

VII. 自転車ペダリング運動におけるシート高の相違が運動開始時の構え、

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 3-2)

1. 目的

運動開始時の構えを変化させる手段として、研究課題 3-1 では言語指示を考案し、この指示の効果について、運動開始時の構え、下肢筋群の筋出力およびジャンプパフォーマンスに着目して検討した。その結果、「胸を張り視線を前方においた構えをとる」という指示が、運動開始時に骨盤を前傾させるための指示として有効であるとの示唆を得た。

運動開始時の構えを変化させるための手段として、上述のような言語指示以外に、試技条件の変化、つまり道具や器具などによって強制的に構えを変化させることを挙げることができる。具体的な例を挙げると、自転車ペダリング運動におけるシート高や短距離走におけるスターティングブロックの設定を変えることによって強制的に構えを変化させる方法がこれにあたる。研究課題 2-2 においては、脚（外果から大転子まで）の 90% のシート高によるペダリング運動を行わせ、ペダリング運動開始時の構えが運動パフォーマンスおよび下肢筋群の筋出力に及ぼす影響について検討したが、これは、シート高を変化させることによって構えを変化させることを試みたものではない。したがって、シート高を変化させることによって、運動開始時の構え、特に骨盤傾斜を変化させることが可能であるか、さらに骨盤の傾斜を変化させることが可能であれば、その変化がペダリング運動におけるペダリングパワー出力および下肢筋群の筋活動量に及ぼす影響について検討する必要がある。

ろう。

ペダリング運動におけるシート高の変化について、現在までにいくつか検討されてきた。Nordeen-Snyder (1977) は、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ことを報告している。また、Gonzalez et al. (1989) は、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（大転子高）の 97%であったことを報告している。これらの報告においては、ペダリング運動におけるシート高の相違によってペダリングの効率が変化する理由として、シート高を低く設定したペダリングは、高く設定したペダリングと比較して、筋活動量が増加することから、酸素摂取量が増大し、ペダリングの効率が低下するためであると説明されている。また、シート高の変化によって下肢筋群の筋活動が変化する理由について、シート高の変化により関節可動域が変化し、下肢筋群の長さ－張力関係が変化するためであると説明されている。しかし、これらの報告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いては検討されていない。

そこで本研究課題では、5 秒間の全力ペダリング運動におけるシート高の変化が運動開始時の構え、下肢筋群の筋活動およびペダリングパワー出力に及ぼす影響につい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(年齢:21.52±1.91 歳, 身長:1.79±0.05m, 身体質量:71.04±5.63kg) を用いた。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、本研究課題の実験に参加した被験者は、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（竹井機器工業社製, TKK1254a）を用い、シート高の異なる 3 種類の試技条件下で、5 秒間の全力ペダリング運動を行わせた。本研究課題で基準とする試技（Middle）は、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、High は 95%、Low は 85%に設定した。なお、この 3 つの高さは、Nordeen-Snyder et al. (1989) の研究において用いられていた高さと同様である。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)×0.1kp とした。

本研究課題では、ペダリング運動開始時の構え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。試技順序は、被験者ごとにランダムに設定し、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

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 で画像撮影を行った。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) 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, 較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。なお, EMG の導出方法は, 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に入力し、較正式より回転速度を算出した。このようにして算出されたパワーから、3 回転の最大パワーおよび 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。算出方法については、研究課題 2-2 と同様である。

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変化による筋放電量の変化がみられる可能性がある

たためである。

(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、平均値については 3 種類の試技間 (High, Middle, Low) で有意差検定を行った。有意差検定には、反復測定分散分析を用い、F 値が有意であった項目についてはさらに Tukey-Kramer 法により多重比較を行った。なお、本研究課題では、統計処理の有意性を危険率 5%未満で判定した。また、有意傾向を 10%未満として判定した。

3. 結果

(1) 3 回転および 5 秒間の最大パワー

図 35 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。

High, Middle および Low の 3 試技全てにおいて、パワーは約 2 から 3 秒で最大に達していた。

表 10 は、3 回転および 5 秒間の最大パワー、さらに 3 回転の最大パワー出現時間を示したものである。5 秒間の最大パワーには、High, Middle および Low の 3 試技間に有意な差は認められなかったが、3 回転の最大パワーは、High が Low と比較して有意に高い値を示し、最大パワー出現時間は High が Low と比較して有意に低い値を示した。

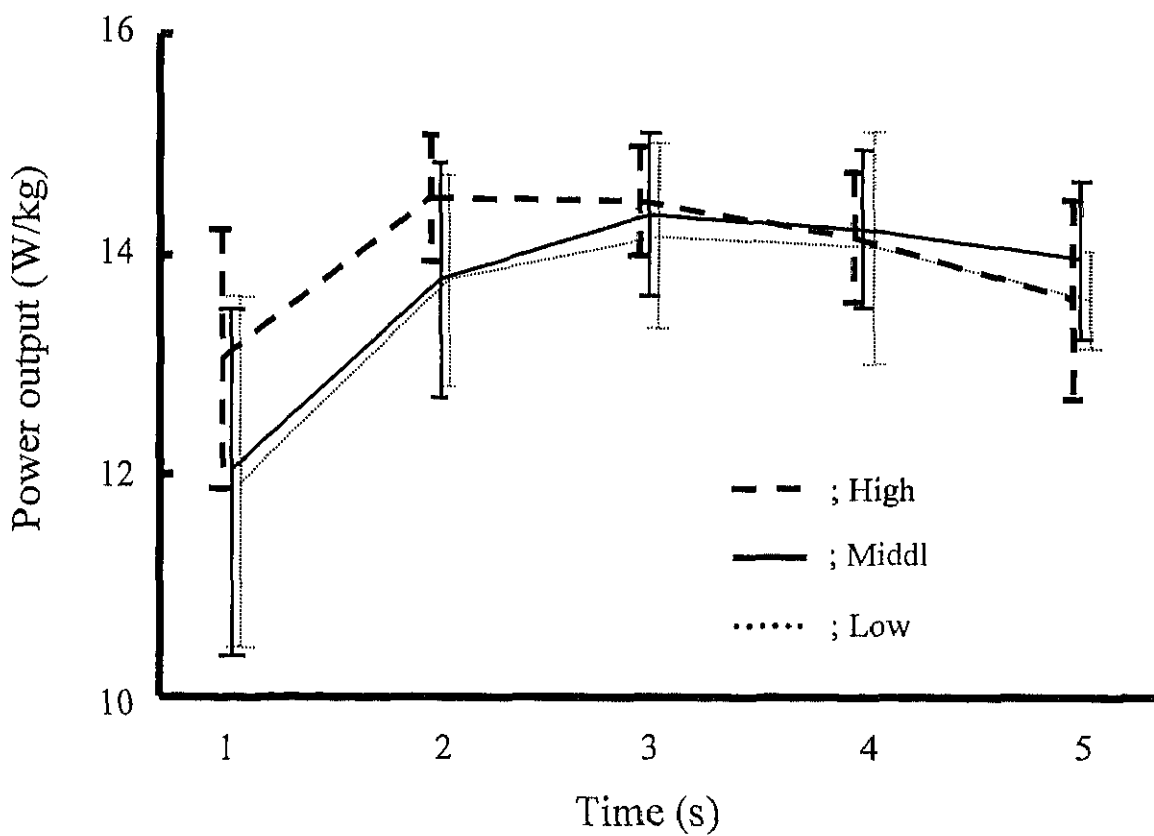


Fig. 35 Changes of power output in 5 s pedaling exercises. “High”, “Middle” and “Low” are 95% of leg length, 90% of leg length and 85% of leg length, respectively.

Table 10 Pedaling performance during 5 s pedaling exercise.

	Maximum power (W/kg)		Appearance time of maximum power in 3 revolutions (s)
	5s	3 revolutions	
High	15.23±0.56	14.51±0.64	1.30±0.25
Middle	14.95±0.49	13.93±0.85	1.49±0.16
Low	14.67±0.79	13.82±0.90	1.54±0.19
F-value	3.209	4.650**	3.814*
Multiple comparison	N.S	High > Low	High < Low

1. Values are mean±SD.

2. **, p<0.01 , *, p<0.05 , >, p<0.05

3. High, Middle and Low are 95%, 90% and 85% of leg length, respectively.

(2) ペダリング運動開始時の構え

表 11 は、3 回転中における体幹傾斜角度および骨盤傾斜角度を示したものである。体幹傾斜角度は、High, Middle および Low の順に有意に高い値を示した。また、骨盤傾斜角度は、High および Middle が Low と比較して有意に高い値を示した。なお、図 36 は骨盤—大腿部角度、膝関節角度、骨盤傾斜角度および大腿部角度の結果を High と Low に分けて模式的に示したものである。

図 37 は、3 回転中における足、膝、股関節の最大伸展角度と屈曲角度を示したものである。膝関節の最大伸展角度および屈曲角度ともに、High, Middle および Low の順に有意に高い値を示した。しかし、足および股関節の最大伸展角度および屈曲角度には、3 試技間に有意な差は認められなかった。また、図 38 は、3 回転中における骨盤—大腿部および大腿部の最大伸展角度と屈曲角度を示したものである。大腿部の最大伸展角度は、Low が High と比較して有意に高い値を示した。さらに、大腿部の最大屈曲角度は、Middle および Low が High と比較して有意に高い値を示した。しかし、骨盤—大腿部角度の最大伸展角度および屈曲角度には 3 試技間に有意な差は認められなかった。

(3) 3 回転中の mEMG

表 12 は、3 回転における各筋の mEMG(%MVC)を示したものである。脊柱起立筋および大腿二頭筋長頭における mEMG は、High が Low と比較して有意に高値を示した。また、大殿筋、半腱様筋、大腿直筋および外側広筋における mEMG は、High, Middle および Low の 3 種類の試技間に有意な差は認められなかったが、High が他の 2 試技と比較していずれ

Table 11 Sitting posture in the first 3 revolutions during 5 s pedaling exercises.

	Body angle (deg)	
	Trunk angle	Pelvic angle
High	46.1±4.1	102.2±7.9
Middle	44.1±4.1	101.0±9.2
Low	41.0±3.0	96.4±7.2
F-value	31.512**	20.259**
Multiple comparison	High > Middle > Low	High , Middle > Low

1. Values are mean±SD.

2.**; p<0.01 , >; p<0.05

3. High, Middle and Low are 95%, 90% and 85% of leg length, respectively.

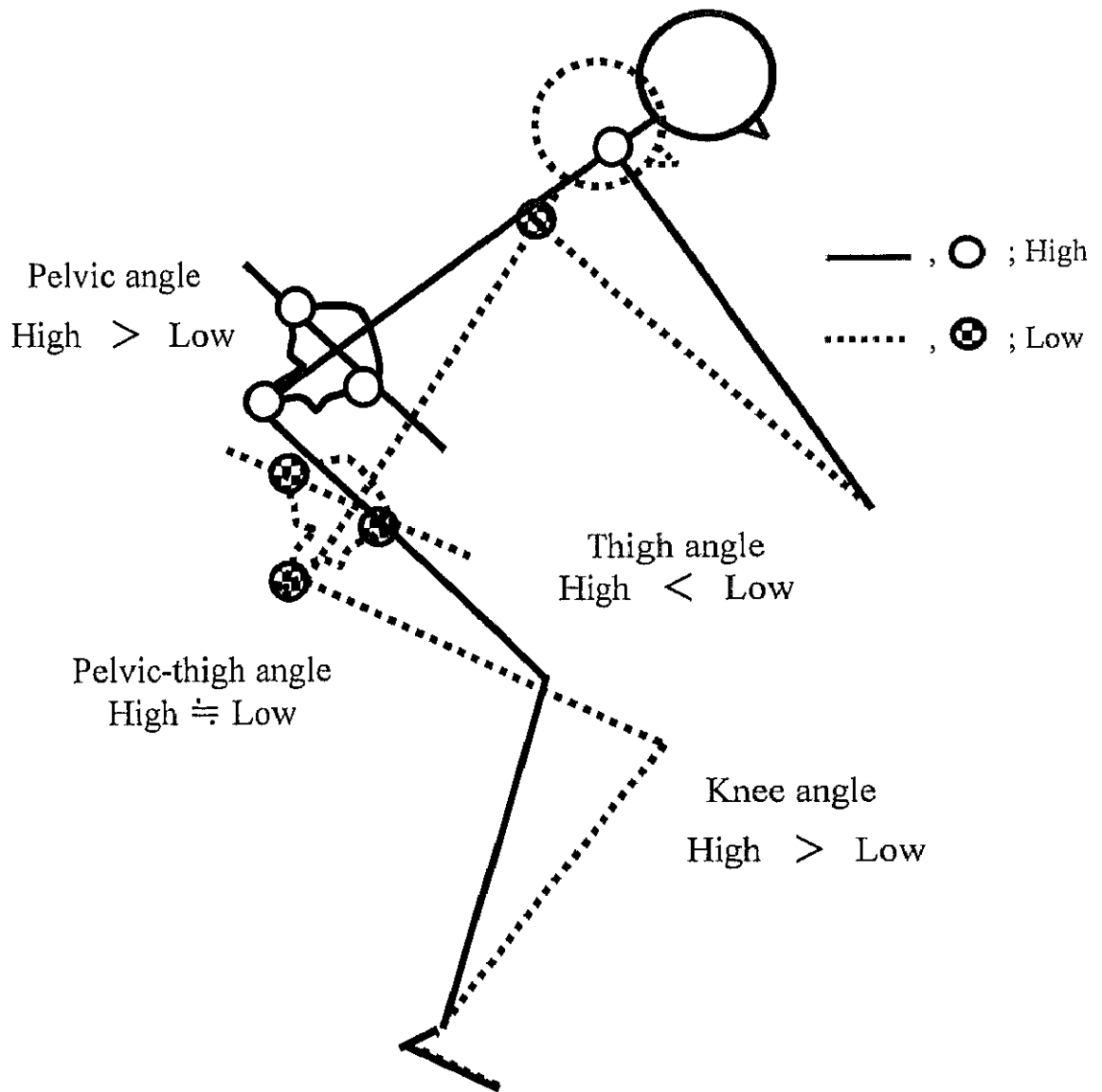


Fig. 36 Difference of sitting posture between High and Low.

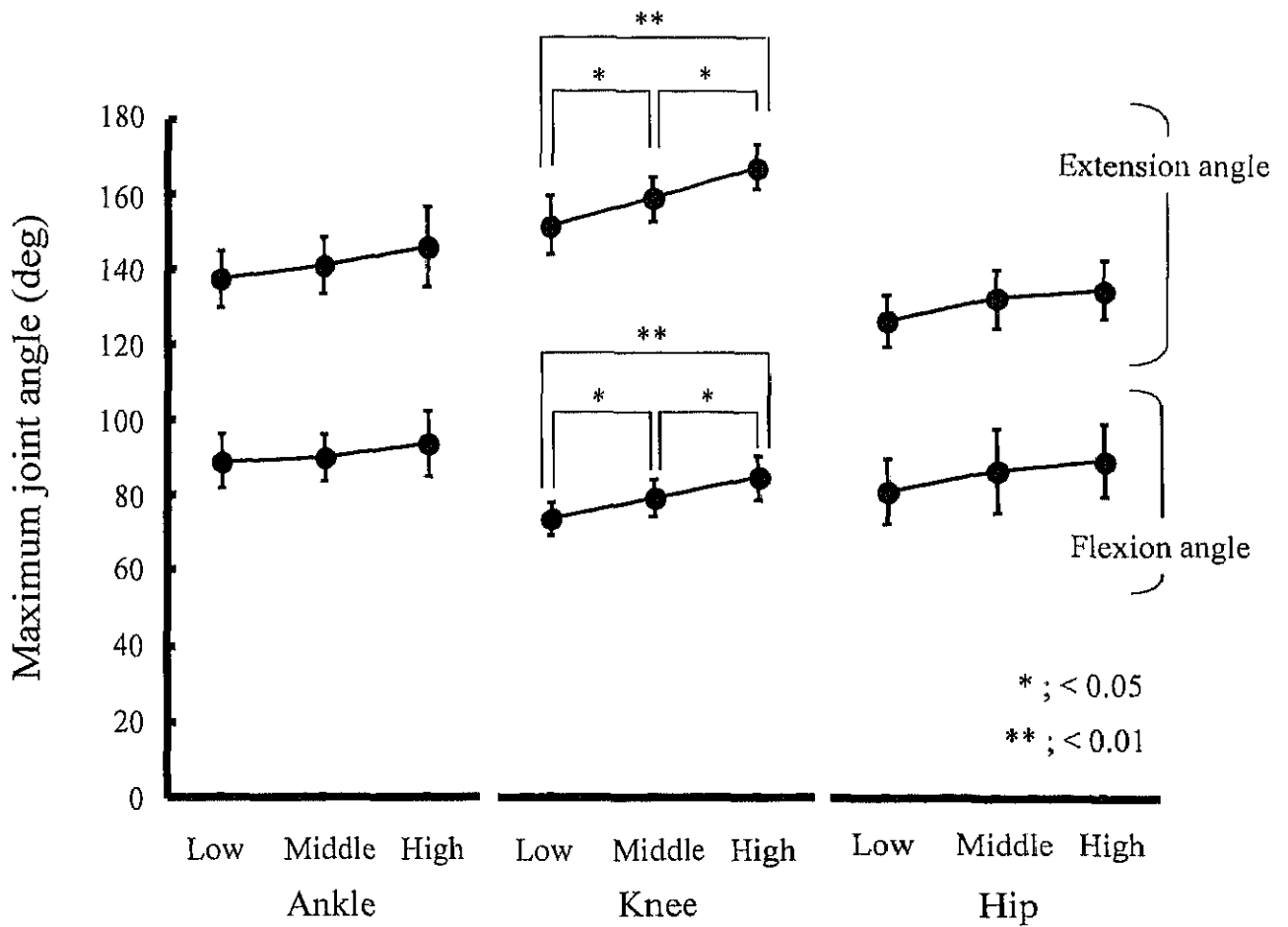


Fig. 37 Maximum extension and flexion angles of joint in the lower extremity in the first 3 revolutions during 5 s pedaling exercises. "High", "Middle" and "Low" are 95% of leg length, 90% of leg length and 85% of leg length, respectively.

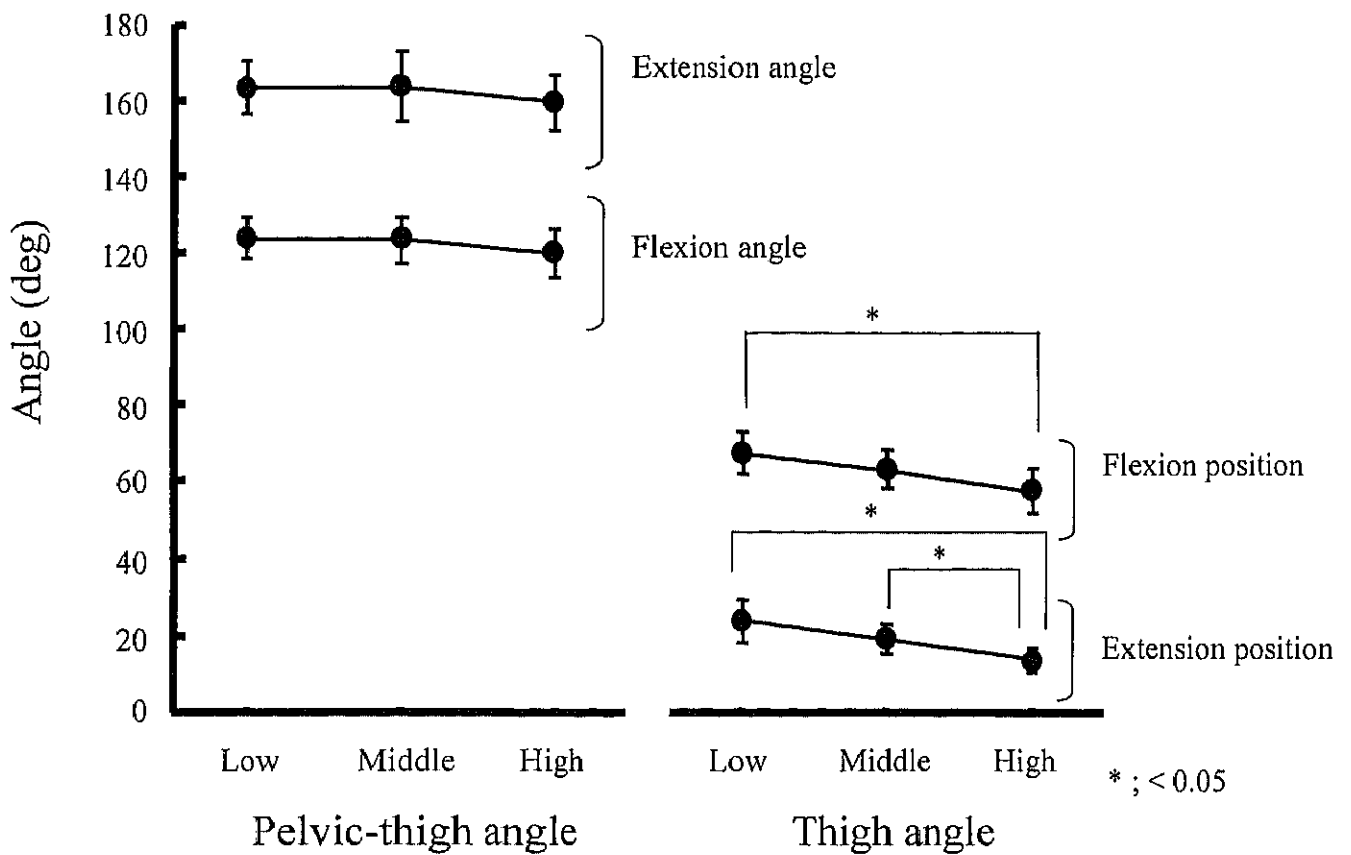


Fig. 38 Maximum extension and flexion angles of pelvic-thigh and thigh segment in the first 3 revolutions during 5 s pedaling exercises. “High”, “Middle” and “Low” are 95% of leg length, 90% of leg length and 85% of leg length, respectively.

Table 12 Mean EMG (mEMG) of the lower extremity muscles during the first 3 revolutions during 5 s pedaling exercises.

	mEMG (%MVC)					
	ES	Gmax	Semi	BF	RF	VL
High	34.1±19.1	58.5±11.4	48.1±16.5	35.2±13.1	63.9±33.4	84.1±18.8
Middle	32.7±21.7	54.2±12.6	45.1±10.6	32.3±12.9	62.1±31.0	82.7±17.0
Low	29.6±19.7	56.4±16.1	44.7±11.1	30.3±11.6	61.6±30.2	82.6±16.3
F-Value	4.781*	2.270	1.008	5.223*	0.293	0.225
Multiple comparison	High > Low	N.S	N.S	High > Low	N.S	N.S

1. Values are mean±SD.

2. *:p<0.05 , >:p<0.05

3. High, Middle and Low are 95%, 90% and 85% of leg length, respectively.

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

も高値を示した。

4. 考察

本研究課題の目的は、5秒間の全力ペダリング運動におけるシート高の変化が、運動開始時の構え、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について検討することであった。

High, Middle および Low の3試技間における構えの差異を検討した結果、骨盤傾斜角度は High が Low と比較して有意に高い値を示した(表 12)。また、膝関節の最大伸展角度は、High, Middle および Low の順に有意に高い値を示した(図 37)。さらに、大腿部の角度は上死点では Low が High と比較して有意に高い値を示し、下死点では Low および Middle が High と比較して有意に高い値を示した(図 38)。これらの結果は、シート高の相違によって骨盤の前傾など構えを変化させることが可能であったことを示している。本研究課題ではさらに、構えの変化がパワー出力および下肢筋群の筋活動の変化に及ぼす影響を検討した。

3回転の最大パワーは、High が Low と比較して有意に高い値を示し、3回転の最大パワー出現時間は、High が Low と比較して有意に低値を示した(表 10)。これは、High においては、Low と比較してより短い時間で高いパワー出力を発揮することができたことを示している。また、下肢筋群の中でも大腿二頭筋長頭の mEMG は、High が Low と比較して有意に高い値を示した(表 12)。これらの結果は、ペダリング運動における座位姿勢の変化が、股関節伸展筋群の筋活動量の変化に影響を及ぼしている可能性のあること、および股関節伸展筋群の筋活動量の変化がペダリング運動における最大パワーの変化に影響を及ぼしてい

る可能性のあることを示唆している。言い換えると、シート高を高く設定した試技は、低く設定した試技と比較して、ペダリング運動における最大パワーの向上および大腿二頭筋長頭の動員に関して有効に作用する可能性を示唆している。

High において大腿二頭筋長頭における筋活動量が大きかったことは、High において骨盤が前傾していたことおよび膝関節が伸展していたことによって大腿二頭筋長頭の筋張力が高まったためであると考えられる。先行研究では骨盤の前傾および膝関節の伸展と大腿二頭筋長頭の筋張力との関係について、大腿二頭筋長頭の起始が骨盤にあり、停止が腓骨にあることから、骨盤が前傾すること、および膝関節が伸展することにより大腿二頭筋長頭の起始と停止との距離が増加し、筋張力が高まることが報告されている (Sullivan et al., 1992)。本研究課題においても High において骨盤が前傾し、同時に膝関節最大伸展角度が増大したことから、同様の現象が起こっていたことが推測される。しかし、high において骨盤が前傾したにも関わらず、大腿二頭筋長頭と同様、骨盤を起始にもつ大殿筋の mEMG は、High, Middle および Low の 3 試技間に有意な差が認められなかった(表 12)。これは、High は骨盤が前傾していたものの上死点において大腿部が高く上がらず、Low は骨盤の前傾が少なかったものの上死点において大腿部が高く上がっていたために、骨盤傾斜角度と大腿部角度との和である骨盤-大腿部角度は、high と low との間に差が認められなかったためであると考えられる。そのために、大殿筋の筋活動量は High と Low との間に差が認められなかったものと推測される。しかし、3 回転の最大パワーは High が Low と比較して有意に高値を示したことから、High においては大殿筋の筋活動量が最大パワーの獲得に貢献し、Low においては大殿筋の筋活動が最大パワーの獲得に貢献しなかった可能性も考えら

れる。これは、High が骨盤の前傾によって骨盤－大腿部角度を伸展させて大殿筋の筋活動量を得ていたのに対して、Low は大腿部の屈曲位への移行によって骨盤－大腿部角度を伸展させて大殿筋の筋活動量を得ていたことの違いによるものであると考えられる。High のように、骨盤を前傾させることによって大殿筋の筋張力を得た場合は、その結果として、上死点以降における大腿部の振り下ろしにおいて、大殿筋の筋張力がペダルをこぐためのパワーに反映されることが考えられる。これに対して、大腿部を屈曲位へ移行させることによって大殿筋の筋張力を得た場合は、その結果として、大殿筋の筋張力が骨盤を後傾させるように作用するので、ペダルをこぐためのパワーに反映されないことが考えられる。

本研究課題では、撮影機材の限界により、ペダリング運動開始時の構えとして脊柱の湾曲を検討することが出来なかった。研究課題 3-1 において「胸を張る」という指示によって骨盤が前傾したように、ペダリング運動においても、胸を張ってペダリング運動を行っていた被験者とそうではない被験者が存在していたことは十分に考えられる。したがって、今後、ペダリング運動においても、胸を張った構えによって骨盤が前傾するか否かについて検討する必要がある。

以上本研究課題をまとめると、5 秒間の全力ペダリング運動において、シート高を変化させることで骨盤傾斜角度等のペダリング運動開始時の構えが変化し、これにより下肢筋群における筋活動量、さらには最大パワーが変化する可能性が示唆された。

5. 要約

本研究課題の目的は、5 秒間の全力ペダリング運動におけるシート高の変化が運動開始

時の構え，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につい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，シートの高さを変化させた 3 種類（High，Middle および Low）の試技条件下で，それぞれ 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 回転の最大パワーは，High が Low と比較して有意に高い値を示した。
- ② 骨盤傾斜角度は，High および Middle が Low と比較して有意に高値を示した。
- ③ 膝関節最大伸展角度および屈曲角度は，いずれも High，Middle および Low の順に有意に高い値を示した。
- ④ 脊柱起立筋および大腿二頭筋長頭における mEMG は，いずれも High が Low と比較して有意に高い値を示した。

以上の結果から，5 秒間の全力ペダリング運動において，シート高を変化させることで骨盤傾斜角度を始めとする運動開始時の構えが変化し，これにより股関節伸展筋群の筋出力，さらには最大パワーが変化する可能性が示唆された。