

修士学位論文

Quadriceps setting における 大腿四頭筋筋活動の検討 —Shear Wave Elastography を用いて—

(西暦) 2016 年 12 月 26 日 提出

首都大学東京大学院

人間健康科学研究科 博士前期課程 人間健康科学専攻

理学療法科学域

学修番号 : 15895609

氏 名 : 山内智之

(指導教員名 : 来間弘展 准教授)

和文要旨

Quadriceps Setting (QS) において大腿四頭筋 4 筋の個別性は明らかにされていない。本研究の目的は、超音波 Shear Wave Elastography (SWE) を用い、QS における大腿四頭筋の筋硬度を測定し、大腿四頭筋 4 筋の個別性を明らかにすることである。対象は健常男性 14 名の右下肢とし、対象者の平均年齢は 20.8 歳(19-22)であった。測定肢位は股関節 55 度屈曲位の長座位姿勢とした。運動課題は膝関節 0 度屈曲位で膝窩を支点とした膝関節伸展運動を実施し、10Nm の力を維持させた。筋硬度測定は、大腿四頭筋 4 筋に対して超音波診断装置(GE 社製 LOGIQ E9)の SWE モードを用い無作為に測定した。関心領域は腱膜や腱を避け、できる限り大きく mapping した。筋活動の指標は筋弛緩・収縮時の筋硬度差を求め正規化し、筋個別性を検討した。その結果、中間広筋は他の 3 筋に対し有意に筋硬度が高値であり、その他の筋間には有意差を認めなかった。膝関節 0 度屈曲位では、中間広筋の筋活動を考慮する必要性が示唆された。

キーワード

大腿四頭筋筋活動・Quadriceps setting・Shear Wave Elastography・中間広筋

背景

膝関節術後のリハビリテーションにおいて大腿四頭筋の筋萎縮予防のために大腿四頭筋のセッティング練習 (Quadriceps setting、以下 QS) と呼ばれる等尺性収縮による運動方法がある¹⁾。QS は背臥位または座位姿勢にて下肢の伸展運動を行い、床面上に膝窩を押さえつけるように大腿四頭筋を収縮させる方法である²⁾。

筋電図を用いた先行研究では、大腿四頭筋筋活動の筋個別性に関していくつか報告されている。Ruiter ら³⁾は大腿直筋 (rectus femoris、以下 RF)、内側広筋 (vastus medialis、以下 VM)、外側広筋 (vastus lateralis、以下 VL) を表面筋電図にて膝関節屈曲 10・30・60・90 度、20・25・30・35%での最大随意収縮 (Maximum Voluntary Contraction、以下 MVC) の条件において、3 筋の筋活動に差は認めないと報告している。Saito ら⁴⁾は RF、VM、VL、中間広筋 (vastus intermedius、以下 VI) の 4 筋を対象とし、VI を表面筋電図にて膝関節屈曲 30・50・90 度、20~100%MVC の条件において、30 度におけるすべての筋出力で VI の筋活動が有意に低いとし、深層筋である VI を同様の測定方法を用いた Watanabe ら⁵⁾は、膝関節屈曲 15・40・65・90 度、100%MVC の条件において、VI は 15・65 度で VL と RF に比べ筋活動が有意に低いと報告している。一方で、Zhang ら⁶⁾は RF・VM・VL は表面筋電図、VI は針筋電図にて膝関節屈曲 60 度、8~50Nm の条件において、膝関節伸展トルクに VI が最も関与していた (最大で約 50%) と報告している。以上より、QS に関する一貫した知見は得られていない。また、深層筋である VI の活動を表面筋電図にて測定した報告では、クロストークの影響はなく評価可能⁷⁾とされているが、測定手法には信頼性に関して疑問の余地が残る。さらに、Saito⁴⁾や Watanabe⁵⁾は膝関節屈曲 15~90 度のみの報告であり、膝関節 0 度屈曲位の報告は乏しい限り見受けられなかった。臨床上、前十字靭帯再建術後の膝関節伸展可動域制限の残存は、筋力回復の遅延となるだけでなく、長期的に膝蓋大腿関節に悪影響を及ぼすと⁸⁾、Shelbourne ら⁹⁾は前十字靭帯損

傷後のリハビリテーションにおいて左右対称な膝関節伸展可動域の回復が重要であり、再建術後においては膝関節伸展の可動域制限は下肢の主観的スコアに最も関連する重要な要因であると報告している。今屋¹⁰⁾は前十字靭帯再建術後の患者において、踵骨高距離が0横指の群と1.5横指以上の群の、60deg/secの膝関節伸展筋力を比較した報告では両群の健患比には約10%の差があり、踵骨高距離が0横指の群で伸展筋力は高値であったとしている。全人工膝関節置換術後の患者においては、膝関節伸展可動域の改善は膝関節伸展機能に影響すると報告されており¹¹⁾、膝関節屈曲0度での大腿四頭筋筋活動を明らかにすることは臨床的に有用である。

深部筋の非侵襲的な分析方法には超音波やMRIが使用され、超音波はMRIに比べ簡便で安価な機器である^{12,13)}。超音波画像診断技術は骨格筋や靭帯、腱、関節軟骨など生体組織の特性を簡便かつ非侵襲的、さらにリアルタイムに評価することが可能であり、リハビリテーション領域においても非常に有用な手法である。骨格筋における近年の先行研究においては、筋厚を指標とした筋量評価¹⁴⁾や筋輝度^{15,16)}を用いた骨格筋の質の評価や、筋損傷の評価¹⁷⁻¹⁹⁾、筋硬度的評価などに用いられている。そのなかでも、筋硬度的評価は最近の超音波研究において多く報告されている。もとは乳腺、消化器内科領域で使用されてきた技術であり、古くから触診が用いられてきた乳がんや前立腺がんの診断ではもちろんのこと、肝硬変における線維化、動脈硬化症では血管壁の硬化や、粥腫の脂質性から石灰化への変化など多くの疾患で、その進行に伴い組織の硬さが変化することが知られており用いられてきた。臨床での硬さの評価が可能になれば、さまざまな診断に有用であることは自明であったが、CT、MRI、PETなどさまざまな画像診断装置が存在するなかで、組織の硬さを客観的に捉える手法は、2003年に超音波によるエラストグラフィが実用化して初めて可能になった²⁰⁾。

筋硬度的に関する研究において、稲見ら²¹⁾は腓腹筋を対象に等尺性底屈筋力を0・25・50・75・100%MVCの5段階で実施し、Strain Elastographyで測定した筋硬度的変化と等尺性筋出力との間でどのような関係を示すかを検討し、筋硬度和筋出力の間に強い相関関係($r=0.84$)を認め、筋硬度的により筋出力を評価可能であると報告している。この研究の問題点として、従来から用いられているStrain Elastographyによる筋硬度的測定は、プローブの微細な圧迫によるひずみ比として筋硬度的を算出するため、この値は定性的である点が挙げられている。一方で、近年多く使用されているShear Wave Elastography(以下SWE)による筋硬度的の測定方法は、プローブより励振された剪断波(Shear Wave)の反射速度より筋硬度的を算出するため、筋硬度的を定量的に測定可能という利点がある²²⁾。近年の報告では、SWEを用いた筋硬度的測定において、対象筋を小指外転筋や背側骨間筋、上腕二頭筋で測定した結果、筋硬度和筋出力は強い相関関係(相関係数0.86~0.99)にあることが報告されている²³⁻²⁵⁾。またSWEによる筋硬度的の評価の信頼性は、小指外転筋、僧帽筋、腓腹筋などさまざまな筋で報告されている²⁶⁻³⁰⁾。

QSにおける深層筋を含めた大腿四頭筋4筋の筋活動の個別性について検討された報告はなく、筋活動の個別性が明らかとなれば、効率的なQSが可能となると考える。先行研究では、経皮的電気刺激や超音波によりバイオフィードバックを行った大腿四頭筋の筋力練習の有用性が報告されている³¹⁾。Choiら³¹⁾は、大腿四頭筋の最大等尺性収縮における経皮的電気刺激と超音波を用いた筋収縮のフィードバック効果を報告している。変形性膝関節症

を有する 65 歳以上の女性を対象に、評価項目を最大筋出力と疼痛とし、経皮的電気刺激群、超音波群、一般的な理学療法を行ったコントロール群に分け検討した。その結果、コントロール群と比べ経皮的電気刺激群と超音波群は有意に最大筋出力の増加と疼痛の改善を認め、経皮的電気刺激と超音波によるバイオフィードバックの有用性が示唆されている。

以上より、本研究の目的は超音波 SWE を用い、若年健常者での QS における大腿四頭筋の筋硬度を測定し、大腿四頭筋 4 筋の個別性を明らかにすることとした。

方法

1. 対象

被験者は、右膝・股関節に既往がなく、可動域制限のない健常男性 14 名の右下肢とした。被験者の基本属性（平均値±標準偏差）は、年齢 20.6 歳（19-22）、身長 171.0±5.3cm、体重 63.4±6.2kg であった。G*Power3.1.9.2 を使用し、事後の分析にて検定力分析を行った。統計結果より効果量は 0.33 を算出し、球面性の仮定は Mauchly の球面性検定にて Greenhouse-Geisser の値より 1 とした結果、検定力は 1.0 であった。Cohen³²⁾により慣例として検出力が 0.8 以上であれば検出力は高いとされている。先行研究¹³⁾に従い、被験者には測定前の 48 時間前以降の日常生活動作を超える運動を禁止させた。本研究は首都大学東京荒川キャンパス研究安全倫理委員会（承認番号 15074）および、日本大学病院倫理委員会（承認番号 151102）の承認を得て実施し、対象者全員に本研究の方法、目的を説明し、書面による同意を得た。

2. 測定方法

測定肢位は、Watanabe ら³³⁾の方法に従い、股関節 55 度屈曲位、内外転・内外旋中間位、膝関節 0 度屈曲位、足関節底背屈中間位の長座位姿勢とした。上肢は前腕を前胸部でクロスさせ、骨盤はベルトにて固定し、代償運動が生じない姿勢とした。測定場所は、室温は 26 度に設定した部屋にて実施した。運動課題は膝関節 0 度屈曲位で、膝窩を支点とした膝関節伸展運動とし、筋出力は QS を最大随意収縮で実施し得られた値を参考に 10Nm とした^{34,35)}。筋の測定順序は無作為に実施した。筋硬度測定の対象筋は、RF、VM、VL、VI とし大腿横断面を撮像した。筋撮像部位は先行研究^{33,36,37)}に従い、膝蓋骨上縁から上前腸骨棘間の距離を測定し、VI・RF は遠位より 39%の位置、VL は遠位より 39%の位置と膝蓋骨下縁から大転子間を結ぶ交点、VM は遠位より 22%の位置と膝関節内側関節裂隙から上前腸骨棘間を結ぶ交点の大腿横断面を撮像した（図 1、2）。使用機器は超音波診断装置（GE 社製 LOGIQ E9）、プローブはリニア型（9L 5.25 MHz）を使用した。筋硬度を測定する関心領域のサイズは、先行研究^{23,25,38)}に従い、腱膜や腱を避け、できる限り大きく mapping した。各試行は 3 回行い、平均値を算出し、データの解析対象は、筋収縮を 5 秒間実施し、安定した画像とした。

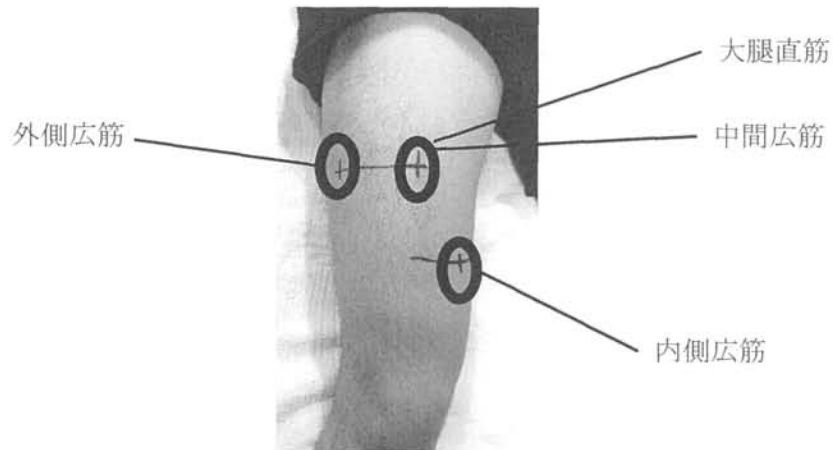


図1 筋撮像位置

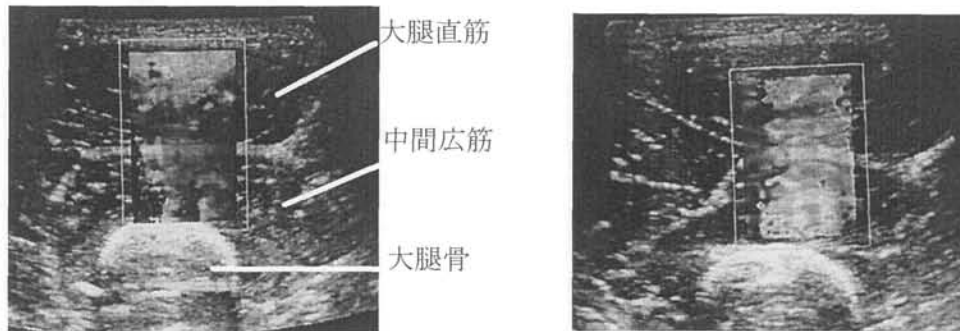


図2 遠位より39%の位置における Elastography

左図が筋弛緩時、右図が筋収縮時。

筋硬度が低ければ青色に描出され、高ければ赤色に描出される。

3. 検者内信頼性の検討

本研究の測定方法の再現性を確認するため、ICC (1, 3) にて信頼性を検討した。対象者の基本属性 (平均値±標準偏差) は男性5名、年齢 21.0 (20-22) 歳、身長 171.4 ± 5.7 cm、体重 62.9 ± 3.4 kg であった。

4. 統計解析

大腿四頭筋の弛緩・収縮時における変化及び筋個別性を検討するため、収縮前後で筋硬度の差を求め正規化を行い、Shapilo-Wilks 検定にて正規性を確認した。有意水準 5%にて一元配置分散分析・多重比較法を実施した。解析には IBM SPSS.ver.23.0 を使用した。

結果

1. 筋硬度測定 of 検者内信頼性

ICC (1, 3) での弛緩・収縮時の級内相関係数は表 1 に示す。

表 1 ICC (1, 3) での検者内信頼性

	弛緩 / 収縮
大腿直筋	0.974 / 0.956
内側広筋	0.983 / 0.979
外側広筋	0.967 / 0.848
中間広筋	0.979 / 0.932

2. Quadriceps setting における大腿四頭筋の筋硬度

Shapiro-Wilks 検定にて正規性を確認した結果、正規性を認めなかったため、有意水準 5%にて Kruskal-Wallis 検定・多重比較法 (Bonferroni の修正 $p=0.0083$) を実施した。

収縮前後の差の平均値±標準偏差 (m/s)、および 95%信頼区間は、RF 0.405 ± 0.261 (0.254-0.555)、VM 0.436 ± 0.262 (0.284-0.587)、VL 0.457 ± 0.260 (0.306-0.607)、VI 0.828 ± 0.230 (0.695-0.961) であった。4 筋の間の有意確率は $p=0.001$ であり有意差を認めた。多重比較法の結果は表 3 に示す。QS 時の収縮前後での筋硬度の差は、VI は他のすべての筋に対し有意に高値であった。その他の筋間に有意差は認めなかった。

表 3 多重比較法 (Bonferroni)

	平均値±標準偏差	RF	VM	VL	VI
RF	0.405 ± 0.261				
VM	0.436 ± 0.262	1.00			
VL	0.457 ± 0.260	1.00	1.00		
VI	0.828 ± 0.230	0.0003	0.001	0.002	

考察

1. 筋硬度測定 of 検者内信頼性

本研究における測定方法では、ICC (1, 3) にて下限が 0.848 であり、検者内信頼性は高い結果であった。ICC ≥ 0.81 あれば信頼性が高いとされており³⁹⁾、ICC (1, 3) では 4 筋すべてで ICC ≥ 0.81 であり筋硬度測定に有用な測定法である。

先行研究において VI の筋硬度測定は困難であったと報告されている²⁹⁾。本研究において使用した超音波診断装置 LOGIQ E9 の SWE は先行研究とは異なり、その特徴として、Comb-Push Excitation という櫛状プッシュパルスを採用し、複数個所で同時にプッシュパルスを発生させ、それぞれを独立した Shear wave 発生源として取扱い、複数個所で生じた波面をまとめて処理する仕組みであると報告されており⁴⁰⁾、複数のプッシュパルスを集約することで深層筋である VI も測定可能であったと推察した。また、本研究で使用したプローブの周波数は 5.25MHz、先行研究は 4-15MHz であり、一般的に周波数が低いほうが

深層を描出しやすいとされているため、本プローブを使用することにより、VI の筋硬度測定信頼性が高かった。

2. Quadriceps setting における大腿四頭筋の筋硬度

本研究での測定肢位において、4 筋の間に有意差を認めた。その後の多重比較法の結果、QS 時の収縮前後での筋硬度の差は、VI は他のすべての筋に対し有意に筋活動が大きく、その他の筋間に有意差は認めなかった。

QS において大腿四頭筋の 4 筋のうち VI の活動が有意に高かった、という本研究の結果は、Zhang ら⁶⁾の膝関節 60 度屈曲位における 8~50Nm での等尺性の膝関節伸展運動を実施し、VI は針筋電図、RF・VM・VL は表面筋電図にて評価した先行研究と同様の結果を示した。

QS における VI の活動が高かった要因として、VI は解剖学的に大腿中央前面に位置し、膝関節伸展運動の運動方向と一致し、水平面上に直交する大腿骨長軸に対し膝蓋骨を牽引する。RF もほぼ同一方向に作用するが、大腿四頭筋の生理学的筋断面に関して、Friederich ら⁴¹⁾は屍体を使用し、RF が 43cm²、VM が 67cm²、VL が 64cm²、VI が 82cm²とし、Narici ら⁴²⁾は MRI を使用し、RF が 66cm²、VM が 68cm²、VL が 62cm²、VI が 84cm²と報告しており、大腿四頭筋のうち VI の生理学的筋断面積が最も大きい。一般的に筋の最大筋力は生理学的筋断面積と密接に関係していると報告されているため⁴³⁾、本研究での肢位においても、VI の筋活動が有意に高値であったと推察した。また、Zhang ら⁶⁾は同じ生理学的筋断面積の筋であっても、筋の走行が運動方向と一致していなければ、同じ筋出力を発揮できないと述べている。したがって、膝関節 0 度屈曲位での膝伸展運動では VM と VL の筋作用が運動方向とずれているため、VI がより筋活動が高く、RF は VI と同軸上ではあるが、本研究では股関節屈曲位での膝関節伸展運動のため RF は弛緩しており、VI の筋活動が最も高い結果となったと推察した。

本研究では、膝関節 0 度屈曲位での QS において、VI の筋活動がもっとも高値であった。経皮的電気刺激により深層筋である中間広筋を刺激することは困難であるが、深部組織を撮像可能な超音波では VI の収縮を視覚的に確認しながらフィードバックが可能である。最近では超音波もポータブルで比較的安価なものが商品化されており、臨床において簡便に用いることが可能となっている。超音波を用いた VI のフィードバックによる大腿四頭筋の筋力練習は臨床でも有用であると考えられる。

本研究の限界として、超音波測定におけるアーチファクト、SWE の特徴が考えられる。超音波測定におけるアーチファクトの種類は、一般的に①反射、②屈折、③減衰、④散乱と干渉が存在する⁴⁴⁾。反射、屈折、散乱と干渉に関しては消化器内科の超音波に精通した医師の指導の下、Elastography 画像とは別に B モード画像を確認し、十分注意した上で測定を行った。しかしながら、超音波画像からアーチファクトを完全に除くことは困難であると言われているため⁴⁴⁾、データの解釈に注意しなければならない。また、減衰（超音波が組織内を伝搬する際、反射や吸収または散乱により、そのエネルギーが次第に失われること）に関しては、深層筋である VI を評価する上で、表層組織の影響を無視することは避けられない。SWE の信頼性と実現可能性を検討した先行研究において、Hatta ら⁴⁵⁾は屍体肩を用い、皮膚・皮下脂肪・僧帽筋を順に除去し、最下層の棘上筋の硬さを SWE にて評価

した結果、棘上筋の硬さに有意差を認めなかったと報告し、深層組織の評価の可能性を示している。この結果から、本研究の測定方法における深部筋である VI の評価の妥当性をすべて肯定することは困難であり、今後検討の余地が残されている。最後に、SWE の特徴として、測定値が定量的に得られる点がある。どのような物質、構造、性状であっても測定値が定量的に得られるため、SWE より得られた数値の解釈には注意する必要がある。

結論

本研究では、QS における大腿四頭筋 4 筋の筋活動の個別性を、SWE を使用し検討した。股関節 55 度屈曲位、膝関節 0 度屈曲位での QS では、VI は他のすべての筋に対し有意に筋活動が高く、その他の筋間では活動の差を認めなかった。本研究より、QS 時に大腿四頭筋は全て同じように活動するのではないことが明らかになったため、理学療法において、ただ QS を行わせるだけではなく、超音波フィードバックなどを用いて VI の活動を特に意識させた QS が有効である可能性が示唆された。

引用文献

- 1) Park D, Kim J, Lee.: Effectiveness of modified quadriceps femoris muscle setting exercise for the elderly in early rehabilitation after total knee arthroplasty. *J Phys Ther Sci*, 24: 27-30, 2012.
- 2) Nakajima M, Kawamura K, Takeda I.: Electromyographic analysis of a modified maneuver for quadriceps femoris muscle setting with co-contraction of the hamstrings. *J Orthop Res*, 21(3): 559-64, 2003.
- 3) Ruitter CJ, Hoddenbach JG, Huurnink A, et al.: Relative torque contribution of vastus medialis muscle at different knee angles. *Acta Physiol*, 194(3): 223-37, 2008).
- 4) Saito A, Akima H.: Knee joint angle affects EMG-force relationship in the vastus intermedius muscle. *J Electromyogr Kinesiol*, 23(6): 1406-12. 2013.
- 5) Watanabe K, Akima H.: Effect of knee joint angle on neuromuscular activation of the vastus intermedius muscle during isometric contraction. *Scand J Med Sci Sports*, 21(6): e412-20, 2011).
- 6) Zhang LQ, Wang G, Nuber GW, et al.: In vivo load sharing among the quadriceps components. *J Orthop Res*, 21(3): 565-71, 2003.
- 7) Watanabe K, Akima H. Cross-talk from adjacent muscle has a negligible effect on surface electromyographic activity of vastus intermedius muscle during isometric contraction. *J Electromyogr Kinesiol*, 19(4): e280-9, 2009.
- 8) Sachs RA, Daniel DM, Stone ML, et al.: Patellofemoral problems after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med*, 17(6): 760-5, 1989.
- 9) Shelbourne KD, Freeman H, Gray T.: Osteoarthritis after anterior cruciate ligament reconstruction: the importance of regaining and maintaining full range of motion. *Sports Health*, 4(1): 79-85, 2012.
- 10) 今屋 健: 当院における ACL 再建術後のリハビリテーション —術後超早期からの伸展可動域の評価・獲得について. *Sportsmedicine*, 114(9-10): 18-19, 2009.

- 11) Pua YH, Ong PH, Chong HC, et al.: Knee extension range of motion and self-report physical function in total knee arthroplasty: mediating effects of knee extensor strength. *BMC Musculoskelet Disord*, 14(33): 2013.
- 12) Akima H, Takahashi H, Kuno SY, et al.: Coactivation pattern in human quadriceps during isokinetic knee-extension by muscle functional MRI. *Eur J Appl Physiol*, 91(1): 7-14, 2004.
- 13) Strasser EM, Draskovits T, Praschak M, et al.: Association between ultrasound measurements of muscle thickness, pennation angle, echogenicity and skeletal muscle strength in the elderly. *Age (Dordr)*, 35(6): 2377-88, 2013.
- 14) Ikezoe T, Mori N, Nakamura M, et al.: Age-related muscle atrophy in the lower extremities and daily physical activity in elderly women. *Arch Gerontol Geriatr*, 53(2): e153-7, 2011.
- 15) Ikezoe T, Asakawa Y, Fukumoto Y, et al.: Associations of muscle stiffness and thickness with muscle strength and muscle power in elderly women. *Geriatr Gerontol Int*, 12(1): 86-92, 2012.
- 16) Fukumoto Y, Ikezoe T, Yamada Y, et al.: Skeletal muscle quality assessed from echo intensity is associated with muscle strength of middle-aged and elderly persons. *Eur J Appl Physiol*, 112(4): 1519-25, 2012.
- 17) Yasuda T, Fukumura K, Iida H, et al.: Effect of low-load resistance exercise with and without blood flow restriction to volitional fatigue on muscle swelling. *Eur J Appl Physiol*, 115(5): 919-26, 2015.
- 18) Murayama M, Nosaka K, Yoneda T, et al.: Changes in hardness of the human elbow flexor muscles after eccentric exercise. *Eur J Appl Physiol*, 82(5-6): 361-7, 2000.
- 19) Nosaka K, Newton M, Sacco P.: Muscle damage and soreness after endurance exercise of the elbow flexors. *Med Sci Sports Exerc*, 34(6): 920-7, 2002.
- 20) Samani A, Zubovits J, Plewes D.: Elastic moduli of normal and pathological human breast tissues: an inversion-technique-based investigation of 169 samples. *Phys Med Biol*, 52(6): 1565-76, 2007.
- 21) 稲見崇孝, 辻村亨, 中野真智子, 他: Ultrasound Elastography による筋出力発揮における筋硬度変化の半定量的評価. *日整超研誌*, 24(1): 32-37, 2012.
- 22) 椎名毅: エラストグラフィー—static 法と dynamic 法—. *乳腺甲状腺超音波医学会*, 4(1): 11-15, 2015.
- 23) Bouillard K, Nordez A, Hug F.: Estimation of individual muscle force using elastography. *PLoS One*, 6(12): e29261, 2011.
- 24) Yoshitake Y, Takai Y, Kanehisa H, et al.: Muscle shear modulus measured with ultrasound shear-wave elastography across a wide range of contraction intensity. *Muscle Nerve*, 50(1): 103-13, 2014.
- 25) Ateş F, Hug F, Bouillard K, et al.: Muscle shear elastic modulus is linearly related to muscle torque over the entire range of isometric contraction intensity. *J Electromyogr Kinesiol*, 25(4): 703-8, 2015.

- 26) Lacourpaille L, Hug F, Bouillard K, et al.: Supersonic shear imaging provides a reliable measurement of resting muscle shear elastic modulus. *Physiol Meas*, 33(3): 19-28, 2012.
- 27) Leong HT, Ng GY, Leung VY, et al.: Quantitative estimation of muscle shear elastic modulus of the upper trapezius with supersonic shear imaging during arm positioning. *PLoS One*, 8(6): e67199, 2013.
- 28) Akagi R, Takahashi H.: Acute effect of static stretching on hardness of the gastrocnemius muscle. *Med Sci Sports Exerc*, 45(7): 1348-54, 2013.
- 29) Bouillard K, Jubeau M, Nordez A, et al.: Effect of vastus lateralis fatigue on load sharing between quadriceps femoris muscles during isometric knee extensions. *J Neurophysiol*. 111(4): 768-76, 2014.
- 30) Koo TK, Guo JY, Cohen JH, et al.: Quantifying the passive stretching response of human tibialis anterior muscle using shear wave elastography. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 29(1): 33-9, 2014.
- 31) Choi YL, Kim BK, Hwang YP, et al.: Effects of isometric exercise using biofeedback on maximum voluntary isometric contraction, pain, and muscle thickness in patients with knee osteoarthritis. *J Phys Ther Sci*, 27(1): 149-53, 2015.
- 32) Cohen J.: *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. (2nd ed.). Hillsdale NL: Lawrence Erlbaum. 1988.
- 33) Watanabe K, Akima H.: Normalized EMG to normalized torque relationship of vastus intermedius muscle during isometric knee extension. *Eur J Appl Physiol*, 106(5): 665-73, 2009.
- 34) 事柴壮武, 浦辺幸夫, 前田慶明, 他: 体幹固定性の違いと股関節角度の変化が大腿四頭筋セッティングの下肢筋活動に及ぼす影響. *理学療法の臨床と研究*, 22: 21-24, 2013.
- 35) 篠原博, 浦辺幸夫, 前田慶明, 他: 身体固定の有無が大腿四頭筋セッティングの筋力と下肢筋活動におよぼす影響. *理学療法の臨床と研究*, 23: 3-6, 2014.
- 36) Blazevich AJ, Gill ND, Zhou S.: Intra- and intermuscular variation in human quadriceps femoris architecture assessed in vivo. *J Anat*, 209(3): 289-310, 2006.
- 37) Zipp P.: Recommendations for the standardization of lead positions in surface electromyography. *Eur J Appl Physiol*, 50: 41-50, 1982.
- 38) Bouillard K, Hug F, Guével A, et al.: Shear elastic modulus can be used to estimate an index of individual muscle force during a submaximal isometric fatiguing contraction. *J Appl Physiol*, 113(9): 1353-61, 2012.
- 39) Landis JR, Koch GG.: The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33(1): 159-74, 1977.
- 40) 宮野崇司: 『LOGIQ E9 による Shear Wave Elastography について』 . <http://gifuart.umin.ne.jp/kenkyuukai/us/kenkyuukai/38th/ge.pdf#search=logiq+e9+SWE%E7%89%B9%E5%BE%B4> . Accessed September 19, 2016.
- 41) Friederich JA, Brand RA.: Muscle fiber architecture in the human lower limb. *J Biomech*, 23(1): 91-5, 1990.

- 42) Narici MV, Landoni L, Minetti AE.: Assessment of human knee extensor muscles stress from in vivo physiological cross-sectional area and strength measurements. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 65(5): 438-44, 1992.
- 43) Fukunaga T, Roy RR, Shellock FG, et al.: Physiological cross-sectional area of human leg muscles based on magnetic resonance imaging. *J Orthop Res*, 10(6): 928-34, 1992.
- 44) 神田美穂, 紺野啓, 宮本恭子, 他: アーチファクト. *乳腺甲状腺調査医学*, 4(3): 46-52, 2015.
- 45) Hatta T, Giambini H, Uehara K, et al.: Quantitative assessment of rotator cuff muscle elasticity: Reliability and feasibility of shear wave elastography. *J Biomech*, 48(14): 3853-3858, 2015.

英語要旨

The individuality activity of the quadriceps muscles during quadriceps setting has not been clarified. If the individual muscle activity becomes clear, then efficient quadriceps setting can be performed by biofeedback using EMS or ultrasound. The purpose of this study was to measure the muscle stiffness of the quadriceps muscle during quadriceps setting using ultrasound shear wave elastography (SWE) and to clarify the individual quadriceps muscle activity. The subjects included 14 healthy young men (average age 20.6, range 19-22 years). The subjects sat in a long sitting position with their hips flexed at 55 degrees, their knee flexed at 0 degrees, the forearm crossed over the chest, and the pelvis fixed with a belt. The muscle stiffness at relaxation and contraction of the rectus femoris (RF), vastus medialis (VM), vastus lateralis (VL), vastus intermedius (VI) was measured. For the measurement of muscle stiffness, the quadriceps muscles were measured randomly in the SWE mode of an ultrasound diagnostic apparatus (LOGIQ E9 manufactured by GE). The linear-type probe was used (9L 5.25 MHz). The index of muscle activity was defined as the difference in muscle stiffness between muscle relaxation and contraction. The results showed that the mean \pm standard deviation of the statistically significant differences ($p < 0.01$) before and after contraction were 0.405 ± 0.261 for RF, 0.436 ± 0.262 for VM, 0.457 ± 0.260 for VL, 0.828 ± 0.230 for VI. The stiffness of VI was significantly higher than that of other muscles. There was no significant difference for stiffness between other muscles. Previous studies reported that the physiological cross-sectional area of VI is the largest of the quadriceps muscles, and VI is located along the long axis of the bone. This study demonstrated that quadriceps setting needs to primarily consider the muscle activity of VI.

Key Words

quadriceps muscle activity, quadriceps setting, Shear Wave Elastography, vastus intermedius

(西暦) 2016 年度 博士前期課程学位論文要旨

学位論文題名 (注: 学位論文題名が英語の場合は和訳をつけること)

Quadriceps setting における大腿四頭筋筋活動の検討

— Shear Wave Elastography を用いて —

学位の種類: 修士 (理学療法学)

首都大学東京大学院

人間健康科学研究科 博士前期課程 人間健康科学専攻 理学療法科学域

学修番号 15895609

氏名: 山内智之

(指導教員名: 来間弘展 准教授)

注: 1 ページあたり 1,000 字程度 (英語の場合 300 ワード程度) で、本様式 1~2 ページ (A4 版) 程度とする。

The individuality activity of the quadriceps muscles during quad setting has not been clarified. If the individual muscle activity becomes clear, then efficient quad setting can be performed by biofeedback using EMS or ultrasound. The purpose of this study was to measure the muscle stiffness of the quadriceps muscle during quad setting using ultrasound shear wave elastography (SWE) and to clarify the individual quadriceps muscle activity. The subjects included 14 healthy young men (average age 20.6, range 19-22 years). The subjects sat in a long sitting position with their hips flexed at 55 degrees, their knee flexed at 0 degrees, the forearm crossed over the chest, and the pelvis fixed with a belt. The muscle stiffness at relaxation and contraction of the rectus femoris (RF), vastus medialis (VM), vastus lateralis (VL), vastus intermedius (VI) was measured. For the measurement of muscle stiffness, the quadriceps muscles were measured randomly in the SWE mode of an ultrasound diagnostic apparatus (LOGIQ E9 manufactured by GE). The linear-type probe was used (9L 5.25 MHz). The index of muscle activity was defined as the difference in muscle stiffness between muscle relaxation and contraction. The results showed that the mean \pm standard deviation of the statistically significant differences ($p < 0.01$) before and after contraction were 0.405 ± 0.261 for RF, 0.436 ± 0.262 for VM, 0.457 ± 0.260 for VL, 0.828 ± 0.230 for VI. The stiffness of VI was significantly higher than that of other muscles. There was no significant difference for stiffness between other muscles. Previous studies reported that the physiological cross-sectional area of VI is the largest of the quadriceps muscles, and VI is located along the long axis of the bone. This study demonstrated that quad setting needs to primarily consider the muscle activity of VI.