

自転車運動時の無酸素パワー発揮特性と大腿筋群の活動特性

Characteristics of anaerobic power generation and muscle activities on thigh muscles during cycling exercise

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リング踏力の測定法
- 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

昨年度は1)の自転車エルゴメーターによる無酸素パワーとペダリング踏力の測定法について報告した。本報では、2)の課題に対する研究成果について報告する。

I. はじめに

無酸素パワーは競技能力を決定する要因の一つとして考えられており、これまでに多くの研究¹⁾

5) 6) 7) 8) 9) 10) 11) 12) 13) 14) がなされてきた。自転車エルゴメーターを用いた無酸素パワーの測定法は、負荷の設定や運動時間を自由に設定することが可能であり、あらゆる条件での無酸素パワーを計測することができる。そのために研究のみならず有効なトレーニング法としても用いられている。

これまでに、下肢筋群における羽状筋の筋形状¹⁴⁾や大腿部の推定筋量^{5) 13)}が無酸素パワーに影響を及ぼす因子であることや、下肢の筋力^{1) 9)}といった機能的特性が無酸素パワー発揮に大きく影響することが報告されている。ペダリング運動は足関節、膝関節及び股関節を伴った下肢の多関節的運動であるために、下肢筋群の筋形態や機能的特性が大きく関与するものと考えられる。しかし、多くの研究がペダリング運動により得られたパワーの最高値を扱ったものばかりであり、運動開始からピークパワーに達するまでの過程を評価していない。このことは、中村⁸⁾によって指摘されており、ペダリング運動時の無酸素パワー発揮特性を明らかにする上では、運動開始からピークパワーまでの数秒間を考慮する必要性が考えられる。一方、ペダリング運動時の筋活動様相に関する報告^{2) 6) 11) 12)}では、主動的に働く大腿部の筋群に着目したものがみられる。また、筋活動量よ

* 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.)

り作業負荷の増加に伴う疲労の影響について検討されたのがみられる。しかし、異なる作業負荷設定時のペダリング運動中における大腿部の各筋群が、どの程度の割合で活動しているのかは十分な知見が得られていない。また、ペダリング運動時の大腿各筋群の活動量に対して発揮されるパワーは、設定された作業負荷に伴いどのように変化するのは明らかにされていない。

そこで本研究では、異なる作業負荷が設定された際のペダリング運動において、運動開始からピークパワーに達するまでの無酸素パワー発揮特性と、大腿筋群の活動特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

被検者は体育系男子大学生19名とした。被検者の年齢、身長及び体重はそれぞれ 20.1 ± 1.5 歳、 175.4 ± 6.5 cm、 83.6 ± 17.8 kgであった。全被検者には研究の目的及び方法について十分な説明をし、測定への参加の同意を得た。

2. 無酸素パワー及び筋活動の測定

無酸素パワーの測定はPower Max V II (COMBI社製)の無酸素パワーテストを用いて実施した。このテストは、異なる3つの作業負荷を設定した際の、最大努力での10秒間のペダリング運動を2分間の休息を挟んで行わせるものである。3試技の負荷設定については、第1試技(1st load)は体重によって決定され、第2試技(2nd load)及び第3試技(3rd load)は被検者それぞれのパワーレベルから、自動的に設定した。サドルの高さは、立位姿勢時の大転子の高さに調整し、つま先はトゥークリップによってペダルに固定した。測定姿勢は座位姿勢とし、十分なウォーミングアップの後測定を開始した。また、測定時には、Power Max V IIとPCをケーブルで接続し、データ収集プログラムソフト (COMBI社製)

を用いて作業負荷 (kp) と回転数 (rpm) を記録した。得られた作業負荷と回転数から、中村ら⁷⁾のパワー算出式を参考に各試技の無酸素パワーを求めた。さらに、ピークパワー到達時間を求め、運動開始からピークパワー到達時点までの総パワー (Total power) と、総パワーを時間で除した値を平均パワー (Mean power) として算出した。

ペダリング運動時の筋活動は、携帯型筋電計 (MEGA社製ME-6000) を用いて、表面電極誘導法により測定した。被験筋は、右脚大腿部の大腿直筋 (RF)、外側広筋 (VL)、内側広筋 (VM) 及び大腿二頭筋長頭 (BF) とし、電極添付位置は各筋の筋腹中央とした。電極間距離は3 cmとし、電極添付前には抵抗値を除去するために剃毛処理を施した。得られた筋電図データを基に、各試技の運動開始からピークパワー到達時点までの活動量を積分値として求め、4部位の総活動量に対する各筋の割合を算出した。さらに、運動開始からピークパワー到達時点までの筋活動量に対する総パワーの比を算出した。

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。作業負荷、回転数、ピークパワー、ピークパワー到達時間、総パワー及び平均パワーについては分散分析を用いて試技間の差の検定を行った。また、各試技における筋活動量の割合及び筋活動量に対する総パワーの比については、2元配置の分散分析を行った。いずれの分散分析においても有意な差が認められた場合にはpost-hoc test (Bonferroni法) を実施した。有意水準は5%未満とした。

Ⅲ. 結 果 及 び 考 察

Table 1は、各試技の作業負荷、回転数、ピークパワー及びピークパワー到達時間について試技間で比較したものである。作業負荷の増加に伴い回転数の著しい減少が確認された。このことは、

筋の機能的な特性である力-速度関係によるものと考えられる^{3) 4) 8)}。ピークパワーについては2nd loadが最も高い値を示し、1st loadと2nd load間、1st loadと3rd load間にそれぞれ有意な差が認められた。ピークパワー到達時間は、1st load及び2nd loadと3rd loadの間に有意な差が認められた。この結果から、1st loadと2nd loadでは3rd loadよりも運動開始から早期にピークパワーに達するが、作業負荷が大きくなることで、ピークパワーに達するまでにはより長い時間を要することが明らかになった。複数の負荷条件でのピークパワー到達時間を比較検討したPearson S. J. et al¹⁰⁾によれば、負荷の増加に伴い、ピークパワー到達時間は

遅くなることが報告されており、本研究の結果は、この報告と一致するものであった。

ペダリング運動時の無酸素パワーは運動開始からピークパワーに達するまでの過程を考慮する必要性が指摘⁸⁾されていることから、本研究ではこの時間内のパワー値を総和することによる総パワーを算出した。また、ピークパワーに到達する時間が長い程、総パワーが大きくなることが予想されるため、総パワーを運動に要した時間で除し平均パワーを算出し、試技間による比較を行った(Fig.1)。総パワーは、試技に伴い大きい値を示す傾向にあり、2nd load及び3rd loadの総パワーは1st loadのそれよりも有意に高い値を示した。

Table 1. Comparisons of work load, pedalling rate, peak power and time to peak power among the three loads.

| | Work load
(kp) | Pedalling rate
(rpm) | Peak power
(w) | Time to peak power
(s) |
|----------------------|-------------------|-------------------------|-------------------|---------------------------|
| 1 st load | 4.5±0.5 | 163.1±15.3 | 711.6±78.9 | 5.4±1.0 |
| 2 nd load | 6.5±0.6 | 138.6±10.8 | 879.4±107.4 | 5.4±0.9 |
| 3 rd load | 8.5±0.9 | 101.8±13.1 | 843.9±132.5 | 6.1±1.1 |

Values are Mean ± S.D.

*: p<0.05

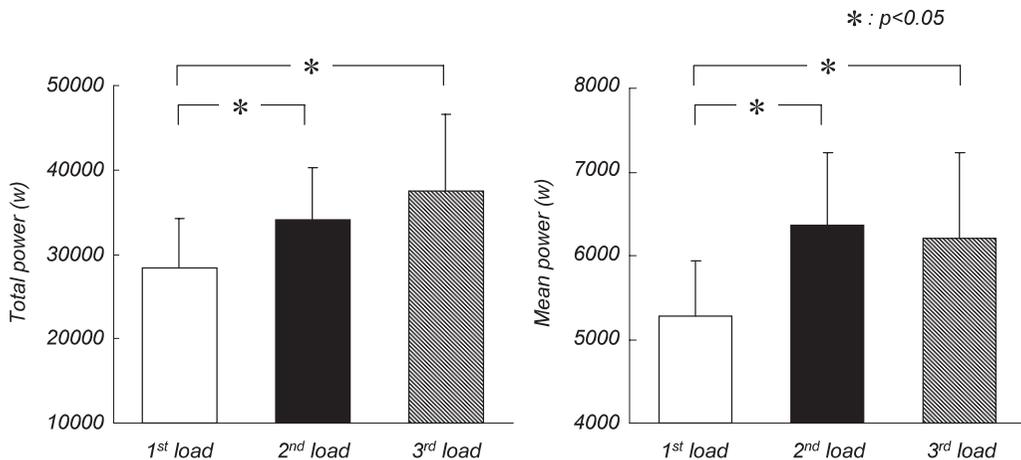


Fig.1. Comparisons of total power and mean power among the three loads.

この結果は、平均パワーについても同様であった。1st loadと2nd loadはピークパワー到達時間に有意な差が認められておらず、ほぼ同時間であったが、総パワーや平均パワーには有意な差が認められている。一方、2nd loadと3rd loadはピークパワー到達時間に有意な差が認められているが、総パワーや平均パワーには著しい差は確認されていない。このことは、作業負荷と回転数により決定されるペダリング運動時のパワー発揮特性として考えられ、作業負荷の違いにより、ピークパワーやピークパワーに至るまでの過程が異なることを意味するものである。

次に、ペダリング運動時の大腿筋群の筋活動特性について検討した。これまでのペダリング運動における下肢筋群の筋電図解析では、複数の負荷設定においてクランク角度に伴う各筋群の活動パターン(タイミング)を検討^{2) 11) 12)}したものが比較のみられる。本研究では、運動開始からピークパワー到達時点までの大腿各筋群の活動を量的な観点から評価した(Fig.2)。まず、大腿各筋群の活動量(積分値)の総和に対する各筋群の活動割合を求め、試技間による比較を行った。その結果、いずれの作業負荷設定時のペダリング運動においても、外側広筋と内側広筋の活動割合が、大腿直筋及び大腿二頭筋よりも大きいことが明らかになった。また、膝関節伸展時に主動的に働く大腿直筋、外側広筋及び内側広筋の活動割合はいずれの試技においても総活動量の80%以上を占めていることから、ペダリング運動において膝関節伸展運動の貢献度が極めて高い

ことが推察された。さらに、各筋群の活動割合を試技間で比較してみると、試技に伴う有意差は認められず同程度であったことから、ペダリング運動時における大腿各筋群の活動度合いは、作業負荷が異なっても変化しないことが明らかになった。

次に、各筋群の筋活動量に対する総パワーの比を試技間で比較したところ、大腿直筋と大腿二頭筋においては、試技に伴い高値を示し、1st load

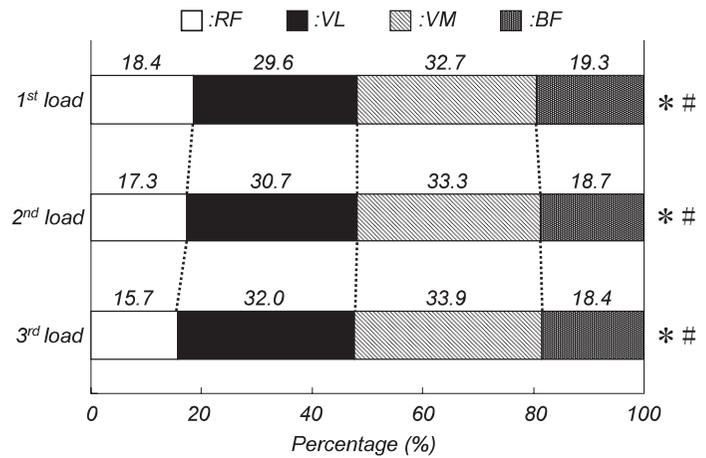


Fig.2. Percentage of muscle activity on thigh muscles.
* : Significant difference between RF and VL, VM ($p < 0.05$)
: Significant difference between BF and VL, VM ($p < 0.05$)

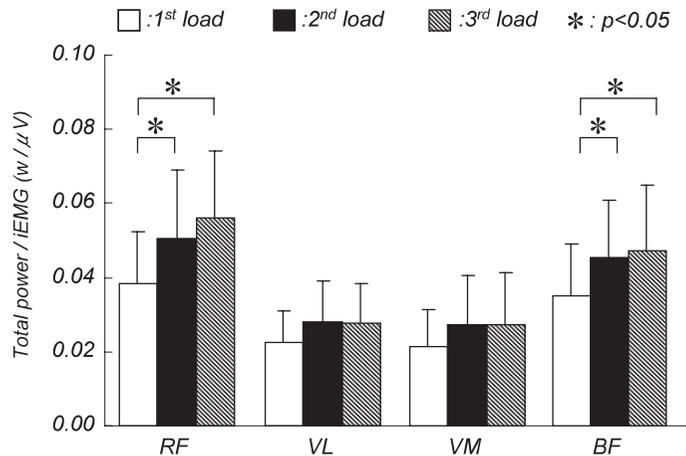


Fig.3. Ratio of total power to muscle activity on thigh muscles.

と2nd load及び3rd loadとの間にそれぞれ有意な差が認められた (Fig.3)。一方、外側広筋及び内側広筋については試技間に著しい差は認められずほぼ同程度の値であった。三田村ら⁶⁾は筋活動とパワーからEMG/Power比を算出し、疲労の影響について検討している。本研究では、筋活動量に対する総パワーの比を算出し、この比をパワー発揮の効率としてみなすと、股関節及び膝関節にまたがる二関節筋である大腿直筋と大腿二頭筋は、作業負荷が大きくなるにつれ、その効率が向上するであろうことが考えられた。これらのことから、大腿直筋と大腿二頭筋は、作業負荷の大小に関わらずペダリング運動時の筋活動割合が外側広筋や内側広筋と比較して小さいものの、筋活動量に対するパワー発揮は、作業負荷の増加に伴って大きくなることが明らかになった。

IV. ま と め

本研究では、自転車エルゴメーターでの異なる作業負荷が設定された際の全力ペダリング運動による無酸素パワー発揮特性と、大腿筋群の活動特性について検討した。その結果、以下のことが明らかになった。

ピークパワー到達時間は、作業負荷の大小により異なる。また、作業負荷の違いにより、ピークパワーやピークパワーに至るまでの過程が異なることが明らかになった。

ペダリング運動時における大腿各筋群の活動度合いは、作業負荷が異なっても変化せず、ほぼ同様の割合であることが明らかになった。また、大腿直筋及び大腿二頭筋については、活動量に対する総パワーの比が試技に伴って大きくなることが明らかになった。

本研究は、国土館大学体育学部附属体育研究所の2009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: 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, 1992.
- 2) Hug F. and Dorel S.: Electromyographic analysis of pedaling: A rebiew. *J. Electromyogr kinesiol.* **19**: 182-198, 2009.
- 3) 金子公宥著: パワーアップの科学, 朝倉書店, 1988.
- 4) 金子公宥著: 人体筋のダイナミクス, 杏林書院, 1999.
- 5) Martin J. M. Wadner B. M. Coyle E. F.: Inertial-load method determines maximal cycling power in a single exercise bout., *Med. Sci. Sports Exerc.* **29**, **11**: 1505-1512, 1997.
- 6) 三田村将史, 遠藤隆志, 高橋麗, 小宮山伴与志: 異なる負荷での反復的な最大ペダリング時の運動誘発電位の変化, *体力科学*, **52**: 555-564, 2003.
- 7) 中村好男, 武藤芳照, 宮下充正: 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, 1984.
- 8) 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*, 第1巻第1号: 105-113, 1988.
- 9) 尾縣貢, 高本恵美, 大山下圭悟: 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, 2000.
- 10) Pearson S. J. Cobbold M. Harridge D. R.: Power output of the lower limb during variable inertial loading: a comparison between methods using single and repeated contractions., *Eur. J Appl Physiol.*, **92**: 176-181, 2004.
- 11) Rouffet D. M. and Hautier C. A.: EMG normalization to study muscle activation in cycling., *J. Electromyogr kinesiol.* **18**, **5**: 866-878, 2008.
- 12) Rouffet D. M. Mornieux G. Zameziati K. Belli A. Hautier C. A.: Timing of muscle activation of the lower limbs can be modulated to maintain a constant pedaling cadence. *J. Electromyogr kinesiol.* **19**, **6**: 1100-1107, 2009.
- 13) 立正伸, 牛山潤一, 宮谷昌枝, 久野謙也, 金久博昭, 福永哲夫: 膝関節伸展トルクおよび脚伸展パワーにおける年齢差および性差, *体力科学*, **52**: 141-148, 2003.
- 14) 角田直也, 壽野豊, 須藤明治: 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, *国土館大学体育学部附属体育研究所報*, **19**: 79-85, 2000.