

主論文の要旨

**Estimation of individual thigh muscle volumes from a
single-slice muscle cross-sectional area and muscle
thickness using magnetic resonance imaging in
patients with knee osteoarthritis**

〔 変形性膝関節症患者における 1 スライス の磁気共鳴画像の
筋横断面積や筋厚を用いた大腿各筋の筋体積の推定法 〕

名古屋大学大学院医学系研究科 総合医学専攻
健康増進医学講座 健康運動科学分野

(指導：石田 浩司 教授)

山内 高雲

【緒言】

高齢者に多い変形性膝関節症(膝 OA)は、膝の疼痛や変形、下肢の筋力低下を来し、転倒の危険性が高くなるため、膝 OA の発症や進行を予防することは高齢化社会において非常に重要である。大腿の筋のなかでも膝伸筋群の筋量低下と膝 OA に関連があることが一般的にいわれているが、近年の研究から、膝伸筋群の筋量低下は膝 OA の結果であって、その発症や進行の原因ではないことが報告されている。一方、膝伸筋群および屈筋群は 8 種類の筋から構成されており、これらの各筋の筋量と膝 OA との関連性を検討した研究は皆無である。そもそも、大腿の各筋の筋量を測定する簡易的な方法は確立されていないのが現状である。

磁気共鳴画像法(MRI)では膝伸筋群および屈筋群を細かく 8 種類の各筋に分けて体積の測定が可能であるが、測定には膨大な時間を要するため臨床応用は困難である。しかし、1 スライスの横断画像から筋体積を推定できれば、時間短縮となり臨床応用も可能である。健常者では、筋腹の横断面積または筋厚に大腿長を乗算した値は筋体積を反映するとされているが、膝 OA により筋萎縮が生じている場合や大腿を各筋に分けた場合、どこの部位の筋横断面積または筋厚を測定すべきかは不明である。そこで、膝 OA を伴う患者において、筋横断面積または筋厚から膝伸筋群および屈筋群の各筋の筋体積を推定するのに最適な 1 スライスを決め、その推定方法が妥当かどうかを検討することを本研究の目的とした。

【対象及び方法】

<対象>

3 ヶ月以上持続する膝痛を主訴に受診し、Kellgren-Lawrence 分類に基づいて膝単純レントゲン画像にて膝 OA の疑い(grade 1)または確定(grade ≥ 2)と診断された杖なし歩行が可能な 65 歳-80 歳の患者を対象とした。まず、model-development group として、12 患者の両側大腿(男性 4 名、女性 8 名、13 膝: grade 1、11 膝: grade ≥ 2)を対象とし筋体積を推定するための回帰式を作成した。次に、cross-validation group として、変形 grade および性別を一致させた 24 患者(grade 1:12 肢、grade ≥ 2 :12 肢、それぞれ男女比 1:1)を対象とし回帰式の妥当性について検討した。本研究は施設内倫理委員会の承認を得て実施した。

<方法>

MRI(1.5T)を用いて、大腿骨骨幹部の骨軸に垂直な軸の axial T1 強調像を大腿中央を中心に Thickness:10 mm、gap:0 mm で 25 slice 撮影し、大腿骨小転子遠位-大腿直筋腱成分までを関心領域(ROI)とした。大腿直筋:RF、外側広筋:VL、内側広筋:VM、中間広筋:VI、大腿二頭筋短頭:BFS、大腿二頭筋長頭:BFL、半腱様筋:ST、半膜様筋:SM について、ROI の筋横断面積の合計を筋体積とし、これを目的変数とした (Figure 1)。次に、ROI の中央を 0%、近位方向を-、遠位方向を+で表記し、ROI の 10%ごとの筋横断面積と大腿長を乗算した値、筋厚と大腿長を乗算した値を予測変数とした。筋厚の測

定は、筋間や大腿骨を基準とし表層の点と深層の点が明確に定義できた RF、VL-ANT、VL-MID、VM-LAT、VM-MID、VI-ANT、VI-MID を測定した (Figure 1)。屈筋群は明確な筋厚の定義ができなかったため測定に含めなかった。また、大腿長は、大腿正面レントゲン画像における大転子頂部-顆間部の距離とした。

<統計>

Model-development group において、すべての各筋の予測変数と目的変数の Spearman 順位相関係数が有意な強い相関を示す slice を選択し、選択された各 slice を用いて筋体積を予測した回帰式の決定係数を算出した。また、各 slice における回帰式の残差の絶対値 (cm³) を Friedman 検定と Bonferroni 不等式による修正により比較し、筋体積を推定する最適な slice を決定した。さらに、Bland-Altman 分析(固定誤差および比例誤差の有無について)を行い、標準推定誤差[SEE(%)]を算出した。次に、cross-validation group において、model-development group にて作成した回帰式を用いて筋体積を推定し、Bland-Altman 分析を行い、SEE(%)を算出した。

【結果】

<筋横断面積を用いた筋体積の推定及び妥当性>

遠位 10%から 30%の筋横断面積を用いた値は、すべての各筋の筋体積と強く相関していた。選択された slice による回帰式の決定係数と残差の絶対値を Table 1 に示す。決定係数は、RF の遠位 30%、ST の遠位 20%と 30%は比較的低い値を示した。また、残差の絶対値の比較において、RF、VL の遠位 10%、VM は遠位 20%および 30%の slice、ST は遠位 10%と 20%の妥当性が高く、その他の筋では各 slice 間で有意な差は認めなかった。VM の遠位 10%の決定係数は 0.91 と比較的高値なことから、総合的に判断すると、遠位 10%の slice を用いた回帰式が最も妥当であった (Figure 2)。

次に、model-development group において、すべての各筋の回帰式に対して Bland-Altman 分析を行ったところ、固定誤差および比例誤差は認めなかった。SEE(%)は、RF:6.6%、VL:6.3%、VM:8.6%、VI:8.1%、BFS:16.5%、BFL:9.1%、ST:8.6%、SM:14.2%であった。一方、cross-validation group において Bland-Altman 分析を行ったところ、すべての各筋において固定誤差および比例誤差は認めなかった。SEE(%)は、RF:12.5%、VL:7.1%、VM:8.1%、VI:7.5%、BFS:14.4%、BFL:7.2%、ST:10.9%、SM:13.9%であった。

<筋厚を用いた筋体積の推定及び妥当性>

VL-ANT を用いた値は、強い相関を示す slice はなかったが、そのほかの筋厚では、0%から遠位 30%の筋厚を用いた値は、すべての各筋の筋体積と強く相関していた。選択された slice を用いた回帰式の決定係数と残差の絶対値を Table 2 に示す。決定係数において、RF の遠位 10%から 30%、VI-MID の 0%と遠位 10%は比較的低い値を示した。また、残差の絶対値 (cm³) の平均値による比較において、slice 間で有意な差を示す slice は認めなかったが、決定係数や残差の絶対値の平均値から総合的に判断すると 0%の slice が最も妥当と考えられた。さらに、VM と VI における同一筋内の比較では、

VM では MID、VI では ANT の妥当性が高いと考えられ、0%の slice における RF、VL-MID、VM-MID、VI-ANT の筋厚を用いた回帰式が最も妥当であった (Figure 3)。

次に、model-development group において、すべての各筋の回帰式に対して Bland-Altman 分析を行ったところ、固定誤差および比例誤差は認めなかった。SEE (%) は、RF:15.3%、VL:13.0%、VM:10.6%、VI:11.2%であった。一方、cross-validation group において Bland-Altman 分析を行ったところ、すべての各筋において固定誤差および比例誤差は認めなかった。SEE (%) は、RF:21.8%、VL:13.0%、VM:18.6%、VI:15.5%であった。

【考察】

これまでの研究では、健常者における膝伸筋群および屈筋群の筋体積を推定する方法は数多く報告されてきたが、膝 OA 患者において、さらには筋群を各筋において筋体積を推定する方法を報告した研究は皆無である。本研究より、遠位 10%の slice を用いた筋横断面積は、膝伸筋群および屈筋群における各筋の筋体積を反映していることが明らかとなった。

一般的に健常者において、筋腹の筋横断面積が筋体積を最も反映するとされているが、筋萎縮を伴うと筋腹の筋横断面積が最も減少し、筋の両端ほど筋横断面積の変化は少ない。よって、筋萎縮を伴っている膝 OA 患者の場合、筋体積を推定する際に、筋腹や筋の両端の slice を用いると誤差が大きくなるため、筋腹と筋の端との中間点の slice が筋体積の推定に最適であることが予想された。実際、本研究において推奨される遠位 10%の slice は、おおよそ筋腹と筋の遠位端の中間点に位置する slice であった。

一方、筋厚による筋体積の推定方法は、筋横断面積を用いる方法よりも妥当性は低かった。しかし、本研究の MRI で測定した筋厚は、超音波診断装置でも測定が可能であり、MRI を用いるよりも検査時間や医療費を抑えることができるため、臨床応用という点においては、筋厚による筋体積の推定方法も有用であると考えられる。

【結論】

膝 OA 患者における膝伸筋群および屈筋群の各筋の筋体積は、1 スライス筋の筋横断面積から推定することが可能である。また、膝伸筋群の各筋の筋体積は筋厚からも推定することが可能である。本研究の簡易的方法を横断研究や縦断研究に応用することにより、膝 OA の発症や進行と関連性が高い筋が明らかになる可能性が示唆された。