

## V. 自転車ペダリング運動における運動開始時の構えの相違が下肢筋群の筋出力およびペダリングパワー出力に及ぼす影響（研究課題 2-2）

### 1. 目的

研究課題 2 の目的は、運動パフォーマンスと下肢関節 Kinetics との関係を検討すること、さらに、運動開始時の構えの相違が下肢筋群の筋出力に及ぼす影響を検討することである。そして、研究課題 2-1 では、上記の目的についてジャンプ運動を用いて検討した。ヒトの動作は左右交互動作が一般的であることから、両脚で行う運動と片脚で行う運動の両者について、運動開始時の構えの相違が下肢筋群の筋出力に及ぼす影響を検討することが必要である。そこで、本研究課題（研究課題 2-2）では、左右交互動作による運動としてペダリング運動を用いて検討することとした。

ペダリング運動に関する研究は、高い競技力を有する自転車競技者とそうではない自転車競技者との筋線維組成の差異について検討したもの（Burke et al., 1977）や、EMG を用いてそれぞれの筋の活動のタイミングや 1 サイクル中において活動している区間を特定することを目的としたもの（Houtz and Fischer, 1959; Faria and Cavanagh, 1978; Ericson et al., 1985）など多く行われている。また、競技用の自転車を用いて、定常運動（799kgm/min を 8～9 分、回転数は 60rpm）におけるシート高の影響を検討した結果、シート高と酸素摂取量との関係は二次曲線で近似することができ、下肢長高（大転子高）の 100%に相当するシート高のときに最も経済性の高いペダリング運動が可能であったとする報告（Nordeen-Snyder, 1989）や、200W での定常負荷運動における最も効率的なシート高は、下肢長高（大転子高）の 97%

であったとする報告 (Gonzalez et al., 1989) も行われている。しかし、これらの多くは、持久的なペダリング運動を対象としたものであり、短時間での全力ペダリング運動におけるペダリングパワー出力と運動開始時の構えとの関係については検討されていない。また、短時間での全力ペダリング運動中の下肢筋群の筋活動量と骨盤の傾斜との関係についても検討されていない。そこで、本研究課題では、同一の条件下での 5 秒間の全力ペダリング運動におけるペダリングパワー出力と下肢筋群の筋活動量との関係について検討すること、および股関節伸展筋群の筋活動量に影響を及ぼす要因を、運動開始時の構え、特に骨盤の傾斜に着目して検討することを目的とした。

## 2. 方法

### (1) 被験者

被験者には、大学陸上競技部に所属する男性 10 名を用いた (年齢:  $21.52 \pm 1.91$  歳, 身長:  $1.79 \pm 0.05$  m, 身体質量:  $71.04 \pm 5.63$  kg)。また、その内訳は、跳躍競技者 6 名, 混成競技者 4 名であった。被験者には、実験に先立ち、研究の目的、方法および実験に伴う安全性および危険性を十分に説明し、実験参加に対する同意を得た。なお、実験に参加した被験者は、本研究課題の実験運動であるペダリング運動をこれまでのトレーニングにおいて経験していた。

### (2) 実験運動

本研究課題では、トルクが任意に設定できるハイパワー自転車型エルゴメーター (竹井

機器工業社, TKK1254a) を用い, 5 秒間の全力ペダリング運動を行わせた. 本研究課題では, Nordeen-Snyder (1977) の報告を参考にして, クランクの回転軸からシートの最高点までの距離が, 各被験者の外果から大転子までの距離の 90%になるように設定した. また, 設定した負荷は, 競技者の最大パワーを測定する際の至適負荷を示した Evans and Quinney (1981) の報告に基づき, 身体質量(kg) $\times$ 0.1kp とした.

本研究課題では, ペダリング運動開始時の座位姿勢を維持したままで運動を行わせるために, ペダリング運動中にシートから殿部を離さないこと, および肘関節を曲げるなどして体幹の前傾等をしないことを事前に口頭で指示した. また, 右足は 0deg (上死点) から, 左足は 180deg (下死点) から試技を開始するように指示した. 試技間には疲労の影響を除去するために, 少なくとも 5 分以上の休息をとらせた.

### (3) データ処理

本研究課題では, 自転車エルゴメーターの右側方 10m の地点にビデオカメラを設置して, サンプリングレート 60Hz で動作を撮影した. また, 画像上の距離を実長換算するために, 実験の前後に較正マークを撮影し, 画像上の分析点をリアルタイム動作解析システム (ディケイエイチ社製, Quick MAG system III) により自動でデジタイズを行った. また, ペダリング運動中に身体マークがはずれるなどして, このシステムでの解析に失敗した試技については, ビデオ動作解析システム (ディケイエイチ社製, Frame-DIAS) によりデジタイズした. 本研究課題では, 胸骨上縁, 第 7 頸椎, 上前腸骨棘, 上後腸骨棘, 大転子, 膝関節中心, 母子球, 外果点, 踵, つま先を分析点とした. 次に, 得られた分析点の 2 次元座

標を、校正マークをもとにして実長換算した。Wells and Winter (1980) の方法により分析点の座標成分ごとに実長換算したデータの最適遮断周波数を決定し、Butterworth Low-pass Digital Filter を用いて平滑化した。なお、最適遮断周波数は2~7Hzであった。

本研究課題では、脊柱起立筋、大殿筋、大腿直筋、大腿二頭筋長頭、外側広筋および半腱様筋から EMG を導出した。

各筋における EMG の導出には双極表面電極を用い、マルチテレメーターシステム（日本光電工業製、WEB-5000 型）によって記録した。なお、EMG の導出および分析方法は、研究課題 2-1 と同様である。

#### (4) 算出項目および算出方法

##### 1) 3 回転および 5 秒間の最大パワー

本研究課題では、ペダリング運動中の回転数に応じた電圧を外部に出力させ、この電気信号をサンプリング周波数 20Hz にて、A/D 変換器を介してパーソナルコンピューターに入力し、較正式より回転速度を算出した。次いで、以下の式によってパワーを算出した。

$$\text{ペダリングパワー (W)} = \text{負荷(kp)} \times \text{回転速度(rpm)} \times 0.98$$

このようにして算出されたパワーから、ペダリング運動開始後 3 回転までに発揮されたパワーの最大値（以下、3 回転の最大パワー）および運動開始後 5 秒間に発揮されたパワーの最大値（以下、5 秒間の最大パワー）を分析項目として用いた。また、3 回転の最大パワーが出現するまでにかかった時間も算出した。

3 回転の最大パワーを測定項目とした理由は、この局面は、ペダリングパワーが急激に立

ち上がる局面であること、および回転速度が遅く、運動開始時の構えの相違による筋出力の相違が反映されやすいことが推測されるためである。

## 2) 下肢関節およびセグメント角度

本研究課題では、運動開始時の構えとして、画像解析データをもとに、3回転中の股、膝および足関節の角度を算出した。なお、股関節角度の定義として、骨盤-大腿部角度も算出した。骨盤-大腿部角度および骨盤傾斜角度等の定義については、研究課題1と同様である(図1)。

## 3) 筋活動量

EMGの分析方法は、研究課題2-1と同様である。

## (5) 分析区間

EMGの分析区間には、ペダリング運動が開始される350ms前から3回転終了までの区間を用いた。ペダリング運動が開始される前も分析区間とした理由は、ペダリング運動が開始される前から、運動開始時の構えの相違による筋放電量の相違がみられる可能性があるためである。

## (6) 統計処理

すべての分析項目について平均値および標準偏差を算出し、統計処理の有意性は危険率5%未満で判定した。また、有意傾向は10%未満で判定した。

### 3. 結果

(1) ペダリング運動開始時の構え, 各筋の mEMG およびペダリングパワー出力

図 14 は, 5 秒間のペダリング運動における 1 秒毎のパワーの変化を示したものである. 3 回転の最大パワーおよび 5 秒間の最大パワーは, それぞれ  $13.92 \pm 0.85$  W/kg および  $14.94 \pm 0.49$  W/kg であった.

図 15 は, 3 回転中における足, 膝, 股関節, 骨盤-大腿部の最大伸展角度と屈曲角度, および大腿部の最大伸展位角度と屈曲位角度を示したものである. 足関節角度変位は  $50.88 \pm 6.75$  deg, 膝関節角度変位は  $79.68 \pm 4.90$  deg, 股関節角度変位は  $46.19 \pm 7.45$  deg および 骨盤-大腿部角度変位は  $40.42 \pm 6.07$  deg, 大腿部角度変位は  $44.41 \pm 3.40$  deg であった. また, 3 回転中における平均体幹前傾角度および平均骨盤前傾角度は, それぞれ  $44.14 \pm 4.08$  deg および  $101.01 \pm 9.21$  deg であった.

図 16 は, 3 回転における各筋の mEMG (%MVC) を示したものである. 外側広筋の mEMG は, 脊柱起立筋, 大殿筋, 半腱様筋, 大腿二頭筋長頭および大腿直筋の mEMG と比較して有意に高い値を示し, 本研究課題において被験筋として用いた筋のなかでもっとも高い筋活動量を示した.

(2) 3 回転および 5 秒間の最大パワーと各筋の mEMG との関係

表 8 は, 3 回転中および 5 秒間の最大パワーと脊柱起立筋, 大殿筋, 半腱様筋, 大腿二頭筋, 大腿直筋および外側広筋の mEMG との相関係数を示したものである. 最大パワーと各筋の mEMG との間には有意な相関関係は認められなかった.

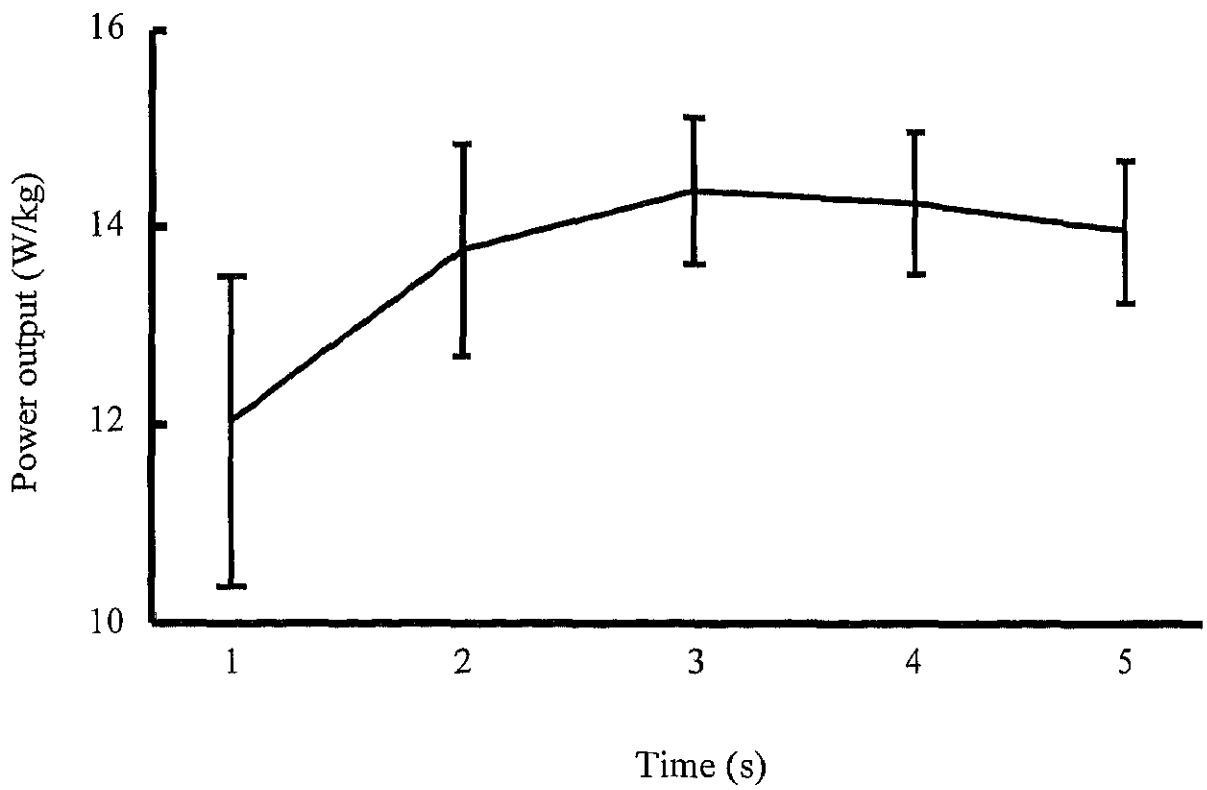


Fig. 14 Change of power output in 5 s pedaling exercise.

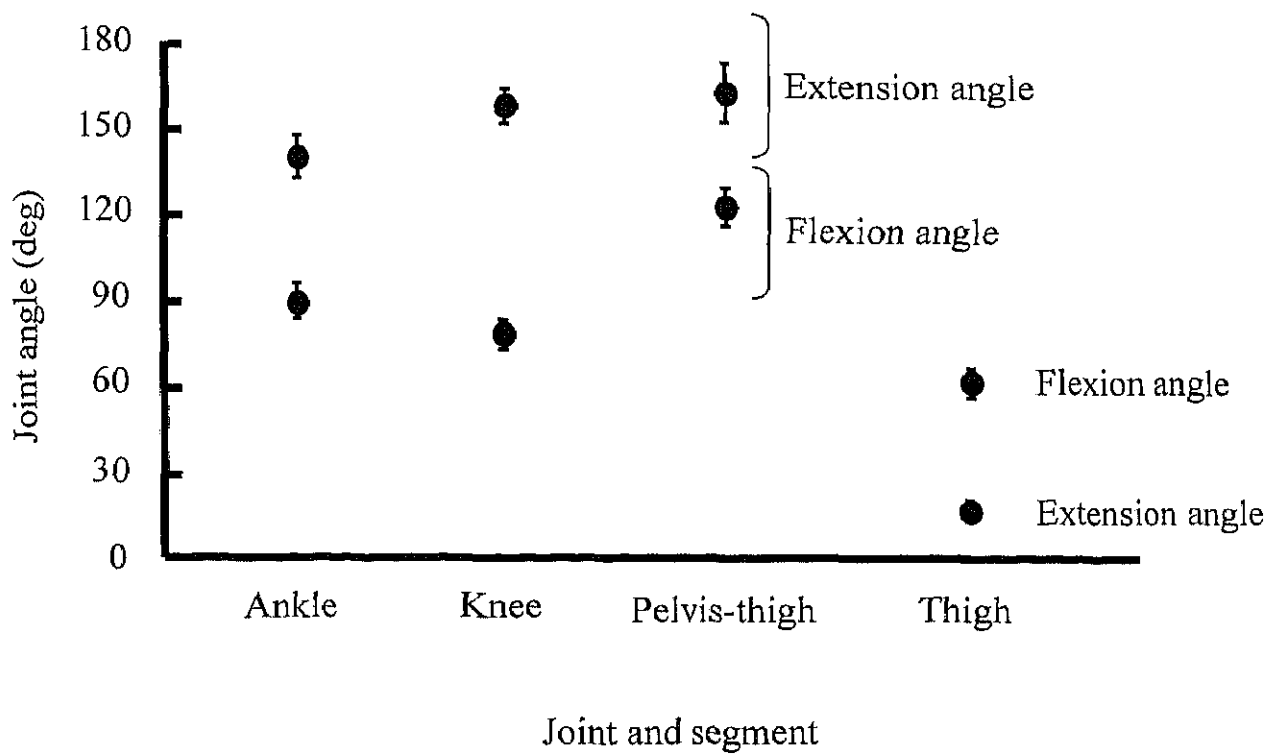


Fig. 15 Maximum extension and flexion angles of joint of the lower extremity in the first 3 revolutions during 5 s pedaling exercise.



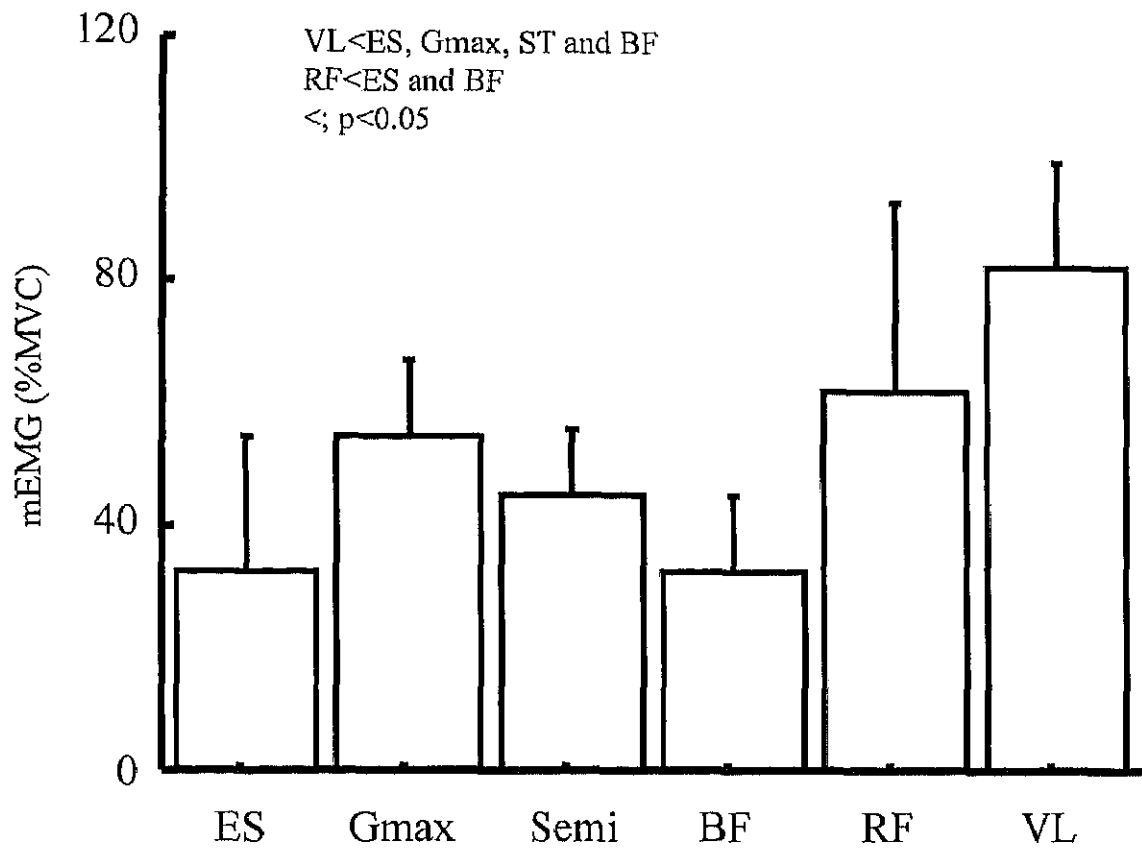


Fig. 16 Comparison of mEMG of the lower extremity muscles during 5 s pedaling exercise. ES, Gmax, Semi, BF, RF and VL are erector spinae, gluteus maximus, semitendinosus, biceps femoris long head, rectus femoris and vastus lateralis, respectively.

Table 8 The correlation coefficients between maximum power and mEMG of the lower extremity muscles during 5 s pedaling exercise.

		ES	Gmax	Semi	BF	RF	VL
Maximum power	3 rev.	-0.299	0.519	-0.276	0.025	-0.428	-0.048
	5 s	0.086	0.081	-0.151	-0.186	-0.462	-0.058

ES, Gmax, Semi, BF, RF and VL are erector spinae, gluteus maximus, semitendinosus, biceps femoris long head, rectus femoris and vastus lateralis, respectively.

### (3) ペダリング運動開始時の構えと各筋の mEMG との関係

表 9 は、ペダリング運動開始時の構えと下肢筋群の mEMG との相関係数を示したものである。ペダリング運動開始時の構えと大殿筋および大腿二頭筋の筋活動量との間に有意な相関関係は認められなかった。

## 4. 考察

本研究課題の目的は、同条件のシート高を用いて、5 秒間の全力自転車ペダリング運動における最大パワーと下肢筋群の筋活動量との関係を検討すること、さらに、ペダリング運動開始時の構えの相違が下肢筋群の筋出力に及ぼす影響を検討することであった。

ペダリング運動は、運動が進むにつれてペダリングの回転速度が高まる。このことから、力-速度関係を考慮すると、運動開始直後のペダリング回転速度が遅い局面では、下肢筋群の大きな筋出力がペダリングパワーに影響を及ぼし、その後、徐々にペダリングの回転速度が高まるにつれて、下肢筋群の筋出力はペダリングパワーに大きな影響を及ぼさなくなることが推測できる。したがって、ペダリング運動開始時の構えの相違が下肢筋群の筋出力に及ぼす影響を検討するためには、ペダリング開始直後を分析対象とする必要があると考えられる。そこで、本研究課題ではペダリング開始直後の局面として、ペダリング運動開始後 3 回転までの局面を選択した。その結果から、3 回転に要した時間は  $1.64 \pm 0.21$  s であり、ペダリング運動開始からこの時間までは、最も急激にパワーが立ち上がっている局面であることが認められた (図 14)。このことは、ペダリング運動開始時の構え、下肢筋群の筋活動量および最大パワーについて、ペダリング開始 3 回転までに着目して検討するこ

Table 9 The correlation coefficients between mEMG of the lower extremity muscles and the posture during 5 s pedaling exercise.

		ES	Gmax	Semi	BF	RF	VL
Knee	Extension	-	-	-0.262	-0.354	0.456	0.242
	Flexion	-	-	-0.399	-0.514	0.477	0.171
Pelvis-thigh	Extension	-	-0.172	0.479	-0.514	0.210	0.136
	Flexion	-	-0.108	0.106	-0.252	-0.216	0.075
Thigh	Extension	-	0.238	0.256	-0.050	-0.146	0.149
	Flexion	-	0.171	-0.201	0.330	-0.338	0.066
Pelvis		-0.475	-0.255	0.262	-0.355	0.185	0.031

ES, Gmax, Semi, BF, RF and VL are erector spinae, gluteus maximus, semitendinosus, biceps femoris long head, rectus femoris and vastus lateralis, respectively.

とが妥当であったことを示している。

本研究課題の結果から、外側広筋が他の筋と比較して有意に高い mEMG を示していた(図 16)。このことから、短時間でのペダリング運動は、膝関節伸展筋群である外側広筋の出力が他の筋群と比較して高い運動であることが示唆された。この結果は、ペダリング運動において膝関節伸展筋群が重要な役割を果たしていると報告した Ericson et al. (1985) の報告と一致している。本研究課題ではさらに、5 秒間の全力ペダリング運動における最大パワーと下肢筋群の mEMG との関係を検討した(表 8)。その結果、3 回転および 5 秒間の最大パワーと本研究課題において被験筋として用いた全ての筋(脊柱起立筋、大殿筋、大腿二頭筋長頭、大腿直筋、外側広筋および半腱様筋)の mEMG との間に有意な相関関係は認められなかった。このことから、3 回転の最大パワーに影響を及ぼす筋を特定することはできなかった。

次に、5 秒間の全力ペダリング運動における 3 回転中の下肢筋群の mEMG と膝関節、骨盤-大腿部、大腿部および骨盤の角度との関係を検討した(表 9)。これは、運動のパフォーマンスに影響を及ぼす筋群を特定することができたとしても、このような知見をスポーツ実践の現場においてより有用なものとするためには、その関節周りの筋群の筋出力に影響を及ぼす要因について検討する必要があると考えられるためである。その結果、膝関節、骨盤-大腿部、大腿部および骨盤の角度と本研究課題において被験筋として用いた全ての筋の筋活動量との間に有意な相関関係は認められなかった。しかし、この結果から、ペダリング運動開始時の構えと下肢筋群の筋活動量との間に因果関係は認められないと結論づけることはできない。それは、本研究課題において用いた運動が、同条件のシート高によ

るペダリング運動であったためである。つまり、被験者全員が同じシート高や同じクランク長によってペダリング運動を行ったために、運動開始時の構えの個人差が小さく、個人固有の動きが発現しにくかったことが考えられる。したがって、短時間での全力ペダリング運動における運動開始時の構え、股関節伸展筋群の筋出力およびペダリングパワー出力との相互関係については、シート高を変化させ、それに伴う変化について検討する必要がある。

本研究課題をまとめると、短時間でのペダリング運動は、外側広筋などの膝関節伸展筋群の出力が他の筋群と比較して高い運動であることが示唆された。しかし、同一条件のシート高では、筋の動員や運動開始時の構えに関して個人間の差異が発現しにくく、最大パワーに影響を及ぼす筋群や筋活動量と運動開始時の構えとの関係について、ある一義的な関係は認められない可能性が示唆された。したがって、今後、短時間での全力ペダリング運動における運動開始時の構え、股関節伸展筋群の筋出力およびペダリングパワー出力との相互関係については、シート高を変化させ、それに伴う変化について検討する必要がある。

## 5. 要約

本研究課題の目的は、同条件のシート高を用いて、5秒間の全力自転車ペダリング運動における下肢筋群の筋活動量とペダリングパワー出力との関係を検討すること、さらに、下肢筋群の筋活動量に影響を及ぼす要因について、ペダリング運動開始時の構え、特に骨盤の傾斜に着目して検討することであった。被験者には、大学陸上競技部に所属する男性 10

名（年齢：21.52±1.91 歳，身長：1.79±0.05m，身体質量：71.04±5.63kg）を用い， 5 秒間のペダリング運動を体重×0.1kp の負荷で行わせた。

主な結果は以下の通りである。

- ① 3 回転中の筋活動量は，外側広筋が他の筋（脊柱起立筋，大殿筋，半腱様筋，大腿二頭筋）と比較して有意に高い値を示した。
- ② 5 秒間および 3 回転の最大パワーと全ての筋の筋活動量との間に有意な相関関係は認められなかった。
- ③ ペダリング運動開始時の構え（膝関節，骨盤-大腿部，大腿部および骨盤の角度）と全ての筋の筋活動量との間に有意な相関関係は認められなかった。

以上の結果から，短時間での全力ペダリング運動は，外側広筋などの膝関節伸展筋群を多く動員する運動であることが示唆された。しかし，同一条件のシート高によるペダリング運動では，主に動員する筋の種類や運動開始時の構えに関して個人間の差異が発現しにくい可能性のあることが示唆された。