

自然立位の足向角の違いにおけるフォワードランジ中の外側広筋と内側広筋の筋活動

三秋 泰一 関口 雄介* 横川 正美 立野 勝彦

要 旨

目的：本研究の目的は自然立位時の足向角（自然足角）の違いによるフォワードランジ（FL）中の内側広筋（VM）と外側広筋（VL）の筋活動量の違いを明らかにすることであった。方法：健康男性15名を自然足角が16°未満群（7名）と16°以上群（8名）に分けた。平均年齢、およびBMIはそれぞれ20.8±1.4歳（18-23歳）、21.1±1.6であった。それぞれの群でFLを行わせ、そのときのVM、VLの筋活動（%IEMG）を2群間で比較した。また、FL中の足位置を3種類（Toe-in, Neutral, Toe-out）設定し、それぞれの足位置間での%IEMGの比較も行った。結果：自然足角間の比較ではVLについては%IEMGは、屈曲中期から伸展終期で16°以上群の方が16°未満群より有意に高かった。VMにおいては%IEMGは自然足角間に有意差はなかったが、屈曲中期から伸展初期で16°以上群の方が高い傾向が見られた。足位置間での比較では16°以上群と16°未満群ともにVLの%IEMGおよびVMの%IEMGの違いは認められなかった。結論：下腿回旋を伴ったFLでのVLとVMの筋力強化を行なう時は、下腿回旋角は少なくとも自然足角の16°を境で分けるべきであることが示唆された。

KEY WORDS

forward lunge, vastus medialis, vastus lateralis, foot angle

はじめに

膝関節は人体の中で最大の荷重関節であり、複雑な構造を有し骨の形態、動的支持組織及び静的支持組織により制御され関節運動が成しとげられている。大腿四頭筋は膝伸展の主動筋であり、内側広筋（VM）、外側広筋（VL）、大腿直筋（RF）、中間広筋（VI）の4つの筋で構成されており、このうちVMには膝関節の保護や支持性に重要な役割を担うほか、膝蓋骨の外側偏位を抑制する特異的な機能がある¹⁾。また、VMは大腿四頭筋の中で早期に萎縮する筋であり、かつVL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もあり²⁻⁵⁾、大腿四頭筋筋力の維持や増強を目的とした筋力増強方法では内側広筋への効果を期待する場合が少なくない。そのため、近年VMの選択的収縮法の研究がされてきている。そのVMの選択的収縮法の研究は、

Open Kinetic Chain（OKC）での運動による報告⁶⁻⁸⁾とClose Kinetic Chain（CKC）での運動による報告がある⁹⁻¹¹⁾。CKC運動における利点について市橋¹²⁾は、下肢筋が協調的に収縮するため機能的であり、関節や靭帯に加わる負荷が少なく安全であると述べている。また、OKCの運動での内側広筋の選択的収縮法についての研究の中で下腿の回旋の違いによる報告がある^{6), 8)}。我々のフォワードランジという運動を用いたCKC運動のVMの選択的収縮についての先行研究¹³⁾において、下腿を内旋位で行なう方がより選択的収縮が得られる傾向にあったが、自然立位時の足向角の個人差を考慮する必要があることが示唆された。そこで、本研究の目的は、自然立位時の足向角の違いでのフォワードランジ中のVMとVLの筋活動量比較することである。

金沢大学大学院医学系研究科保健学専攻

* 金沢大学大学院医学系研究科保健学専攻博士前期過程

対 象

被検者は、両下肢に整形外科的疾患のない健常男性15名とした。平均年齢は 20.8 ± 1.4 歳であった。被検者の平均身長、平均体重、平均BMI、平均足向角はそれぞれ 170.8 ± 4.4 cm、 61.4 ± 5.4 kg、 21.1 ± 1.6 、 $15.9 \pm 5.0^\circ$ であった。15名の被検者を自然立位時の足向角が 16° 以上群（8名）及び 16° 未満群（7名）の2群に分けた。この2群間の年齢、体重、身長には有意差は認められず、BMIは 16° 未満群で 21.7 ± 1.6 、 16° 以上群で 20.5 ± 1.4 であった。

方 法

1. 運動方法

本研究で使用したCKC運動はフォワードランジと呼ばれているものであり、先行研究¹⁹⁾で用いた運動と同様の運動とした。被検者には3種類の足部の位置（Neutral, Toe-in, Toe-out）でフォワードランジを行わせた。足部の位置は、自然立位での足向角として第二中足骨と前額面への垂線とのなす角（自然足角）と規定した時①第二中足骨と前額面への垂線との角度が自然足角と一致した位置（Neutral）②前額面への垂線に対し第二中足骨が自然足角の2/3倍内方へ回転した位置（Toe in）③前額面への垂線に対し第二中足骨が自然足角の2倍外方へ回転した位置（Toe out）と規定した。運動は50回/分のデジタルメトロノームに合わせて運動リズムとしては25回/分で行なわせた。フォワードランジは、膝が約 80° 程度まで屈曲するように指示し、フォワードランジ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、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被検者に指示した。フォワードランジ中の床反力の垂直成分が最も大きかった運動を解析データとして使用した。

2. 筋力測定

Cybex770-Norm（Lumex社）を用いて最大筋力を測定した。右膝伸展を膝関節屈曲 60° で固定した状態で6秒間の最大等尺性収縮を3回行なわせた。測定間の休憩時間は20秒とした。

3. 筋電図測定方法

筋電図は最大等尺性収縮中とフォワードランジ中に測定した。測定にはPoly mate AP 1,000（株式会社デジテックス研究所）を用いて記録した。サンプリング周波数は1,000Hzとし、バンドパスフィル

ターは20Hz～500Hzとした。電極の入力抵抗を5k Ω 以下に落としたのち、右下肢のVM, VLから双極誘導にて導出した。電極は銀-塩化銀のディスプレイ電極（Blue sensor）を用い、電極間距離は約2cmとした。電極貼付部位はCowanら¹⁴⁾と同様の部位に貼付した。

4. データ解析

得られた筋電図は、多用途生体情報解析プログラムBIMTUS II（キッセイコムテック株式会社）を用いて解析した。フォワードランジ中の屈曲相、伸展相をそれぞれ0.3秒間ずつ初期、中期、終期にわけVM, VLの筋電積分値を求めた。また、膝伸展最大筋力測定 of 3回中最大値を示した時の筋電図を用い、その筋トルクが最大になる時点を含む0.3秒間の筋電積分値を求めた。自然足角および足位置の違いによるフォワードランジ中の筋活動量を比較するために運動中の筋電積分値を膝伸展最大等尺性収縮時の筋電積分値で除し正規化した（%IEMG）。

5. 統計学的検定法

足向角で分けた2群間の筋活動の比較にはt検定を用い、それぞれの群における足位置間と積分区間でのVM, VLの筋活動量については一元分散分析を用い比較した。

結 果

1. 足位置間での%IEMGの比較

16° 以上、未満の群ともにVM, VLの%IEMGは屈曲相、伸展相ともに足位置間での有意差は認められなかった。

2. 自然足角間での%IEMGの比較

VLにおいてはToe-inの屈曲中期、Neutralの屈曲中期、屈曲終期、Toe-outの屈曲終期、伸展初期において 16° 以上群が 16° 未満群よりも有意に%IEMGは高かった（図1）。

VMにおいては足位置にかかわらず膝屈曲角度の大きい区間（屈曲中期～伸展初期）では 16° 以上群の方が%IEMGは大きい傾向にあったが有意差は認められなかった（図2）。

3. VLの積分区間での%IEMGの比較

16° 未満の群における屈曲相では屈曲終期の%IEMGが屈曲初期よりも有意に高く、伸展相では伸展初期の%IEMGが伸展終期よりも有意に高かった。

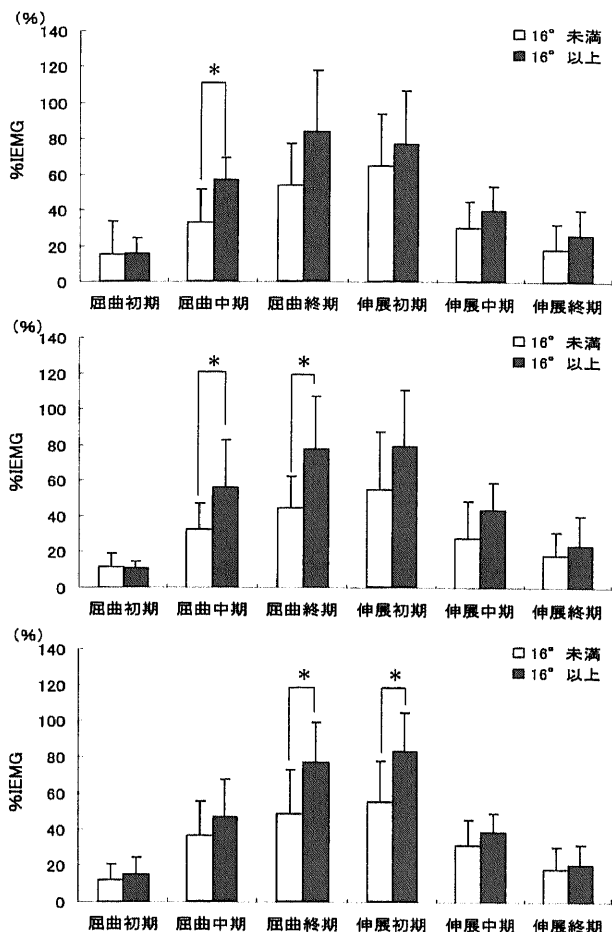


図1 VLの自然足角別%IEMG

上段：足位置が Toe-in
 中段：足位置が Neutral
 下段：足位置が Toe-out
 * : $p < 0.05$

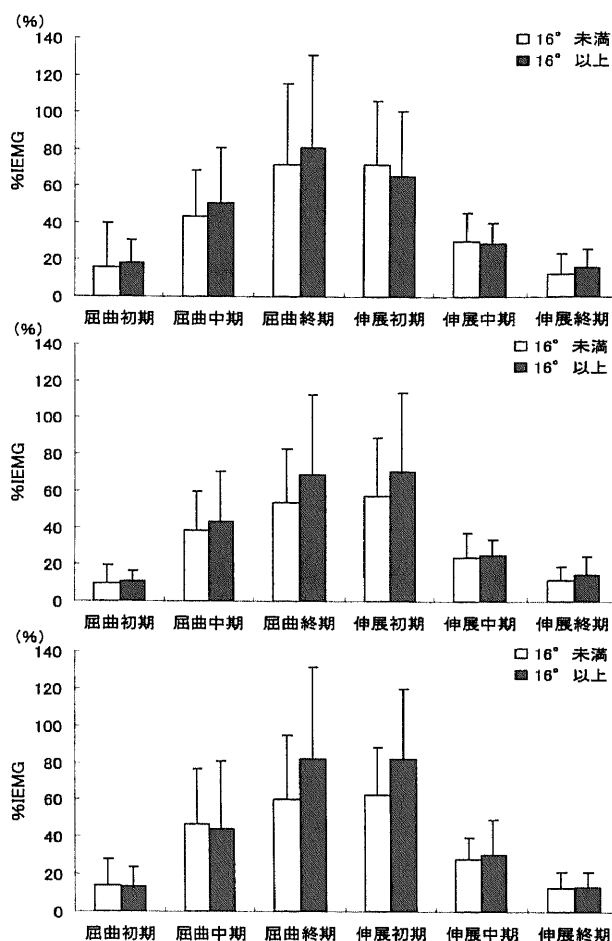


図2 VMの自然足角別%IEMG

上段：足位置が Toe-in
 中段：足位置が Neutral
 下段：足位置が Toe-out

また、Toe-in では伸展初期の%IEMG は伸展中期と比較しても有意に高かった (表1)。16°以上の群における屈曲相では屈曲中期・終期の%IEMG が屈曲初期と比較して有意に高く、また、Toe-out では屈曲終期の%IEMG を屈曲中期と比較しても屈曲終期の方が有意に高かった。伸展相では伸展初期の%IEMG が伸展中期・終期と比較して有意に高かった (表1)。

4. VMの積分区間間での%IEMGの比較

VMの積分区間間の比較では、16°未満群、16°以上群のどちらも屈曲相では屈曲終期が、伸展相では伸展初期が屈曲初期または伸展終期と比較して有意に高かった (表2)。また、16°未満群のNeutralおよび16°以上群のNeutral、Toe-outでは伸展中期と比較して伸展初期の%IEMGも有意に高かった。

考 察

本実験に参加した被検者の自然立位時での平均足向角は15.9°であったことと、Cailliet¹⁵⁾が通常の立位で足は一般に30°外向きになると述べているということより、自然立位時の足向角の違いによるフォワードランジ中の筋活動の違いを検討するために自然立位時の足向角を16°未満群と16°以上群に分けた。その結果、内側広筋にはこの2群間で有意差は認められなかったが、外側広筋ではどの足位置においても16°以上群が屈曲中期から伸展初期にかけて%IEMGは高かった。また、外側広筋の運動区間間での比較においても16°未満群では屈曲初期あるいは伸展終期と比較して%IEMGは屈曲終期および伸展初期においてのみ有意に高かったが、16°以上群では屈曲相においては屈曲中期から有意に高かった。一方、伸展相では伸展初期の%IEMGが伸展中期・

表1 VLの%IEMGの積分区間間比較

16° 未満			
	Toe-in	Neutral	Toe-out
屈曲初期	15.6±18.3	11.4±7.5	12.3±8.4
屈曲中期	33.3±18.8	32.3±15.0	36.6±18.8
屈曲終期	54.0±23.7*	44.8±17.6*	48.7±24.4**
伸展初期	65.4±28.8**†	55.0±33.1*	55.5±22.5**
伸展中期	30.6±15.2	28.5±20.4	31.6±14.2
伸展終期	18.9±14.6	18.9±12.9	19.0±12.4

16° 以上			
	Toe-in	Neutral	Toe-out
屈曲初期	15.9±9.1	11.1±4.0	15.1±9.4
屈曲中期	57.2±12.3**	56.6±26.2**	46.9±21.1**
屈曲終期	84.6±33.7**	78.1±29.6**	77.5±22.0**†
伸展初期	78.0±29.7**†	80.0±31.4**†	83.5±21.9**†
伸展中期	41.0±13.1	44.1±15.3	38.9±10.4
伸展終期	27.0±13.6	24.6±16.5	21.4±10.8

*, **: 屈曲初期あるいは伸展終期と比較 (*; p<0.05, **; p<0.01)
 †, ‡: 屈曲中期あるいは伸展中期と比較 (†; p<0.05, ‡; p<0.01)

表2 VMの%IEMGの積分区間間比較

16° 未満			
	Toe-in	Neutral	Toe-out
屈曲初期	16.0±24.1	9.8±9.5	14.2±13.5
屈曲中期	43.3±25.2	38.6±21.1	46.8±29.6
屈曲終期	71.6±43.7**	54.0±29.4**	60.5±34.2**
伸展初期	72.1±28.8**	57.5±31.7**†	62.7±25.3**
伸展中期	30.4±15.0	23.7±13.5	28.1±11.4
伸展終期	12.0±11.4	11.6±7.4	12.9±8.5

16° 以上			
	Toe-in	Neutral	Toe-out
屈曲初期	18.1±12.4	10.7±5.9	13.5±9.9
屈曲中期	51.3±29.5	43.3±27.3	44.6±36.4
屈曲終期	81.3±49.8**	68.9±43.4**	82.2±49.4**
伸展初期	65.5±35.1*	70.9±42.9**†	82.1±37.9**†
伸展中期	28.6±11.0	25.2±8.7	30.6±18.9
伸展終期	16.2±9.6	14.4±10.3	13.3±7.8

*, **: 屈曲初期あるいは伸展終期と比較 (*; p<0.05, **; p<0.01)
 †: 屈曲中期あるいは伸展中期と比較 (p<0.05)

終期よりも有意に高かった。これらは、フォワードランジ中の外側広筋の筋活動は 16° 以上群の方が 16° 未満よりも高く、 16° 以上群の外側広筋の活動パターンは屈曲相では 16° 未満群よりも早期に活動が高くなり、伸展相では早期に活動が低下することを示していると考えられた。 16° 以上群の%IEMGが 16° 未満群よりも高かった要因としては、今回、足位置にかかわらずフォワードランジ中、膝関節を矢状面方向に出すように指示した。これによりNeutral, Toe-outの足位置では下腿は外旋位保持のための筋活動が必要となる。下腿外旋筋としては、大腿二頭筋、大腿筋膜張筋縫工筋があり、Germain¹⁶⁾が内側広筋と外側広筋は収縮側に脛骨を回旋する作用に関与すると述べていることから、外側広筋も下腿外旋筋として働く。足位置がNeutral, Toe-outにおいて 16° 以上群の下腿外旋角度は 16° 未満群よりも大きいと考えられ、大きい外旋角度を保持するために 16° 以上群の外側広筋がより高い活動を示したものと考えられた。Toe-inの足位置では 16° 以上群の方が下腿内旋角度は 16° 未満群よりも大きくなることが考えられ、フォワードランジ屈曲相での膝関節の内反ストレスが大きくなると考えられる。また、内外反方向の外力に対してメカノレセプターに誘発される筋活動によって関節は守られているといわれており¹⁷⁾、Kim¹⁸⁾らは内側側副靭帯と外側側副靭帯に電気刺激を与え選択的な筋活動を比較した結果、外側側副靭帯を刺激した際は外側広筋の活動の増加が生じたと報告している。これらのことにより、Toe-inでのフォワードランジでも膝関節屈曲角度が大きい区間である屈曲中期から伸展初期では外側広筋の活動は 16° 以上群の方が高くなったと考えられた。内側広筋の活動についても自然足角間の有意差は認められなかったが、 16° 以上群の方が%IEMGは高い傾向にあった。Neutral, Toe-outについては膝関節外反ストレスによる内側側副靭帯への刺激が 16° 以上群の方が強い可能性があり、そのために内側広筋の活動が 16° 以上群で高かったと考えられ、Toe-inについては、 16° 以上群の方が下腿内旋角度が大きく、その内旋角度を保持するために 16° 未満群よりも内側広筋の活動が高い傾向になったと考えられた。今回、Toe-outの足位置は自然足角の2倍と規定したのに対し、Toe-inは自然足角の2/3倍としたため、下腿内旋角度は今回の自然足角が最大値であった 24° の被検者でもToe-inの足角度は 16° であった。正常下腿内旋可動域が $30-35^{\circ}$ という¹⁹⁾ことから考えると、今回設定したToe-inの角度は

少ないと考えられ、Toe-inの角度を大きくすることによって、内側広筋の筋活動量にも自然足角間で有意差が認められる可能性がある。しかし、今回内旋角度を自然足角の2/3倍としたのは、内旋角度が大きければ膝屈曲が困難となり、右下肢への荷重量が少なくなる。その結果、筋への負荷が少ないと考えたためである。三秋²⁰⁾は膝関節屈曲 80° 程度で体重の80%の荷重が可能であると報告しており、そのため、本研究においても膝屈曲 80° 程度を可能にするために下腿内旋角度を少なくした。したがって、下腿内旋角度を大きくした場合の内側広筋の活動量の検討が今後の課題として考えられた。

今回、ランジ運動での足角による外側広筋、内側広筋の筋活動の比較検討を行った結果、自然足角の違いにより外側広筋、内側広筋の筋活動量に差がみられた。今後、フォワードランジ中の内側広筋の選択的収縮を考慮する際、自然立位の足向角の違いによって下腿の回旋角度を変化させていく必要があると考えられた。

まとめ

フォワードランジにおいて自然足角 16° 以上群は 16° 未満群よりも外側広筋の筋活動量が有意に大きかった。また、内側広筋の筋活動量においても 16° 以上群で高い傾向が認められ、今後自然足角が 16° 未満の場合は、今回設定した回旋角度よりも大きくしてフォワードランジを行なわせ、筋活動を検討するべきであると考えられた。

参考文献

- 1) Basmajian, J.V. : Re-education of vastus medialis. : A misconception. Arch. Phys. Med. Rehabil., 51 : 245-247, 1970.
- 2) Fox, T.A. : Dysplasia of the quadriceps mechanism. Surg. Clin. North. Am., 55 : 199-226, 1975.
- 3) Grana, W.A. et al. : Scientific basis of extensor mechanism disorders. Clin. Sports Med., 4 : 247-257, 1985.
- 4) Lieb, F.J. et al. : Quadriceps function. : an anatomical and mechanical study using amputated limbs. J. Bone Joint Surg., 50A : 1535-1548, 1968.
- 5) 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.
- 6) Signorile, J.F. et al. : The effect of knee and foot position on the electromyographical activity of the superficial quadriceps. J. Orthop. Sports Phys. Ther. 22 : 2-9, 1995.
- 7) Cerny, K. : Vastus medialis oblique/vastus lateralis muscle activity ratios for selected exercises in persons with and without patellafemoral pain syndrome. Phys. Ther. 75 : 672-

- 683, 1995.
- 8) Laprade, J. et al. : Comparison of five isometric exercises in the recruitment of the vastus medialis oblique in persons with and without patellafemoral pain syndrome. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* 27 : 197-204, 1998.
- 9) Signorile, J.F. et al. : Effect of foot position on the electromyographical activity of the superficial quadriceps muscles during the parallel squat and knee extension. *J. Strength Cond. Res.* 9 : 182-187, 1995.
- 10) Earl, J.E. et al. : Activation of the VMO and VL during dynamic mini-squat exercises with and without isometric hip adduction. *J. Electromyogr. Kinesiol.* 11 : 381-386, 2001.
- 11) Tang, S.F. et al. : Vastus medialis obliquus and vastus lateralis activity in open and closed kinetic exercises in patients with patellofemoral pain syndrome : An electromyographic study. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 82 : 1441-1445, 2001.
- 12) 市橋則明, 他 : 脚屈曲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.
- 13) 三秋泰一, 他 : 足位置の相違によるランジ運動における内側広筋斜走繊維の活動について. *つるま保健学会誌*, 26 : 51-56, 2002.
- 14) Cowan, S.M. et al. : Delayed onset of electromyographic activity of vastus medialis obliquus relative to vastus lateralis in subjects with patello-femoral pain syndrome. *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, 82 : 183-189, 2001.
- 15) Cailliet, R., 荻島秀男 訳 : 運動器の機能解剖. 第3版, 249-250, 2002.
- 16) Germain, B.C., 仲井光二 訳 : 動きの解剖学. 第1版, 217-219, 科学新聞社, 1995.
- 17) Daher, Y.Y., et al : Reflex muscle contractions can be elicited by valgus positional perturbations of the human knee. *J. Biomech.*, 36 : 199-209, 2003.
- 18) Kim, A.W., et al : Selective muscle activation following electrical stimulation of the collateral ligaments of the human knee joint. *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, 76 : 750-757, 1995.
- 19) Kapandji, I.A., 荻島秀男, 嶋田智明 訳 : カパンディの関節の生理学Ⅱ下肢. 第5版, 74-75, 医歯薬出版, 1988.
- 20) Miaki, H. : Electromyographic and biomechanical analyses of forward lunge in three foot positions. *つるま保健学会誌*, 28 : 75-90, 2004.
- 1) Lieb FJ, et al : Quadriceps function : An anatomical and mechanical study using amputated limbs. *J Bone Joint Surg* 53-A : 749-758, 1958
- 2) 市橋則明, 他 : スポーツ外傷後の大腿四頭筋筋萎縮の一考察. *PT ジャーナル*, 28 : 205-207, 1994
- 5) Hung YJ, et al : Effect of Foot Position on Electromyographic Activity of the Vastus Medialis Oblique and Vastus Lateralis During Lower-Extremity Weight-Bearing Activity. *J Orthop Sports Phys. Ther.*, 22(1) : 2-9, 1999
- 7) 石井慎一郎 : 股関節・膝関節に関する理学療法, 理学療法, 18 : 791-797, 2001
- 8) 山寄勉, 他 : 整形外科理学療法の理論と技術. pp67, 86. メジカルビュー社, 1997
- 9) Norkin CC, Levangie KP, 若松武訳 : 関節の構造と機能総合分析. pp353-379, 西日本法規出版, 2000
- 10) 岡西哲夫, 他 : 下肢関節疾患の理学療法. pp10-16, 三輪書店, 2001
- 11) Loudon JK, 近藤紘子訳 : 膝靭帯の構造と機能. *理学療法*15(12) : 951-957 1998
- 14) 大西秀明, 他 : 外側広筋の筋繊維走行および支配神経分布様式. *東北理学療法学*11 : 18-21, 1999
- 15) Hefzy MS, et al : Co-activation of the hamstrings and quadriceps during the lunge exercise. *Biomed Sci Instrum* 33 : 360-365, 1997
- 16) Doorenbosch CAM, et al : A clinically applicable EMG-force model to quantify active stabilization of the knee after a lesion of the anterior cruciate ligament. *Clin Biomech* 18 : 142-149, 2003

Activity of the vasti medialis and lateralis during forward lunge based on individuals with varying natural foot angles in quiet standing

Hiroichi Miaki, Yusuke Sekiguchi, Masami Yokogawa, Katsuhiko Tachino

ABSTRACT

OBJECTIVE : The purpose of this study was to electromyographically examine activity of the vasti medialis (VM) and lateralis (VL) during forward lunge (FL) in individuals with varying natural foot angles while quiet standing. **METHODS :** Enrolled in this study were 15 healthy men with a mean (SD) age of 20.8 (1.4) ranging from 18 to 23 years and a mean (SD) body mass index of 21.1 (1.6). The participants were divided into two groups, one group with a natural foot angle greater than ($>$) 16 degrees and the other less than ($<$) 16 degrees. The activity of VL and VM, measured in terms of normalized integrated electromyograms (%IEMG), was compared between the two groups while performing FL. In addition, the %IEMG of VL and VM were compared among the three tibial rotations of toe-in, neutral, and toe-out positions during FL. **RESULTS :** %IEMG for VL in the $> 16^\circ$ group was significantly higher than for that in the $<16^\circ$ group during the phase encompassing intermediate flexion through to terminal extension. As for VM, there was shown to be no statistically significant difference in %IEMG between the two groups. However, %IEMG in the $>16^\circ$ group tended to be higher than that in the $<16^\circ$ group during the phase encompassing intermediate flexion through to initial extension. Comparison of %IEMG of VL and VM among the three foot-positions yielded no statistically significant difference between the two groups. **CONCLUSION :** One should focus on the focal point of 16 degrees of tibial rotation when using the FL exercise for strengthening of VL and VM.