

J241025

三次元筋骨格靭帯大腿膝蓋関節モデルを用いた 大腿四頭筋が膝蓋骨へ与える影響

石川 雄己^{*1}, 安琪^{*2}, 山下 淳^{*3}, 岡 敬之^{*4}, 浅間 一^{*3}

Effect of Quadriceps Femoris Muscle on Patella Dislocation by Three Dimensional Musculoskeletal Ligament Femoropatellar Joint Model

Yuki ISHIKAWA,^{*1} Qi AN^{*2}, Atsushi YAMASHITA^{*3}, Hiroyuki OKA^{*4} and Hajime ASAMA^{*3}

^{*1,2,3} The Univ. of Tokyo, Dept. of Precision Engineering, ^{*4}The 22 Century Medical and Research Center
7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, 113-8656, Japan

Knee osteoarthritis (OA) becomes a major public issue, but a strategy to prevent the disease has not established yet because there is no accurate method to measure an internal movement of the knee of patients. Thus a mechanical model and a standard of evaluation of the disease are needed. Until now, there are few studies to develop the model including patellofemoral joint, allowance of joint movement and ligaments. Thus this study develops a three-dimensional musculoskeletal ligaments knee model composed of patellofemoral and femorotibial joints with kinematics and allowance. Then we calculate the effect of patellar motion on lateral vastus muscle by using the developed model. As a result, it can be confirmed that lateral vastus muscle do not only affect patellar motion.

Key Words : Patellafemoral joint, Knee joint, Quadriceps, Ligament

1. はじめに

変形性膝関節症は関節軟骨の変性を主体とする疾患であり、歩行障害などを引き起こし、患者の Quality of Life の低下を招いている⁽¹⁾。本邦での有病者数は 2,530 万人と推定されるなど、その疾病対策に対する社会的ニーズが高まっている⁽²⁾。その一方で、疾患への対策は確立されていない。その理由の一端に、膝関節内のメカニズムが明らかになっていないことが挙げられる。膝関節は骨性の運動制限が少ないため、定量的にメカニズムを明らかにするためには、関節の遊びを考慮したモデルの構築が不可欠である。

石川らは関節の遊びを有するモデルを作成し、内外反歩行が膝関節へ与える影響を明らかにした⁽³⁾。その中で、外側広筋の役割に特徴があることを示した。しかし、本モデルでは膝蓋骨の動態が再現されていない。しかしながら、McAlindon らは X 線写真を利用し、大腿膝蓋関節が疾患に大きく関わることを示している⁽⁴⁾。そこで本研究では、関節の遊びを考慮した三次元筋骨格靭帯大腿膝蓋関節モデルを作成し、外側広筋が与える影響を検討することで、変形性膝関節症発症メカニズム解明への基礎データを提示する。

2. モデル

石川らの作成した関節の遊びを有する三次元筋骨格靭帯膝モデル⁽³⁾に膝蓋骨の動態を加える。膝蓋骨の動態は、Mizuno らの計測データを使用して与えた⁽⁵⁾。関節の遊びを持たせるために、6 自由度に設定する必要がある。さらに動態の精度を保証するために、本研究では、屈曲伸展方向の回転による三次元動態をまず設定し、残りの 5 自由度を各軸周りの回転及び並進で与えることとした (図 1)。

^{*1} 学生員, 東京大学大学院 工学系研究科 精密工学専攻 (〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1)

^{*2} 非会員, 東京大学大学院 工学系研究科 精密工学専攻

^{*3} 正員, 東京大学 工学部 精密工学科

^{*4} 非会員, 東京大学 医学部 22 世紀医療センター

E-mail: ishikawa@robot.t.u-tokyo.ac.jp

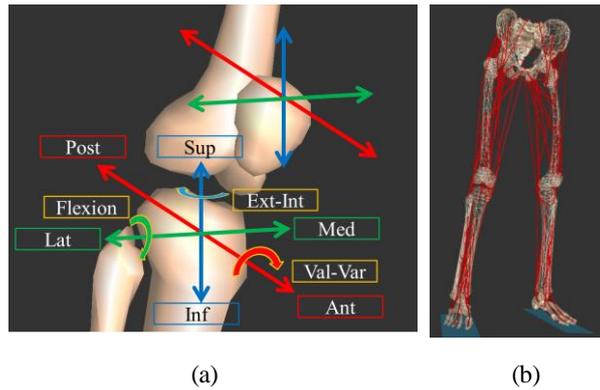


Figure 1 (a) Model coordination such as anterior (Ant), posterior (Post), medial (Med), lateral (Lat), superior (Sup), Inferior (Inf), flexion, external (Ext), internal (Int), valgus (Val), and varus (Var). (b) Overall model.

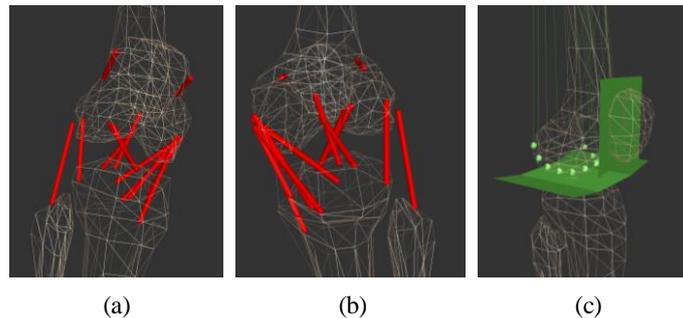


Figure 2 (a) Ligaments viewed by anterior. (b) Ligaments viewd by poserior. Bundles of ligaments. (c) Joint cartilage.

靭帯は、内側膝蓋支帯 (MPFL) と外側膝蓋支帯 (LPFL) を与えた (図 2)。MPFL の配置場所は Nomura らのデータを使用して決定した⁽⁶⁾。さらに Mountney らのデータを利用し、Stiffness を 200[N/Strain]とした⁽⁷⁾。LPFL の配置場所と機械特性は Merican らのデータを利用し、Stiffness を 1500[N/Strain]とした⁽⁸⁾。

関節軟骨は、膝蓋骨と大腿骨間に反発力を発生するように設定した。力を算出する方程式は大腿脛骨関節における関節軟骨と同様で、Dupuy らの関節軟骨の厚さのデータを利用し算出した⁽⁹⁾。

3. シミュレーション

前章のモデルを使用し歩行シミュレーションを行った。本研究では外側広筋が与える影響を算出するため、外側広筋の最大筋力を半分にしたもの (Half) と変更前のもの (Normal) の二通りのモデルを使用した。シミュレーションには先行研究で用いた左脚離地から始まる歩行一周期の正常歩行 (Med00) と膝関節を外反 (Lat100・Lat50)・内反 (Med100・Med50) させた歩行を使用した⁽³⁾。

4. 結果と考察

図 3 は膝蓋骨の内外反方向の回転角度の変化を示している。全体的に外反歩行よりも内反歩行において、外側広筋の違いにより回転角度が異なることが見られた。特に右脚遊脚期において差が顕著であり、これは内反した脚を支えるために内側広筋など外反方向に力を発揮する筋が活発に活動したためと考えられる。

図 4 は膝蓋骨の内外転方向の回転角度の変化を示している。全体的に外反歩行よりも内反歩行において、歩行周期内での回転角度の変化が大きい。特に右脚立脚期において差が顕著であり、これは内反した脚を支えるために内側広筋など膝蓋骨を内転させる筋が力を発揮したためと考えられる。

しかし、内外反方向の回転角度も内外転方向の回転角度も絶対的な角度は決して大きくないため、外側広筋のみの変化では疾患につながるとは言えない。これは本シミュレーションにおいては、動態から筋力を推定し、その結果を利用し関節の遊びを算出しているため影響が小さくしか表れなかったと考えられる。

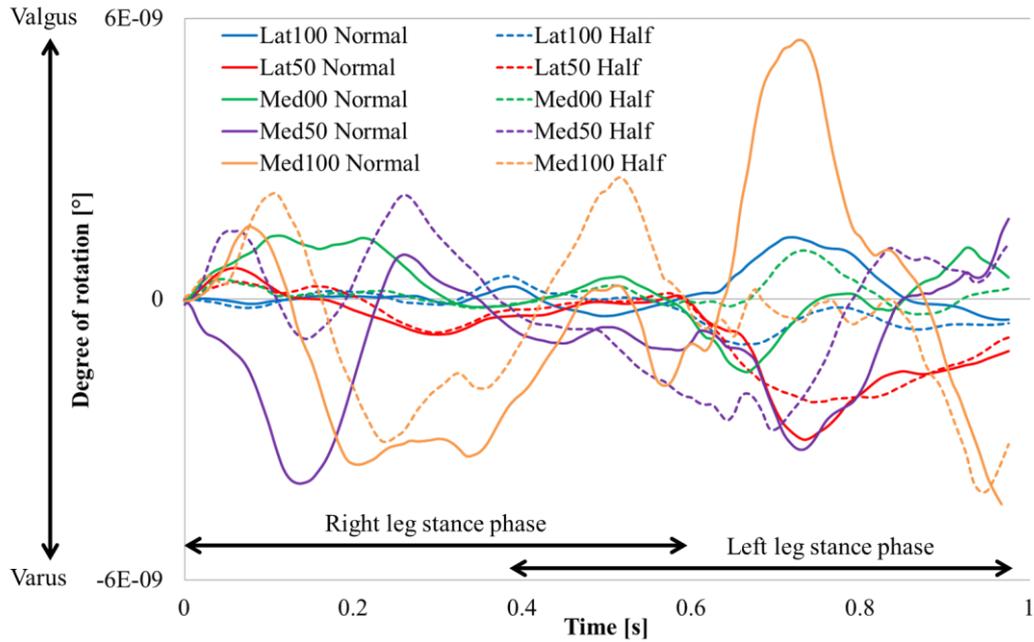


Figure 3 Degree of patellar rotation (varus-valgus)

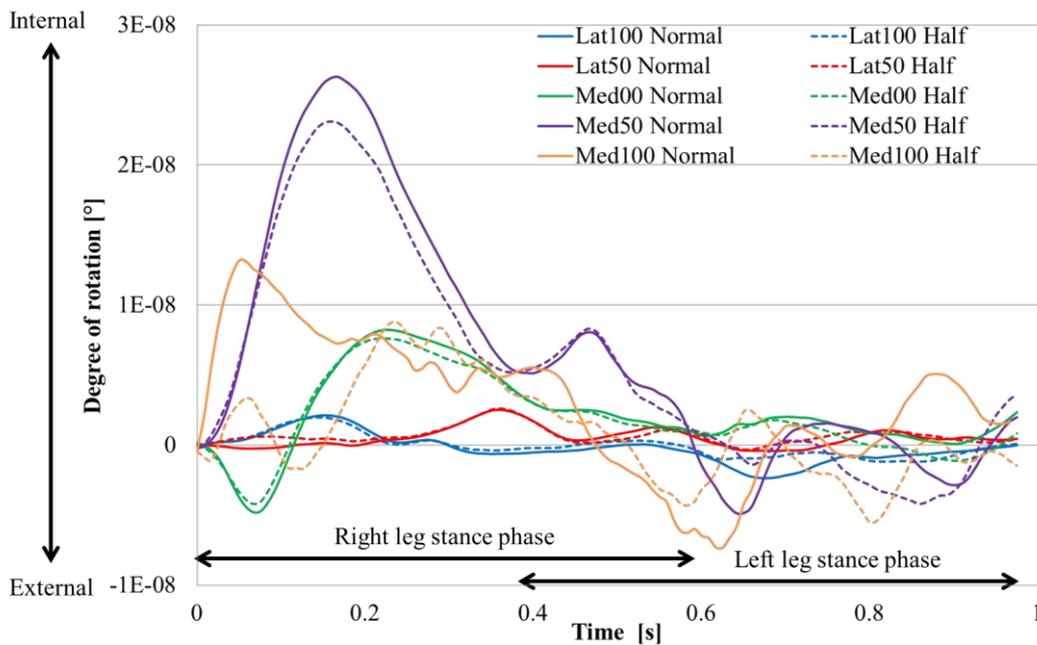


Figure 4 Degree of patellar rotation (Internal-External)

5. おわりに

大腿膝蓋関節を有する三次元筋骨格韧带膝モデルを用いて、外側広筋が膝蓋骨に与える影響を定量的に調べた。結果、外側広筋のみの影響ではあまり変化がないことが示された。

謝 辞

本研究の一部は、科研費基盤研究(B)24300198 の助成を受けたものである。

文 献

- (1) L. M. March and C. J. M. Bachmeier, "Economics of Osteoarthritis a Global Perspective," *Bail Clin Rheumatol*, Vol. 11, No. 4 (1997), pp. 817-834.
- (2) N. Yoshimura, S. Muraki, H. Oka, A. Mabuchi, Y. En-yo, M. Yoshida, A. Saika, T. Suzuki, H. Yoshida, H. Kawaguchi, K. Nakamura, and T. Akune, "Prevalence of Knee Osteoarthritis, Lumbar Spondylosis and Osteoporosis in Japanese Men and Women: The Research on Osteoarthritis/Osteoporosis against Disability (ROAD)," *J Bone Miner Metab*, Vol. 27, No. 5 (2009), pp. 620-628.
- (3) Y. Ishikawa, Qi An, Yusuke Tamura, Atsushi Yamashita, Hiroyuki Oka, and Hajime Asama, "Effect of Mediolateral Knee Displacement on Ligaments and Muscles around Knee Joint: Quantitative Analysis with Three-dimensional Musculoskeletal Ligament Knee Model," *Proc. of the 12th Int. Conf. on Intelligent Autonomous Systems (IAS-12)*, (2012).
- (4) T. E. McAlindon, S. Snow, C. Cooper, and P. A. Dieppe, "Radiographic Patterns of Osteoarthritis of the Knee Joint in the Community: In the Importance of the Patellofemoral Joint," *Ann Rheum Dis*, Vol. 51, No. 7 (1992), pp. 844-849.
- (5) Y. Mizuno, M. Kumagai, S. M. Mattessich, J. J. Elias, N. Ramrattan, A. J. Cosgarea, and E. Y. S. Chao, "Q-angle Influences Tibiodemoral and Patellofemoral Kinematics," *J Orthop Res*, Vol. 19, No. 5 (2001), pp. 834-840.
- (6) E. Nomura, M. Inoue, and N. Osada, "Anatomical Analysis of the Medial Patellofemoral Ligament of the Knee, Especially the Femoral Attachment," *Knee Surg Sports Traumatol Athrosc*, Vol. 13, No.7 (2005), pp. 510-515.
- (7) J. Mountney, W. Senavongse, A. A. Amis, and N. P. Thomas, "Tensile Strength of the Medial Patellofemoral Ligament before and after Repair or Reconstruction," *J Bone Joint Surg Br*, Vol. 87, No. 1 (2005), pp. 36-40.
- (8) A. M. Merican, S. Sanghavi, F. Iranpour, and A. A. Amis, "The Structural Properties of the Lateral Retinaculum and Capsular Complex of the Knee," *J Biomech*, Vol. 42, No. 14 (2009), pp. 2323-2329.
- (9) D. E. Dupuy, R. M. Spillane, M. S. Rosol, D. I. Rosenthal, W. E. Palmer, D. W. Burke, and A. E. Rosenberg, "Quantification of Articular Cartilage in the Knee with Three-dimensional MRI Imaging," *Acad Radiol*, Vol. 3, No. 11(1996), pp. 919-924.