

平成 26 年 6 月 30 日現在

機関番号：21201

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500562

研究課題名(和文)人工関節置換術および骨切り術の術前計画支援に関する基礎的研究

研究課題名(英文) A study of surgery planning system for surgical techniques that replace the artificial components

研究代表者

土井 章男 (Doi, Akio)

岩手県立大学・ソフトウェア情報学部・教授

研究者番号：60271839

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円、(間接経費) 1,170,000円

研究成果の概要(和文)：急激な高齢化により、骨粗鬆症による骨折や擦り減りによる変形性関節症等の発生件数が増加している。治療には、主に人工関節置換術や骨切り術が行われる。本研究では、これらの手術を支援するために、人工関節情報や人体の3次元情報(主にCT画像)を利用して、1) 個体差(骨密度、骨形状、体重等)を考慮した人工関節・骨部の応力解析、2) 3次元ベースの人工関節術および骨切り術の術前計画支援システムの開発、3) 再手術を防止するための人工関節の「破損」や「ゆるみ」が生じる問題の解明、4) 人工関節設計のためのデザイン・シミュレーションを行った。

研究成果の概要(英文)：With the advent of the aging society, knee and hip joint diseases have increased rapidly in recently, and both Total Knee Arthroplasty (TKA) and Total Hip Arthroplasty (THA) surgery are increasing. TKA and THA are surgical techniques that replace the artificial component (assortment of implant) with knee and hip joint, respectively. In order to assist the surgery, we study 1) stress analysis by considering personal difference (bone density, bone shape, weight, and so on), 2) Development of 3D based surgical planning system, 3) Analysis for loose for implants, 4) Design simulation for implant design, by using 3D body information, such as CT images.

研究分野：情報学

科研費の分科・細目：計算機システム

キーワード：計算機システム 可視化 ソフトウェア 3次元画像 術前計画支援

1. 研究開始当初の背景

急激な高齢化により、骨粗鬆症による骨折や擦り減りによる変形性関節症等の発生件数が増加している。これらの治療には、主に人工関節置換術や骨切り術が行われる。その際、現状の人工関節のサイズは、S、M、L などから選択するのみである。しかしながら、骨形状は個人差が大きく、かつ、年齢と共に変化するため、その骨形状や体型に合った人工関節が求められている。

さらに人体に対して、直接的な実験は困難であるため、コンピュータを用いたシミュレーションが非常に有効となる。設計された人工関節に対して、コンピュータシミュレーションで評価を行うことで、より患者の QOL に適した人工関節設計が可能となる。

2. 研究の目的

人工関節の設置には、CT 画像を参考にしながら、一般に CR 画像が使用されている。これは、荷重下の膝の状態を検査するためには CR 画像が必要となり、奥行き情報や側面の 3 次元的情報の取得には CT 画像が必要となる。しかしながら、両者は人体の荷重によって、同一な形状とならないことが問題をより複雑にしている (CR 画像は立位で、CT 画像は臥せて撮像されるため、膝や骨盤の軟骨の状態や骨の位置が影響を受ける)。そのため、CR 画像ベースで行う人工関節の配置位置や削除する (削る) 骨の量は、医師の技量により大きな差が生じていた。

それに比較して、CT 画像上で、3D 人工関節の配置を行う方式は、完全な 3 次元空間での配置操作であり、奥行き情報の補完による精度向上が可能である。また、CT 画像から、正面・側面の仮想 CR 画像 (仮想透視画像)、仮想立位 CT 画像を作成・利用することで、正確な 2D/3D テンプレートングが可能となる。

本研究では、個々の患者に合ったテーラーメイド人工関節を想定し、その設計から装着までの全体の流れを視野に入れた診断支援環境の構築と、コンピュータシミュレーション技術の実践的な活用を研究目的とする。

3. 研究の方法

3.1 CT 画像からメッシュ生成および有限要素法による応力解析

CT 画像は臥位で取得するため、有限要素法 (FEM) による応力解析を行って、大腿骨や脛骨の位置を移動させ、立位の状態を表現する。荷重状態で取得した CR 画像と比較することで、シミュレーションの精度を高める。正確な仮想立位 CT 画像が作成出来れば、CR 画像を撮像する必要がないため、業務の効率化と精度向上が図れる。また、仮想立位 CT 画像を用いて、正確な 3D 人工関節の配置が可能となる。応力解析には、信頼性の高い商用ソフトウェアであるダッソー社の CATIA を用いる。解析用に使用するメッシュデータ

は、3 次元画像からセグメンテーションを行った材質ごとに等値面データに変換し、データ整形とデータ削減後、自動的に解析用 4 面体メッシュを生成して、応力解析を行う。

3.2 3 次元ベースの人工関節術および骨切り術の術前計画支援システムの開発 (I)

現在、我々が開発中の人工関節術前計画システム TXA Simula は、2D/3D 人工関節データ管理、DICOM データ管理、三断面表示、WW/WL 処理、各種画像フィルタ、各種計測、画面キャプチャ、クリッピング、指定断面表示、2D/3D 人工関節表示、高速ポイントベース VR、自動骨軸抽出、CR/CT (骨部) 重層表示、などの機能を有している。本研究で開発する 3 次元ベースの術前計画支援機能や 3 次元シミュレーション機能は、本システム上に実装する。

3.3 人工関節設計のためのデザイン・シミュレーション技術 (I)

個人の体型に合った人工関節を正確にかつ迅速に設計するために、人工関節の設計パラメータ (サイズ、厚み、高さ、表面仕上げなど) を特定しておき、そのパラメータ群を変更することで、その患者に適した人工関節形状を決定する方式を提案する。さらに、人工関節設計は「破損」や「ゆるみ」が生じる問題と関連しているため、臨床現場の医師から意見を収集しながら、人工関節形状の設計パラメータや配置方法を検討する。

3.4 人工関節設計のためのデザイン・シミュレーション技術 (II)

患者に合ったテーラーメイドな人工関節を設計し、電子ビーム加工機 (EBM) を用いて、実際に加工・製造を行い、デザイン検討を行う。使用する人工関節の材料 (材質) は、東北大学金属材料研究所の千葉晶彦先生が提案されたコバルト・クロム・モリブデン合金である。本合金は、従来のチタン合金に比べて、ニッケルレス (アレルギーなし) で硬度が高く丈夫であるため、長寿命な人工関節の製造が期待されている。EBM は、従来の 5 軸加工機や精密鋳造装置と異なり、デザイン自由度が高く、中空部分も製造可能なため、斬新で高機能なデザインを追及する。

正確な 3 次元形状を保持することで、術前に種々のシミュレーションが可能になるが、より精度を高めるため、人工関節の埋め込み・引っ張り時における応力解析やその検証実験を十分行う。

3.5 人工関節装着後の「破損」や「ゆるみ」の改善

人工関節置換術は再手術が困難なため、人工関節に「破損」や「ゆるみ」が生じた場合、大きな問題となっている。この問題を改善す

るためには、「破損」や「ゆるみ」が生じた患者に対して、生活様式、術後の定期的なCR/CT画像、人工関節のサイズ・材質・形状・配置位置、患者の骨構造や材質、術後の生活状況などを調査して、その問題点を解明する必要がある。各大学からこれらの時系列情報を取得して、データベース化を行い、統計的な手法を用いて、その関係性や相関を調査する。

4. 研究成果

CT画像は臥位で取得するため、有限要素法(FEM)による応力解析を行って、大腿骨や脛骨の位置を移動させ、立位状態のCT画像(仮想立位のCT画像)が作成可能である。同時に撮像した、荷重状態で取得したCR画像と比較することで、シミュレーション精度を高め、その評価が可能になる(図1)。この仮想立位の状態のCT画像を用いて、正確な3次元の人工関節の配置や人工関節の設計が可能となる。応力解析には、CT画像から皮質骨、海面骨、髄腔ごといセグメンテーションを行って、材質ごとに解析用メッシュデータに生成し、データ整形とデータ削減後、信頼性の高い商用ソフトウェアであるダッソー社のCATIA Ver.5.0を用いた。

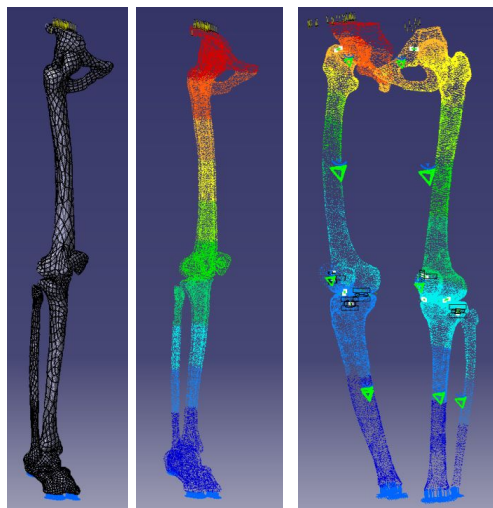


図1 荷重後のシミュレーション結果

図2は健常者の大腿骨および骨盤形状に合ったテイラーメイド人工股関節を設計例である。CT画像から骨の領域を抽出し、大腿骨内腔や骨頭を考慮して、最適なセメントタイプの人工股関節(図3)を設計している。図4はその人工関節を製造するために使用した金属用3Dプリンタである、EBM(Electric Beam Melting device)装置である。金属材料には、コバルト・クロム・モリブデン(CCM)合金を用いた。CCM合金は、チタン系の材料に比較して、剛性が高いため、セメントタイプの人工股関節に向いている。図5、図6は解析ソフトウェアによる解析用メッシュとそのシミュレーション結果であ

る。図7、図8、図9はリウマチを患って、骨変形を起こしたペット犬に対して、テイラーメイドのプレートを設計し、装着した事例である。術後、1週間で回復し、歩けるようになっている。

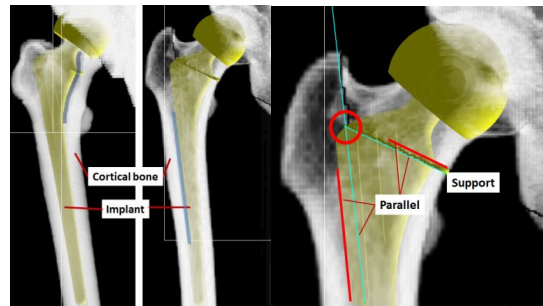


図2 テイラーメイド人工関節設計



図3 テイラーメイド人工股関節



図4 EBM装置



図5 解析用メッシュ

解析名: leg_bone_test2
227: 4名: 227: 2
表示形式: 静解析 節点応力 応力1
変形分: 1
7D-N: 0.00480858 から 2262.79 N/mm² (MPa)

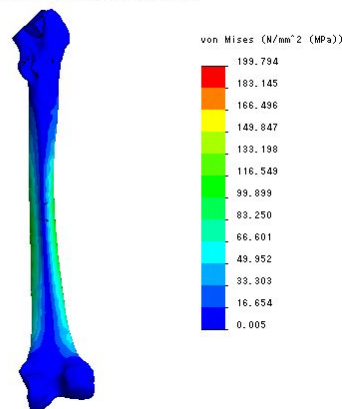


図6 解析結果

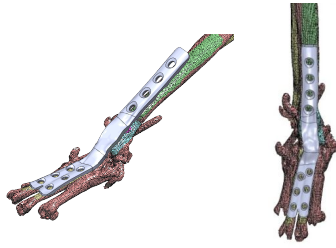


図7 骨モデルとプレート装着例



図8 製造したリウマチ治療用プレート



図9 術後のレントゲン画像（装着後）

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2件)

1)A. Doi, H. Takahashi, B. Syuto, M. Katayama, H. Nagashima, M. Okumura, "Tailor-Made Plate Design and Manufacturing System for Treating Bone Fractures in Small Animals", *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics*, Vol. 17, No. 4, 2013.

2)土井章男, 高橋弘毅, 馬渡太郎, 女鹿幸夫, "3D テクスチャ表示技術を用いたボリュームレンダリングシステムの開発とその応用", *Medical Imaging Technology*, Vol. 30, No. 2, pp. 83-91, 2012.

〔学会発表〕(計 7件)

1)A. Doi, T. Kato, and H. Takahashi, "Measurement of Density and Granularity of Archeological Artifacts using Industrial Computed Tomography", *IEEE*

iCAST2013, Aizu, Japan, 2013/11.

2)A. Doi, H. Takahashi, T. Kato, T. Mawatari, and S. Ichinohe, "Design of tailor-made hip-joint implants and the stress analysis", *The 12th Asian Symposium on Visualization (ASV12)*, pp. 215-216(ext. abstract), ASV12-137(DVD), Taiwan, ROC, 2013/5.

3)A. Doi, H. Takahashi, T. Mawatari, and S. Ichinohe, "Generation and Applications of CT Images of Ideal Standing Position for Total Knee Arthroplasty Surgery", *10th Int. Conf. on Modeling and Measurement in Medicine and Biology, BIOMED 2013*, Wessex Institute of Technology, 2013/4.

4)A. Doi, H. Takahashi, S. Mega, and T. Mawatari, "Volume manipulation using cut and paste operations and its applications", *JSST 2012, Int. Conf. on Simulation Technology*, Kobe, Sep. 27-28, 2012.

5)A. Doi, H. Takahashi, B. Shuto, M. Katayama, H. Nagashima, M. Okumura, "Design and application of tailor-made plates for treating fractures in small animals", *IEEE iCAST 2012, The 4th Int. Conf. on Awareness Science and Technology*, Korea, Seoul, Aug. 21-24, 2012.

6)A. Doi, H. Takahashi, T. Mawatari, and S. Mega, "Development of a volume rendering system using 3D texture compression techniques on general-purpose personal computer", *IEEE iCAST 2011, Dalian/China*, 2011.

7)A. Doi, H. Takahashi, and T. Furukawa, "3D Bone Axis Analysis Method Using CT Images of the Lower Limbs and Its Evaluation", *11th Asian Symposium on Visualization*, Niigata, Japan, 2011.

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕
出願状況(計 0件)

取得状況(計 0件)

〔その他〕

岩手県立大学先端可視化研究所
<http://advancedvislab.com/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

土井 章男 (AKIO DOI)
岩手県立大学・ソフトウェア情報学部・教授
研究者番号：60271839

(2)研究分担者

馬渡 太郎 (MAWATARI TARO)
九州大学・医学部整形外科・助教(採択時) 八
浜の町病院・整形外科・整形外科部長(現在)
研究者番号：60335974