

足位置の相違によるランジ運動における 内側広筋斜走線維の活動について

三秋 泰一 立野 勝彦 洲崎 俊男
横川 正美

要 旨

本研究の目的は、Closed Kinetic Chain (CKC) での運動における足位置の違いによる内側広筋斜走線維 (VMO) の筋活動の違いを検討することであった。

15人の若者男性にCKC運動として、ランジ運動を遂行させた。3つの足位置でランジ運動を行わせ、その時のVMOとVL筋活動状態をVLの筋電積分値に対するVMOの筋電積分値の比率 (VMO/VL) で検討した。結果は、VMO/VLはToe inにおけるVMO/VLが屈曲相では屈曲終期で1.12、伸展相では伸展初期で1.16と1以上であり最も高かった。しかし、屈曲・伸展相ともに足位置間での統計学的な有意差は認められなかった。

ランジ運動中の等尺性収縮中のVMO/VLはNeutralでのVMO/VLは1.04、Toe inのVMO/VLは1.42、Toe outのVMO/VLは0.94であり、Toe inのVMO/VLが最も高かったが、統計学的な有意差は認められなかった。VMO/VLのToe inとNeutralの差およびToe inとToe outの差は、伸展相終期のToe inとNeutralとの間の差を除いて、静的収縮中の方が動的収縮中より有意に大きかった。以上より、足位置の違いによる差は統計学的になかったが、伸展初期のToe inでのVMO/VLが最も高く、かつ1以上でありランジ運動では伸展初期のToe inでの位置で最もVMOを選択的に活動させるということが示唆された。また、ランジ運動中の膝最大屈曲位置での静的収縮の方が動的収縮と比較してToe inでより選択的にVMOが活動するということが示唆された。

KEY WORDS

lunge, vastus medialis oblique muscle, electromyography, foot positions

緒 言

膝関節は、下肢関節の中では中間関節であり、歩行時やスポーツ活動時などに最も安定性の要求される関節である。膝関節の静的支持機構は、靭帯によって作られている¹⁾。動的支持機構としては膝関節外反方向の安定性には縫工筋、薄筋、半腱様筋、半膜様筋、腓腹筋などの膝関節内側の筋群、内反方向の安定性には大腿二頭筋および腓腹筋外側頭の膝関節外側の筋群、前後方向の安定性には大腿四頭筋と膝屈筋群が関与している²⁾。大腿四頭筋は膝伸展の主動作筋であり、内側広筋 (Vastus Medialis; VM)、外側広筋 (Vastus Lateralis; VL)、大腿直筋 (Rectus Femoris; RF)、中間広筋の4つの筋で構成されている。また、このうちVMは筋線維走行方向によ

り内側広筋斜走線維 (VMO) および内側広筋縦走線維 (VML) とにわけられている。大腿四頭筋は、膝関節の前後方向の安定性に関与しているほか、特にVMは、膝蓋大腿関節における膝蓋骨の安定性において重要な役割を占めている。膝関節は生理的外反を呈し、大腿直筋の軸は内方に向いており、膝蓋腱の軸は外方に向いている。このため、RFの牽引力により膝蓋骨は常に外向き方向のベクトルが作用し外側へ脱臼する傾向がある³⁾。これを防ぐためには外側方向のベクトルに拮抗した内側方向のベクトルが必要になり、その内側方向のベクトルはVMOの収縮により生じる。したがって、膝蓋骨の安定性を得るためには調和したVMOとVLの活動が重要である。

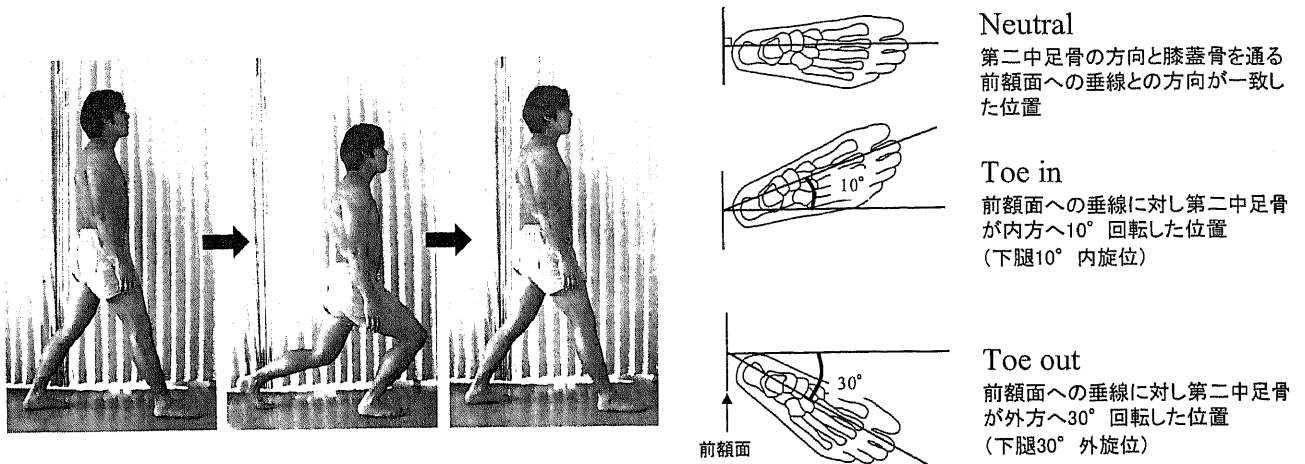


図1 ランジ運動および足位置
ランジ運動：右脚を一步前に出した状態で右膝を屈伸させる運動

Insall¹⁾やHuberti⁵⁾によれば膝蓋骨の異常な外側へのトラッキングは、膝蓋骨と大腿骨との間の接触圧を増加させ、膝蓋大腿関節軟骨の障害を引き起こし、その結果、膝蓋大腿関節痛を生じると述べている。また、異常な膝蓋骨の外側へのトラッキングの機序としてVMOとVLの活動のアンバランスを提案した報告⁶⁾やVMOの発生張力の減少を報告⁷⁾したものがあり、VMOの重要性を示している。また、内側広筋は大腿四頭筋の中で早期に萎縮する筋でありかつ外側広筋と比較して筋力増強運動に対する反応が遅いという報告があり⁸⁻¹⁰⁾、近年は、内側広筋の選択的筋活動方法についての報告がなされるようになってきている。選択的筋活動の検討で利用されている運動方法の一つにClosed Kinetic Chain (CKC)の運動があり、CKCでの運動を用いてVMOの筋活動を検討しているものでは階段昇降¹³⁾、¹⁴⁾やスクワット¹⁵⁾での報告が多く、そのほとんどが膝蓋大腿関節痛をもつ患者と健常人との比較であり、健常人のCKCでの運動におけるVMOの選択的筋活動方法を検討したものは少ない。そこで、本研究の目的は健常人を対象にCKCでの運動における足位置の違いによるVMOの筋活動の違いを検索することである。

対象および方法

1. 対象

対象は、あらかじめ測定手段、運動方法を十分に説明し実験に同意を得た当学科に在籍中の学生とした。平均年齢は22.1±2.2歳(19~27歳)で両膝関節に整形外科疾患の既往のない健常男性15名とした。

2. 方法

1) 運動方法

本研究で用いた運動は、右脚を一步前に出した状態で右膝を屈伸させるランジ運動とした。被検者にはランジ運動を3種類の足部の位置で行わせた(図1)。ランジ運動は、実験1として、2秒に1回の頻度で連続して15~20回行う場合と、実験2としてランジ運動の膝最大屈曲位で2秒間の静止を入れた場合の2種類で行い、それぞれその時の筋活動および膝関節角度を記録した。また、ランジ運動を行う際、前方へ踏み出した下肢へ可能な限り荷重するように指示した。ランジ運動中の膝の運動方向は、上述した足位置とは無関係に可能な限り前額面と垂直方向に進め、Neutralの足位置では脛骨回旋中間位、Toe inの足位置では脛骨内旋位、Toe outの足位置では脛骨外旋位を保つように指示した。ランジ運動のリズムはデジタルメトロノームに合わせて行い、膝関節角度の記録は、自作の電気角度計を用い記録した。

2) 筋電図測定方法

筋電図は最大等尺性収縮中とランジ運動中の2つの設定で測定した。最大等尺性収縮の場合は、被検者に椅坐位をとらせ、体幹、骨盤、大腿部をベルトにて固定し、Lumex社製Cybex750 NORMシステムを用いて右膝関節60°屈曲位にて右大腿四頭筋の最大等尺性収縮を6秒間行わせ、その時の筋活動を測定した。ランジ運動の場合は、一步前に出した右下肢の膝屈伸中の筋活動を測定した。筋電図の測定には実験1・2ともにNEC製多用途テレメーターMT-11を用いMT-11からの筋電信号をA/D変換装置にて16ビットでA/D変換しノートブックコンピュー

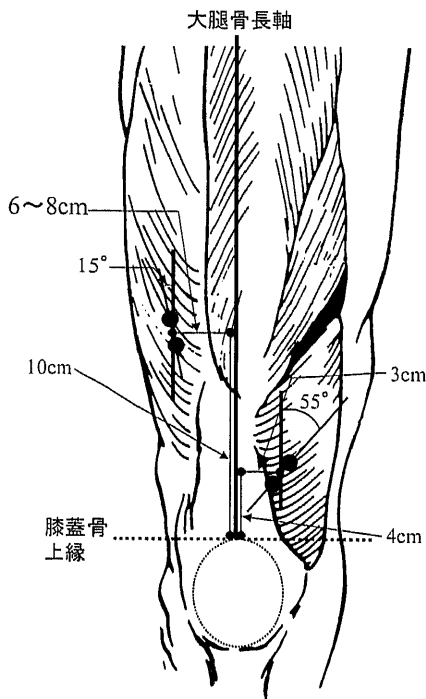


図2 内・外側広筋の電極貼付部位
 内側広筋電極貼付部位：膝蓋骨上縁より4 cm上で3 cm内側のところを中心として大腿骨長軸より内側に55°傾いた直線上
 外側広筋電極貼付部位：膝蓋骨上縁10 cm上で6～7 cm外側のところを中心として大腿骨長軸より外側に15°傾いた直線上に貼付した。

ターで多用途生体情報解析プログラム BIMUTAS II (キッセイコムテック株式会社) を用い記録した。サンプリング周波数は1000Hzとし、バンドパスフィルターは10Hz～120Hzとした。筋電図は右 VMO および VL から双極誘導にて導出した。電極は、銀-塩化銀のディスポーザブル電極 (Blue sensor) を用い電極間距離は約 2 cm とした。電極貼付部位は、図 2 に示した位置に貼付した。

データ解析

VMO の VL に対する活動比率 (VMO/VL) を比較するために、実験 1・2 とともに膝屈伸角度に再現性のある 5 回のランジ運動の筋活動をもとに正規化した筋電積分値を用いて行った。

1. 実験 1 での VMO/VL (図 3)

実験 1 では屈曲相と伸展相に分け VMO/VL を検討した。VMO/VL の算出方法は、解析ソフト BIMUTAS II を用い、ランジ運動時の VMO, VL の筋電積分値を屈曲相、伸展相それぞれ 0.3 秒ずつの 3 区間に分けて求めた。次に、最大等尺性収縮時の安定した 0.3 秒間の筋電積分値を求めた。最初求めた VMO, VL の積分筋電値を正規化するために、VMO または VL の筋電積分値を最大等尺性収縮時の筋電積分値で除した。そして、正規化した VMO (%IEMG_{VMO}) を正規化した VL (%IEMG_{VL}) で除し、VMO の VL に対する比率を算出した。

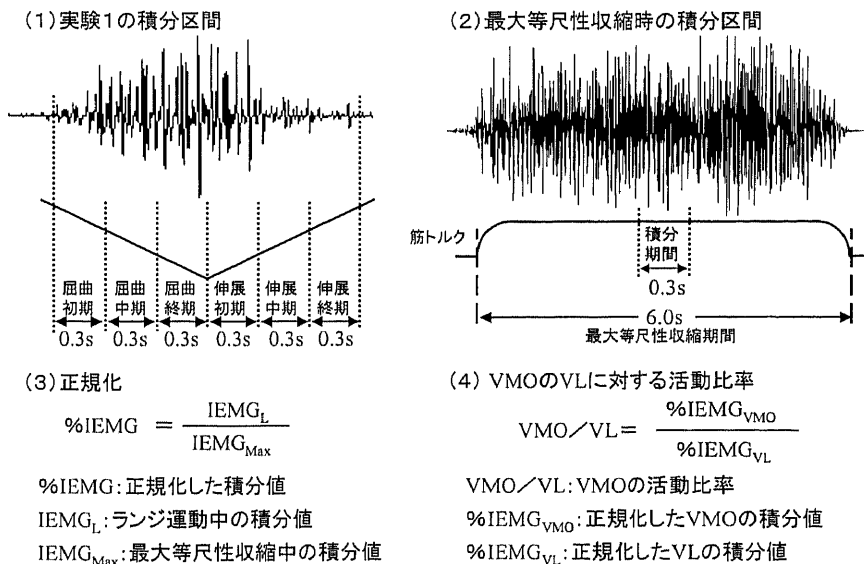


図3 データ分析方法 (実験 1) ランジ運動中を屈曲相と伸展相に分け、さらにそれぞれの相を初期・中期・後期の 3 期にわけ分析した。

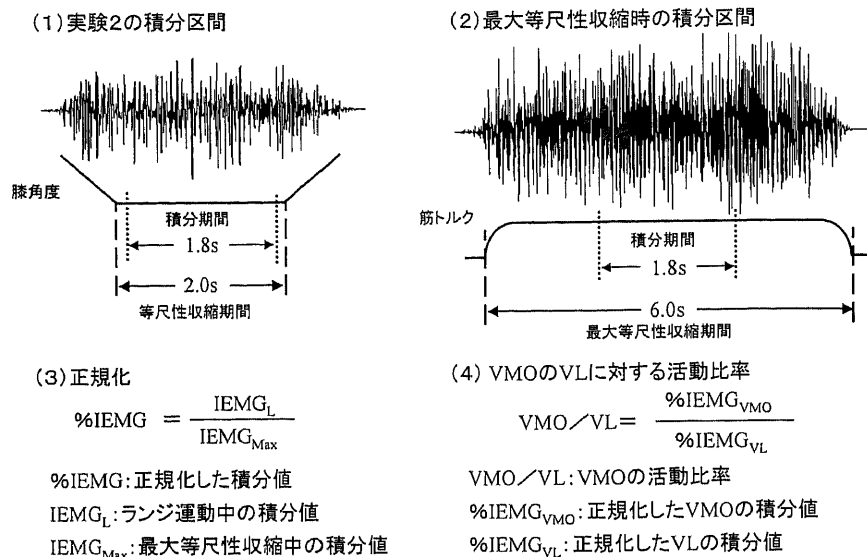


図4 データ分析方法（実験2）ランジ運動の膝最大屈曲中に等尺性収縮を行わせ、等尺性収縮時の筋活動を分析した。

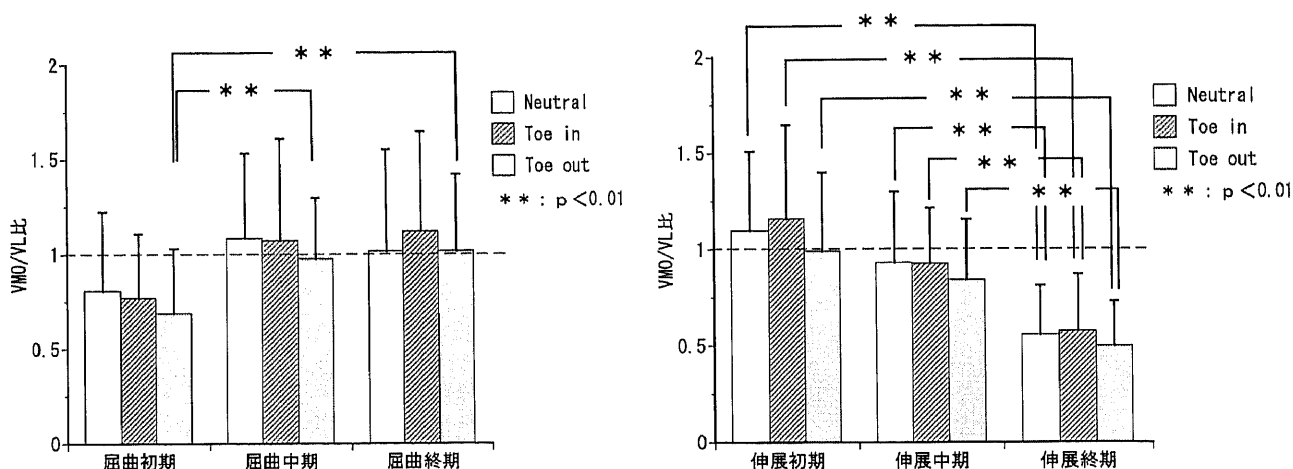


図5 屈曲・伸展相におけるVMO/VLの比較
VMO/VL: VLの正規化された積分筋電値に対するVMOの正規化された積分筋電値の比

2. 実験2でのVMO/VL (図4)

実験2では、2秒間の等尺性収縮期間中のVMO/VLを算出した。算出方法は、実験1と同様に正規化したVMOとVLを用いて算出したが、筋電積分値の求める区間は、安定した等尺性収縮の1.8秒間とした。

統計分析

5回のランジ運動から得られたVMO/VL, %IEMG_{VMO}, 膝屈曲角度, 膝可動範囲それぞれの平均値を被検者の代表値として、足位置間での比較は、一元分散分析を用い比較した。また、多重比較検定としてFisherのPLSD法を用いた。

結果

被検者の身長および体重は、それぞれ170.7±5.1 cm (158~176cm), 62.7±6.5kg (48~74kg)であった。

実験1として2秒に一回の頻度で連続したランジ運動を行わせ、そのときの筋活動を測定した。

1. VMO/VLの比較 (図5)

屈曲相, 伸展相ともに運動初期, 中期, 終期にかかわらず足位置間での相違は認められなかった。しかし、屈曲相においては屈曲初期のVMO/VLがNeutral, Toe in, Toe outそれぞれ0.67, 0.78, 0.69であり屈曲中期, 終期は足位置にかかわらず1に近い1以上であり、屈曲終期のToe inでは1.12で

表1 足位置別%IEMG (VMO) の比較

	Neutral	Toe in	Toe out
屈曲初期	6.6±3.7	7.4±4.0	5.4±3.3
屈曲中期	32.4±11.1 *	30.6±10.0 *	26.0±9.8 *
屈曲終期	50.8±17.9 * †	52.9±18.9 * †	45.8±17.2 * †
単位:%			
	Neutral	Toe in	Toe out
伸展初期	59.1±25.5 * †	60.9±23.4 * †	43.5±11.0 * †
伸展中期	24.4±14.9 *	22.2±9.4 *	17.5±8.7 *
伸展終期	7.1±5.6	7.5±6.6	5.3±3.2
単位:%			

平均値±標準偏差 (n=15)

* 屈曲初期あるいは伸展終期と比較 (p<0.01)

† 屈曲中期あるいは伸展中期と比較 (p<0.01)

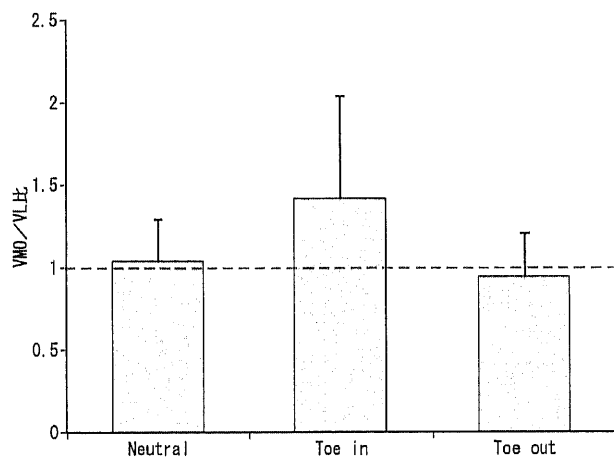


図6 等尺性収縮中の VMO/VL の比較

VMO/VL: VL の正規化された積分筋電値に対する VMO の正規化された積分筋電値の比

最も高かった。屈曲初期の VMO/VL は屈曲中期、終期の VMO/VL と比較して Toe out において有意に低い値であった (p<0.01)。伸展相において伸展終期の VMO/VL が Neutral, Toe in, Toe out それぞれ 0.55, 0.57, 0.50 であり、伸展初期、中期と比較してすべての足位置で有意に低い値を示した (p<0.01)。伸展初期、中期の VMO/VL は屈曲相と同様、1 に近いか 1 以上であり、最も高い VMO/VL は伸展初期の Toe in で 1.16 であった。

2. VMO の %IEMG の比較 (表1)

屈曲相における屈曲初期、中期、終期の %IEMG は足位置にかかわらず、屈曲終期の %IEMG が初期および中期の %IEMG と比較して有意に高かった (p<0.01)。伸展相においては伸展初期の %IEMG が中期、終期の %IEMG と比較して有意に高かった (p<0.01)。屈曲相、伸展相ともに Toe in での %IEMG が高く、屈曲終期で 52.9±18.9%、伸展初期で 60.9±23.4% と最も高かった。屈伸相の %IEMG

を一同にして足位置での比較を行った結果、Neutral および Toe in の %IEMG はそれぞれ、55.0%、56.9%、Toe out の %IEMG は 44.6% となり、Toe out の %IEMG が有意に (p<0.05) 低かった。

実験2として4秒に1回のランジ運動中に、膝屈曲位で2秒間の等尺性収縮を行わせたときの等尺性収縮中の筋活動を測定した。

3. 等尺性収縮中の VMO/VL の比較

等尺性収縮の2秒間の筋活動を足位置で比較した結果、Neutralでの VMO/VL は 1.04、Toe in の VMO/VL は 1.42、Toe out の VMO/VL は 0.94 であり、Toe in の VMO/VL が最も高かったが、統計学的な有意差は認められなかった (図6)。また、VMO/VL の Toe in と Neutral または Toe out との差を実験1の屈曲相終期および伸展相初期と比較したところ、実験2の Toe in と Neutral の差および Toe in と Toe out の差は、伸展相終期の Toe in と Neutral との間の差を除いては有意に (p<0.05) 大

表2 足位置間のVMO/VLの差の比較

	等尺性収縮時	屈曲相終期	伸展相初期
VMO/VL (Toe in-Neutral)	0.608(0.598)	0.085(0.051)*	0.131(0.070)
VMO/VL (Toe in-Toe out)	0.651(0.530)	0.134(0.172)*	0.166(0.192)*

表上段 Toe inのVMO/VLとNeutralのVMO/VLの差
表下段 Toe inのVMO/VLとToe outのVMO/VLの差
()内は標準偏差, * : 等尺性収縮時との比較 (p < 0.05)

きかった(表2)。

考 察

今回VMOの筋活動状態を検討するに当り、CKCの運動を用いた。これは、日常動作中やスポーツ活動中の下肢筋群は荷重された状態で使われるため、実際に下肢筋群が使われる状態により近い筋活動を再現できると考えたためである。また、CKCの運動としてランジ運動を用いた。ランジ運動は、片脚下肢へより集中して荷重がかけられるためスクワットで行うより他脚への荷重の分散が少なく、荷重に関して他脚での代償がより少ないと考えられる。

本研究において、Toe inおよびToe out時の足位置は前額面への垂線に対しそれぞれ10°と30°に設定した。Kpandji¹⁷⁾によれば脛骨長軸回旋は他動的には外旋が45~50°、内旋が30~35°と述べている。本来ならば、本研究においても最大回旋角度近くで足位置を設定すべきであると考えたが、ランジ運動を内旋10°以上または外旋30°以上で行かせたところ十分に膝関節を屈曲することができなかった。このため、足位置をToe inでは前額面への垂線に対し10°(脛骨内旋10°)、Toe outでは前額面への垂線に対し30°(脛骨外旋30°)に設定した。

Engle¹⁸⁾は、90°からわずかに伸展するとき脛骨の内旋筋としてVMOは活動すると報告している。Lapradeら¹⁹⁾は、OKCで外旋位の状態で膝伸展運動と同時に内旋運動を加えた運動が最もVMO/VLが高かったと報告している。本研究においては脛骨回旋位を可能な限り維持させながらランジ運動を行わせることを前提としており、Toe inにおけるランジ運動では脛骨内旋位に保持する必要があるためVMO/VLが最も高いという仮説を立てた。しかし、足位置によるVMO/VLの差は認められなかった。これは、Lapradeら¹⁹⁾が膝伸展運動に内旋運動を加

えた時のVMOの活動量は、最大等尺性収縮の74%であったのに対し本研究においては、最も活動量の高い伸展相のToe inにおいてさえ60.9%であり、VMOの活動量が低いために有意差が認められなかったものと考えられる。また、実験2での等尺性収縮中のVMO/VLのToe inとNeutralの差およびToe inとToe outの差は実験1でのToe inとNeutralおよびToe inとToe outの差と比較して有意に大きかったことより、ランジ運動においては等尺性収縮中の方が足位置における違いがより著明に現れる可能性があると考えられる。足位置によるVMOの活動量には統計学的に有意差はなかったが、屈曲相の終期、伸展相の初期でのToe inのVMO/VLは1以上であり、VMOがVLより活動が高いことを示している。特に、伸展相初期においてはToe outではVMO/VLが1より小さくToe inの方がより選択的にVMOを活動させる傾向があると思われる。市橋ら²⁰⁾は、脚伸展筋力測定器を用いたCKC運動中の膝屈曲15°~90°の範囲で筋活動を検討した結果、VMの活動は膝が伸展するに従って活動量は低下したと報告しており、本研究の結果と一致している。

今回のランジ運動におけるVMOの活動量(%IEMG)は、屈曲終期で46%~53%、伸展初期で43%~61%であり、屈曲相、伸展相ともにToe inでの%IEMGが最も高かった。McArdleら²¹⁾は筋力増強において増強率の効果的な筋活動量は、最大収縮時の筋活動量の60~80%であると述べている。従って、臨床的意義を考えると体重のみの負荷量でのランジ運動ではVMOを選択的に筋力増強する場合は、Toe in(脛骨内旋位)で伸展初期(膝屈曲80°~65°)の範囲を強調し、膝最大屈曲位で等尺性収縮を加えたトレーニングが効果的であるということが示唆された。

Voightら⁶⁾は正常な膝蓋骨のトラッキングを誘発するためにはVMOはVLより早く作動する必要があると述べている。ランジ運動において負荷量が多くなれば筋活動量も高くなっていくため、屈曲相初期や伸展相終期のVLに対するVMOの活動比率が変わってくる可能性が考えられる。今後は、負荷量の変化や運動速度の変化によるVMOの活動比率を検討していく必要があると考えられる。

結 語

ランジ運動における足位置を変化させた時のVLに対するVMOの活動比率を検討した。その結果、VLに対するVMOの活動比率は、足位置の違いによる差は統計学的になかった。しかし、伸展初期のToe inでのVMOの活動比率が最も高く、最大収縮時に対する筋活動量も最も高かったことより、ランジ運動では伸展初期のToe inでの位置で最もVMOを選択的に活動させるということが示唆された。また、ランジ運動中の膝最大屈曲位置での静的収縮の方が動的収縮と比較してToe inでより選択的にVMOが活動するということが示唆された。

引用文献

- 1) 田邊芳恵, 他: 膝関節靭帯の構造と機能。総合整形外科, 9: 97-106, 1992
- 2) 遠山晴一, 他: 膝の機能解剖と生体力学。New MOOK 整形外科7, 1-12, 金原出版, 2000
- 3) 小林 晶, 他: ヴィオラ膝I, pp20, 南江堂, 1994
- 4) Insall J: Current concepts review: patellar pain. J Bone Joint Surg Am 64: 147-152, 1982
- 5) Huberti HH, et al: Force ratios in the quadriceps tendon and ligamentum patellae. J Orthop Res 2: 49-54, 1984
- 6) Voight M, et al: Comparative reflex response times of the vastus medialis and vastus lateralis in normal subjects and subject with extensor mechanism dysfunction. Am J Sports Med 10: 131-137, 1991
- 7) Ahmed AM et al: Force analysis of the patellar mechanism. J Orthop Res 5: 69-85, 1987
- 8) Fox Ta: Dysplasia of the quadriceps mechanism. Surg Clin North Am 55: 199-226, 1975
- 9) Grana WA, et al: Scientific basis of extensor mechanism disorders. Clin Sports Med 4: 247-257, 1985
- 10) Lieb FJ, et al: Quadriceps function: An anatomical and mechanical study using amputated limbs. J Bone Joint Surg 50A: 1535-1548, 1968
- 11) Reynolds L, et al: EMG activity of the vastus medialis oblique and the vastus lateralis in their role in patellar alignment. Am J Phys Med Rehabil 62: 61-70, 1983
- 12) Steindler A: Kinesiology of human body under normal and pathological conditions. 63-64, Charles C Thomas, Springfield, 1955
- 13) Souza DR, et al: Comparison of vastus medialis oblique: Vastus lateralis muscle integrated myographic ratios between healthy subjects and patients with patellofemoral pain. Phys Ther 71: 310-320, 1991
- 14) Sheehy P, et al: An electromyographic study of vastus medialis oblique and vastus lateralis activity while ascending and descending steps. J Orthop Sports Phys Ther 27: 423-429, 1998
- 15) Simon FT, et al: Vastus medialis obliquus and vastus lateralis activity in open kinetic chain exercises in patients with patellofemoral pain syndrome. An electromyographic study. 82: 1441-1445, 2001
- 16) Basmajian JV: Biofeedback. Principles and practice for clinicians. 363-377, Williams and Wilkins, Baltimore, 1983
- 17) Kapandji IA: The Physiology of the joints. Vol. II. Churchill Livingstone, 1970
- 18) Engle R: Dynamic stabilizers of the knee. Part III. Facilitation approaches and concepts of anterior knee instabilities. Presented at the shoulder and knee injury seminar of Cincinnati Sports Medicine Institute, Cincinnati OH, 1987
- 19) Laprade J, et al: Comparison of five isometric exercise in the recruitment of the vastus medialis oblique in persons with and without patellofemoral pain syndrome. J Orthop Sports Phys Ther 27: 197-204, 1998
- 20) 市橋則明, 他: 脚伸展動作と膝伸展動作の運動学的分析。Closed Kinetic ChainとOpen Kinetic Chainの違い。理学療法学24: 341-346, 1997
- 21) McArdle W et al: Exercise Physiology. Energy Nutrition and Human Performance. pp385, Philadelphia, Lea & Febiger, 1986

Activity of the vastus medialis oblique muscle during the action of lunging in various foot positions

Miaki Hiroichi, Tachino Katsuhiko, Susaki Toshio, Yokogawa Masami

ABSTRACT

The purpose of this study was to examine by electromyography (EMG) the activity of the vastus medialis oblique muscle (VMO) during lunging as a closed kinetic chain exercise. Fifteen male college students carried out lunging in three foot positions, and the ratio of the integrated EMG value of VMO to that of the vastus lateralis muscle (VL) (VMO/VL) was compared for neutral, toe-in and toe-out positions of the foot. The VMO/VL values were 1.12 for the toe-in position during the terminal flexion phase and 1.16 for the extension phase. However, there was no significant difference for the flexion and extension phases among the three foot positions. For isometric contraction during lunging, the VMO/VL values were 1.04, 1.42, and 0.94 for the neutral, toe-in, toe-out positions, respectively, with no significant difference among the foot positions. The difference between the VMO/VL values for the toe-in and neutral positions and between those for the toe-in and toe-out positions was significantly greater during the static activity than dynamic activity, except between the VMO/VL values for the toe-in and neutral positions. Although there was no significant difference in the VMO activity among these foot positions, the VMO/VL value for the toe-in position during the initial extension phase was highest and equal to or greater than one. These findings suggest that the activity of VMO is most selective during lunging in the toe-in position during the initial extension phase. In addition, static rather than dynamic activity with the knee maximally flexed activates VMO more in the toe-in position during lunging.