

個体別モデリングを用いた膝疾患診断手法の構築への提案 —変形性膝関節症発症メカニズム解明に向けて—

The Method of Diagnosis for the Knee Joint Disease with Individual Modeling
-To Clarify the Mechanism of Knee Osteoarthritis-

○学 石川 雄己 (東大院) 非 安 琪 (東大院)
正 田村 雄介 (東大院) 正 山下 淳 (東大院)
非 岡 敬之 (東大院) 正 浅間 一 (東大院)

Yuki ISHIKAWA, The University of Tokyo, ishikawa@robot.t.u-tokyo.ac.jp
Qi AN, The University of Tokyo
Yusuke TAMURA, The University of Tokyo
Atsushi YAMASHITA, The University of Tokyo
Hiroyuki OKA, The University of Tokyo
Hajime ASAMA, The University of Tokyo

Knee osteoarthritis (OA) becomes a major public issue, but a strategy to prevent the disease has not established yet due to lack of an accurate method to measure an internal motion of the knee of individual patients. Therefore mechanical engineering model and a standard of evaluation of the disease is needed to improve the situation. Thus this study shows a present situation about diagnostic tool for knee OA. We propose the method to establish diagnostic tool for knee OA from gait pattern and models.

Key Words: Knee Osteoarthritis, Individual modeling, Diagnostic tool

1. はじめに

変形性膝関節症 (osteoarthritis; OA, 膝 OA) 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 低下を招いている. 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の高まりは疑いの余地がない[1]. 一旦変性した関節軟骨の変化は不可逆であると考えられているため, 早期診断を行い, 予防することは重要な課題である. しかし, 有用な診断サポートツールは存在しない. 医師の主観により, 疾患か否かの判定が曖昧に行われており, 早期診断には至っていない. この問題を解決し早期診断を達成するためには客観的かつ定量的な評価法を確立する必要がある. 臨床的知見から膝 OA の発症にはメカニカルストレスの関与が示唆されており, 靭帯・軟骨・半月板を含む力学モデルを用いた研究の成果として, 軟骨摩耗の原因と考えられる構造変性が原因であると突き止めるに至っている[2]. しかし, このモデルは臨床の場で利用される客観的な評価法としては利用されていない. これは, 同モデルが平均的な特徴しか表現することができていないため, 発症・進行の危険因子が多く存在すると予想される膝 OA に対するモデル構築には個体差の影響を考慮する必要がある[3]. そこで, 大規模データベース情報を参照元とする個体別モデリングを用いた膝疾患診断手法の構築を提案する. 大規模データベースには膝疾患の進行・発症に関する危険因子および身体情報が蓄積されている. 本稿では, 以上の提案を達成するにあたり, 現状では疾患についてどこまで解明されており, 手法はどこまで実行可能かをまとめる.

2. 膝疾患診断手法

2.1 概要

研究方法は個体別モデリング (理論), 歩容のパターン分析 (解析) と実計測 (計測) の三点に分けられる (図 1).

個体別モデリングは既存の平均的なモデリング方法に対して, 個体ごとに持つ特徴を反映することである. 具体的には, 体節の質量分布, 靭帯・筋の付着位置, 靭帯・筋の自然長と

関節表面の形状 (関節の機構) を個体別に組み込む. これらのデータは MRI 画像, CT 画像と X 線連続写真より取得する. 図 2 は MRI 画像からモデリングするイメージを表している. 左の図は膝関節の MRI 画像であり, 靭帯などの組織を抽出することで位置情報を得ることができる. 右の図は本研究で使用する筋骨格靭帯モデルであり, MRI から得られたデータを反映してモデリングする. これらによる個体差の影響を考慮したモデリングを達成する.

歩容のパターン分析は従来から行われている臨床歩行分析の指標に対して, クラスタ分析を行い, 歩容のパターンを定量的に分類する. 分類された各グループと, 最終的な診断結果との対応付けを行う.

計測方法は, 将来一般への普及を見込み可能な限り簡便・安価な方法を検討する. 現状では, Kinect (Microsoft 社) のような一般に普及しているセンサーを使用し, 三次元動態を計測する装置を想定している. 以上を組み合わせることで大規模な計測結果を, 個体差を考慮したモデル及び歩容のパターン分析へと適用し, 経年的に計測を続けた結果から診断ツールの有用性を確認する.

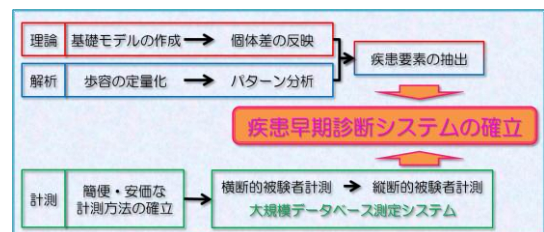


Fig. 1 Schematic view of this study

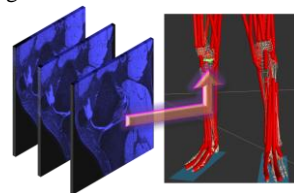


Fig. 2 Individual modeling from MRI

2.2 手法の妥当性・特徴

膝 OA のように罹患者数の多い疾患では、マス・スクリーニングにおいてある程度の危険因子を抽出し、その後個々にあわせたモデルを構築する手法をとるのが効率的である[1].

本提案の特徴は大規模データベースをマス・スクリーニングに、さらに蓄積した情報をもとに個別モデリングでオーダーメイドモデルを構築することにより、古典的な疫学にてブラックボックスとなっていた膝 OA の疾患発症・進行のメカニズムが解明される点にある。例えば、個別モデリングで構造の個体差が生じさせる違いを明確にすることにより、歩容パターンの違いはどこから起きるものかを区別することが可能となる。

3. 現状分析と今後の展開

3.1 変形性膝関節症

膝 OA のリスクファクターとして挙げられるのは年齢、性別、肥満、外傷などであり、加齢に慢性的な機械的刺激が加わって発症する[4]と予想される本疾患の発症・憎悪のメカニズムは明らかになっていない。動物モデルでは膝の不安定性や力学的負荷が膝 OA を憎悪させることが検証されており、人体においても膝関節内の機械的刺激を明らかにすることが重要であると考えられる。

3.2 個別モデリング

診断において個別モデリングは重要な試みである。近年、Fregly らは Grand challenge と題して、個別モデリングの確立を目的として活動している[3]。我々も前述の個別モデリングを達成するために、まず力学的なモデルを作成し(図3)、個別に妥当性を検証する方法を提案している[5][6].

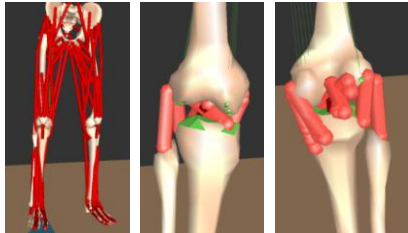


Fig. 3 Musculoskeletal ligament model [5][6]

3.3 歩容のパターン分析

歩容のパターン分析自体は古くから行われており[7]、現在歩幅、ピッチなど様々な指標が採用されている。しかし、歩容パターンの個体差が何に起因するか詳細な研究はほとんどなされていない。歩容パターンに影響を与える因子として、身長および脚長、関節可動域、下肢アライメントが予想されるため、我々はモデルをシミュレータ上で歩行させることで、歩容が膝関節に与える影響を調べている。図4は膝関節を内外反位とした歩行の様子を示している。

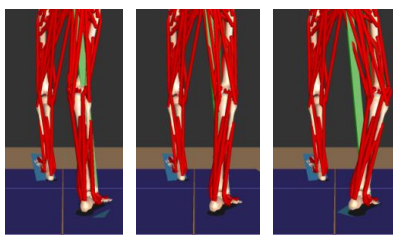


Fig. 4 Example of gait patterns (knee mediolateral displacement)

3.4 大規模データベースの作成

前述した通り、膝 OA の発症・憎悪のリスクファクターを検証するために、大規模データベースに蓄積された臨床情報を利用するのは有効な手法である。本邦でも東京大学 22 世紀医療センターが中心となって進める ROAD project にて大規模なデータベースが構築されているが、現在のところ疾患の画像診断には X 線画像を利用している[1]。膝 OA と力学的負荷の関係が示唆されている以上、その動態計測は必須の課題であると考えられるが、簡便なシステムが存在していなかったため実現には至っていない。Stone らは Kinect を利用して、動態計測を簡易に行えることを示した[8]。我々も Microsoft 社が提供している Skeletal Viewer[9]を用いることにより、簡便に全身のスケルトンを取得することができることを確認した。図5は左から Kinect から得られる深度、スケルトン、画像データの例を示している。今後は得られるスケルトンの精度をモーションキャプチャーカメラと比較し、精度向上に努める。

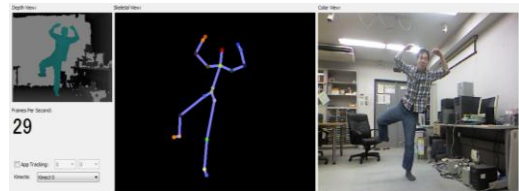


Fig. 5 Skeletal Viewer from Kinect [9]

4. おわりに

膝 OA に対する有効な診断手法は確立していない。確立するためには個別モデリングと大規模データベースを用いた分析が必要であると考えられる。個別モデリング達成のためには医用画像からデータを取得する方法を作成する必要がある。歩容分析では個体ごとの特徴をパターンに分ける方法を検討する。大規模データベース作成には簡便な計測方法が必要である。これら条件を達成し、診断手法を確立したい。

文献

- [1] 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)," Journal of Bone Mineral Metabolism, Vol. 27, No. 5, pp. 620-628, 2009.
- [2] J. W. Fernandez, M. Akbarshahi, K. M. Crossley, K. B. Shelburne, and M. G. Pandey, "Model Predictions of Increased Knee Joint Loading in Regions of Thinner Articular Cartilage after Patellar Tendon Adhesion," Journal of Orthopaedic Research, Vol. 29, Iss. 8, pp. 1168-1177, 2011.
- [3] B. J. Fregly, T. F. Besier, D. G. Lloyd, S. L. Delp, S. A. Banks, M. G. Pandey, and D. D. D'Lima, "Grand challenge competition to predict in vivo knee loads," Journal of Orthopaedic Research, Vol. 30, Iss. 4, pp. 503-513, 2012.
- [4] 立花陽明: "変形性膝関節症の診断と治療," 理学療法学, Vol. 20, No. 3, pp. 235-240, 2005.
- [5] 石川雄己, 安琪, 田村雄介, 岡敬之, 浅間一: "関節の遊びを有する三次元筋骨格帯膝モデルの開発," 第32回バイオメカニズム学術講演会予稿集, pp. 129-130, 2011.
- [6] 石川雄己, 安琪, 田村雄介, 山下淳, 岡敬之, 浅間一: "三次元筋骨格帯膝モデルの妥当性検証方法の提案," 2012 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, pp. 945-946, 2012.
- [7] 江原義弘, 山本澄子: "臨床歩行計測入門," 医歯薬出版株式会社, 2011.
- [8] Stone E.E. and Skubic M.: Evaluation of an inexpensive depth camera for passive in-home fall risk assessment, 5th International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare (PervasiveHealth), pp. 71-77, 2011.
- [9] Microsoft Corporation: "Download Kinect for windows SDK," <http://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/develop/overview.aspx>