

○プロジェクト研究1859-2

研究課題 「歩行解析・筋発揮張力とCT-FEMを融合した新しい歩行シミュレーション技術の開発」

○研究代表者 放射線技術科学科教授 森 浩一
○研究分担者 医科学センター 教授 六崎裕高
(4名) 理学療法学科 准教授 岩本浩二
理学療法学科 助教 青山敏之
研究協力者 つくば国際大学 理学療法学科 教授 深谷隆史
埼玉県済生会栗橋病院 放射線技術科 渡邊城大(学外共同研究員)
○研究年度 令和元年度
(研究期間) 平成30年度～令和2年度(3年間)

1. 研究目的

C T有限要素解析 (C T-F E M) の変形性膝関節症 (O A膝) に対する適用においては、先行研究 (H26-H28, プロジェクト研究 1450) において、O A膝関節の基礎計算モデルを構築し計算を進めた。この研究では、計算モデルの構築や荷重拘束条件の設定において改善すべき事項を明らかにした。この点を踏まえて、O A等の病態進行や重症化に係る因子や歩行困難を伴う膝関節疾患について神経科学との関りの下、筋力等計算ソフトとC T-F E Mを融合した新しい歩行シミュレーション技術の開発を進める。

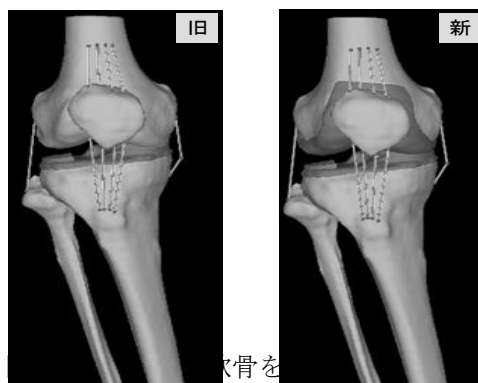
2. 研究方法

C T-F E Mを膝関節部に適用するに当たり、健常者および重度変形性膝関節症者のC T画像を用いる。これに含まれる要素は、大腿骨、下腿骨 (脛骨・腓骨)、膝蓋骨、関節軟骨、半月板、十字靱帯、側副靱帯等である。考慮した力は、床反力、屈筋力 (ハムストリングス)、伸筋力 (大腿四頭筋、膝蓋靱帯) 等である。関節反力の大きさと向きを正確に求めるために、バイコンで計測した患者歩行動作のデータを筋力等計算プログラム (Any Body Modeling System以下、AnyBody) に入力し、被験者の歩行の特徴を考慮した筋力 (筋活動) の計算値を用いることで、荷重拘束条件の精密化を図る。

AnyBodyは、正常歩行を対象とした計算システムとして設計されていることから、O A患者の歩行を対象とした計算結果に対する信頼性の確認が必要である。計算値と筋活動の実測値を比較した結果、O A患者の筋力等を比較的正しく予測できることを確認した。P F関節等の増設により計算モデルを改良し、関節内摩擦係数の相違や前十字靱帯 (A C L) の有無による応力分布の相違を試算する。

3. 研究結果

①：計算モデルの改良



②：A C Lの有無による応力分布の相違

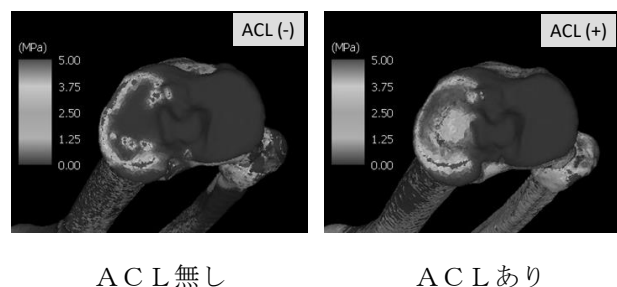


図2 前十字靱帯の有無による応力分布 (試算)

図1では、従来の計算モデルに大腿骨側の軟骨層（P F 関節等）を配置し解剖学的により精密なモデルにした。図2では、前十字靱帯が存在するときは、脛骨内側全面にほぼ均一に応力が生じた。ACLがなくなること、内側脛骨の外側辺縁と後方に高い応力が生じた。

③：関節面の摩擦係数変化時の応力分布

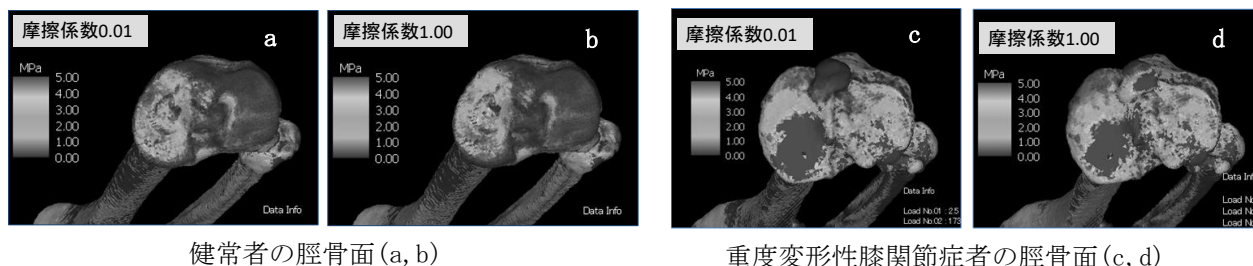


図3 関節面の摩擦係数変化時の応力分布（試算）

図3の(a)健康者の摩擦係数=0.01では、脛骨内側全面にほぼ均一に応力が生じた。(b)摩擦係数=1.00では、脛骨内側前方に高い応力が生じた。(c)重度変形性膝関節症者の摩擦係数=0.01では脛骨内側後方を中心に高い応力が生じた。(d)摩擦係数=1.00では、脛骨内側前方の骨棘部にも高い応力が生じた。

4. 考察（結論）

①計算モデルの改良

従来のモデルは膝関節内にスペースがなく大腿骨側に軟骨層を作ることができなかった。大腿骨側と下腿側の間隙を2mm広げ、大腿骨側に軟骨層を配置した。これにより、関節面に摩擦係数の計算において計算精度が向上した。

②ACLの有無による応力分布の相違

ACLがないことで前後の可動が抑制されず、関節内側全体に発生していた応力が、辺縁や後方に集中した。これは、膝関節の不安定性と整合した計算結果と考えられる。

③関節面の摩擦係数変化時の応力分布

摩擦係数を大きくすることで、応力のせん断応力が増大することが予測される、特に脛骨内側前方に応力がより強くなった。応力集中部は骨棘部であることから、摩擦係数の増大による脛骨前方での応力の発生が骨棘形成と関連があることが示唆された。

5. 成果の発表（英文論文5編、和文論文1編、英文論文のみ掲載）

1. Takashi Fukaya, Hiroataka Mutsuzaki, Wataru Nakano, Koichi Mori
Smoothness of the knee joint movement during the stance phase in patients with severe knee osteoarthritis. Asia Pac J Sports Med Arthrosc Rehabil Technol. 2018, 14, p1- 5
2. Takashi Fukaya, Hiroataka Mutsuzaki, Koichi Mori
Relations between external moment and movement of the knee joint during the stance phase in patients with severe knee osteoarthritis. J Orthop. 2019 4;16(1), p101-104
3. Takashi Fukaya, Hiroataka Mutsuzaki, Wataru Nakano, Koichi Mori
Characteristic of frontal plane lower limb movement during walking in patients with knee osteoarthritis of varying severity. J of Orthopaedic Surgery. 2019, 27(2), p1-7
4. Takashi Fukaya, Hiroataka Mutsuzaki, Koichi Mori
Influence of Pain on Knee Joint Movement and Moment during the Stance Phase in Patients with Severe Bilateral Knee Osteoarthritis : A Pilot Study. Medicina. 2019, 55, 756
5. Kunihiro Watanabe, Hiroataka Mutsuzaki, Takashi Fukaya, Toshiyuki Aoyama, Syuichi Nakajima ,Norio Sekine, Koichi Mori
Development of a Knee Joint CT-FEM Model in Load Response of the Stance Phase During Walking Using Muscle Exertion, Motion Analysis, and Ground Reaction Force Data. Medicina. 2020, 56(2), 56