

2D MRI と 3D MRI における膝蓋腱の長さ測定の比較

新潟大学医学部保健学科放射線技術科学専攻 ○古屋 咲子(Furuya Sakiko)
近藤 達也 坂本 信

【目的】

膝蓋腱は、膝蓋骨と脛骨をつなぎ大腿四頭筋の力を脛骨に伝える役割を担っている。膝関節の伸展機構において必要不可欠な組織であり、膝蓋腱の生体内挙動を把握することは重要である。生体内における膝蓋腱の変形挙動に関する研究は以前にも行われており、Kobayashiら¹⁾は7名の健常な膝関節を対象にin vivoにおける研究を報告している。MR画像から3D膝関節モデルを作成し、直行2方向から撮影した立体膝関節のフルオロスコピーによるX線動画像にイメージマッチングさせることで、膝蓋腱の長さを推定した。膝蓋腱は膝関節の運動によって最大6.4%程度の変形があることを示している。Sheehanら²⁾は18名の健常な膝関節を対象にcine phase contrast MRIを用いて、非侵襲的なin vivoでの解析を行うことを目的とした研究を報告している。膝関節の角度が最大伸展位から屈曲40°の範囲において、sagittal画像から膝蓋腱がまっすぐに見えるタイミングで膝蓋腱の付着位置を定義し、直線近似により膝蓋腱の長さを推定した。膝蓋腱は平均値で最大6.6%の変形が生じることを示している。Ishiiら³⁾は膝蓋腱の長さ変化を2D MRIにより評価することを目的とした研究を報告している。85名の膝関節を対象に、MRIを用いて最大伸展位から30°、60°、90°、最大屈曲位において膝蓋腱の付着位置を定義し、直線近似により膝蓋腱の長さを推定した。膝蓋腱の長さは男女ともに最大伸展位において最も長く測定され、膝蓋腱の長さは平均値で女性12.4%、男性10.3%の変形が生じることを示している。

従来のいずれの研究においても、直線近似による推定や2次元の解析にとどまっており、膝蓋腱の形状を考慮した3次元の解析は行われていないという問題点が挙げられる。本研究では、測定方法が長さ測定に与える影響について検討することを目的に、3D MRIにより取得した3D画像を用いて、膝蓋腱の走行に合わせた3次元の解析と直線近似による推定、multi planer reconstruction (MPR)を作成し従来の測定方法を想定した2次元の解析における膝蓋腱の長さ測定方法の比較を行う。

【方法】

使用機器は3TMRI装置MAGNETOM Prisma (Siemens社製), Tx/Rx 15-Channel Knee Coil (Siemens社製), Aquarius iNtuition Viewer (Terarecon社製)を用いた。成人女性3名の健常右膝関節を対象に、静止した無負荷の膝関節を撮像し、3DT1強調画像を取得した。撮像条件は、sequence name 3D-VIBE (Volumetric Interpolated Breath-hold Examination), field of view (FOV) 250 mm, matrix 512×512, slice 256, repetition time (TR) 5.69 ms, echo time (TE) 2.46 ms, slice thickness 0.5 mm, acquisition time 2.24 minとした。

膝蓋腱の骨付着点位置は、3D画像から作成したaxial, coronal, sagittal面のMPR画像から確認し、骨と膝蓋腱の境界になるように膝蓋骨と脛骨の骨上に定義した。膝蓋骨側と脛骨側で膝蓋腱の付着点を内側、中央、外側の各3か所でプロットし、それぞれの付着点を結ぶ直線を直線距離として測定した。

膝蓋腱の走行に合わせた膝蓋腱の長さ測定は、取得した3D MR画像を用いてcurved multi planer reconstruction (CPR)を作成し測定した。axial面で膝蓋腱の内側と外側を淵に沿うように走行に合わせて決定した。膝蓋腱の中央は、axial面で膝蓋腱の内側と外側の中心を通っているか、さらに3Dモデル上で膝蓋腱の走行に合っているかを確認し決定した。膝蓋腱の走行に合わせてCPRを内側、中央、外側の3か所で作成し、膝蓋腱の走行に合わせた膝蓋腱の長さを測定した。

CPRを用いた膝蓋腱の中央の測定を基準として、測定位置が長さ測定に与える影響を確認するため、従来の2次元の解析による測定方法を再現し比較した。従来の2D MRIを用いた解析を再現するために、3D画像からMPRを作成した。MPRの中心スライスは、膝蓋腱を結ぶ付着点間の直線距離が最大および最小となる位置で設定した。作成したMPRの各位置で膝蓋腱の長さが最大に見えるスライスで付着点をプロットし、MPR上で膝蓋腱に合わせて測定を行った。

【結果】

膝蓋腱の走行に合わせた測定と直線距離の比較をFig.1に示し、Fig.2に膝蓋腱の走行に合わせた測定位置を示す。Fig.1に示すように、膝蓋腱の長さは中央が最も長く外側が最も短くなった。膝蓋腱の走行に合わせた測定結果と直線距離による推定結果の差をとり、膝蓋腱の走行に合わせた測定結果で除することで、膝蓋腱の走行に合わせた測定結果に対する直線距離による推定結果の差の割合を求めた。すべての測定において、膝蓋腱の長さは直線距離による推定結果より膝蓋腱の走行に合わせた測定結果の方が平均で0.5%長くなった。

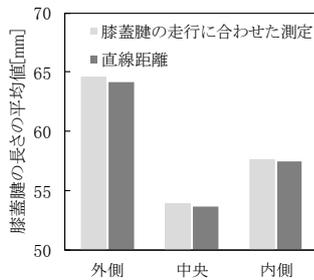
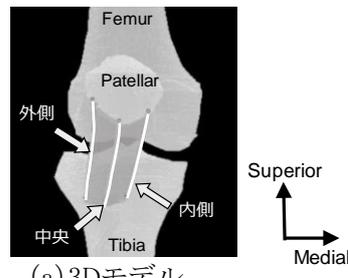


Fig.1 膝蓋腱の走行に合わせた測定と直線距離の比較.



(a) 3Dモデル.



(b) 膝蓋腱中央の測定位置のCPR画像.

Fig.2 膝蓋腱の走行に合わせた測定位置.

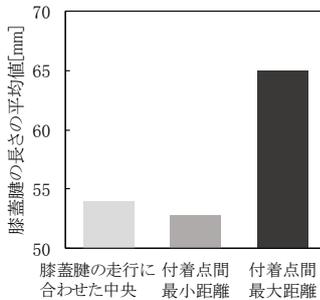
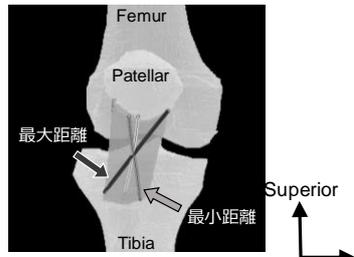
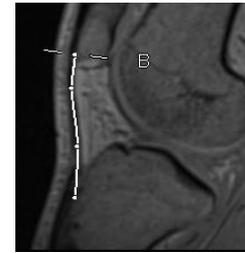


Fig.3 膝蓋腱の走行に合わせた膝蓋腱中央と2次元の解析結果の比較.



(a) 3Dモデル.



(b) 付着点間最大距離の測定位置のMPR画像.

Fig.4 従来の測定を想定した2次元解析の測定位置.

膝蓋腱の走行に合わせた膝蓋腱の中央と2次元の解析結果の比較をFig.3に示し、Fig.4に従来の測定を想定した2次元解析の測定位置を示す。Fig.3に示すように、膝蓋腱の走行に合わせた膝蓋腱の中央の測定と比較し、膝蓋腱を結ぶ付着点間最小距離における測定では膝蓋腱は短く測定され2%減少、付着点間最大距離における測定では膝蓋腱は長く測定され20%増加した。

【考察】

Fig.1に示すように全ての膝蓋腱の長さ測定において、直線距離による推定結果よりも走行に合わせた測定結果の方が長くなった。そのため、従来の研究で用いられていた直線近似による測定は、膝蓋腱の長さを短く推定していると考えられる。また、膝蓋腱の長さは外側が最も長く、中央が最も短くなった。これらのことから、膝蓋腱の長さは測定位置により異なるため、膝蓋腱の形状を把握し、走行を考慮して測定する必要があると考えられる。Fig.3に示すように本結果において、2次元の解析による測定では膝蓋腱の中央と比較して最大で20%程度の過大評価、最小で2%程度の過小評価となった。従来の研究において、膝蓋腱は膝関節の運動によって10%程度の変形が報告されている。これらのことから、膝蓋腱の長さ測定では測定位置が長さ測定に重大な影響を与えると考えられる。また、膝蓋腱は主に頭尾方向に伸びるため、走行を考慮して測定位置を決定する必要があり、従来のsagittal画像のみを利用した長さ測定では膝蓋腱の走行が判断できず適していないと考える。

【まとめ】

測定方法が長さ測定に与える影響について検討するため、3D MRIにより取得した3D画像を用いて、膝蓋腱の走行に合わせた3次元の解析と直線近似による推定、MPRを作成し従来の測定方法を想定した2次元の解析における膝蓋腱の長さ測定方法の比較を行った。従来の2次元の解析における測定では、膝蓋腱の走行に合わせた膝蓋腱の中央の測定と比較して最大で20%程度の過大評価、最小で2%程度の過小評価が生じる可能性がある。以上のことから、膝蓋腱の長さ測定では、3D画像により膝蓋腱の形状を把握し膝蓋腱の走行を考慮する必要があり、3D MRIによるCPRを用いた膝蓋腱の走行に合わせた測定が有用であると考えられる。

【参考文献・図書】

- 1) Kobayashi K, Sakamoto M, Hosseini A, et al. In-vivo Patellar Tendon Kinematics during Weight-Bearing Deep Knee Flexion. J Orthop Res. 2012; 30(10): 1596-1603.
- 2) Frances T. Sheehan, and John E. Drace. Human Patellar Tendon Strain. A Noninvasive, In Vivo Study. Clin Orthop Relat Res. 2000; (370): 201-207.
- 3) Ishii Y, Noguchi H, Takeda M, et al. Impact of knee flexion on patella length in osteoarthritic patients undergoing total knee arthroplasty. J Orthop Sci. 2013; 18(4): 547-551.