

氏名・(本籍)	たか ほん しょう すけ 高橋 裕介 (秋田県)
専攻分野の名称	博士 (保健学)
学位記番号	医博甲第25号
学位授与の日付	平成30年3月22日
学位授与の要件	学位規則第5条第1項該当
研究科専攻	医学系研究科 (保健学専攻)
学位論文題名	In vivo curvature of the rectus femoris central aponeurosis decreases with increasing isometric contraction level (筋内腱を指標とした骨格筋エコー評価の可能性)
論文審査委員	(主査) 教授 岡田 恭司 (副査) 教授 若狭 正彦 助教 齊藤 明

論文内容の要旨

研究目的

骨格筋は羽状筋と平行筋に大別される。羽状筋は中央を走行する筋内腱から筋線維が起始し周囲の腱膜に停止するという形態的特徴を有している。その筋線維と筋内腱の角度である羽状角と筋力には関連性があるといわれている。前脛骨筋の筋内腱は板状の構造をしており、筋収縮に伴い長さ・幅ともに増加すると報告されている。一方で大腿直筋の筋内腱は典型的には“comma shaped hyperechoic band”と呼ばれる弧状の特有の形態をしている。特に大腿直筋は股・膝関節の二関節筋であることから、筋収縮に伴う大腿直筋・筋内腱の幾何学的な変化を理解することは重要であると考えられる。しかし筋収縮に伴う大腿直筋・筋内腱の動的な変化の程度と筋力との関連性は明らかにされていない。本研究の目的はヒトの大腿直筋を対象に筋収縮に伴う筋内腱の動態を明らかにし、膝伸展筋力との関係を検討することである。

対象・方法

若年女性25名の右下肢を対象とした。大腿直筋の観察は超音波画像診断装置（日立、HI VISION AVIUS：14MHz, リニアプローブ, Bモード）を用い、5年以上の経験のある検者1名が実施した。観察部位は下前腸骨棘と膝蓋骨を結ぶ線の中点とし、プローブは皮膚面に対して垂直に当て、短軸像を撮影した。観察肢位は等尺性膝伸展最大筋力の測定と同期させるため、股関節・膝関節90°屈曲位

の椅子座位とし、骨盤・大腿遠位部をベルトで固定した。筋内腱はプローブを上下方向に動かし、連続性を確認して同定した。安静時と等尺性膝伸展最大筋力発揮中の動画を3回ずつ記録した。膝伸展筋力の測定は等尺性筋力測定機 (Musculator GT30, OG 技研) を用い、得られたトルクを体重で除し、膝伸展トルクとした。得られた超音波画像から筋内腱形態と筋厚を測定した。筋内腱形態は足部アーチの測定法を参考にして、筋内腱前方端と後方端の距離 (A) に対する筋内腱のカーブの頂点から A に降ろした垂線の距離 (B) の比 B/A を算出し、アーチ率 (%) とした。アーチ率は値が低いほど直線的であることを意味する。筋厚は大腿直筋の浅層筋膜と深層筋膜の最大距離を測定した。

次に、膝伸展筋力を Maximal voluntary contraction (MVC) とし、安静時、25% MVC, 50% MVC, 75% MVC, 100% MVC の5段階で漸増負荷を行い、筋出力と筋内腱形態の変化を検討した。

統計学的解析では安静時と収縮時のアーチ率を比較するために Wilcoxon の符号付順位検定を行った。また、収縮時アーチ率が0%のものより大きいもので膝伸展トルクを比較するために対応のない t 検定を行った。膝伸展トルクと各超音波指標の関連を検討するため Pearson の相関係数および Spearman の順位相関係数を求めた。各% MVC におけるアーチ率および筋厚を比較するために Friedman 検討および反復測定分散分析を行い、多重比較検定には Bonferroni 法を用いた。解析ソフトは SPSS バージョン24を用い、有意水準は5%未満とした。

結 果

大腿直筋の筋内腱は安静時には“comma shape”を示していたが、収縮で直線的に変化した。アーチ率は安静時 $18.4 \pm 3.2\%$ よりも収縮時 $3.2 \pm 5.5\%$ が有意に低かった ($p < 0.001$)。膝伸展トルクは収縮時アーチ率が0%よりも大きいもの $1.88 \pm 0.36 \text{ Nm/kg}$ よりも収縮時アーチ率が%のもの $2.05 \pm 0.42 \text{ Nm/kg}$ のほうが優位に高かった ($p = 0.002$)。膝伸展トルクと収縮時アーチ率は有意な相関を認めた ($r = 0.547$, $p = 0.005$) が、筋厚、安静時アーチ率は有意な相関を認めなかった。

アーチ率は MVC が増加するにつれて有意に減少した ($p < 0.001$)。筋厚は MVC が増加するにつれて有意に減少した ($p < 0.001$)。アーチ率、筋厚いずれも25%で変化は頭打ちとなった。

考 察

大腿直筋の筋内腱は筋収縮により直線化した。これは筋線維が筋内腱を牽引した結果であると考えられる。また、膝伸展トルクとの相関係数は中等度であり、これは他の筋構築学的指標を用いた先行研究とほぼ同等の結果であった。本研究では膝伸展トルクが 2.19 Nm/kg 以上でアーチ率は0%となり、膝伸展トルクが 1.49 Nm/kg 以下でアーチが残存する結果となった。筋力は短縮した筋繊維から腱を通して骨に伝達される。アーチ率と膝伸展トルクとの関係は筋の伝達効率などに関連すると考えられる。本研究の臨床応用への可能性として、筋緊張・筋萎縮の評価指標、大腿直筋と他の広筋群の鑑別する

際の指標，フィードバック療法，さらに肉離れとの関連などが考えられる。本研究の限界は精査の影響が不明であること，2次元の解析に留まること，大腿直筋単独の筋力を測定できていないこと，周囲の筋の影響を加味できていないことが挙げられ，今後の検討が必要である。

結 論

若年女性の大腿直筋を対象として筋収縮に伴う筋内腱の形態変化と筋力の関連を検討した。筋内腱は収縮に伴いカーブが減少して直線的になり，収縮時の筋内腱形態は筋力との関連を認めた。筋内腱の観察が骨格筋画像評価指標の1つとなる可能性が示された。

引 用 文 献

1. Raiteri BJ, Cresswell AG, Lichtwark GA. Three-dimensional geometrical changes of the human tibialis anterior muscle and its central aponeurosis measured with three-dimensional ultrasound during isometric contractions.
2. Pasta G, Nanni G, Molini L, Bianchi S. Sonography of the quadriceps muscle. Examination technique, normal anatomy, and traumatic lesions. *J Ultrasound* 2010;13:76-84.
3. Ito M, Kawakami Y, Ichinose Y, Fukashiro S, Fukunaga T. Nonisometric behavior of fascicles during isometric contractions of a human muscle. *J Appl Physiol* 1998; 85: 1230-1250.
4. Massey G, Evangelidis P, Folland J. Influence of contractile force on the architecture and morphology of the quadriceps femoris. *Exp Physiol* 2015; 100: 1342-1351.
5. Moraux A, Wawer R, Lefevbre G, Cotten H, Demondion X, Cotten A. An anatomical study of the indirect tendon of the rectus femoris using ultrasonography. *Eur Radiol* 2015; 25: 3614-3619.

論文審査結果の要旨

大腿直筋の筋内腱の形態変化が等尺性筋力と相関することを初めて明らかにした論文で，学位論文に値すると判断する。

要旨：健常成人では，大腿直筋の筋内腱は収縮により形態が変化し，超音波で観察した際の定量的な変化量が等尺性筋力と中等度の相関を示す。

斬新さ：これまで筋力との関連性が指摘されていなかった筋内腱に注目し，両者の関連性を明らかにした点が斬新である。

重要性：大腿直筋筋内腱の働きが明らかとなり，今後の筋力評価に新たな手技として用いられると
思われ有意義である。

研究方法の正確性：対象の設定が吟味されており，臨床に即した選定となっている。対象数も対照
群を含め十分である。また，測定機器の設定や測定環境も再現性が認められる。

表現の明瞭性：問題点がしっかり提起され，目的が明確である。方法においては根拠がはっきり
し，分析も的確に行われ，検証や考察も十分行われている。