

自転車エルゴメーターによる無酸素パワーとペダル踏力の測定法

Method for anaerobic power and pedal force on bicycle ergometer.

田中重陽*, 角田直也**

Shigeharu TANAKA* and Naoya TSUNODA**

プロジェクト研究課題：

スポーツ選手の無酸素パワー発揮特性

プロジェクト研究の概要：

本プロジェクト研究では、スポーツ選手の無酸素パワー発揮特性を探るために、以下の観点から検討することとする。

- 1) 自転車エルゴメーターによる無酸素パワーとペダル踏力の測定法
- 2) スポーツ選手の無酸素パワーと下肢筋群の活動様相
- 3) 発育に伴う無酸素パワーの発達
- 4) 異なる男女スポーツ競技選手の無酸素パワー発揮特性
- 5) 無酸素パワーに及ぼすトレーニング効果

の観点から検討することとする。

初年度は、1) について独自に改良した自転車エルゴメーターを用いて実験を実施した。本報ではその成果について報告する。

I. はじめに

無酸素パワーはスポーツ活動において競技能力を決定する要因の一つとして考えられており、これまで多くの研究^{1) 2) 6) 9) 10) 11)} がなされてきた。

特に、自転車エルゴメーターを用いた測定法が多くみられ、その測定法の有効性⁷⁾ や評価の問題点⁸⁾ について検討されてきた。また、あらゆるスポーツ選手を対象に無酸素パワーを測定し、競技種目特性やその種目特有の筋形態¹¹⁾ や筋機能⁹⁾ との関連性について検討したものがみられる。さらには、高負荷でのペダリングトレーニングは無酸素パワーを増加させ、筋力トレーニングとして有効であることが報告^{3) 4)} されている。このように、自転車エルゴメーターによる測定法は研究分野のみならず有効なトレーニング法としても広く用いられている。しかしながら、直接的に人体で生み出された力(ペダル踏力)は、出力された無酸素パワーにどのように影響しているのかは十分な知見が得られていない。

そこで本研究では、独自に改良した自転車エルゴメーターを用いて、異なる作業負荷値を設定した際の無酸素パワーとペダル踏力との関連性を明らかにし、その測定法の有用性について検討することを目的とした。

II. 研究方法

1. 被検者

被検者は異なる競技種目の様々な競技レベルの

* 国士舘大学大学院スポーツ・システム研究科 (Assistant of Graduate school of Sports System, Kokushikan University)

** 国士舘大学体育学部身体運動学研究室 (Lab. of Biodynamics and Human Performance, Faculty of Physical Education, Kokushikan University)

選手を含んだ、体育系男子大学生20名とした。被検者の年齢、身長及び体重はそれぞれ 20.0 ± 0.9 歳、 11.8 ± 5.8 cm、 67.4 ± 8.6 kgであった。全被検者には本研究への任意による参加の同意を得た。

2. 無酸素パワー及びペダル踏力の測定

2-1. 無酸素パワーの測定

無酸素パワーの測定は電磁式自転車エルゴメーター (Power Max V II, COMBI社製) を用いて実施した。全被検者には、3回の異なる作業負荷値を設定し、座位姿勢での10秒間の最大努力によるペダリング運動を行わせた。3試技の負荷値設定は、1試技目 (1st trial) は体重によって決定され、2試技目 (2nd trial) 及び3試技目 (3rd trial) の作業負荷値は被検者それぞれの前試技の設定された負荷値に対する回転数から自動的に決定した。また、測定開始前には、サドルの高さを立位姿勢時の大転子の高さに調整した後、つま先はトゥクリップによってペダルに固定した。Power Max V II と PC を接続し、データ収集プログラムソフトを用いて作業負荷値 (kp) と回転数 (rpm) を 1/100 秒でサンプリングした。得られた作業負荷値と回転数から、以下の式を用いて各試技の無酸素パワーを算出した。

$$\text{無酸素パワー} = \text{kp} \times \text{rpm} \times 6 \times 9.8/60$$

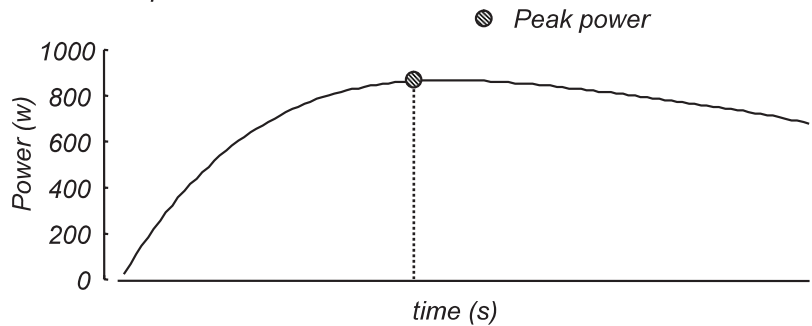
2-2. ペダル踏力の測定

ペダル踏力の測定は、改良した Power Max V II を用いて実施した。Power Max V II の右脚ペダルの支柱に、圧力センサー (ストレインゲージ) を装着し、ペダルにかかる力を PC にサンプリング (1/1000 秒) した。また、同時にペダル角度を測定し、1回転に要したペダル踏力を測定した。本研究では、全ての試技において測定開始から5回のペダリング運動までを分析対象とし、5回転に要したペダル踏力を個人値として採用した。Fig.1はペダル踏力の分析法を模式図にて示したものである。

3. 統計処理

全ての測定値は全被検者の平均値及び標準偏差値で示した。全ての項目間における差の検定は、

a. Anaerobic power



b. Pedal force

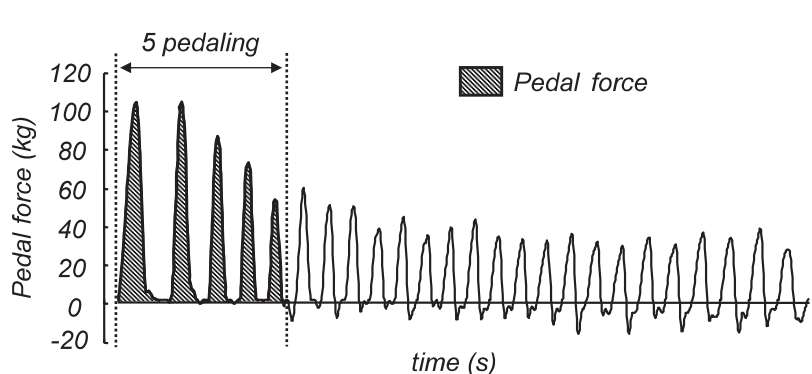


Fig.1 Typical example of the analysis on power and pedal force.

多重比較検定のBonferoni法により実施した。また、相関係数はピアソンの単純相関によって算出した。いずれも5%未満を有意とした。

4. 結果及び考察

Fig.2は、各試技の無酸素パワー及びペダル踏力を比較したものである。各試技の無酸素パワーは、2nd trialが 832.3 ± 70.8 wattであり、1st trial (678.7 ± 69.6 watt) 及び3rd trial (725.7 ± 124.3 watt) よりも有意に高い値を示した。本研究の無酸素パワーは作業負荷値と回転数の積で算出している。そこで、各試技の作業負荷値と回転数について着目すると、1st trialの作業負荷値は 4.1 ± 0.4 kp、2nd trialが 6.3 ± 0.6 kp、3rd trialが 8.1 ± 0.4 kpであり、回転数は、1st trialが 171.2 ± 11.3 rpm、2nd trialが 136.1 ± 7.7 rpm、3rd trialが 91.5 ± 15.3 rpmを示しており、作業負荷値の増大に伴い回転数は減少していた。このことは、筋の機能的な特性である力-速度関係に依存している⁸⁾ものと考えられる。作業負荷値と回転数の積で表される無酸素パワーは2nd trialが最も高い値を示し、高い無酸素パワー発揮には2nd trialの作業負荷値が他の試技の設定負荷値よりも高い無酸素パワー発揮に適しており、十分な回転速度が得られたものと推察できる。

また、各試技のペダル踏力は、1st trialが 9475.4 ± 2148.7 kg、2nd trialが 12425.0 ± 2133.6 kg、3rd trialが 16657.1 ± 2656.1 kgを示し、作業負荷値の増加に伴いペダル踏力は増大した。このことから、自転車運動時のペダルに要する力は、作業負荷値に依存するであろうことが考えられる。自転車エルゴメーターにより発揮された無気的パワーの特性について検討した会田ら¹⁾によれば、自転車運動時のスタート、加速及び全速の全ての局面において力・パワーを大きくすることは、より大きな無気的作業を遂行するために重要であることを指摘している。この指摘に基づいて、本研究で独自に改良し測定したペダル踏力はどの程度パワー発揮に関連するのかについて明らかにするために、運動開始後の5回のペダリング運動時の踏力を求め、各試技の無酸素パワーとの関係について検討した。本研究において運動開始後から5回転のペダリング運動に着目した理由は、多くの報告では最大無酸素パワー値を評価したものであるが、最大パワー発揮には数秒を要することから、ピークに達するまでの過程についても評価しなければならないことの重要性が指摘⁸⁾されていることや、ペダリング運動が進むにつれて、前回転の慣性が次回転に影響を及ぼす⁶⁾ことから、慣性の影響を比較的受けない運動開始直後の踏力を測定する必

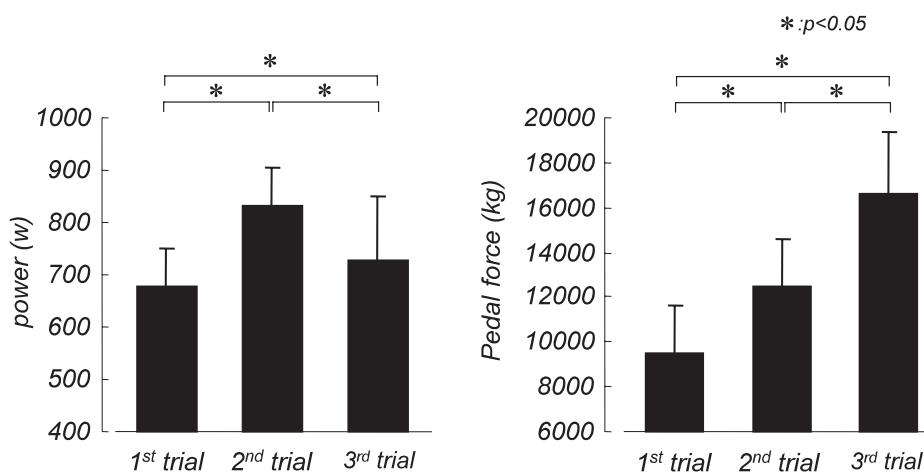


Fig.2 Comparisons of power and pedal force among the three trials.

要性があることを考慮したためである。

本研究で測定したペダル踏力は、1st trial及び2nd trialでは、両者の間に有意な相関関係が認められた (1st trial : $r=0.605$, $p<0.05$, Fig.3 2nd trial : $r=0.624$, $p<0.05$, Fig.4)。しかし、3rd trialについては両者の間に一様な関係は認められなかった (Fig.5)。この結果は会田ら¹⁾の指摘を支持するものであり、ペダル踏力は、無酸素パワーを反映する因子であるものの、より重い負荷作業値設定時は、必ずしもペダル踏力が無酸素パワー発揮に影響を及ぼす因子ではないことが考えられた。作業負荷値の重い3rd trialにおいて有意な関係が示されなかった要因として、比較的軽い作業負荷値である場合、発揮されたペダル踏力によって、適切な回転速度が得られるが、作業負荷値が大きい場合は、大きなペダル踏力が生産されても、十分な回転速度を得るまでには至らず、高い無酸素パワーの発揮がなされないであろうことが考えられる。

いずれにしても、本研究で独自に改良し測定したペダル踏力は、無酸素パワー発揮特性を探る上で有効な手法の一つであることが示唆された。

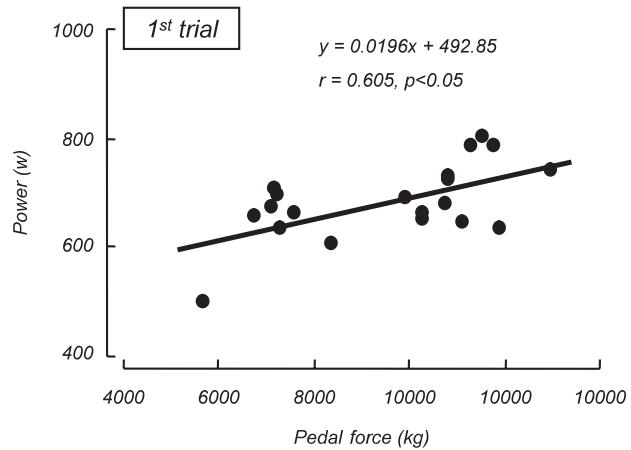


Fig. 3 Relationship between pedal force and power of 1st trial in all subjects.

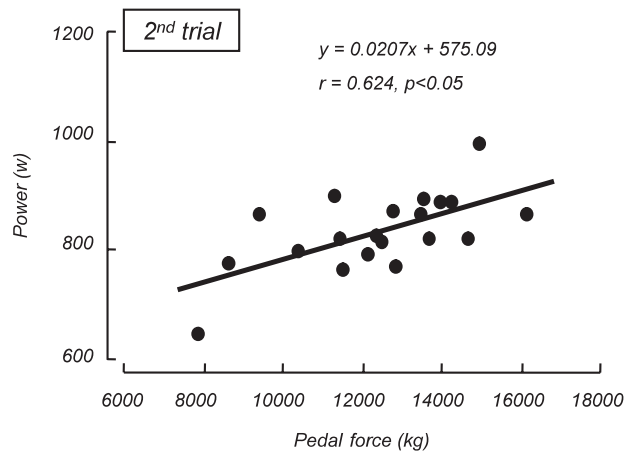


Fig. 4 Relationship between pedal force and power of 2nd trial in all subjects.

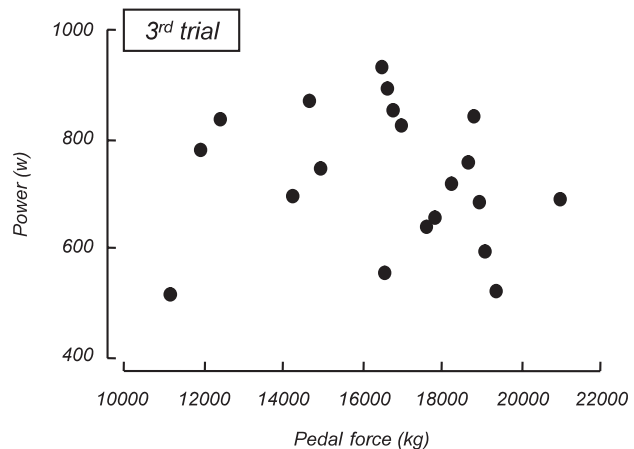


Fig. 5 Relationship between pedal force and power of 3rd trial in all subjects.

5. ま と め

本研究では、独自に改良した自転車エルゴメーターを用いて、異なる作業負荷値を設定した際の無酸素パワーとペダル踏力との関連性を明らかにし、その測定法の有用性について検討した。その結果、ペダル踏力は作業負荷に伴い増大した。また、1st trial及び2nd trialにおけるペダル踏力と無酸素性パワーとの間に有意な相関関係が認められたが、3rd trialでは有意な相関関係は認められなかった。このことから、ペダル踏力と無酸素パワーとの関連性が明らかとなり、本研究の測定法は、無酸素パワー発揮特性を探る上で、有効な手法の一つであるものと判断できる。

本研究は、国土舘大学体育学部附属体育研究所の2008年度研究助成によって実施した。

参考文献

- 1) 会田宏, 高松薫, 杉森弘幸, 向井俊哉 (1992) 自転車エルゴメーターの全力ペダリングにおいて発揮される無氣的パワーの特性. 筑波大学体育科学系紀要. **15**. 191-197.
- 2) G.Mornieux., B. Stapelfeldt., A. Gollhofer., A. Belli. (2008) Effects of pedal type and pull-up action during cycling. *Int. J. Sport Med.* **29**, 817-822.
- 3) 市橋則明, 池添冬芽, 大畑光司, 才藤栄 (2002) 高負荷での自転車エルゴメーターによるペダリングトレーニングが筋機能に与える影響. 理学療法科学. **17**. 2. 101-106.
- 4) 市橋則明, 池添冬芽, 大畑光司, 岡英世, 三浦元, 才藤栄 (2004) 自転車エルゴメーターによる高負荷短時間のペダリングトレーニングが下肢筋に与える影響. 理学療法科学. **31**. **6**. 369-374.
- 5) 金子公宥, 瀧本隆文, 田路秀樹, 末井健作 (1981) 人体筋の力・速度・パワー関係に及ぼすトレーニング効果. 体力科学. **30**. 86-93.
- 6) 木越清信, 尾縣貢, 田内健二, 高本恵美, 大山下圭悟 (2003) 体力科学, **52**. 167-178.
- 7) 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法. *Jap. J. Sports Sci.*, **3**: 834-839.
- 8) 中村好男 (1988) 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第1巻第1号 105-113
- 9) 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.
- 10) S. Pierre., H. Nicolas., H. Frederique. (2007) Why dose power output decrease at high pedaling rates during sprint cycling? *Med. Sci. Exerc.* **39**. 4. 680-687.
- 11) 角田直也, 蒔野豊, 須藤明治 (2000) 外側広筋の等尺性随意収縮に伴う形状の変化と等速性筋力及び最大無酸素性パワー. 国土舘大学体育学部附属体育研究所報. **19**. 79-85.