自転車駆動におけるクランク長変化と 足部の位置が生体に及ぼす影響

大森 豊¹⁾ 渡辺 敏 武田 秀和
銭谷 嘉純 山田 純生²⁾ 山崎 裕司
牧田 光代 深井 和良³⁾ 前田 秀博⁴⁾

Changes in Knee ROM and Physiological Response during Modified Bicycle Ergometer:
Effect of a Shorter Crank Length and Heel Pedaling.

Yutaka OOMORI, Satoshi WATANABE, Hidekazu TAKEDA, Yoshinori ZENITANI, Sumio YAMADA,
Hiroshi YAMASAKI, Mitsuyo MAKITA, Kazuyoshi FUKAI, Hidehiro MAEDA.

1)Dept.of Rehabilitation Medicine, St. Marianna University Yokohama city seibu Hospi-
tal: 1197-1 Yasashi-cho Asahi-ku Yokohama Kanagawa 241 Japan. TEL +81 45-366-1111.

2)Dept.of Rehabilitation Medicine, St. Marianna University Hospital: 2-16-1 Sugao
Miyamae-ku Kawasaki Kanagawa 213 Japan. TEL +81 44-977-8111.

3)Dept.of Rehabilitation Medicine, St. Marianna University Tohyoko Hospital: 3-435
Kosugi Nakahara-ku Kawasaki Kanagawa 211 Japan. TEL +81 44-722-2121.

4)Dept.of Physical Therapy, Chikamori Rehabilitation Hospital: 1-2-6 Kitahonmachi
Kouchi-city Kouchi 780 Japan. TEL +81 888-22-5231.

Exerc. Physiol. 8(4):213-216,1993. Submitted Aug.21,1993. Accepted Sep.23,1993.
ABSTRACT

In order to experimentally reduce knee ROM during bicycle ergometer, we prepared the ergometer with a shorter crank (12.5 cm) and ordered 6 healthy male subjects to pedal with their heels. Knee ROM was laterally analyzed by VTR and compared the results with that during conventional bicycle ergometer. $\dot{V}O_2$, HR, SBP, and RPE were also measured to examine a change in mechanical efficiency of the modified bicycle ergometer. Knee flexion angle was reduced in this order; during normal crank pedaling, normal crank pedaling with the heel, shorter crank pedaling, and shorter crank pedaling with the heel. The smallest angle at which subjects were allowed to pedal was 80 - 90 degrees. There was no difference in physiological response between normal crank pedaling and shorter crank pedaling with the heel, to the stress extent of 60% Peak $\dot{V}O_2$.

Key words: knee ROM, crank, $\dot{V}O_2$

要旨

自転車のクランクを短くし、ペダルの足部位置を変えることで膝ROMを減少させることを試みた。また、その機械効率の低下を $\dot{V}O_2$, HR, SBP, RPEにより生体反応として測定した。対象は6名の健康男性で、クランクは通常の16.5cmと短縮した12.5cmを使用した。足部位置は中足趾節間関節と踵駆動とした。ROMは2条件の組み合わせ計4種類で側面よりVTR撮影し解析した。通常クランク駆動、通常クランク踵駆動、短クランク駆動、短クランク踵駆動の順に角度が減少し、最小で80-90°で駆動可能であった。生体反応は通常クランク駆動と短クランク踵駆動を比較し、60% Peak $\dot{V}O_2$ までの負荷では差を認めなかった。

キーワード: 膝関節可動域、クランク、 $\dot{V}O_2$

1)聖マリアンナ医科大学横浜市西部病院 リハビリテーション部: 横浜市旭区矢指町1197-1 (〒241) TEL 045-366-1111. 2)聖マリアンナ医科大学病院 リハビリテーション部: 川崎市宮前区菅生2-161 (〒213) TEL 044-977-8111. 3)聖マリアンナ医科大学東横病院 リハビリテーション部: 川崎市中原区小杉3-435 (〒211) TEL 044-722-2121. 4)近森リハビリテーション病院理学療法室: 高知市北本町1-2-6 (〒780) TEL 0888-22-5231.

受付日1993年8月21日 受理日1993年9月23日

I. はじめに

従来から、自転車エルゴメーターは下肢関節疾患における筋力ならびに全身持久力訓練に利用されている。特に、非荷重状態での運動(open kinetic chain)から荷重状態(closed kinetic chain)への移行期の訓練方法として有用である¹⁾。

しかし、自転車エルゴメーターはその駆動形式より最低105-110°の膝屈曲角度が必要とされる²⁾。そのため我々が対象としている症例にはROMの制限により、自転車エルゴメーターが適応とならないケースがしばしば認められる。

今回我々はそのような症例に対し、自転車エルゴメーターの適応範囲を拡大することを目的に、クランク長とペダルに対する足部位置を変化させ、膝関節可動域を計測した。また、クランクを短くすることによる機械効率の低下を調べるため生体反応についても検討したので報告する。

II. 対 象

対象は下肢関節疾患の既往がない健常男性6名である(表-1)。

表1 対象
健常男性6名
年齢:25.8±3.4歳
身長:171.5±4.3cm
体重61.4±7.6Kg

表-2: 膝関節ROM

	上死点	下死点	可動範囲
通常クランクMP駆動	118.9±3.8	15.1±3.0	103.8±2.7
通常クランク踵駆動	105.9±2.4	11.5±4.8	94.4±5.3
短クランクMP駆動	98.5±3.9	17.3±4.9	81.2±7.6
短クランク踵駆動	82.7±6.5	16.0±10.3	66.6±9.2

III. 方 法

自転車はコンビ社製のcardiac rehabilitation system5を用い、16.5cmの通常のペダル位置より4cm短縮した12.5cm部にペダルを移動できるように改造した。サドル位置は、各クランク長において下死点で骨盤による代

償のない高さ(大転子から踵までの長さの95~98%)とした。また、ペダルに対する足部の位置は通常の中足趾節間関節(以下MP)と下腿長軸延長線上の踵の2種類で行い、それぞれでクランクの長さを変えた4条件を設定した。

ROMの分析はSONY動作解析computer systemを用い、50Wattで自転車駆動している状態を、大転子-膝関節列隙中央-外果をランドマークとして患者の右側からビデオ撮影した。その後digitizer analyzerにより矢状面上での上死点、下死点の膝関節ROMについて計測した。

生体反応の測定は以下の手順で行った。まず、負荷量設定のため通常の16.5cmのクランクにてペダル回転数50rpmにて症候限界性運動負荷試験を行いミナト医科学社製AERO-MONITOR AE-280にてPeak $\dot{V}O_2$ を測定し、その40%,60%,80%に相当するWatt数を決定した。駆動形態は上記のROMの結果より、短クランクの踵駆動が膝関節の屈曲角度が最小となることから、短クランクの踵駆動と通常駆動の比較とした。通常駆動と短クランク踵駆動の施行順序はランダムとし、20Wattにて3分間のウォームアップの後、40%,60%,80%の負荷にてそれぞれ5分間ずつ駆動した。

$\dot{V}O_2$ の値は、5分間駆動した各負荷強度の最後の1分間の平均値を用いた。心拍数は胸部双極誘導(CM5)による心電図波形から算出した。血圧は聴診法により、またBorgの主観的運動強度(以下RPE)は胸部疲労と下肢疲労にわけて各負荷の終了時に測定した。

データの検定には対応のあるt検定を用いRPEのみU検定を用いた。有意水準は5%とした。

IV. 結 果

ROMについては、通常クランクMP駆動、通常クランク踵駆動、短クランクMP駆動、短クランク踵駆動の各条件においてそれぞれの組み合わせで、下死点において有意差を認めな

いものの、上死点と上死点のROM から下死点のROM を引いた関節可動範囲において有意差を認めた(表-2、図-1)。

各負荷強度における $\dot{V}O_2$ の変化は、通常クランク踵駆動と短クランク踵駆動の順に 40% $\dot{V}O_2$ 、60% $\dot{V}O_2$ 、80% $\dot{V}O_2$ の各強度にて有意差を認めなかった(表-3、図-2)。

心拍数と収縮期血圧は、それぞれ40% $\dot{V}O_2$ 、60% $\dot{V}O_2$ にては両条件に差を認めなかったが、80% $\dot{V}O_2$ に相当する負荷時のみに有意差を認めた(表-3、図-3、図-4)。

RPE においては、各負荷強度において胸部と比較して、下肢疲労が高い傾向があったが、通常駆動と短クランク踵駆動においては有意差を認めなかった(表-3)。

V. 考 察

膝関節の訓練における自転車エルゴメーターの適応については、諸家の研究で様々な利点が解明されている。

表-3：生体反応について

	40% $\dot{V}O_2$			60% $\dot{V}O_2$			80% $\dot{V}O_2$		
	通常クランク	短クランク	NS	通常クランク	短クランク	NS	通常クランク	短クランク	NS
$\dot{V}O_2$ (ml/min·kg)	15.6 ± 3.0	15.2 ± 2.7	NS	23.8 ± 4.5	23.7 ± 4.7	NS	31.7 ± 5.8	31.7 ± 5.1	NS
HR(bpm)	104.3 ± 7.7	107.9 ± 9.1	NS	133.3 ± 9.0	138.7 ± 11.5	NS	163.6 ± 9.3	169.6 ± 12.2	*
SBP(mmHg)	141.7 ± 17.2	149.0 ± 12.6	NS	170.7 ± 20.6	178.7 ± 17.5	NS	186.0 ± 20.4	196.7 ± 21.3	*
RPE(Chest)	7~10	8~10	NS	11~13	11~14	NS	18~19	17~19	NS
RPE(Leg)	8~11	8~11	NS	12~14	11~14	NS	17~20	17~19	NS

* : $p < 0.05$

Ericson ら²⁾は、筋電図などによる考察から、内側広筋・外側広筋の筋活動が歩行や等尺性収縮と比較して高いとし、関節に対する負荷も少ないとしている。

Henning ら³⁾は前十字靱帯にかかる負担は80ポンドのLachman テストの7%であり、歩行などより負荷が少ないとしている。

また、William ら⁴⁾はACL 損傷群と正常群に20分間の自転車駆動を行い両群とも関節の弛緩性が増加していたとしている。

本研究では、最大屈曲位でのROM において通常クランクMP駆動と短クランク踵駆動では約35° の変化が認められた。これは、短クランク踵駆動であれば膝関節屈曲80-90° 程度のROM があれば十分自転車駆動が可能であり、諸家の研究と合わせてACL 再建術後などに代表されるROM 制限下での訓練や、膝関節の可動域制限を有する症例の訓練として応用可能であることを示唆している。

膝関節ROM 制限を有する症例の全身持久力訓練には患側駆動が不可能なことから上肢エルゴメーター、片足駆動など様々な試みがなされているが、持久力訓練においてはいかに多くの筋を活動させるかがポイントとなる。Vernonら⁵⁾は筋活動の指標とされる $\dot{V}O_2$ においては、両足駆動と比較して片足駆動が77~79%、上肢エルゴメーターが65~75% であるとしており、持久力訓練には両足での駆動が適している。

今回の研究では一般に全身持久力訓練に応用されている60% $\dot{V}O_2$ 以下の負荷強度において通常クランク駆動と短クランク踵駆動での生体反応に差がなかったことが示された。これは全身持久力訓練の有効範囲とされる負荷量においては短クランク駆動でも通常クランクと同様の効果が期待できるものと思われた。ただし、 $\dot{V}O_{2max}$ などの測定、筋力トレーニングとして高負荷で駆動する場合は注意が必要と思われた。

以上のことから、ROM 制限を有する症例に対し、短クランクを用いたり、足部位置を変化させ自転車駆動を行うことは有用であることが示唆された。

VI. まとめ

ROM 制限を有する患者を想定し、自転車エルゴメーターのクランクを短くすることと足部の駆動位置を変えることを試み、ROM と生体反応の変化について検討した。

1. ROM は、通常クランクMP駆動・通常クランク踵駆動・短クランクMP駆動・短クランク踵駆動の順に減少し、通常クランクMP駆動と短クランク踵駆動では最大屈曲値が約35° 減少した。

2. 生体反応では、通常クランク駆動と短クランク踵駆動にて $\dot{V}O_2$ ・心拍数・血圧・RPE を測定し、60% $\dot{V}O_2$ までの負荷では差を認めなかったが、80% $\dot{V}O_2$ にて心拍数・血圧のみ差を認めた。

3. ROM 制限を有する症例に対して本法を施行する場合は、60% $\dot{V}O_2$ 程度までの負荷では通常の駆動と同様の効果が期待できるものと思われた。

本研究の要旨は、第7回日本私立医科大学理学療法学会で口述発表した。

VII. 参考文献

- 1) 浦辺幸夫他:スポーツ選手の筋力増強訓練: PTジャーナルVol.23:pp763-769,1989.
- 2) Mats Ericson:On the biomechanics of cycling:Scand J Rehab Med,Suppl.No.16 1986.
- 3) Henning CE et al :An in vivo strain gage study of elongation of the anterior cruciate ligament.Am J Sports Med 13:pp22-26,1985.
- 4) William A. Grana et al:The effect of exercise on laxity in the anterior cruciate ligament deficient knee.Am J Sports Med 16:pp586-588,1988.
- 5) Venon Bond et al:Aerobic capacity during two-arm and one-leg ergometric exercise.Int.Rehabil.Med.,8:pp79-81, 1986.