 500$ Nmであり、 $-500$ Nmから $+500$ Nmまでが測定範囲となることから、全測定範囲は1000Nmとなる。本研究で設定している精度誤差は、製品仕様の範囲内である $1000$ Nm $\times 0.03\% = \pm 0.3$ Nmとしている。校正結果は、表1に示す。

また、各種自転車エルゴメーターの負荷装置表面温度は、赤外線温度計(TN103, オーム電機社製)を用いて、各試験開始前に自転車エルゴメーターの保護カバーを外して計測を行った。測定した各試験における自転車エルゴメーターの負荷装置の表面温度を表2に示した。

### B. 負荷精度測定試験

負荷精度測定試験は、現場でトレーニングとして実施

表2 自転車エルゴメーターの負荷装置の表面温度変化(°C)

試験No.	POWER-MAX		風神雷神	
	開始時温度(°C)	終了時温度(°C)	開始時温度(°C)	終了時温度(°C)
1	30.6	46.4	30.4	58.1
2	30.9	53.6	30.6	60.3
3	30.7	54.1	30.1	58.8
4	30.4	53.1	30.7	55.9
5	30.7	47.0	30.6	51.0
6	30.6	39.6	30.6	46.2
7	30.4	37.0	30.3	41.1
8	30.8	33.0	29.9	34.5
9	30.1	29.0	29.5	27.0

されているトレーニングプロトコルを模したものを使用した。試験 No. 1-9 の順に駆動時間を 20 秒、インターバル時間を 150 秒とし、同一設定負荷で連続して 10 回のトルク測定を行い、次の設定負荷へ移行した。試験項目を表 3 に示した。測定データは、トルクおよび回転数が安定する 8-10 秒間のもを使用した。各試験は、温度条件を統一するために 10 回のトルク測定が終了する毎に自転車エルゴメーターの負荷装置表面温度を測定し、表面温度が  $30 \pm 1^\circ\text{C}$  であることを確認した後に次の試験を開始した。測定環境は、室温  $18-21^\circ\text{C}$ 、湿度 38-48% であった。全ての測定試験において一定の回転数を保つために、被験者は乗車せず、機械的に同じ回転数を維持して検討を行った。

### C. データ処理

以下の式の通り、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。10 セットのパワー値の平均を平均パワー値とした。

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

また、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を算出し、パワー値と基準値の差をパーセンテージで示したものを精度誤差とした。

最大無酸素パワー値は、3 種の負荷から算出した。体重および第 1, 第 2 試行の回転速度によって負荷の決定を行い、負荷と回転速度の関係から得られた値を基準値とした<sup>7)</sup>。算出に使用した 3 点の負荷を表 4 に示した。

表3 試験項目

試験No.	負荷(kp)	回転数(rpm)
1	9	100
2	8	120
3	7	140
4	6	160
5	5	180
6	4	200
7	3	220
8	2	240
9	1	260

3 種の負荷から得られた実際のパワー値と各負荷の 3 点を通る二次式を求め、その最大値を最大無酸素パワー値とした。最大無酸素パワー値の算出に使用した値は、負荷精度測定試験によって得られたトルクデータにペダル回転数を乗じたパワー値(W)を使用し、体重および第 1, 第 2 試行の回転速度によって決定された 3 点の負荷に該当する値を各セット毎に抽出した。

### D. 統計処理

測定値は全て平均 $\pm$ 標準偏差で示した。二元配置分散分析を用い、下位検定として Sidak の多重比較検定を行った。検定における統計学的有意水準は 5% 未満とした。

表 4 最大無酸素パワー値の算出負荷

体重(kg)		第1負荷	第2負荷	第3負荷
男性	女性	(kp)	(kp)	(kp)
80-	-	5	8	9
60-79	70-	4	7	9
-59	50-69	3	6	9
-	-49	2	5	8

表 5 各負荷における平均パワー値 (W)

	基準値	風神雷神		POWER-MAX	
		平均±標準偏差	変動係数	平均±標準偏差	変動係数
1kp	254.8	259.9±1.1	0.43	369±16.9***	4.57
2kp	470.4	485.3±4.7	0.97	534.5±4.8***	0.89
3kp	646.8	663.3±3.5	0.53	677.0±8.2*	1.21
4kp	784.0	798.1±4.9	0.61	824.4±11.2***	1.36
5kp	882.0	885.7±5.7	0.64	891.3±9.4	1.06
6kp	940.8	936.8±3.9	0.42	953.9±12.0***	1.26
7kp	960.4	968.3±2.1	0.22	964.6±13.9	1.44
8kp	940.8	947.2±2.1	0.22	944.8±13.8	1.46
9kp	882.0	890.7±1.6	0.17	873.9±16.4**	1.87

\*P<0.05, \*\*P<0.01, \*\*\*P<0.001 vs 風神雷神

Ⅲ. 結 果

A. 各負荷における平均パワー値

各負荷における平均パワー値を表5に示す。二元配置分散分析を行なった結果、負荷の主効果 (F(8, 162) = 11156, p<0.001) および機種間の主効果が有意であった (F(1, 162) = 235.2, p<0.001)。また、交互作用が有意であった, F(8, 162) = 77.25, P<0.001 (図1)。多重比較検定を行なった結果, 1kp, 2kp, 3kp, 4kp, 6kpにおいてPOWER-MAXで有意に高かった (P<0.001, P<0.001, P<0.05, P<0.001, P<0.001, 図1)。9kpにおいて風神雷神で有意に高かった (P<0.01, 図1)。

B. 各負荷および各セットにおける精度誤差

本研究で行った全ての測定項目における精度誤差 (%) は、風神雷神において1.3±1.2%, POWER-MAXにおいて7.8±13.9%であった。各負荷における精度誤差を

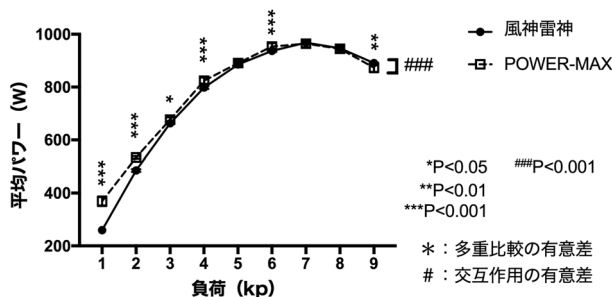


図 1 各負荷における平均パワー値

表3に示す。二元配置分散分析を行なった結果、負荷の主効果 (F(8, 162) = 299.2, P<0.001) および機種間の主効果が有意であった (F(1, 162) = 502.1, P<0.001)。また、交互作用が有意であった, F(8, 162) = 260.6, P<0.001 (図2)。多重比較検定を行なった結果, 1kp, 2kp, 4kpにおいてPOWER-MAXで有意に大きい値を示した (P<0.001, P<0.001, P<0.01, 図2)。また、各セットにおける精度誤差を図3に示した。

C. 最大無酸素パワー値

最大無酸素パワー値 (W) は、49 kg 以下の女性であると仮定して算出したものは、風神雷神で  $964.5 \pm 4.6$  W, POWER-MAX で  $960.7 \pm 12.4$  W であった。50-69 kg の女性および 59 kg 以下の男性であると仮定して算出したものは、風神雷神で  $957.1 \pm 3.8$  W, POWER-MAX で  $967.5 \pm 13.0$  W であった。70 kg 以上の女性および 60-79 kg の男性であると仮定して算出したものは、風神雷神で  $968.3 \pm 2.1$  W, POWER-MAX で  $965.6 \pm 13.6$  W であ

った。80 kg 以上の男性であると仮定して算出したものは、風神雷神で  $965.2 \pm 3.4$  W, POWER-MAX で  $971.6 \pm 12.9$  W であった。各セットにおける最大無酸素パワー値を図4に示した。

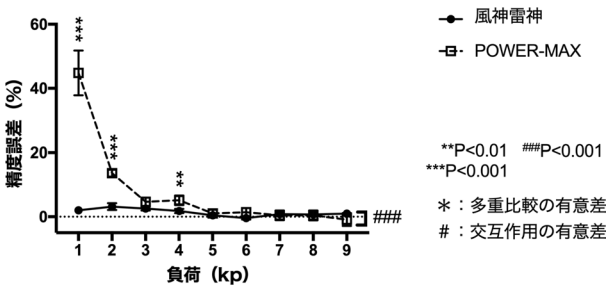


図2 各負荷における精度誤差

D. 最大無酸素パワー値の精度誤差

最大無酸素パワー値の精度誤差 (%) は、49 kg 以下の女性であると仮定して算出したものは、風神雷神で  $0.42 \pm 0.47\%$ , POWER-MAX で  $0.02 \pm 1.28\%$  であった。50-69 kg の女性および 59 kg 以下の男性であると仮定して算出したものは、風神雷神で  $-0.35 \pm 0.40\%$ , POWER-MAX で  $0.72 \pm 1.31\%$  であった。70 kg 以上の女性および 60-79 kg の男性であると仮定して算出したものは、風神雷神で  $0.82 \pm 0.21\%$ , POWER-MAX で  $0.52 \pm 1.38\%$  であった。80 kg 以上の男性であると仮定して算出したものは、風神雷神で  $0.50 \pm 0.35\%$ , POWER-MAX で  $1.14 \pm 1.30\%$  であった。各セットにおける最大無酸素パワー値の精度誤差を図5に示した。

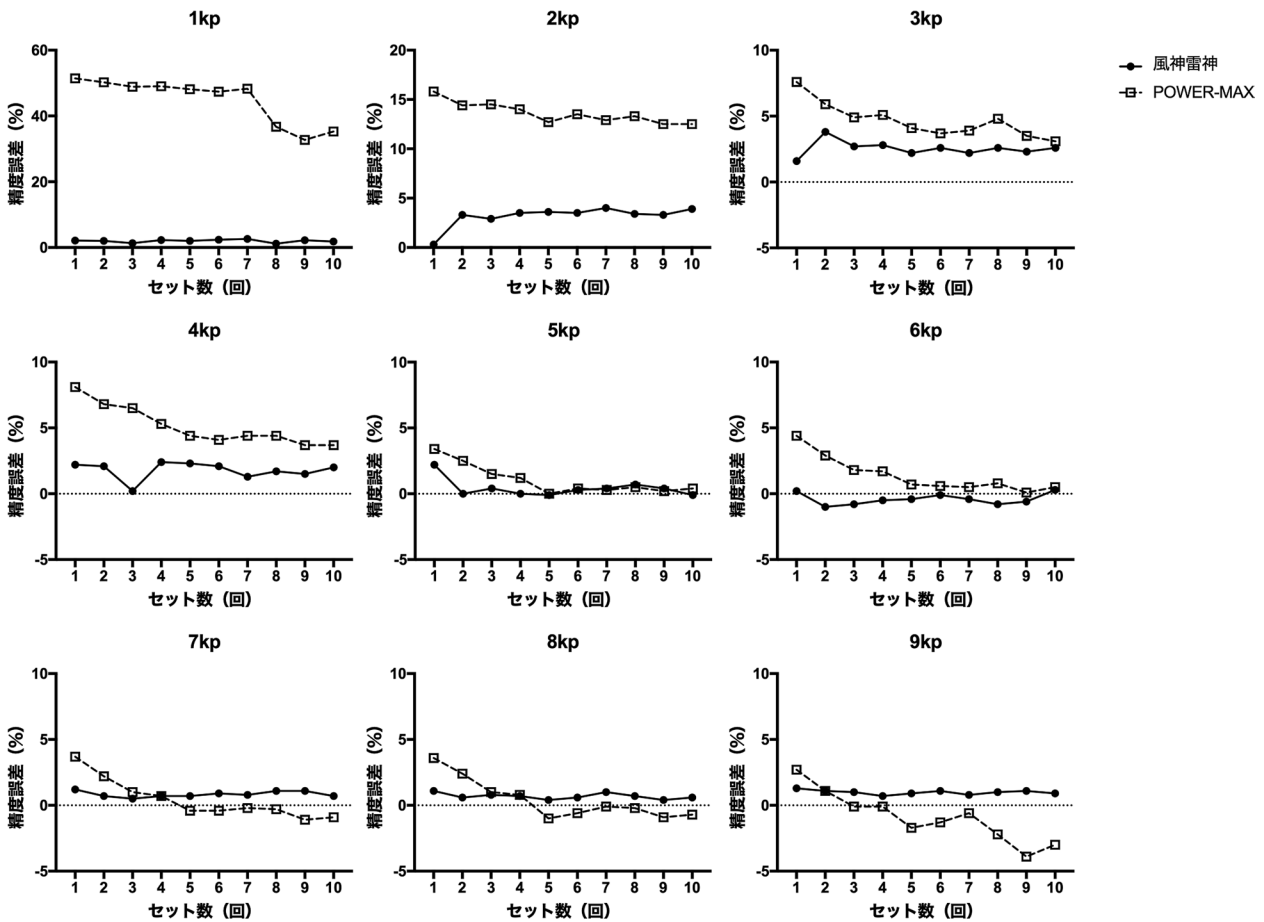


図3 各セットにおける精度誤差

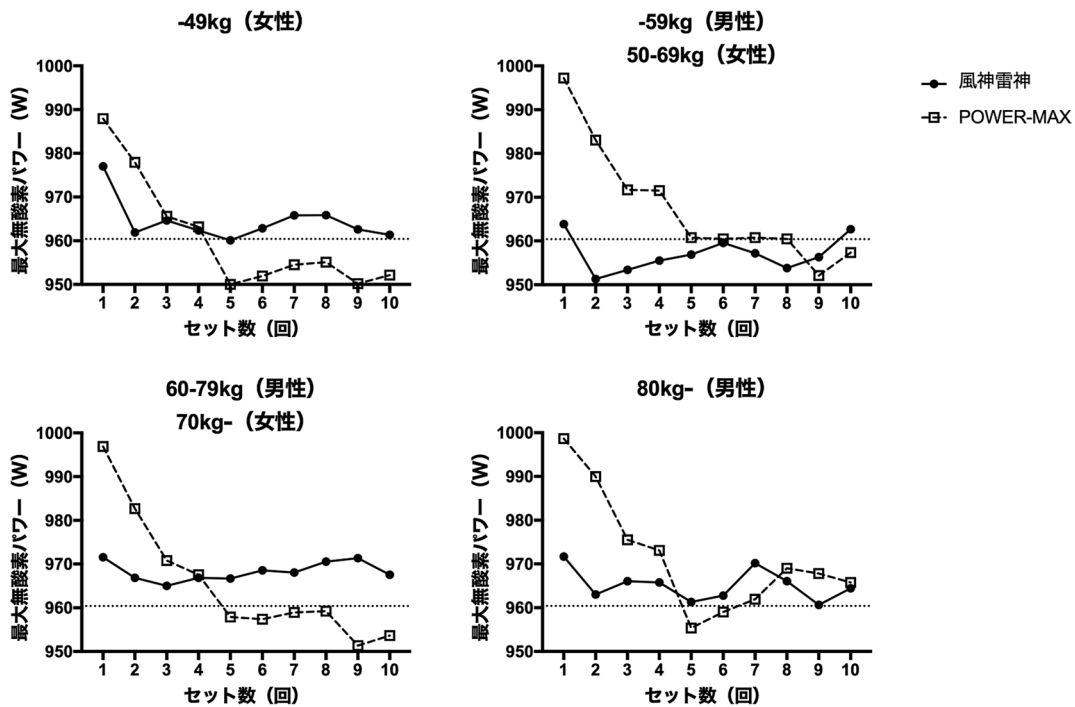


図4 各セットにおける最大無酸素パワー値

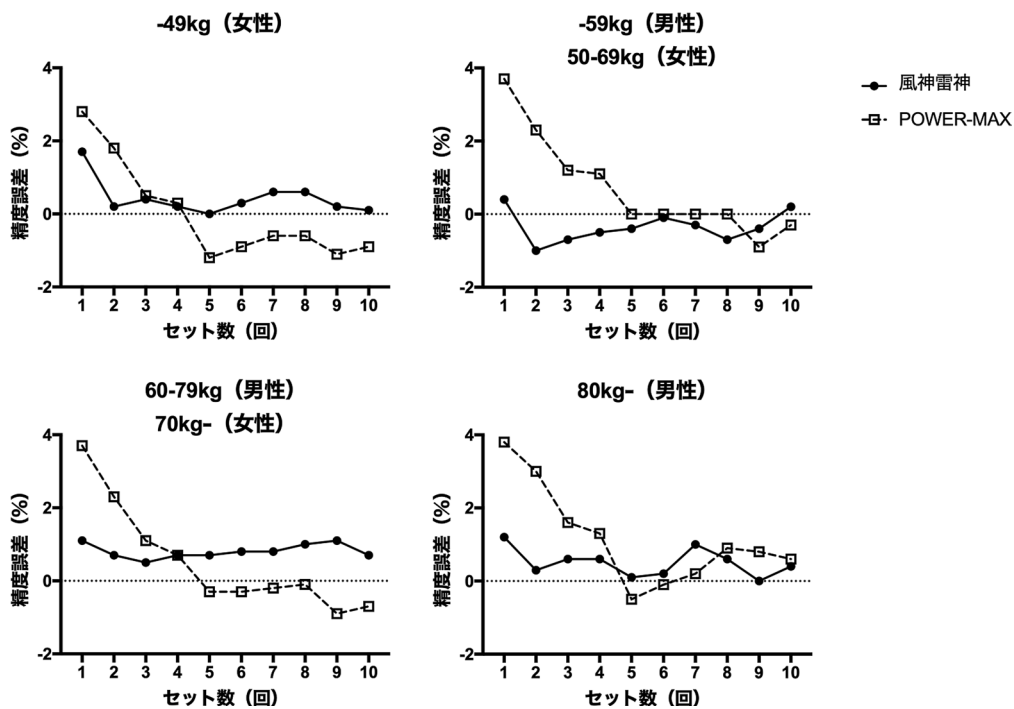


図5 各セットにおける最大無酸素パワー値の精度誤差

#### IV. 考 察

本研究は、実際に現場で取り組まれているテストプロトコルを模した負荷精度測定試験を実施し、国内で流通

している2機種の自転車エルゴメーターに表示された値と実測値を比較することで、負荷精度および最大無酸素パワー測定精度の検討を目的とした。

各負荷における平均パワー値 (W) は、1kp, 2kp の負荷で POWER-MAX において有意に高い平均パワー値

を示すことが明らかとなった(図1)。本研究で行った全ての測定項目における精度誤差(%)は、風神雷神において $1.3 \pm 1.2\%$ 、POWER-MAXにおいて $7.8 \pm 13.9\%$ であった。風神雷神は、仕様書に負荷精度 $\pm 5\%$ と記載されており、本研究の精度誤差の範囲内であることが明らかとなった。POWER-MAXでは、仕様書に負荷精度に関する記載は存在していないことから、本研究結果が重要な知見となりうる可能性が示された。1kp、2kpの各負荷における精度誤差(%)は、風神雷神で $2.0 \pm 0.4\%$ 、 $3.2 \pm 1.0\%$ 、POWER-MAXで $44.8 \pm 6.6\%$ 、 $13.6 \pm 1.0\%$ であった(図2)。これらのことからPOWER-MAXにおいて、1kpや2kpといった比較的軽い負荷では設定よりも重い負荷がかかっている可能性が示唆された。本研究と同機種の自転車エルゴメーターを使用して行われた先行研究では、回転数90rpm、初期負荷1kpからスタートし、5分毎に0.5kpずつ最大負荷6kpまで増加させていく漸増負荷テストにおいて、POWER-MAXは全体的に過小な負荷となることが報告されている<sup>8)</sup>。本研究とは測定条件が異なり、先行研究では連続使用での影響を検証していることから単純に比較することはできないが、対象機種は同機種間において個体差がある可能性が考えられる。本研究では、各種自転車エルゴメーターの個体差の検証は行えていないため、今後は同機種間での個体差や使用による経年変化の影響を検証する必要がある。

次に各セットにおける精度誤差を検討したところ、風神雷神は1-10セットまで安定した横ばいのグラフを示すが、POWER-MAXではセット間の値に変動がみられた。各負荷1セット目が最も負荷が大きくなり、5セット目までセット毎に精度誤差が漸減する傾向が示された。本研究で最も重い負荷であった9kpにおいては、5セット目以降もセットを重ねる毎に漸減していた(図3)。このことから、トレーニング現場においてPOWER-MAXで複数のセットを実施する場合は、各負荷1セット目が最も負荷が大きく、回転数が上がりにくい可能性があることを考慮する必要がある。また、5セット目までは負荷精度が漸減し、6セット以降に安定することから、トレーニングを継続したことによるパワー値の変化を記録する際は、各セットのパワー値全ての平均値を使用する、もしくは、同条件、同セットのパワー値を用いて比較を行うことが望ましいと考える。

また、本研究の負荷精度測定試験の測定結果から、ど

ちらの機種にも搭載されている最大無酸素パワーテストの算出方法に則り、回転数と負荷から算出された値を基準値とし、実際のトルクから算出された実測値との精度誤差を各セット毎に検討した。本研究の負荷精度測定試験は、再現性を評価するために各負荷10セットずつ測定を行っている。実際の無酸素パワーテストは、性別、体重、回転数から3種の負荷を決定し、低い負荷から1セットずつ測定を行うため本来の測定手順とは異なるが、負荷精度が及ぼす影響を検討するために最大無酸素パワー値の算出を行った。どの区分においても、最大無酸素パワー値およびその精度誤差ともに、風神雷神は1-10セットにおいて安定した横ばいのグラフを示したが、POWER-MAXではセット間の値に変動がみられた(図4、5)。最大無酸素パワーテストは、異なる3種の負荷で計測された回転数を基に算出される。POWER-MAXは各負荷1セット目が最も負荷が大きくなりやすい傾向があることから、同じ負荷で複数のセットを実施する場合よりも基準値と実測値が大きく乖離する可能性が推測される。

本研究の結果より、今回使用した風神雷神およびPOWER-MAXにおいては、同じ負荷であっても異なる発揮パワーを示すことが明らかとなった。

しかしながら、本研究では風神雷神およびPOWER-MAXのいずれにおいても1台の結果であったため個体の特性である可能性が考えられる。今後は、同一機種間の個体差について検討を行う必要がある。今回の測定方法では、自転車エルゴメーターに連結したモーター装置でクランク軸を回転させることで規定した回転数を維持することが可能となっているが、実際にヒトが乗車し測定を行う際は、回転数が定常状態となることはない。また、本研究で使用したデータは回転数が規定の回数に到達し、安定した8-10秒間のトルクからパワー値を算出しているが、測定直後から回転数が規定の回数に到達するまでの立ち上がり時のデータは含まれていない。今後はこれらの点を考慮し、ヒトが乗車した際の負荷精度を検証することが課題である。

## V. 結 論

本研究では、現在国内で流通している2機種の自転車エルゴメーター(風神雷神、POWER-MAX)を対象とし、

実際に現場で取り組まれているトレーニングプロトコルを模した負荷精度測定試験を実施することで、負荷精度および最大無酸素パワー測定精度について検討した結果、以下のことが明らかとなった。

- ① 本研究で行った全ての測定項目における精度誤差(%)は、風神雷神において $1.3 \pm 1.2\%$ 、POWER-MAXにおいて $7.8 \pm 13.9\%$ であった。
- ② 風神雷神と比較すると、1kp, 2kp, 4kpにおいてPOWER-MAXで精度誤差が有意に大きな値を示した。
- ③ POWER-MAXは各負荷1セット目が最も負荷が大きくなりやすく、5セット目まで漸減する傾向を示した。
- ④ 最大無酸素パワー値は、風神雷神と比較するとPOWER-MAXにおいてセット毎の変動が大きい傾向がみられた。

実際にトレーニング現場で使用されているトレーニングプロトコルを模した試験で検証を行った結果、風神雷神は精度誤差が比較的小さいことが明らかとなった。POWER-MAXを小さい負荷で使用する際は、負荷精度に関して若干の注意が必要である。

#### 引用文献

- 1) Abbiss, C. R., M. J. Quod, G. Levin, D. T. Martin, P.B. Laursen : Accuracy of the Velotron ergometer and SRM power meter. *Int J Sports Med.*, 30(2) : 107-112, 2009.
- 2) Franchini, M., U. F. Julio, V. L. G. Panissa, F. S. Lira, J. Gerosa-Neto, B. H. M. Branco : High-Intensity Intermittent Training Positively Affects Aerobic and Anaerobic Performance in Judo Athletes Independently of Exercise Mode. *Front. Physiol.*, 28(7) : 268, 2016.
- 3) Hopker, J., S. Myers, S. A. Jobson, W. Bruce, L. Passfield : Validity and reliability of the Wattbike cycle ergometer. *Int J Sports Med.*, 31(10) : 731-736, 2010.
- 4) Lunn, W. R., R. S. Axtell : Validity and Reliability of the Lode Excalibur Sport Cycle Ergometer for the Wingate Anaerobic Test. *J. Strength Cond Res.*, 35(10) : 2894-2901, 2021.
- 5) Maxwell, B. F., R. T. Withers, A. H. Ilsley, M. J. Wakim, G. F. Woods, L. Day : Dynamic calibration of mechanically, air- and electromagnetically braked cycle ergometers. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.*, 78(4) : 346-352, 1998.
- 6) 三宅章介, 佐々木敏, 蓑内 豊, 角田和彦:男子大学スポーツ選手の最大無酸素パワーラグビー・アメリカンフットボール・陸上競技を中心として一. 北星学園大学経済学部北星論集, 42(2) : 89-93, 2003.
- 7) 中村好男:最大無酸素パワーの自転車エルゴメーターによる測定法. *J. J. Sports Sci.*, 3 : 834-839, 1984.
- 8) 野村由実, 杉田正明:自転車エルゴメーターにおける負荷精度の検討. *トレーニング科学*, 32(1) : 33-39, 2020.
- 9) 佐藤雄太, 森 寿仁, 小山田和行, 藤田英二, 山本正嘉:補助トレーニングとして行う自転車エルゴメーターを用いた高強度インターバルトレーニングは柔道競技に必要なとされる持久力を向上させる. *スポーツパフォーマンス研究*, 10 : 175-187, 2018.
- 10) 砂川力也, 増澤拓也:12週間のレジスタンストレーニングが大学女子ラクロス選手の体力変化に及ぼす影響:脚筋パワー, 無酸素パワーおよびバランス能力に着目した実践的研究. *琉球大学教育学部紀要*, 92 : 301-311, 2018.
- 11) Wilmore, J. H., S. H. Constable, P. R. Stanforth, M. J. Buono, Y. W. Tsao, F. B. Roby Jr, B. J. Lowdon, R. A. Ratliff : Mechanical and physiological calibration of four cycle ergometers. *Med Sci Sports Exerc.*, 14(4) : 322-325, 1982.