

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月21日現在

機関番号：13101
 研究種目：基盤研究（B）
 研究期間：2009～2011
 課題番号：21360050
 研究課題名（和文） MRIによる膝関節3Dモデル作成システム構築および接触解析・手術管理技術への応用
 研究課題名（英文） 3D Modeling of Knee Joint by MRI and Its Application to Contact Mechanics and Surgical Operation
 研究代表者
 田邊 裕治（TANABE YUJI）
 新潟大学・自然科学系・教授
 研究者番号：60143020

研究成果の概要（和文）：膝関節における軟骨の接触挙動を生体内で定量評価することで、変形性膝関節症の病態進行の分析や人工膝関節コンポーネントのデザイン向上に大きく貢献することができる。そこで本研究では、X線画像とCTから構築した骨モデルとの2D-3Dイメージ・マッチング結果にMRIから構築した軟骨モデルを加えて軟骨接触状態を評価する方法を開発した。そして、その接触状態評価法の有効性を切断肢実験により検証した。

研究成果の概要（英文）：Quantitative *in vivo* analysis of the contact behaviour of articular cartilage of the knee joint enables us to accurately perform the clinical diagnosis of the progress of osteoarthritis as well as to greatly improve the design of the knee prosthesis. The method of contact analysis of the cartilage in the femorotibial joint using an image registration technique has been newly developed. The method consisted of 3D bone models in terms of CT scanning, 3D femoral and tibial cartilage layer models in terms of MR imaging and 2D-3D image matching technique. The method was validated through the experiment on a human cadaveric knee.

交付決定額

（金額単位：円）

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|------------|-----------|------------|
| 2009年度 | 7,800,000 | 2,340,000 | 10,140,000 |
| 2010年度 | 3,600,000 | 1,080,000 | 4,680,000 |
| 2011年度 | 3,600,000 | 1,080,000 | 4,680,000 |
| 総計 | 15,000,000 | 4,500,000 | 19,500,000 |

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学、機械材料・材料力学

キーワード：生体力学、MRI、CT、膝関節、2D-3Dイメージ・マッチング、圧力センサー、接触領域、接触圧力

1. 研究開始当初の背景

(1) 膝関節の2D-3Dイメージ・マッチングによる運動解析が行われている。その多くがX線CTまたはMRIから構築した3次元骨形状モデルを用いた大腿骨、脛骨および膝蓋骨の相対位置変化の検討であるが、さらにMRIによる関節軟骨形状も加えることで運動に伴う軟骨の接触状態を解析した研究も行なわれている。

(2) イメージ・マッチングにより骨同士の相対運動解析を行うだけでなく、軟骨の接触挙動を生体内で定量評価することは、膝不安定性に伴う軟骨変性や変形性膝関節症における病態進行の分析を可能とする。

(3) 骨同士の相対運動解析や軟骨の接触挙動の検討を行うにあたっては先ずイメージ・マッチング法による軟骨接触評価法の妥当性

について実験的に検証しておく必要がある。

2. 研究の目的

(1) ヒト切断肢を対象にCT像から構築した骨モデルとX線画像との2D-3Dイメージ・マッチング結果に、MRIから構築した軟骨モデルを付加することで軟骨接触領域を求める。

(2) 圧力センサーを用いて直接測定した接触領域と上記2.(1)のモデルから計算した接触領域とを比較し、モデル計算により得た接触領域の妥当性について検討する。

3. 研究の方法

(1) 骨・軟骨モデル作成

膝関節疾患履歴のない成人女性ヒト右切断肢の膝関節を対象として、CT撮影とMRI撮影を行った。そして3次元再構成ソフトウェア(Zed View DB 4.0、LEXI、JAPAN)を用い、CT画像からは遠位大腿骨と近位脛骨の3次元骨形状モデルを、MRI画像からは大腿骨と脛骨の3次元軟骨モデルを各々構築した。その後、骨モデルと軟骨モデルの重ね合わせを手動(空間精度1°、1mm未満)で行い、骨-軟骨モデルを作成した。

(2) 2方向CR撮影と接触圧力測定

重錘により切断膝へ任意の圧縮荷重を作用させることが可能なレバー・アーム型の自作装置に切断膝を伸展位で設置した(図1)。

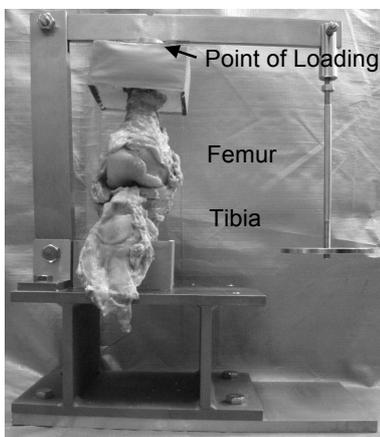


図1 圧縮荷重試験装置

膝関節内に前方から内側および外側部それぞれに圧力センサー(F-scan、ニッタ株式会社、JAPAN:厚さ約0.1mm、センサーセルサイズ $2.5 \times 2.5 \text{mm}^2$)を挿入した(図2)。大腿脛骨関節面が床面に対して水平となるように大腿骨と脛骨の各々の断端部を固定盤に骨セメントで固定し、この大腿骨側から鉛直下方に、3段階の圧縮荷重(14.7N、147.0N、205.8N)を与えた。荷重を与えたままの状態でも2方向CR撮影を行い、得られたCR画像の骨輪郭

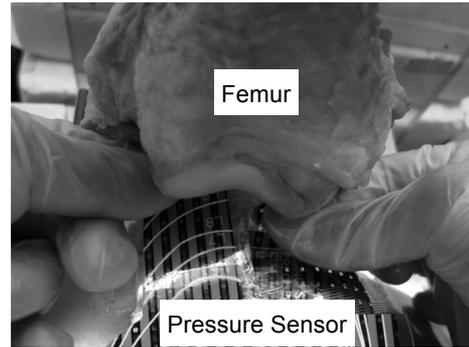


図2 圧力センサーの設置

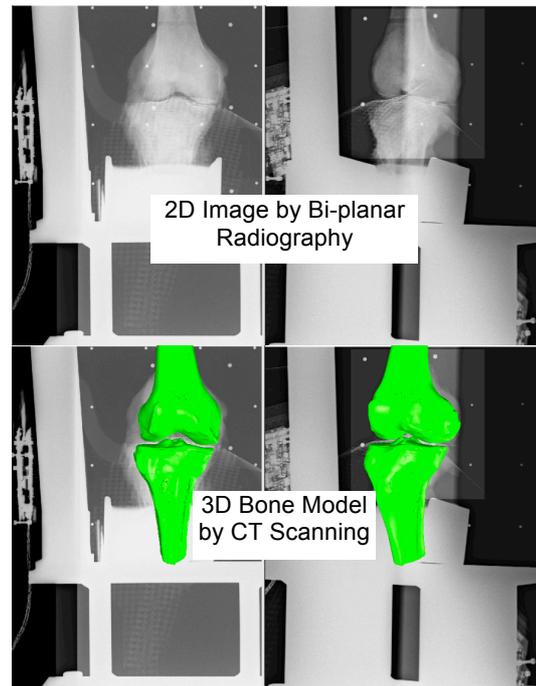


図3 2方向CR像への3D骨モデル(下図で緑色表示)の重ね合わせ

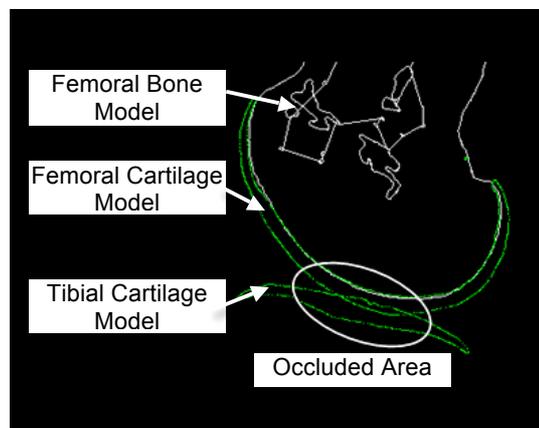


図4 軟骨接触領域(軟骨の噛み合い領域)の定義

と CT 骨モデルの投影輪郭との重ね合わせにより大腿骨と脛骨の 3 次元位置を決定した (図 3)。そして大腿骨および脛骨の軟骨モデルが重複した部分を接触領域と見なした (図 4)。この接触領域と圧力センサーにより得られた接触領域および接触圧力とを比較することで、イメージ・マッチングによる膝関節接触状態評価法の有効性を検討した。

4. 研究成果

(1) イメージ・マッチングによる軟骨重複量 (以下、接触深さ) の分布および圧力センサーによる接触圧力分布を各々求めた (図 5)。圧力センサーによる接触圧力分布については脛骨軟骨モデルの輪郭線も併せて示した。軟骨接触深さおよび接触圧力はともに圧縮荷重が増すと増加した。

(2) 圧力センサーで検知可能な圧力が生じている部分を接触領域と見なすことにすると、イメージ・マッチングによる軟骨重複位置と圧力センサーによる接触領域位置はほぼ対応した。

(3) 2D-3D イメージ・マッチング法による膝関節運動の in vivo 評価に関する研究は数多く報告されており、軟骨の接触状態を検討した例も見られるが、軟骨接触評価法の妥当性を検討した研究は見られない。本研究ではイメージ・マッチングにより軟骨の接触深さを求めているものの、軟骨の変形を考慮していないので接触領域を厳密に表していない。また、骨・軟骨モデルの形状および寸法誤差とイメージ・マッチングの重ね合わせの空間精度を考慮すると軟骨接触深さの精度についてさらに検討する必要がある。

(4) 関節軟骨の最大接触深さが生じる位置と最大接触圧力が測定された位置はほぼ一致した。しかし、圧力センサーの空間分解能が低いことや、圧力センサーの硬さにより関節面形状に完全に密着した状態で圧力測定を行っていない可能性があり、定量的な知見を得るためにはさらに検討する必要がある。

(5) 上記 4. (3)、(4) で述べたような今後検討すべき課題はあるものの、イメージ・マッチングにより推定された軟骨重複領域と圧力センサーにより得られた軟骨接触領域はほぼ対応したことから、圧縮荷重の増加に伴い軟骨接触深さと接触圧力はともに増加したことから、イメージ・マッチングによる軟骨接触状態評価法は、関節軟骨の接触挙動を推定する手法として有効であると言える。

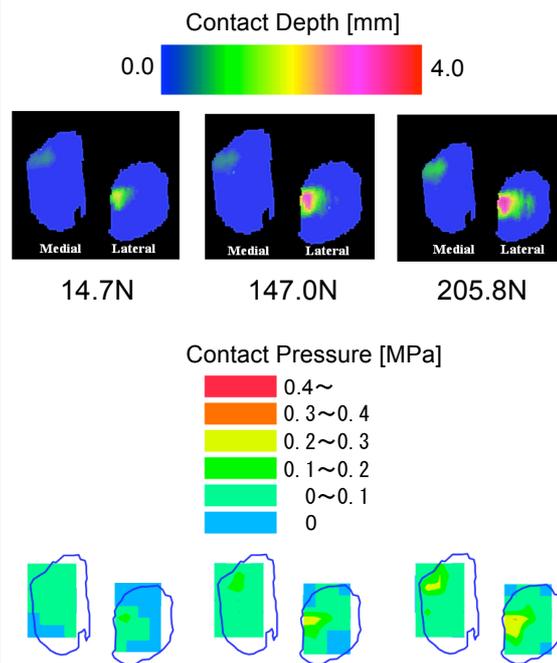


図 5 軟骨接触深さと接触圧力の分布 (圧縮荷重の大きさ: 左から 14.7、147.0、205.8N)

(6) 本研究で開発した方法は関節軟骨の接触挙動を in vivo で評価することが可能であり、したがって、変形性膝関節症の病態進行の診断法として臨床応用が期待される。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 41 件)

- ① 豊田貴嗣、小林公一、坂本信、大森豪、古賀良生、田邊裕治、イメージマッチングによる膝関節接触状態評価法の実験的検証、日本臨床バイオメカニクス、査読有、Vol. 32、2011、pp. 483-487.
- ② 松尾智史、大森豪、西野勝敏、田邊裕治、小林弘樹、解晨、古賀良生、内側型変形性膝関節症における Lateral thrust、膝内反モーメントおよび下肢筋力と X 線進行度との関連性、日本臨床バイオメカニクス、査読有、Vol. 32、2011、pp. 401-405.
- ③ 棚橋功佑、田邊裕治、古賀良生、湊泉、落合清秀、丸山陽子、3 次元下肢アライメント評価システムを用いた人工股関節カップ設置管理法の改善、日本臨床バイオメカニクス、査読有、Vol. 32、2011、pp. 347-352.
- ④ 解晨、坂本信、西野勝敏、湊泉、古賀良生、佐藤卓、小林公一、大森豪、田邊裕治、人

工股関節摺動面における応力分布の数値解析、日本臨床バイオメカニクス、査読有、Vol. 32、2011、pp. 283-289.

- ⑤坂本信、吉田秀義、小林公一、牧岡諒太、笹川圭右、田邊裕治、MRI を用いた脛距関節における接触領域の In Vivo 解析、日本臨床バイオメカニクス、査読有、Vol. 32、2011、pp. 215-223.
- ⑥解晨、坂本信、田邊裕治、人工股関節摺動面における接触応力解析の個別別手法の開発、実験力学、査読有、Vol. 11、No. 2、2011、pp. 112-117.

他 35 件

〔学会発表〕(計 110 件)

- ①牧岡諒太、川上健作、吉田秀義、田邊裕治、小林公一、坂本信、MRI を用いた腕橈関節の接触領域評価、日本機械学会北陸信越支部第 49 期講演会、2012 年 3 月 10 日、金沢工業大学 (石川県)
- ②解晨、湊泉、古賀良生、佐藤卓、坂本信、大森豪、田邊裕治、Patient-specific モデルによる股関節動作解析、第 38 回日本臨床バイオメカニクス学会、2011 年 11 月 19 日、神戸ポートピアホテル (兵庫県)
- ③ Keisuke Sasagawa, Sylvie Coupaud, Magnus Gislason, Qusai Hatem, K. Elizabeth Tanner, David B. Allan, Yuji Tanabe, Modelling of a Finite Element Mesh for the Tibia of a Spinal Cord Injured Patient, 2011 Simpleware Users Meeting, 2011 年 11 月 9 日, The Watershed Media Centre, Bristol, UK.
- ④Tomoya Chiba, Yuta Shimura, Yuji Tanabe and Hirotsugu Ohashi, Wear Characteristics of Ultra High Molecular Weight Polyethylene (UHMWPE) in Cyclic Impingement Test, The 6th International Symposium on Advanced Science and Technology in Experimental Mechanics, 2011 年 11 月 3 日, 関西空港コンファレンスホール (大阪府)
- ⑤解晨、坂本信、田邊裕治、古賀良生、佐藤卓、大腿骨および脛骨骨形状コンピュータモデルの座標系自動構築法、日本非破壊検査協会平成 23 年度秋季講演大会、2011 年 10 月 18 日、兵庫県立淡路夢舞台国際会議場 (兵庫県)
- ⑥ Keisuke Sasagawa, Koichi Kobayashi, Yoshio Koga, Makoto Sakamoto, Yuji Tanabe, Go Omori and Takashi Sato, The Anatomic Coordinate System Setting to Knee MRI Model, 2011 Annual Meeting of the Orthopaedic Research Society, 2011 年 1 月 13 日, Long Beach Convention Center, Long Beach, USA.
- ⑦ Shin Kai, Koichi Kobayashi, Kunihiko

Tokunaga, Yoshio Koga, Takashi Sato, Go Omori, Makoto Sakamoto and Yuji Tanabe, Accuracy Examination of Automated Image Registration for Hip Alignment Assessment, 2011 Annual Meeting of the Orthopaedic Research Society, 2011 年 1 月 13 日, Long Beach Convention Center, Long Beach, USA.

他 103 件

〔その他〕

ホームページ等

<http://biomech3d.eng.niigata-u.ac.jp/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田邊 裕治 (TANABE YUJI)
新潟大学・自然科学系・教授
研究者番号：60143020

(2) 研究分担者

坂本 信 (SAKAMOTO MAKOTO)
新潟大学・医歯学系・教授
研究者番号：80215657

小林 公一 (KOBAYASHI KOICHI)
新潟大学・医歯学系・助教
研究者番号：70296317

大森 豪 (OMORI GO)
新潟大学・研究推進機構超域学術院・教授
研究者番号：70283009

(3) 連携研究者

(該当者なし)