内側広筋斜頭／外側広筋活動比に関する 表面筋電図学的検証

Surface Electromyographic Validation of the Activity Ratio of the Vastus Medialis Oblique and Vastus Lateralis during Isokinetic Knee Extension

古川 公宣¹⁾ 下野 俊哉²⁾

KIMINOBU FURUKAWA, RPT, PhD¹⁾, TOSHIYA SHIMONO, RPT²⁾

¹⁾ Faculty of Rehabilitation and Care, Seijoh University: 2-172 Fukinodai, Tokai-shi, Aichi 476-8588, Japan
TEL +81 52-601-6000 E-mail: furukawa@seijoh-u.ac.jp

²⁾ Japan Rehabilitation Technical Education & Research Organization

Rigakuryoho Kagaku 34(6): 753-757, 2019. Submitted Jun. 3, 2019. Accepted Jul. 2, 2019.

ABSTRACT: [Purpose] The aim of this study was to investigate whether the Vastus Medialis Oblique (VMO)/ Vastus Lateralis (VL) ratio, with and without normalization of electromyographic signals, is affected by different movement periods and velocities. [Participants and Methods] Eleven healthy subjects were studied. They repeated isokinetic knee extension-flexion tasks at three different angular velocities five times, and three maximum isometric knee extension efforts (MVE) at 60-degree knee flexion using an isokinetic exercise machine. Surface electromyography was used to obtain the electrical signals from VL and VMO during each task. The VMO/VL ratio was calculated using the sEMG signal with and without normalization by the MVE value. [Results] The VMO/VL ratio with normalization was larger than that without normalization, and the standard deviations of both ratios showed a similar tendency. As the knee extended, the VMO/VL ratio gradually became smaller. There were no significant differences in the VMO/VL ratio among the movement velocities. [Conclusion] The results indicate that sEMG signal normalization is necessary for inter-subject comparison.

Key words: VMO/VL ratio, normalization, surface electromyography

要旨:〔目的〕内側広筋斜頭と外側広筋の筋活動比（VMO/VL 比）が測定条件や算出時の標準化の有無によりどのように変動するかを調査し、過去の知見と照合すること。〔対象と方法〕健康成人 11 名を対象とした。異なる 3 つの角速度の膝関節等速性伸展運動中の内側広筋斜頭と外側広筋の筋活動電位から VMO/VL 比を算出した。VMO/VL 比は、膝関節最大等尺性伸展運動中の筋活動電位での標準化の有無の 2 種類を求め、比較検討した。〔結果〕標準化の有無では VMO/VL 比は標準化ありの値が小さく、被験者間変動も小さかった。〔結語〕VMO/VL 比は、値の大きさよりは介入前後の変化を重要視することが望ましいと考えられ、被験者間比較を行う際には標準化を行うことが必須であることも示唆された。

キーワード: VMO/VL 比, 標準化, 表面筋電図

¹⁾ 星城大学 リハビリテーション学部: 愛知県東海市富貴ノ台 2-172 (〒476-8588) TEL 052-601-6000

²⁾ 日本リハビリテーション技術教育研究機構

I. はじめに

大腿四頭筋は内・外側広筋（Vastus Medialis：以下，VMとVastus Lateralis：以下，VL）および大腿直筋（Rectus Femoris：以下，RF）と中間広筋（Vastus Intermedius：以下，VI）で構成され，各々の筋頭が独自の線維配列を有する。このなかで，内側広筋はさらに長頭（Vastus Medialis Longum：以下，VML）と斜頭（Vastus Medialis Oblique：以下，VMO）の2つに分類され，線維の配列方向が異なっている。VLは大腿骨軸に対して12-15°上外方，VMLは15-18°上内方，RFは7-10°上内方，VIは大腿骨軸に平行に線維が配列されているのに対して，VMOは50-55°上内方となっており，他の構成体と比して，張力の上方要素よりも側方要素が大きいことが特徴で，機能的にも異なっていると考えられている¹⁾（表1）。

Richardsonら²⁾は，腹臥位において膝関節屈曲伸展運動を反復したとき，運動速度の増加に伴いRFの筋活動は増加するが，VMおよびVLの活動量に大きな変化はなく，さらに被験者の多くが，屈曲-伸展中のどちらにおいてもVLおよびVMの持続的な収縮を呈することも発見し，この2つの部位の機能的関連性に注目した。また，Grelsamerら³⁾は，この機能的バランスの崩壊によって発生する膝蓋大腿関節疼痛症候群の保存療法における目的はVMOの活動パターンの改善であり，この部位の機能は膝関節屈曲30°から完全伸展位の間の膝蓋骨の軌道を滑車上で中央に牽引する働きであるとして，Q角の存在によって発生する膝蓋骨の外方偏位に抗する重要な役割を提唱している。

VMOとVLの機能的バランスを表面筋電図学的に評価する際に用いられる指標がVMOとVLの活動の比率，いわゆるVMO/VL比である。特に，膝蓋大腿関節症を主体とした膝関節疾患における膝蓋大腿関節上での膝蓋骨軌道の修正に対する介入効果の指標として，近年でもSalarie Skerら⁴⁾やRathleffら⁵⁾など，内側広筋斜頭の活動に焦点を当てた研究が行われている。しかし，この指標についての見解は様々で，Mostamandら⁶⁾の研究において信頼性が高いとされる一方で，機能評価に用いることの是非については，Crossleyら⁸⁾やPowers⁹⁾のレビューによってもその結果の一致を見ないのが現状である。

そこで今回我々は等速性運動機器と表面筋電計を同期させ，膝関節等速伸展運動中のVMOとVLの筋活動を導出し，VMO/VL比の算出を行う際に最大筋力による標準化の有無によって，この値がどのように変化するかの検討を行った結果，若干の知見を得たので考察を加えて報告する。

II. 対象と方法

1. 対象

対象は下肢に既往のない健常者（男性8名および女性3名）とした。年齢 19.0 ± 2.8 歳，身長 168.5 ± 8.9 cm，体重 60.6 ± 9.8 kg（平均 $\pm$ 標準偏差）であった。すべての被験者は本研究の主旨を口頭および書面にて説明を受け，同意書への署名の後に実験に参加した。

2. 方法

被験者の利き足側のVLおよびVMOの筋腹にAg-AgCl（銀塩化銀）表面電極（BlueSensor N-00-S，Ambu社製）を貼付した。電極の配置に際して必要であれば剃毛処置を行い，皮膚前処理剤日本光電社製スキンピュアを塗布して擦過し，VLは筋腹中央に大腿骨軸に対して約15°上外方，VMOは膝蓋骨上内側部から一横指ずつ上内側部で大腿骨軸に対して55°上内方の角度となるように電極間距離2cmで貼付した。等速性筋力測定機器（BIODEX System3，BIODEX社製）に表面筋電計（TeleMyo2400T，Noraxon社製）をアイソレーションユニットにて同期させ，課題遂行中のVMOおよびVLからの筋活動電位を導出した。

遂行する課題は，筋活動電位を最大随意発揮筋力（maximum voluntary contraction：以下，MVC）の値で除して標準化するための基準値（% MVC）を得るための膝関節屈曲60°での5秒間の膝関節最大等尺性伸展運動3回と60，180，300 deg/secの角速度における膝関節求心性伸展-屈曲運動を各5回反復することとした。

筋疲労の影響を考慮するため，前者では各課題間に30秒，後者では5分間のインターバルを設定した。等速性筋力測定機器での膝関節伸展運動に慣れるため最大下負荷での練習を行い，被験者に課題内容の理解を徹底すると同時に，ダイナモメータの回転軸と膝関節運動軸の整合性を確認した後にデータ測定に進んだ。

各角速度での安定した等速性膝伸展運動を解析対象とするため，5思施行のうち，2-4回の3施行を解析対象とした。各被験者の膝関節等速性伸展-屈曲運動範囲を100%（最大屈曲位：0%，最大伸展位：100%）とし，これを4等分する区間（0-25%，25-50%，50-75%，75-100%）をそれぞれ第1-4区間として，各区間の平均振幅値を算出した。また標準化に使用するMVCは，最大等尺性伸展課題中に得られた筋活動波形の連続して

表1 大腿四頭筋構成体の張力発生方向

大腿骨軸に対する角度		
大腿直筋		7-10°
外側広筋		12-15°
中間広筋（含：膝関節筋）		0°
内側広筋	長頭	15-18°
	斜頭	50-55°

3 秒間安定している箇所を抽出して平均振幅値を算出、3 施行分を平均して使用した。標準化なしの VMO/VL 比は VMO の平均振幅値を VL の平均振幅値で除すことで算出した。標準化ありの場合は、最大等尺性膝伸展運動時の波形から算出した各被験筋の平均振幅値の 3 施行の平均値で、各条件下における等速性膝伸展運動中の平均振幅値を除すことで % MVC 値を算出し、この値を用いて VMO/VL 比を算出した。

得られた VMO/VL 比から、標準化の有無や角速度および区間の違いによって本指標が受ける影響を検討した。統計的検定は有意水準を 5% に設定し、統計解析ソフトウェア Kayplot Ver.4.0 を使用して行った。標準化の有無における比較では対応のある t 検定、角速度および区間の相違による比較には分散分析を用い、Turkey 法を用いて要因間の有意性を検討した。

なお、本研究の一連の手順は星城大学研究倫理専門委員会の承認を受けている（承認番号：2019C0001）。

III. 結 果

表 2 に算出された VMO/VL 比を示す。各データの偏差は標準化を行った場合の方が小さく、個体間差が小さくなっていた。

標準化の有無における比較では、設定した角速度ごとに各区分における標準化の有無を比較したところ、60 deg/sec ではすべての区分、180 および 300 deg/sec では第 2、3 区分において標準化なしの VMO/VL 比の方が有意に高値を示し、標準化ありの VMO/VL 比の方が膝関節伸展運動の中間域で低値を示した。

角速度での比較では、区分ごとに角速度の違いによって比較した場合、60 deg/sec では標準化の有無にかかわらず、標準化なしの VMO/VL 比では第 1 区分で 60 および 180 deg/sec が 300 deg/sec と比して有意に高値を示し ($p < 0.05$)、第 4 区分では 60 deg/sec が 300 deg/sec に比して有意に高値を示した。一方、標準化ありの VMO/VL 比では、各区分において角速度間の有意差はみられなかった。上記結果から、標準化なしの場合は膝

関節伸展運動の始めと終わりに角速度による相違が発生するが、標準化をすることでこれが回避されることがわかった。

区分での比較においては、設定した角速度ごとに区分の相違を検討した結果、60 deg/sec においては標準化の有無にかかわらず、第 1 区分と比べて第 2～4 区分が有意に低値を示し（標準化ありなしとも第 1 区分 VS. 第 2 および 3 区分で $p < 0.05$ 、第 1 区分 VS. 第 4 区分で $p < 0.01$ ）、180 deg/sec では標準化の有無にかかわらず、第 1 区分と比して第 3、4 区分で有意に低値を示した（標準化なし：第 1 区分 VS. 第 3 区分で $p < 0.05$ 、第 1 区分 VS. 第 4 区分で $p < 0.01$ 、標準化あり：第 1 区分 VS. 第 3 および 4 区分とも $p < 0.05$)。また、300 deg/sec では標準化なしで第 4 区分が第 1 から 3 区分と比して有意に低値を示したが（第 1 区分 VS. 第 4 区分で $p < 0.01$ 、第 2 および 3 区分 VS. 第 4 区分で $p < 0.05$)、標準化ありにおける各区分の相違による有意性はみられなかった。これらのことから、標準化の有無にかかわらず VMO/VL 比は、膝関節運動が伸展方向に近づくほど低値となる傾向があった。

IV. 考 察

VMO/VL 比を用いた大腿四頭筋の機能的評価に関する論文は数多く出されているが、標準化の有無や方法、その解釈等においての見解は様々である。Souza ら¹⁰⁾、Salzman ら¹¹⁾、Cerny¹²⁾、Laprade ら¹³⁾の報告から、オープンキネティックの状態における VMO/VL 比の標準的な値は、膝関節の全運動範囲を通じておよそ 1.0 から 1.2 の範囲と推察されるが、これらの研究において標準化の有無および方法は明らかなものばかりではない。これに加えて Ng ら¹⁴⁾は、標準化を用いずに VMO/VL 比を算出し、その値から膝蓋大腿関節症に対するテーピングを用いた介入効果の検討を行っているが、介入前後の VMO/VL 比はともに 1.5 を大きく超えた値となっている。

本研究においても、標準化の有無によって VMO/VL 比は値が大きく異なり、標準化した VMO/VL 比の方が

表 2 算出された VMO/VL 比

		第 1 区分	第 2 区分	第 3 区分	第 4 区分
60 deg/sec	標準化なし	1.7 ± 0.9	1.6 ± 0.8	1.4 ± 0.8	1.4 ± 0.9
	標準化あり	1.1 ± 0.2	0.9 ± 0.3	0.9 ± 0.3	0.8 ± 0.3
180 deg/sec	標準化なし	1.7 ± 1.0	1.5 ± 0.9	1.5 ± 0.8	1.5 ± 0.8
	標準化あり	1.1 ± 0.3	1.0 ± 0.3	0.9 ± 0.3	1.0 ± 0.2
300 deg/sec	標準化なし	1.5 ± 0.7	1.4 ± 0.8	1.3 ± 0.8	1.0 ± 0.5
	標準化あり	1.0 ± 0.2	0.9 ± 0.3	0.8 ± 0.3	0.8 ± 0.5

算出値 ± 標準偏差。VMO/VL 比：内側広筋斜頭と外側広筋の筋活動比。

低値を示した。このことは前述した事項を反映するものであり、適切な標準化とその方法の記載が必要であることを意味するものであると考える。また、標準化を行った方が標準偏差の値も小さくなり、被験者間変動が縮小される傾向も有し、個体間比較を行う際は標準化を行うことが必須と考えられる。

次に運動域内での値の変化を考えると、300 deg/secの標準化したVMO/VL比を除く全ての場合において第4区間が最も低値を示す傾向があった。これは膝関節等尺性伸展運動中に屈曲80°位と60°位でVLとVMの電位を見た場合、前者は60°位で若干高値を示し、後者は低値を示すことを報告したElorantaら¹⁵⁾や膝関節屈曲90°位と60°位において最大等尺性伸展運動を行い、VLとVMOの電位が異なることを示したMorrishら¹⁶⁾と一致する結果となった。しかし、我々の研究において用いた等速性筋力測定機器の特性から考えると、屈曲角度が大きい場合は座面による大腿後面の支持が強く大きな伸展筋力が発揮しやすいのに比べて、伸展位に近づくほどその支持が弱まり、大きい筋出力を発揮することが困難になるため、この特性が値に影響を及ぼした可能性も否定できないが、全ての被験者が同様の条件に該当するので、比較対照は可能であると考えられる。

さらに、角速度の相違におけるVMO/VL比の変化を見ると、標準化しないVMO/VL比では第1区間および第4区間に有意差を示しているが、標準化したVMO/VL比では各区間とも角速度に影響されないことがわかった。これは60 deg/secおよび300 deg/secの角速度において膝関節の屈曲伸展交互運動を行った際に、VLおよびVMの活動に運動速度の影響がないことを報告したMillerらの報告¹⁷⁾と一致するものであり、この場合も標準化を行った方が値の示す意味合いが明確化すると思われた。

本研究では等速性筋力測定機器と表面筋電計を同期することにより、オープンキネティックの状態でのVMO/VL比を検討したが、Tangら¹⁸⁾は健常者と膝蓋大腿関節症候群を有する患者のVMO/VL比をオープンおよびクローズドキネティックの課題において比較検討し、その値が有意に異なることを報告した。筆者らも過去に健常者のVMO/VL比が同様の比較で異なることを報告し、その他に課題や負荷によってVMO/VL比が変化することも報告した¹⁹⁾。また、膝関節伸展運動中にその他の運動を加えた課題を遂行することによってVMO/VL比が変化するかを調査した研究も数多く、この理論的背景にはVMOが内転筋停止部と付着部を共有するという観点から、股関節内転を加えた場合にVMO/VL比が高値を示すのではないかと考えているものや^{13,20)}、VMOが膝蓋骨を介して外側膝蓋支帯で脛骨外側に付着するため、脛骨の回旋運動がVMO/VL比に影響するという視点に立って研究を行っているものなどがあり¹³⁾、Grelsamer

ら²¹⁾の著書においても、様々な課題でのVMO/VL比の相違が紹介されている。その他にも膝蓋大腿関節症患者者の膝蓋反射を健常者と比較すると、VLおよびVMOの反射反応速度が異なることを報告するものや^{22,23)}、活動タイミングそのものが変化することを論じるものなど²⁴⁾、VLとVMOの関係を論じる文献は非常に多い。

VMO/VL比は、表面筋電図を用いた非常に簡便かつ直感的に意味の理解できる指標として、大腿四頭筋の機能的評価の一つとして用いられてきた。しかし、測定の方法や標準化の有無、遂行課題において値が変動することが明らかとなった。この値を用いて評価や治療の効果判定を行う際は、被験者内の比較であれば標準化を行うことなく使用することも可能であると考えられるが、被験者間比較を行う際には標準化が必須条件であり、標準的な値が不明確な現状では値そのものの持つ意味合いよりも、治療前後の値の変化の意味するところに重点を置くべきではないかと考えられる。

利益相反 記載すべき利益相反はない。

引用文献

- 1) Lieb FJ, Perry J: Quadriceps function. An anatomical and mechanical study using amputated limbs. *J Bone Joint Surg Am*, 1968, 50: 1535-1548.
- 2) Richardson C, Bullock MI: Changes in muscle activity during fast, alternating flexion-extension movements of the knee. *Scand J Rehabil Med*, 1986, 18: 51-58.
- 3) Grelsamer RP, McConnell J: The Patella: A Team Approach. Aspen Publication, 1998, pp119-136.
- 4) Salarie Sker F, Anbarian M, Yazdani AH, et al.: Patellar bracing affects sEMG activity of leg and thigh muscles during stance phase in patellofemoral pain syndrome. *Gait Posture*, 2017, 58: 7-12.
- 5) Rathleff MS, Samani A, Olesen JL, et al.: Effect of exercise therapy on neuromuscular activity and knee strength in female adolescents with patellofemoral pain—an ancillary analysis of a cluster randomized trial. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 2016, 34: 22-29.
- 6) Mostamand J, Bader DL, Hudson Z: Does leg predominance affect the measurement of vasti muscle activity during single leg squatting? A reliability study. *J Bodyw Mov Ther*, 2016, 20: 728-733.
- 7) Mostamand J, Bader DL, Hudson Z: Reliability testing of vasti activity measurements in taped and untaped patellofemoral conditions during single leg squatting in healthy subjects: a pilot study. *J Bodyw Mov Ther*, 2013, 17: 271-277.
- 8) Crossley K, Bennell K, Green S, et al.: A systematic review of physical interventions for patellofemoral pain syndrome. *Clin J Sport Med*, 2001, 11: 103-110.
- 9) Powers CM: Rehabilitation of patellofemoral joint disorders: a critical review. *J Orthop Sports Phys Ther*, 1998, 28: 345-354.
- 10) Souza DR, Gross MT: Comparison of vastus medialis obliquus: vastus lateralis muscle integrated electromyographic

- ratios between healthy subjects and patients with patellofemoral pain. *Phys Ther*, 1991, 71: 310-316, discussion 317-320.
- 11) Salzman A, Torburn L, Perry J: Contribution of rectus femoris and vasti to knee extension. An electromyographic study. *Clin Orthop Relat Res*, 1993, (290): 236-243.
 - 12) 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.
 - 13) Laprade J, Culham E, Brouwer B: Comparison of five isometric exercises in the recruitment of the vastus medialis oblique in persons with and without patellofemoral pain syndrome. *J Orthop Sports Phys Ther*, 1998, 27: 197-204.
 - 14) Ng GY, Cheng JM: The effects of patellar taping on pain and neuromuscular performance in subjects with patellofemoral pain syndrome. *Clin Rehabil*, 2002, 16: 821-827.
 - 15) Eloranta V, Komi PV: Function of the quadriceps femoris muscle under maximal concentric and eccentric contractions. *Electromyogr Clin Neurophysiol*, 1980, 20: 159-174.
 - 16) Morrish GM, Woledge RC, Haddad FS: Activity in three parts of the quadriceps recorded isometrically at two different knee angles and during a functional exercise. *Electromyogr Clin Neurophysiol*, 2003, 43: 259-265.
 - 17) Miller JP, Croce RV, Hutchins R: Reciprocal coactivation patterns of the medial and lateral quadriceps and hamstrings during slow, medium and high speed isokinetic movements. *J Electromyogr Kinesiol*, 2000, 10: 233-239.
 - 18) Tang SF, Chen CK, Hsu R, et al.: Vastus medialis obliquus and vastus lateralis activity in open and closed kinetic chain exercises in patients with patellofemoral pain syndrome: an electromyographic study. *Arch Phys Med Rehabil*, 2001, 82: 1441-1445.
 - 19) 古川公宣, 下野俊哉: 異なる負荷課題における内側広筋斜頭と外側広筋の活動比の相違について. *理学療法学*, 2004, 31(Suppl.2): 84.
 - 20) 小牧隼人, 柴 喜崇, 大淵修一: 下肢伸展挙上と大腿四頭筋セッティングにおける内側広筋斜頭筋活動の比較. *理学療法学*, 2004, 31: 291-295.
 - 21) Grelsamer RP, McConnell J: *The Patella: A Team Approach*. Aspen Publication, 1998, pp137-164.
 - 22) Voight ML, Wieder DL: Comparative reflex response times of vastus medialis obliquus and vastus lateralis in normal subjects and subjects with extensor mechanism dysfunction. An electromyographic study. *Am J Sports Med*, 1991, 19: 131-137.
 - 23) Witvrouw E, Sneyers C, Lysens R, et al.: Reflex response times of vastus medialis oblique and vastus lateralis in normal subjects and in subjects with patellofemoral pain syndrome. *J Orthop Sports Phys Ther*, 1996, 24: 160-165.
 - 24) Cowan SM, Bennell KL, Hodges PW, et al.: Delayed onset of electromyographic activity of vastus medialis obliquus relative to vastus lateralis in subjects with patellofemoral pain syndrome. *Arch Phys Med Rehabil*, 2001, 82: 183-189.