

平成 21 年 4 月 16 日現在

研究種目：若手研究（スタートアップ）

研究期間：2007～2008

課題番号：19890054

研究課題名（和文） 3次元画像による変形測定評価法の確立

研究課題名（英文） Geometric measurement of 3D femur models reconstructed from CT scan images.

研究代表者

別所 雅彦 (BESSHO MASAHIKO)

東京大学・医学部附属病院・特任助教

研究者番号 50451810

## 研究成果の概要：

長管骨の変形を骨切りし矯正する場合、下肢長管骨の変形の定量的評価は十分な正確性を要求される。骨変形を定量的に計測する場合、X線写真を用いて定量評価している。しかし、X線写真を用いた変形の評価法には、複合変形（回旋変形と角状変形）には限界があるため、CT画像を利用した3次元画像を用いた変形の定量評価法の確立に着手した。3D計測が可能な特徴点の決定を行い、変形のある患者に対して角度計測が可能であることを確認した。検者内検者間の測定誤差に関して検討おこない、3次元計測法が有用であることを確認した。

## 交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,330,000	0	1,330,000
2008年度	1,350,000	405,000	1,755,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,680,000	405,000	3,085,000

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：整形外科学

キーワード：変形、CT、3次元モデル、長幹骨、3次元計測

## 1. 研究開始当初の背景

長管骨の変形・成長障害は、先天性異常、感染および外傷などを機序として2次的に発生する骨端線障害を原因として発生する。下肢長管骨変形の一つである脚長不等の発生頻度は、2～7%程度と報告されている。下肢変形によって下肢のアライメントの異常をきたすと股関節、膝関節および足関節の荷重負荷分布が非生理的となり、経年的に変形性関節症への進行が加速され、将来的に関節症が重症化する。また脊椎への負担も増加し、変形性脊椎症、腰痛および下肢痛を惹起し、

肉体的・精神的苦痛が増加し、社会生活を営む上で大きな障害になる。下肢変形が許容できない程度の場合には、外科的治療を第1選択とする。この場合に、矯正骨切り術・創外固定術が一般的に行われる。具体的には、骨切りを行い、その後一期的に矯正を行う場合があるが、ほとんどの場合、創外固定器を用いた、緩徐な変形矯正術を行っている。このように外科的に骨切りし変形を矯正する場合、下肢長管骨の変形の術前における定量的評価は十分な正確性を要求される。これまでは、脊椎の側彎を含めた姿勢異常・歩様異常

の評価や体表からの脚長計測による評価が行われてきた。骨変形を定量的に計測する場合、変形骨の正面像と側面像のX線写真を用いてPaleyら(2002)の提唱した方法によって定量評価している。しかし、矯正長や矯正角度を決定する際に、健側がある場合は健側を基準に変形矯正量決定することが可能であるが、先天異常の場合や両側に病変がある場合は、この方法が使えない。この場合は、Paleyらが報告している正常値を元に矯正量を決定している。しかし、このX線写真を用いた変形の評価法には以下の問題がある。

- ・ 骨の正面像、側面像の厳密な定義がなく、撮影時の体位や撮影方法の違いにより正面像、側面像が変わる。
- ・ 正面像、側面像が変わることにより、変形量の計測値が変わる。
- ・ 仮に骨の正常部分は正しく正面や側面を向いても、骨の変形部分は正正面・正側面ではなく、X線の照射方向が傾斜する。
- ・ 回旋変形がある場合、レントゲンの撮影方法が困難となり、回旋変形に関して十分に評価しきれない。
- ・ 複合的な変形がある場合(例えば、屈曲変形が2カ所以上ある場合や屈曲変形と回旋変形がある場合)、変形量の計測が困難である。

したがって従来の方法では、術前計画において変形量の評価が不正確となることがあり、矯正すべき角度・長さおよび部位(骨切り部)の決定が不正確であった。現実には、変形矯正中に術前計画から相異が生じ、しばしば、経験を基に変形矯正計画を変更せざるを得なかった。複合変形がある骨の変形矯正治療を正確に行うためには、長い臨床経験を要した。

このような背景から変形矯正を十分な精度で行うためには、変形を正確に評価する必要がある。そこで2次元画像であるレントゲン画像を利用するのではなく、撮影方向によらないCT画像を利用した3次元画像を用いた変形の定量評価法、およびそれをを用いた術前計画法を開発することを提案した。

CT装置の技術が進み従来よりも簡易に3次元骨画像を構築することができるようになり、最近では、3次元画像を再構成することが保険収載となり、全国に3次元画像を構築できるCT装置が普及してきている。このため、変形の評価にレントゲンだけではなく、以前では利用できなかった3次元画像を利用できるという、利点がある。

## 2. 研究の目的

3次元計測法を臨床で用いることを目的として、下記の検討を行った。

(1).

CT画像を再構築し大腿骨の3次元画像を作成し、特徴点を用いた3次元計測の定量評価法を構築すること。

(2).

患者の変形骨を対象として、3次元計測が可能か評価すること。

(3).

3次元画像を用いた3次元計測の正確性(検者内測定誤差、検者間測定誤差)を明らかにすること。

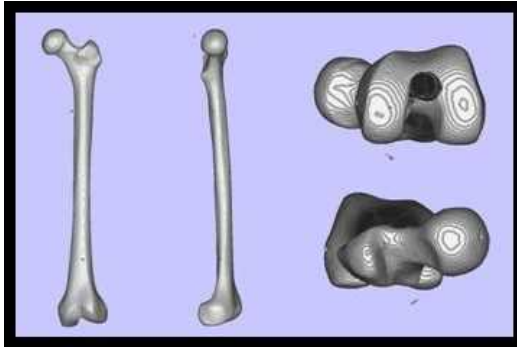
## 3. 研究の方法

(1).

模擬大腿骨(Medium Left Third-Generation Femur; Pacific Research Laboratories, Washington, USA)1本使用。2mmスライスでCT撮影(Aquilion Super 4; 東芝メディカルシステムズ、東京)を行い、3D計測ソフトウェア(産学連携研究で開発)で3次元モデルを作成した(図1)。3次元計測を行うために必要な、3次元モデル上の特徴点を画面上で位置を選択することによって計測を行った。特徴点は、大腿骨頭中心・大転子最近位端・小転子・大腿骨最遠位端(外側顆・内側顆)の5点とした。大腿骨頭中心は、大腿骨頭表面を4点選択することにより、大腿骨頭を球に近似し中心を求めた(図2)。大転子最近位端(図2)、小転子、大腿骨最遠位端(図3)は、選択法のプロトコルを作成して、マニュアルで設定した。各特徴点に対する線分(3次元ベクトル)に対する3D角度(3次元ベクトルの回転角)を算出した。大腿骨頭中心と大転子最近位端を結ぶ線分と、内外側の大腿骨最遠位端の midpoint と大腿骨頭を結ぶ線分となす角度を、3D PFA (proximal femoral angle) と定義した(図4)。内外側の大腿骨最遠位端の midpoint と大腿骨頭を結ぶ線分と、内外側の大腿骨最遠位端を結ぶ線分となす角度を3D DFA (distal femoral angle) と定義した(図4)。大腿骨頭中心と大転子最近位端を結ぶ線分と、内外側の大腿骨最遠位端を結ぶ線分のなす角度を3D rotation と定義した(図4)。

模擬大腿骨の、3D PFA、3D DFA、3D rotation を計測を行い、角度計測が可能か評価した。

(図1) 3次元モデル



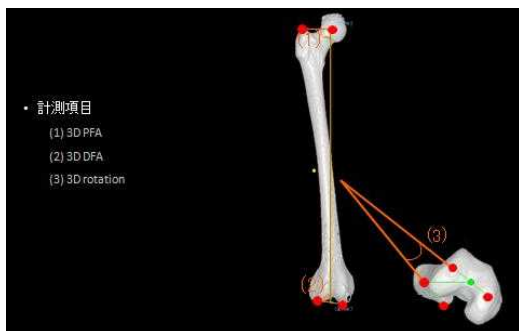
(図2) 骨頭中心、大転子最近位端の設定



(図3) 最遠位端の設定



(図4) 3D角度の設定



(2).

13 歳女性の右大腿骨遠位骨端線損傷患者と 30 歳男性の右大腿骨骨折後変形治癒患者の 2 名に対して、大腿骨の 3 次元計測を行った。患者・家族同意の上で、患者の両大腿骨を 2 mm スライスで CT 撮影を行った。3D 計測ソフトウェアで健側と患側をそれぞれ 3 次元モデル化した。健側と患側の比較を容易にできるように、健側の 3 次元モデルは鏡面反転した。3 次元計測を行うために必要な、3 次元モデル上の特徴点 (大腿骨頭中心・大転子最近位端・小転子・大腿骨最遠位端) を画面上で選択することによって、3D PFA、3D DFA、3D rotation の計測を行った。

(3).

15 歳女性の右大腿骨遠位骨端線損傷患者の大腿骨を対象とした。患者・家族同意の上で、患者の両大腿骨を 2 mm スライスで CT 撮影を行った。今回測定誤差を検討することを目的に健側の計測を行った。検者は、2 名 (検者 A、検者 B) の整形外科専門医によって行った。撮影した CT 画像を 3D 計測ソフトウェアで、健側を 3 次元モデル化し、3D PFA、3D DFA、3D rotation の計測を行った。同じ CT 画像を 1 週ごとに再計測を行い、計 5 回計測を行った。それぞれの検者内での平均値、標準偏差、検者間での平均値に差がないか検定を行った (t 検定を用い、有意水準は 0.05 以下とした)。

#### 4 . 研究成果

(1).

模擬大腿骨の 3D PFA は 90 度、3D DFA は 87 度、3D rotation は 10 度であった。実際に、3D 計測ソフトウェアで模擬大腿骨の計測が可能であることを検証した。

(2).

13 歳女性の右大腿骨遠位骨端線損傷患者の患側大腿骨の 3D PFA は 84 度、3D DFA は 69 度、3D rotation は 27 度であった。健側大腿骨の 3D PFA は 93 度、3D DFA は 86 度、3D rotation は 29 度であった (図 5)。

30 歳男性の右大腿骨骨折後変形治癒患者の患側大腿骨の 3D PFA は 88 度、3D DFA は 85 度、3D rotation は 42 度であった。健側大腿骨の 3D PFA は 82 度、3D DFA は 88 度、3D rotation は 7 度であった (図 6)。

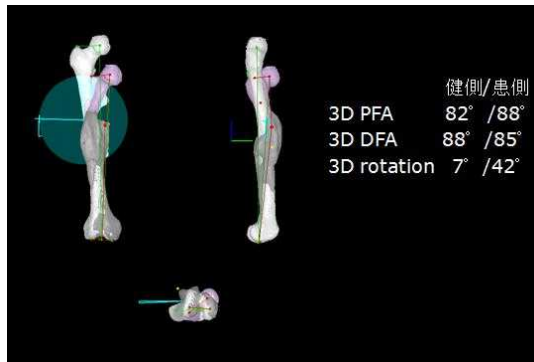
両患者とも、構築した 3 次元計測定量評価法により、測定が可能であった。健側と患側を比較することが可能であった。

(図5) 右大腿骨遠位骨端線損傷の患者例

右：健側大腿骨の鏡面反転像、左：患側大腿骨



(図6) 右大腿骨骨折後変形治癒の患者例  
健側は鏡面反転し、患側と遠位部分を重ね合わせている。



(3).

3D PFA は、検者 A は平均 89 度 標準偏差(SD) 0.9 度、検者 B は平均 91 度 (SD) 0.7 度、3D DFA は、検者 A は平均 88 度 (SD) 0.9 度、検者 B は、平均 89 度 (SD) 1.0 度、3D rotation は、検者 A は平均 12 度 (SD) 0.7 度、検者 B は平均 11 度 (SD) 0.9 度であった。検者間の 3D PFA、3D DFA、3D rotation の平均値に統計学的な有意差はなかった。

検者内・検者間ともに再現性よく計測が可能であった。

国内外でも、大腿骨の変形計測評価は、X線写真で行っているのが現状である。3次元画像による変形測定評価法を用い、変形を正確に評価することは、正しい術前計画立案に有意義であり、より高い効果が得られる治療を行うことが可能になると考えられる。

今後、さらに計測手法を検討し、症例を増やし有用性を検討していきたい。

## 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 5 件)

別所雅彦、大西五三男、松本卓也、大橋暁、飛田健治、中村耕三、大腿骨近位部の強度評価について - CT/有限要素法による薬剤効果判定への応用について - Source: SERM: Selective Estrogen Receptor Modulator 6号 Page56-57 (2008) 査読あり

松本卓也、別所雅彦、大西五三男、大橋暁、飛田健治、中村耕三、CT/有限要素法を用いた脊椎の圧縮強度解析 - 骨粗鬆症治療効果判定への応用 - Source: SERM: Selective Estrogen Receptor Modulator 6号 Page58-59 (2008)

査読あり

Matsuyama J, Ohnishi I, Sakai R, Bessho M, Matsumoto T, Miyasaka K, Harada A, Ohashi S, Nakamura K. A new method for evaluation of fracture healing by echo tracking. Ultrasound Med Biol 2008;34: 775-83 査読あり

Bessho M, Ohnishi I, Matsuyama J, Matsumoto T, Imai K, Nakamura K. Prediction of strength and strain of the proximal femur by a CT-based finite element method. J Biomech 2007;40: 1745-53. 査読あり

別所雅彦、大西五三男、松本卓也、大橋暁、中村耕三、大腿骨近位部の強度評価について CT/有限要素法・QCTによる薬剤効果判定への応用について、SERM: Selective Estrogen Receptor Modulator5号 Page 82-83 (2007) 査読あり

[学会発表](計 4 件)

大橋暁、大西五三男、松本卓也、別所雅彦、松山順太郎、飛田健治、金子雅子、中村耕三、CT/有限要素法を用いた創外固定抜去後骨欠損例の骨強度予測、第 22 回日本創外固定・骨延長学会、2009 年 3 月 6 日、京都

Masahiko Bessho; Isao Ohnishi; Takuya Matsumoto; Satoru Ohashi; Masako Kaneko; Kenji Tobita; Kozo Nakamura; Predicting strengths of the femur and vertebra in patients with postmenopausal osteoporosis by a CT based finite element method - The

predicted fracture load of the proximal femur is correlated with that of the lumbar vertebra - Transactions p673, 55th Annual Meeting of the Orthopaedic Research Society、February 22 -25, 2009, Las Vegas, Nevada

松本卓也、大西五三男、飛田健治、別所雅彦、大橋暁、中村耕三、大腿骨変形に対する変形矯正コンピューターシミュレーション、第 17 回コンピュータ外科学会 2008 年 10 月 31 日、東京

飛田健治、大西五三男、別所雅彦、松本卓也、大橋 暁、中村耕三、3 次元 CT 画像を基にした管骨変形評価法、第 21 回日本創外固定・骨延長学会、2008 年 2 月 22 日、横浜

## 6 . 研究組織

### (1)研究代表者

別所 雅彦 (BESSHO MASAHIKO)  
東京大学・医学部附属病院・特任助教  
研究者番号：50451810

### (2)研究分担者

なし

### (3)連携研究者

なし