

## 全力ペダリング運動時のクランク力に及ぼす大腿部筋厚の影響

### Effects of thigh muscle thickness on crank force in maximum effort pedaling exercises

田 中 重 陽, 角 田 直 也

Shigeharu TANAKA and Naoya TSUNODA

#### I. 緒 言

優れた競技パフォーマンスの発揮には、瞬発的なパワー発揮能力が重要な因子として考えられる。これまでにパワー発揮に関する研究<sup>1) 3) - 15) 17)</sup>では、簡易的な測定法である自転車エルゴメーターが用いられてきた。ペダリング運動は、股関節及び膝関節の伸展・屈曲運動、足関節の底屈・背屈運動が複合された多関節運動であり、それらの運動に関与する下肢筋群の役割は大きいものと考えられる。また、ペダリング運動時の下肢筋群における筋活動様式に関する研究<sup>12) 13)</sup>によれば、大腿部の筋群の活動水準が高いことが指摘されている。従って、ペダリング運動において大きなパワーを発揮するためには、特に大腿部の筋形態の影響が大きいものと考えられる。一方で、男女スポーツ選手を対象に下肢の筋形態が無酸素性パワーに及ぼす影響について検討した報告<sup>14)</sup>によれば、下肢筋群の筋厚値と無酸素性パワーは密接な関係にあるものの、部位によってその影響度は異なることが指摘されている。下肢の筋形態を正確に捉え、それらがパワー発揮能力に及ぼす影響やその度合いについて検討することは、パワー発揮能力を高めることを目的としたトレーニング法の

考案に役立つものと考えられる。

そこで本研究では、全力ペダリング運動時のクランク力に及ぼす大腿部筋厚の影響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

被検者は年間を通じてそれぞれの専門種目のトレーニングを定期的に行っている体育系男子大学生43名とした。被検者の年齢、身長及び体重はそれぞれ  $20.7 \pm 0.9$  歳、 $173.5 \pm 6.7$ cm、 $68.9 \pm 11.8$ kgであった。本研究は国士舘大学研究倫理評価委員会の承認を得た後に、全被検者に対して本研究の目的及び方法について説明し、参加の同意を得た。

##### 2. 超音波法による下肢筋群の筋厚測定

下肢筋群における筋厚は、超音波測定装置 (Echo Camera SSD-750CL、ALOKA 社製) を用いて周波数7.5MHzで測定した。被検者の姿勢は安静立位とした。測定部位は、右脚の大腿超50%部位に相当する大腿前部 (Thigh anterior) 及び大腿後部 (Thigh posterior) とし筋横断画像

を撮影した。撮影した筋横断画像から大腿前部及び後部の皮下脂肪組織と筋組織の境界から大腿骨までを大腿伸筋群及び屈筋群の指標として捉え、それぞれノギスで計測した。本研究の被検者は、年間を通じてそれぞれの競技種目の専門的なトレーニングを実施している者であり、先行研究<sup>16)</sup>で指摘されている競技特有の筋形態を有している可能性も考えられたが、複数の競技種目を含んでいることに加え、被検者が一定の競技に偏っていないことから、専門競技による特有の筋形態の影響はないものと判断した。

### 3. 全力ペダリング運動時のクランク力測定

全力ペダリング運動時のクランク力の測定は、独自に改良<sup>13) 15)</sup>したPower Max VII (COMBI社製)を用いて実施した。無酸素性パワーの測定は、Power Max VIIに内蔵されている無酸素パワーテストを用いて実施し、3回の異なる負荷において10秒間の全力でのペダリング運動を2分間の休息を挟んで行わせた。3試技の負荷設定は、1試技目 (Initial load) は体重によって決定され、2試技目 (Second load) 及び3試技目 (Third load) の負荷は各人の前試技の設定された負荷に対する回転数から、自動的に負荷設定がなされるものである。サドルの高さは立位姿勢時の大転子の高さに調整させ、つま先はトゥークリップによってペダルに固定した。その後、被検者には十分なウォーミングアップを行わせた後、座位姿勢での全力ペダリング運動を実施させた。Power Max VIIとPCをRS232Cで接続し、PMVIIデータ収集プログラム (Combi wellness社)を用いて負荷 (kp) 及び回転数 (rpm) を1/10秒でサンプリングした。得られた負荷と回転数から、中村ら<sup>5)</sup>のパワー算出式を参考に各試技の無酸素性パワーを求め、ピークパワー到達までの時間を求めた。また、Power Max VIIの右脚側のクランク軸の中央部にストレインゲージを貼付し、ブリッジ法アンプによりペダルにかかる荷重 (4アクティブゲージによる曲げひずみ測定法) を各試技

で記録 (1/1000秒) した。得られる値はクランクに対して垂直に作用した力であり、クランク力として分析の対象とした。また、運動開始からピークパワー到達時までのクランク力の積分値と、その値を時間で除した平均クランク力 (Mean crank force) を算出した。

また、ギアに装備したプラスチックギアから、エンコーダーの出力をA/Dインターフェースを介してPCに取り込み、クランク角度を記録した。本測定では、ペダル位置の上死点を0、360度、下死点を180度に設定した。全試技ともに角度のデータと照らし合わせ、測定開始直後の第1回転から第5回転のペダリングについて、1回転毎のピーククランク力 (Peak crank force) 及び平均角速度 (Mean angular velocity) を算出した。なお、測定前には、50kg~120kgまで10kg毎の重りを用いて実荷重較正を行った。

### 4. 統計処理

各試技における各ペダリングのクランク力については、一元配置の分散分析を行った。有意な効果が確認された際は、post-hoc test (Bonferroni法)を実施し、有意差の検定を行った。各測定項目間の相関係数は、ピアソンの単純相関によって求め、5%未満をもって有意とした。また、有意な相関関係が認められた項目間については、 $y=ax+b$ の回帰式より、傾きの指標であるaを抽出し、比較の対象とした。

## Ⅲ. 研究結果

Fig.1は平均クランク力と大腿前部及び後部の筋厚値との関係について個人値をプロットしたものである。平均クランク力と大腿前部の筋厚値との間には、全ての試技において有意な相関関係が認められた (Fig.1-a)。同様に、大腿後部についても全ての試技において有意な相関関係が認められた (Fig.1-b)。

第1回転から第5回転までのピーククランク力

は、Initial load 及び Second load はペダリングに伴い低下する傾向を示したが、Third load はほぼ変わらず一定の値を示した (Fig.2-a)。また、クランクの平均角速度は、ペダリング回数に伴い全ての試技において高値を示した (Fig.2-b)。最も大きな変化を示したのが Initial load であり、次いで Second load、Third load の順であった。

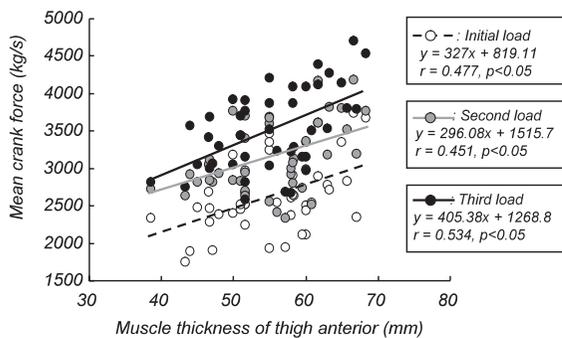
次に、ペダリング運動の第 1 回転から第 5 回転までのそれぞれのピーククランク力と、大腿前部及び後部の筋厚値との関係について検討したところ、全ての試技において両者の間には有意な相関関係が認められた (Table 1)。また、有意な関係性を示す  $y=ax+b$  の回帰式から、傾きの指標である  $a$  を抽出し比較したところ、大腿前部及び後部

共に負荷重量に関係なく第 1 回転目の係数が高い傾向が確認された。また、第 2 回転目以降の係数は、徐々に低値を示す傾向にあったものの、Third load のそれは Initial load 及び Second load よりも比較的高い値を示し、大腿部の筋厚がクランク力へ及ぼす影響の度合いは、負荷重量によって異なることが確認された。

#### IV. 論 議

スポーツ活動において、瞬発的なパワー発揮能力は運動能力の優劣に直接的に影響を及ぼす因子である。これまでに、下肢筋群の筋形態がペダリング運動時の無酸素性パワー発揮能力に及ぼす影

a. Thigh anterior



b. Thigh posterior

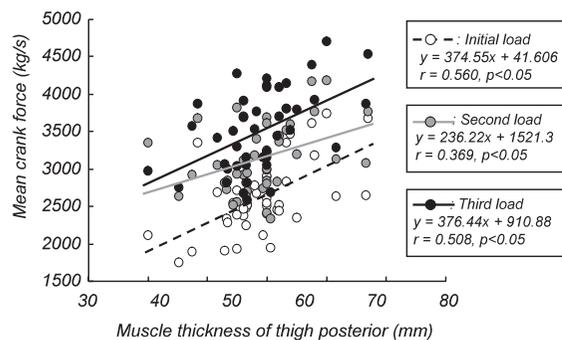
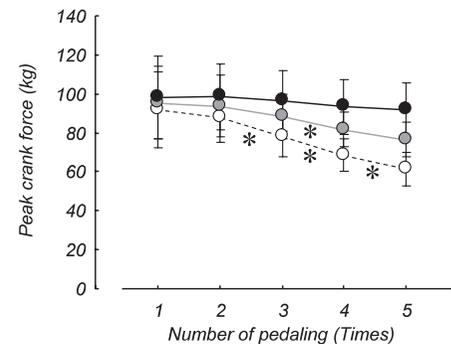


Fig.1. Relationship between muscle thickness and mean crank force in three loads.

○ - Initial load ● - Second load ● - Third load  
\*: significant difference of between 1:2, 2:3, 3:4, 4:5

a. Peak crank force



b. Mean angular velocity

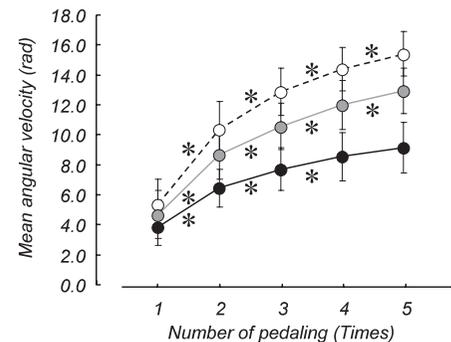


Fig.2. Changes of peak crank force and mean angular velocity due to pedaling in three loads.

響について検討されてきた<sup>3) 11) 14) 17)</sup>。男女スポーツ選手を対象に、下肢筋群の筋形態がペダリング運動時の無酸素性パワーに及ぼす影響について検討した報告<sup>14)</sup>によれば、大きなパワー発揮には下肢筋群の筋量増加が重要であるが、部位によって無酸素性パワーに及ぼす筋形態の影響度合いが異なることが指摘されている。また、大きなパワー発揮には、クランクを回転させる力を高めることの重要性が指摘<sup>15)</sup>されている。運動者の下肢で発揮された力が、クランクを回転させるための力として作用されなければ、結果として大きなパワー発揮には繋がらない。パワー発揮能力を高める要因について探る際は、運動に関与する筋群の形態や、それらがクランクの回転力に及ぼす影響について検討する必要性が考えられる。

本研究では、独自に改良した自転車エルゴメーターによって得られたクランク力と、大腿前部及び後部の筋厚値との関係性について検討した。その結果、負荷重量に関わらず大腿部の各筋厚値と平均クランク力との間に有意な相関関係が認められ、クランク力は大腿部の筋サイズに影響を受け

ることが明らかとなった。このことは、ペダリング運動によって得られるパワー値は大腿部の筋形態の影響を受けるとする先行研究<sup>3) 11) 14)</sup>の指摘に加え、無酸素性パワーとクランク力は密接な関係であるとする報告<sup>15)</sup>からも予想されるものであった。次に、運動開始の第1回転から第5回転までを対象に、各ペダリングのピーククランク力と筋厚値との関係性について検討したところ、Table 1に示したように全ての項目間において有意な相関関係が認められた。この結果をふまえ、各項目間において得られた相関関係の回帰直線  $y=ax+b$  から、傾きの指標である係数  $a$  を抽出しペダリング毎に比較した。係数  $a$  が高値であればあるほど、筋厚値が増加することによってクランク力の増加が高いことを意味するものであり、筋厚値に伴ってクランク力がどの程度変化するのかを表す指標として捉えることができる。結果として、Fig.3に示したように係数  $a$  は第1回転目が高く、第2回転目以降、低値を示す傾向にあった。また、負荷重量が重い Third load の係数  $a$  は、負荷重量の軽い Initial load や Second load に対して

Table 1. Correlation coefficients between muscle thickness and peak crank force on each pedaling.

Number of pedaling	1 <sup>st</sup>	2 <sup>nd</sup>	3 <sup>rd</sup>	4 <sup>th</sup>	5 <sup>th</sup>	
Initial load	Thigh anterior	0.550**	0.508**	0.613**	0.546**	0.587**
	Thigh posterior	0.611**	0.507**	0.528**	0.531**	0.546**
Second load	Thigh anterior	0.604**	0.536**	0.657**	0.593**	0.524**
	Thigh posterior	0.566**	0.373*	0.562**	0.388**	0.405**
Third load	Thigh anterior	0.517**	0.509**	0.523**	0.532**	0.548**
	Thigh posterior	0.586**	0.465**	0.434**	0.497**	0.470**

\*\*: $p < 0.01$ , \*: $p < 0.05$

高い値を示していた。第1回転目は運動開始直後であるため、クランクの回転速度は極めて低速の状態である。従って、クランク力発揮に対して、力の要素が大きく反映される局面であるものと思われる。一方で、第2回転以降は、先行研究<sup>2)</sup>で指摘されているように、前回転の慣性が次回転に影響し、ピークパワーが発揮されるまでクランクの運動速度は上昇する局面である。このことは、本研究のペダリングに伴うクランクの平均角速度の変化からも明らかである (Fig.2)。これらのことを考慮すると、ペダリング運動において大きな

パワー発揮に必要とされるクランク力は、大腿部の筋サイズに影響を受けるものの、運動速度が高まるに従ってその影響度が低くなるものと推察された。

## V. ま と め

本研究では、全力ペダリング運動時のクランク力に及ぼす大腿部筋厚の影響について検討した。その結果、負荷重量によってペダリングに伴うクランク力及びクランクの平均角速度の変化様相が異なることが明らかになった。また、大腿部の筋厚値と各ペダリングのクランク力との間には、負荷重量に関係なく有意な相関関係が認められたものの、大腿部の筋厚がクランク力に及ぼす影響の度合いは、運動開始直後の第1回転目が高く、第2回転目以降低くなる傾向が明らかになった。さらに、負荷重量が大きくなることで、その影響度合いは高くなる傾向を示した。従って、ペダリング運動においてより大きなクランク力の獲得には、動作の主動的な役割を果たす大腿部の筋サイズの影響が強いが、その影響度は負荷重量や運動速度によって異なることが明らかになった。

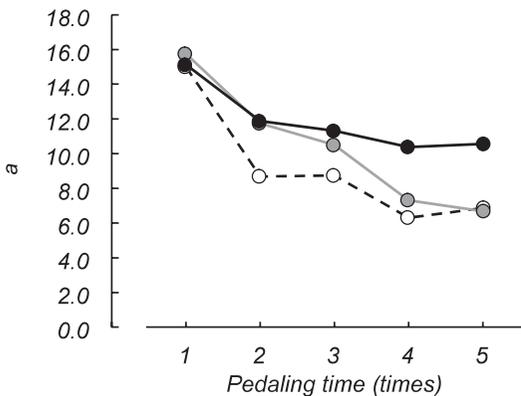
本研究は、国士舘大学体育学部附属体育研究所の2011年度研究助成によって実施した。

## 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) 木越清信, 尾縣貢, 田内健二, 高本恵美, 大山下圭悟: 短時間の全力自転車ペダリング運動における座位姿勢の相違が筋活動および最大パワーに及ぼす影響, 体力科学, 52, 167-178, 2003.
- 3) 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.
- 4) 三田村将史, 遠藤隆志, 高橋麗, 小宮山伴与志: 異

-○- Initial load    ● Second load    ● Third load

### a. Thigh anterior



### b. Thigh posterior

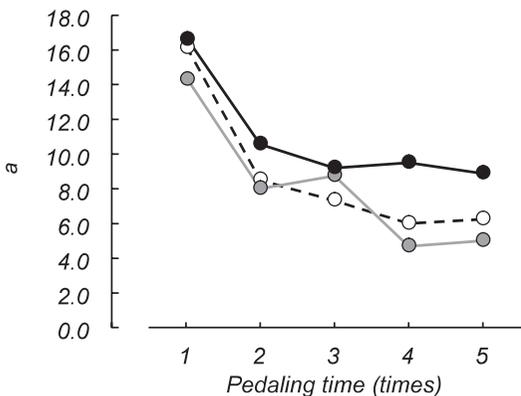


Fig.3. Comparisons of a index in three loads.

- 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.
- 5) 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.
  - 6) 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.
  - 7) 尾縣貢, 高本恵美, 大山卞圭悟: 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.
  - 8) 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.
  - 9) Rouffet D. M. and Hautier C. A.: EMG normalization to study muscle activation in cycling., J. Electromyogr kinesiol., **18**, **5**, 866-878, 2008.
  - 10) 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.
  - 11) 立正伸, 牛山潤一, 宮谷昌枝, 久野譜也, 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.
  - 12) 田中重陽, 角田直也: 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, 国士舘大学体育学部附属体育研究所報, **28**, 101-105, 2010.
  - 13) 田中重陽, 角田直也: 異なる負荷を伴ったペダリング運動時の下肢筋群の活動様式, 国士舘大学体育学部附属体育研究所報, **29**, 27-35, 2011.
  - 14) 田中重陽, 角田直也: 男女スポーツ選手における下肢の筋形態が無酸素性パワーに及ぼす影響, 日本生理人類学会誌, Vol.16, No.3, 141-151, 2011.
  - 15) 田中重陽, 角田直也: ペダリング運動時の無酸素パワーとクランク力発揮特性, 体育スポーツ科学研究, 第11巻, 25-33, 2011.
  - 16) 角田直也, 金久博昭, 福永哲夫, 近藤正勝, 池川繁樹: 大腿四頭筋断面積における各種競技選手の特性, 体力科学, **35**, 192-199, 1986.
  - 17) 角田直也, 蒔野豊, 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, 国士舘大学体育学部附属体育研究所報, **19**, 79-85, 2000.