

下腿や足部の肢位が内側広筋と外側広筋の筋活動量に及ぼす影響

—段差昇降訓練および大腿四頭筋セッティングにおける分析—

池添冬芽, 市橋則明, 羽崎 完*

森永敏博

Effect of tibial and foot position on the muscle activity of the vastus medialis oblique and the vastus lateralis during step-up exercises and quadriceps setting.

Tome IKEZOE, Noriaki ICHIHASHI, Kan HAZAKI*,
Toshihiro MORINAGA

The purpose of this study was to determine the effects of tibial and foot position during step-up exercises and quadriceps setting on the muscle activity of the vastus medialis and vastus lateralis. Eighteen healthy subjects with a mean age of 21.2 years participated in this study. The silver-silver chloride surface electrodes were applied to the vastus medialis oblique (VM) and vastus lateralis (VL). Step-up exercises were performed in conjunction with one of three tibial positions (medial tibial rotation, neutral tibial rotation, lateral tibial rotation), and quadriceps setting with one of three foot positions (foot pronation, foot neutral, foot supination). Muscle activity of vastus medialis and the VM/VL ratio in the lateral tibial rotation were significantly greater than that in the other tibial positions during the step-up exercises. No significant differences were observed due to the foot position for vastus medialis, vastus lateralis and VM/VL ratio during quadriceps setting. These results suggest that foot position in quadriceps setting is less effective for the vastus medialis and the vastus lateralis muscle, and that step-up exercises accompanied by lateral tibial rotation can be the most effective for preferential recruitment of the vastus medialis relative to the vastus lateralis.

Key words: Electromyography, step-up exercises, quadriceps setting

はじめに

京都大学医療技術短期大学部理学療法学科
京都市左京区聖護院川原町53
* 国立療養所犀潟病院附属リハビリテーション学院
理学療法学科
新潟県頸城郡大潟町犀潟468-1
Division of Physical Therapy, College of Medical
Technology, Kyoto University
* Division of Physical Therapy, School of Rehabilitation in National Saigata Hospital
2000年7月6日受付

膝関節疾患の治療訓練において、大腿四頭筋の筋力増強訓練は重要な訓練のひとつである。大腿四頭筋の中でも、特に内側広筋は萎縮しやすく、また筋力増強訓練に対する反応も遅いこと^{1,2)}から、内側広筋に対する有効な筋力増強訓練法の確立が求められている。また、内側広筋と外側広筋の筋力不均衡による膝蓋骨の外側

偏位は膝蓋大腿関節の機能障害を引き起こすひとつの原因と考えられている。そのために膝蓋大腿関節の機能障害に対する予防および治療としては、膝蓋骨を内方に引き寄せる内側広筋を外側広筋よりも活動させるような訓練が望ましいとされている³⁻⁵⁾。

外側広筋に対して、内側広筋をより収縮させる訓練方法については、下腿や足部の回旋を伴った膝伸展運動⁶⁻⁹⁾や、股関節内転運動¹⁰⁻¹⁵⁾に注目した研究が多くみられる。股関節内転運動について、Hanten¹⁰⁾らは膝伸展時に股関節内転筋を収縮させることで、内側広筋を促通することができるかと述べている。一方、Karst¹¹⁾らは下肢伸展挙上(SLR)時に股関節内転運動を加えても、内側広筋の筋活動量は変化しなかったと報告している。また、下腿や足部の肢位が内側広筋や外側広筋に及ぼす影響についても、下腿内旋が内側広筋の促通に効果があるとする報告^{6,7)}と、下腿を内旋位に収縮させても内・外側広筋の筋活動には変化が見られなかったという報告^{8,9)}があり、いまだ統一した見解が得られるには至っていない。

本研究では、臨床的によく用いられている膝関節疾患の治療訓練として、段差昇降訓練と大腿四頭筋セッティングに注目し、下腿や足部の肢位を変化させることによって、内側広筋・外側広筋の筋活動量および内側広筋・外側広筋の活動比(VM/VL比)にどのような影響を及ぼすかについて検討した。

対象および方法

対象は下肢・体幹に整形外科的疾患の既往のない健常女子学生18名(平均年齢:21.2±0.6歳,平均体重:53.4±5.8kg)とした。

筋電図の測定筋は、右側の内側広筋、外側広筋とし、銀塩化銀電極(直径8mm)を各筋の筋線維の走行に平行に、電極中心距離20mmで貼り付け、段差昇降訓練およびセッティング時の筋電図を双極導出した。なお、皮膚の電極間抵抗が10k Ω 以下となるようにスキンプューで十分に処理した。

筋電図の測定にはフルサワ・ラボ社製の筋電計を使用し、2.6Hzのローパスフィルターで平滑化処理をハードウェアにて行うことにより整流平滑化筋電図(Rectified Filtered Electromyography:以下、RFEMGとする)を求め、さらにAD変換器を通じて、サンプリング周波数50Hzでパーソナルコンピュータ(EPSON PC286LS)に保存した。

段差昇降訓練は前方に置いた台に測定側下肢をのせた肢位を開始姿勢とし、測定側下肢は台上にのせたまま、非測定側下肢のみを1秒間で前方台上に引き上げ(膝伸展相)、1秒間で再び後方床上に降ろす(膝屈曲相)動作を反復させた。この段差昇降動作をそれぞれ下腿中間位、下腿を最大限に内旋させた肢位(以下、下腿内旋位)、下腿を最大限に外旋させた肢位(以下、下腿外旋位)の3つの下腿肢位で行わせた。

動作スピードは電子メトロノームを利用して、一定の速度を保つように指示した。なお、段差の高さは30cmとした。

大腿四頭筋のセッティングは背臥位、股関節・膝関節0度伸展位にて大腿四頭筋の最大等尺性収縮を3つの足部肢位(足部中間位・足部回内位・足部回外位)で3秒間行わせた。

筋電図のデータは、段差昇降訓練については安定した4回分の段差昇降動作の筋活動、大腿四頭筋セッティングは3秒間の筋活動を用い、その間の筋活動量を平均した平均RFEMGを求めた。さらに膝関節0度伸展位での膝伸展最大等尺性収縮時におけるRFEMGを100%として正規化し、それぞれ%RFEMGを求めた。

統計処理は一元配置分散分析および多重比較法を用い、下腿および足部の肢位による影響について分析した。また、内側広筋と外側広筋の活動の割合を比較するために、内側広筋の%RFEMGを外側広筋の%RFEMGで除した値(以下、VM/VL比とする)を求め、同様の統計処理を行った。

池添冬芽, 他: 下腿や足部の肢位が内側広筋と外側広筋の筋活動量に及ぼす影響

表1 段差昇降訓練の内側・外側広筋の% RFEMG および VM/VL 比

	下腿内旋位	下腿中間位	下腿外旋位
内側広筋	57.1±16.3	62.1±14.4	69.4±13.9**
外側広筋	56.8±12.5	60.9±15.1	63.8±13.6
VM/VL 比	1.04±0.23	1.05±0.21	1.11±0.23*

* : p<0.05 ** : p<0.01

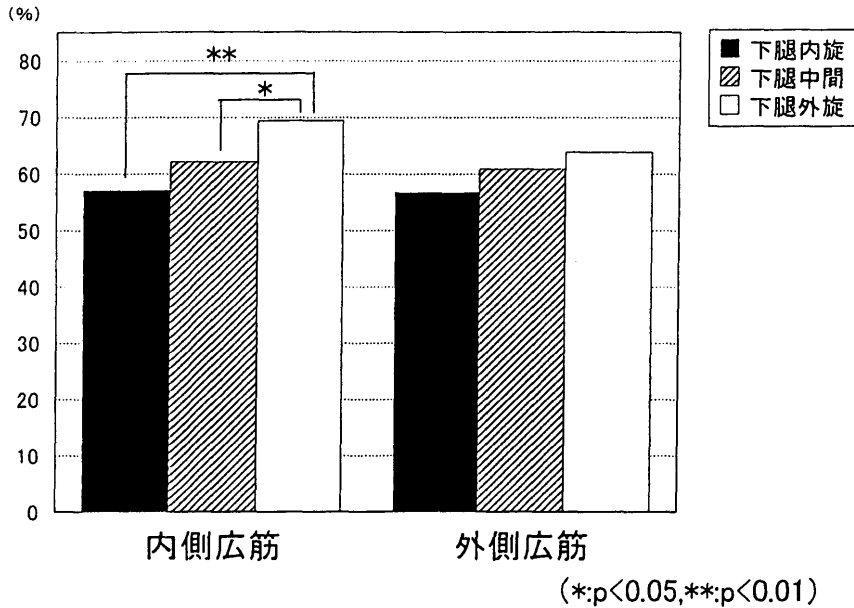


図1. 段差昇降訓練時の%RFEMG

結 果

1. 段差昇降訓練

段差昇降訓練時の各筋の筋活動量は内側広筋が57.1~69.4%, 外側広筋が56.8~63.8%であった。一元配置分散分析の結果, 内側広筋において下腿肢位による有意な影響が認められ, 下腿外旋位で最も高い筋活動量を示した。また, VM/VL 比においても下腿の肢位による有意な影響が認められ, 下腿外旋位で最も高い値を示した。

2. 大腿四頭筋セッティング

セッティング時の内側広筋の筋活動量は67.1~79.1%, 外側広筋は101.6~117.2%であった。足部の肢位による違いは内側広筋・外側広筋お

よび VM/VL 比いずれにおいても認められなかった。

考 察

大腿四頭筋の筋力増強訓練法として, 膝伸展運動, 下肢伸展挙上 (SLR), 大腿四頭筋のセッティング, スクワットや段差昇降訓練など, 種々の方法が用いられている。このなかで, 段差昇降訓練は下肢荷重位でのいわゆる closed kinetic chain 訓練であり, 実際の日常動作に即した訓練としてよく用いられている。

Souza ら¹⁶⁾は, 段差昇降時の VMO/VL 比は大腿四頭筋の等尺性収縮時の VMO/VL 比よりも高いことから, 膝蓋大腿関節障害の患者には等尺性収縮よりも段差昇降訓練のような等張

表2 セッティングの内側・外側広筋の%RFEMG および VM/VL 比

	足部回内位	足部中間位	足部回外位
内側広筋	67.1±15.8	79.1±25.2	68.8±20.3
外側広筋	102.6±25.9	117.2±32.0	101.6±28.7
VM/VL 比	0.66±0.11	0.68±0.11	0.67±0.11

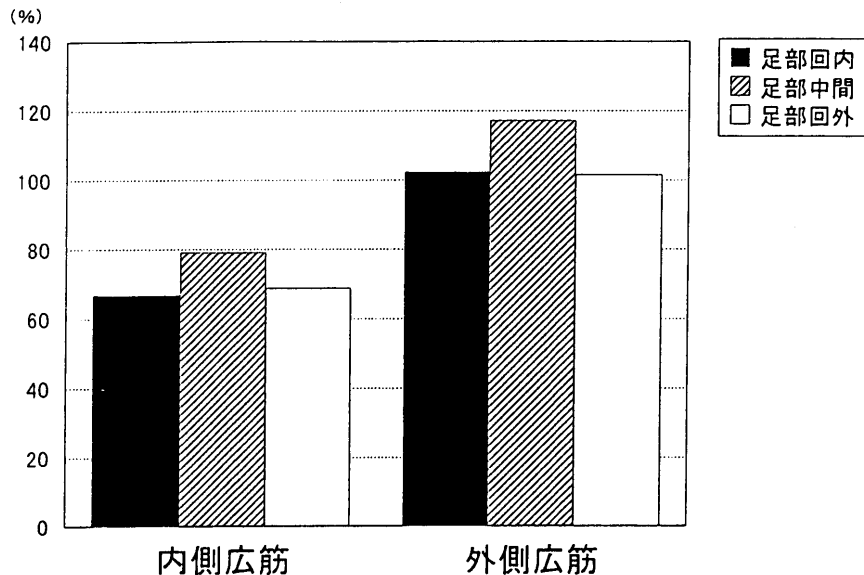


図2. セッティングの%RFEMG

性収縮を用いるのがよいと述べている。

段差昇降時の内側広筋と外側広筋の筋活動量に関する報告については、段差昇り動作より降り動作の方が外側広筋に対して内側広筋の筋活動量は低いこと¹⁷⁾、上肢に重錘負荷して段差昇降を行ったときに内側・外側広筋ともに筋活動量は増加する¹⁸⁾ことなどが報告されている。しかし、下腿の肢位を変化させて段差昇降を行ったときの内側広筋と外側広筋の筋活動量について調べた研究は見当たらない。

内側広筋は下腿の外旋を防止することから、下腿の内旋を伴った膝伸展運動時に内側広筋が働くといわれている¹⁹⁾。しかし、実際に内側広筋の筋活動量を調べた研究では、下腿内旋位で膝伸展させても内側広筋の筋活動量は変化しなかったとする報告⁸⁾や、下腿を内旋位に収縮させながら膝伸展させると筋活動量は増加したと

する報告⁶⁾、あるいは膝屈曲角度によって内側広筋を促通する下腿肢位は異なるという報告⁷⁾など、下腿内旋の効果については意見が分かれている。これらの報告はいずれも open kinetic chain での研究であり、closed kinetic chain 訓練における下腿の内外旋が内側広筋の筋活動量に及ぼす影響について調べた研究は少ない。

本研究の結果、段差昇降動作において、内側広筋の筋活動量は下腿外旋位で有意に大きい値を示した。従来、内側広筋は大腿四頭筋の中でも、膝伸展の最終域においてのみ活動するとされていた²⁰⁻²²⁾。しかし最近ではその作用については否定的な指摘が多く²³⁻²⁵⁾、内側広筋の重要な機能の1つは膝蓋骨のアライメント保持であると考えられるようになり、段差を昇るときにおいても、内側広筋は膝蓋骨を内方に引き寄せ、膝関節の stabilizer としての重要な役割を担う

とされている²⁶⁾。そのため、膝蓋骨が過度に外方に偏位しないように内方に引き寄せておく作用をより必要とする下腿外旋位での段差昇降時において内側広筋の筋活動量が高くなったと思われる。VM/VL比においても、下腿外旋位で有意に高かったことより、下腿外旋位での段差昇降訓練は、内側広筋を選択的に収縮させることができる筋力増強訓練法であると考えられた。

大腿四頭筋のセッティングは膝90度屈曲位での等尺性収縮訓練よりも膝蓋大腿関節や前十字靭帯にかかるストレスが少ないとされている²⁷⁻²⁸⁾ことから、膝関節疾患の治療における早期訓練として臨床的に広く用いられている。

大腿四頭筋のセッティングにおける足部の肢位が大腿四頭筋の筋活動に及ぼす影響については報告が散見される。Gough²⁹⁾は足部を中間位、背屈、底屈、内がえし、外がえしでセッティングを行ったときの筋活動量を分析し、背屈位でセッティングを行ったときに内側広筋の筋活動量は最も高い値を示したと報告している。Tepperman³⁰⁾は足部中間位より背屈あるいは底屈させた方が大腿四頭筋全体の筋活動量は増加したが、内側広筋および外側広筋の筋活動量は足部の肢位による変化はみられなかったと報告している。Cerny⁸⁾は足底背屈しながらセッティングをしても、内側広筋や外側広筋およびVM/VL比には変化が認められなかったと報告している。このように、セッティング時の足部の肢位については、足底背屈運動に注目した研究が多く、足部を回内・回外させたときの筋活動量の変化については報告が見当たらない。足部の回内は膝蓋大腿関節のアライメント不良の原因のひとつであると諸家により指摘されている^{31,32)}。しかしながら、足部回内が内側広筋と外側広筋の筋活動の割合を変化させることによって、この膝蓋大腿関節のアライメント不良が引き起こされているのかどうかは明らかではない。今回、大腿四頭筋のセッティングにおいて足部の肢位を中間位・回内位・回外位と変化させたときの違いを調べた結果、内側広筋・外

側広筋およびVM/VL比いずれにおいても足部の肢位による違いは認められなかった。このことから、大腿四頭筋のセッティングにおいて、足部の肢位が内側広筋と外側広筋の筋活動量に及ぼす影響は少なく、足部を回内あるいは回外させても、内側広筋を選択的に収縮させる訓練としての効果は少ないと考えられた。

結 論

健常人18名を対象に、段差昇降訓練および大腿四頭筋のセッティングにおける下腿や足部の肢位によって、内側広筋および外側広筋の筋活動がどのように変化するかについて検討した。

1. 段差昇降を行う場合に、内側広筋を選択的に収縮させたい場合には下腿外旋位で段差昇降を行うことが有効であることが示唆された。
2. セッティング時に、足部の肢位を変化させても内側・外側広筋の筋活動に及ぼす影響は少なく、足部を回内・回外させても内側広筋を選択的に収縮させる効果は少ないと考えられた。

文 献

- 1) Reynolds L: EMG activity of the vastus medialis oblique and the vastus lateralis in their role in patellar alignment. *Am J Phys Med Rehabil* 1983; 62: 61-70
- 2) Lieb FJ, Perry J: Quadriceps function: An anatomical and mechanical study using amputated limbs. *J Bone Joint Surg* 1968; 50A: 1535-1548
- 3) Kettlekamp DB: Management of patellae malalignment. *J Bone Joint Surg* 1981; 63A: 1344-1348
- 4) 鈴木 愉: 膝蓋大腿関節障害に対する大腿四頭筋の役割について. *日整会誌*, 1987; 61: 905-916
- 5) Doucette SA, Goble EM: The effect of exercise on patellar tracking in lateral patellar compression syndrome. *Am J Sports Med* 1992; 20: 434-440
- 6) Laprade J, Culham E, et al: Comparison of five Isometric exercises in the recruitment of the vastus medialis oblique in persons with and without patellofemoral pain syndrome, *JOSPT* 1998; 27: 197-204

- 7) Signorile JF, Kacsik D, et al: The effect of knee and foot position on the electromyographical activity of the superficial quadriceps. *JOSPT* 1995; 22: 2-9
- 8) Cerny K: Vastus medialis oblique/vastus lateralis muscle activity ratios for selected exercises in persons with and without patellofemoral pain syndrome. *Phys Ther* 1995; 75: 672-683
- 9) Durat-Cintra AL, Furlani J: Electromyographic study of quadriceps femoris in man. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 1981; 21: 539-554
- 10) Hanten WP, Schulthies SS: Exercise effect on electromyographic activity of the vastus medialis oblique and vastus lateralis muscles. *Phys Ther* 1990; 70: 561-565
- 11) Karst GM, Jewett PD: Electromyographic analysis of exercises proposed for differential activation of medial and lateral quadriceps femoris muscle components. *Phys Ther* 1993; 73: 286-299
- 12) 市橋則明, 池添冬芽, 羽崎 完, 他: closed kinetic chain における股関節外転, 内転, 伸展運動が内側広筋斜頭と外側広筋の筋活動に与える影響. *運動・物理療法*, 1998; 9: 296-301
- 13) 羽崎 完, 市橋則明, 森永敏博, 他: 内側広筋の選択的収縮に関する筋電図学的検討. *理学療法学*, 1995 (suppl); 22: 462
- 14) McConnell J: The management of chondromalacia patellae: a long-term solution. *Australian Journal of Physiotherapy*, 1986; 32: 215-223.
- 15) Brownstein BA, Lamb RL, Mangine RE: Quadriceps torque and integrated Electromyography. *JOSPT* 1985; 6: 309-314
- 16) Sauza DR, Gross MT: Comparison of vastus medialis oblique: vastus lateralis muscle integrated electromyographic ratios between healthy subjects and patients with patellofemoral pain. *Phys Ther* 1991; 71: 310-319
- 17) Sheehy P, Burdett RG, Irrgang JJ, Vanswearingen J: An electromyographic study of vastus medialis oblique and vastus lateralis activity while ascending and descending steps. *JOSPT* 1998; 27: 423-429
- 18) 池添冬芽: 下肢筋力増強訓練における訓練負荷の指標に関する研究. *看護職員等研究報告* 1998; 6: 142-145
- 19) Slocum DB, et al: Rotary instability of the knee. *J Bone Joint Surg [Am]*, 1968; 50: 211-225
- 20) Wheatly MD, Jahnke WD: Electromyographic study of the thigh and hip muscles in normal individuals. *Arch Phys Med* 1951; 32: 508-515
- 21) Francis RS, Scott DE: Hypertrophy of the vastus medialis in knee extension. *Phys Ther* 1974; 54: 1066-1070
- 22) Delorme TL: Restoration of muscle power by heavy resistance exercises. *J Bone Joint Surg* 1945; 27: 645-647
- 23) Gryzlo SM: Electromyographic analysis of knee rehabilitation exercises. *JOSPT* 1994; 20: 36-43
- 24) Lieb FJ, Perry J: Quadriceps function: An electromyographic study under isometric conditions. *J Bone Joint Surg* 1971; 53A: 749-758
- 25) Basmajian JV: Re-education of vastus medialis: a misconception. *Arch Phys Med Rehabil* 1970; 51: 245-247
- 26) Tata JA: The normal peak of electromyographic activity of the quadriceps femoris muscle in the stair cycle. *Anat Anz* 1983; 153: 189-200
- 27) Yack HJ, Collins CE, Whieldon TJ: Comparison of closed and open kinetic chain exercise in the anterior cruciate ligament-deficient knee. *Am J Sports Med* 1993; 21: 49-54
- 28) Lutz GE, Palmitier RA: Closed kinetic chain exercise for athletes after reconstruction of the anterior cruciate ligament. *Med Sci Sports Exerc* 1991; 24: S69
- 29) Gough JV, Ladley G: An investigation into the effectiveness of various forms of quadriceps exercises. *Physiother* 57: 356-361, 1971
- 30) Tepperman PS, Mazliah J, Naumann S, Delmore T: Effect of ankle position on isometric quadriceps strengthening. *Am J Phys Med* 1986; 65: 69-74
- 31) Tiberio D: The effect of excessive subtalar joint pronation on patellofemoral mechanics: A theoretical model. *JOSPT* 1987; 9160-165
- 32) Eng JJ, Pierrynowski MR: Evaluation of soft foot orthotics in the treatment of patellofemoral pain syndrome. *Phys Ther* 1993; 73: 62-70