

えられる。

3-3. テンプレート骨折整復に関する検討

従来手法である多関節創外固定器による整復精度は、位置誤差が 4.37 mm, 内旋, 前屈, 内反方向の角度誤差がそれぞれ 2.53° , 2.33° , 3.57° であった。また、提案手法である無関節創外固定器による整復精度は、位置誤差が 2.74 mm, 内旋, 前屈, 内反方向の角度誤差がそれぞれ 0.58° , 2.31° , 3.45° であり、提案手法においても従来手法と同程度の精度で整復が可能であった。提案手法では特に、大腿骨骨幹部骨折手術において重要な内旋, 外旋方向に関して高い精度であった。また、提案手法による整復の場合、従来手法による整復に比べて整復時間が短縮されていた。自由度が高くて微調整が困難である二関節創外固定器の代わりに微調整が容易な無関節創外固定器を用いたためと考えられる。

(4) 2D/3D レジストレーション

2D/3D レジストレーションにオリエンテーションを導入し偽輪郭を含んだ画像を用いた場合の位置姿勢推定の精度と安定性について検証した。その結果、偽輪郭を含んだ画像の位置姿勢推定の精度が改善された。

(5) 筋骨格モデル

筋骨格モデル検証実験において、力、トルクともに高精度に推定することができた。しかし計測開始直後はデータ数が少ないため推定誤差が大きいが、数秒後には推定が収束していることが解る。これより、推定には初期牽引時間が必要であることがわかった。

E. 結論

本研究では、骨折整復術ナビゲーション

システムの設計・開発と骨折整復経路自動生成に関する検討、2D/3D レジストレーション法による骨片位置姿勢画像計測の高速化と骨片位置姿勢トラッキング法に関する検討、レーザナビゲーションを用いた経皮的な大腿骨骨折整復手法の提案、オリエンテーションスペースを用いた2D/3D レジストレーション手法の提案、生体組織を考慮した筋骨格モデルの構築とそのパラメータ推定手法の提案を行った。

以上より、ナビゲーションシステムとして提案手法の臨床適応可能性を示すことができた。

F. 研究発表

1. 論文発表

“人体筋骨格モデルに基づく知的医療システムに関する研究,” 道家健仁, 中島義和, 小野木真哉, 杉田直彦, 光石衛, 別所雅彦, 大橋暁, 飛田健治, 大西五三男, 佐久間一郎, 土肥健純, 前田ゆき, 小山毅, 菅野伸彦, 米延策雄, 松本洋一郎, 中村耕三, 生体医工学シンポジウム 2009, BMSE 2009, P 2-4-15

“手術ロボットへの応用を目指した筋骨格モデルに関する研究,” 道家健仁, 中島義和, 杉田直彦, 光石衛, 松本卓也, 別所雅彦, 大橋暁, 飛田健治, 金子雅子, 大西五三男, 佐久間一郎, 中村耕三, 第 19 回日本コンピュータ外科学会誌, VOL 12 No. 3, p 408-9, 2010

2. 学会発表

“経皮的穿刺のためのレーザによる位置・姿勢呈示,” 林成煥, 道家健仁, 小野木真哉,

中島義和, 光石衛, 佐久間一郎, 別所雅彦,
大西五三男, 中村耕三, 第18回日本コンピ
ュータ外科学会誌, VOL 11 No. 3, p 380-1,
2009

“レーザを用いた創外固定器の設置支援に
関する検討,” 林成煥, 道家健仁, 小野木真
哉, 中島義和, 光石衛, 佐久間一郎, 別所雅
彦, 大西五三男, 中村耕三, 第18回日本コ
ンピュータ外科学会誌, VOL 11 No. 3, p
376-7, 2009

“SAI を用いた骨統計形状モデルのため
の対応点設定” 斎藤季、中島和義、橋詰
博行、杉田直彦、藏元孝一、中島義男、光
石衛、第19回日本コンピュータ外科学会誌
, VOL 12 No. 3, p 426-7, 2010

G. 知的財産権の出願・登録状況

(予定を含む。)

- 1.特許取得
- 2.実用新案登録
- 3.その他

低侵襲・高精度骨折整復・治療支援システムの開発に関する研究
総括研究報告書

分担研究 三次元骨強度解析モデルを用いた大腿骨近位部の強度評価に関する研究

分担研究者 別所 雅彦 東京大学整形外科 特任助教

研究要旨 高齢者の大腿骨近位部骨折の危険予測は画像診断や骨密度測定にて行われるが、これは骨粗鬆の程度は評価するが、構造的強度を評価できないという限界がある。大腿骨近位部分の強度の範囲は、ある程度過去の摘出標本からの圧縮試験等で報告されているが、患者固有の大腿骨近位部分の強度は評価できない。

本研究では、大腿骨近位部骨折患者の非骨折側の大腿骨近位部の3次元CT非線形有限要素解析を行い、荷重方向の相違による予測骨折荷重を定量予測し、同時にその骨折部位の局在を明らかにすることにより、本モデルの有用性を検討することである。初年度は、20例の大腿骨近位部骨折患者の非骨折側の大腿骨近位部を解析を行い臨床症例でも解析が可能であることを確認した。次年度では、27例で解析を行った。最終年度では症例数は42例で、解析方法も工夫し解析を進めた。大腿骨転子部骨折の患者に対して非骨折側の定量的CT撮影を行い、定量的CT画像を用いた三次元骨強度解析を行い解析の結果と、先行研究の強度試験の結果と比較することによって、本方法の臨床における有用性を評価した。

対象は、女性の大腿骨近位部骨折患者42名(平均83歳)。受傷後1週間以内に定量的CTを撮像し、非骨折側の三次元解析モデルを作成した。立位条件と4つの転倒を模擬した条件を設定した。有限要素法非線形解析を行い、予測骨折荷重を解析した。

結果は、予測骨折荷重の平均は、立位条件3150N、転倒条件12270N、転倒条件2、1060N、転倒条件3 980N、転倒条件4 710Nであった。先行研究の実証試験の結果と比較しても矛盾しない結果が得られ、患者から作成した三次元骨強度解析モデルは、実際に強度評価を行うことができると示唆された。

A. 研究目的

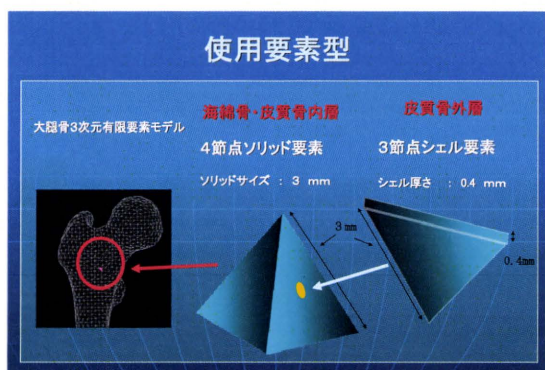
高齢者の大腿骨近位部骨折の危険予測は画像診断や骨密度測定にて行われるが、これは骨粗鬆の程度は評価するが、構造的強度を評価できないという限界がある。大腿骨近位部分の強度の範囲は、ある程度過去の摘出標本からの圧縮試験等で報告されているが、患者固有の大腿骨近位部分の強度は評価できない。このため、大腿骨近位部分の強度評価を正確に行うことができれば、大腿骨転子部骨折を整復する際に近位骨片

に対しどの程度の荷重が加わると大腿骨近位部(大腿骨頸部)にさらに破壊が発生するか危険度の評価が可能となり、骨折整復・固定の制御動作に対して有用な情報となる。本研究では、大腿骨近位部骨折の患者に対して非骨折側の定量的CT撮影を行い、定量的CT画像を用いた三次元骨強度解析モデルを作成し、解析の結果と、先行研究の強度試験の結果と比較することによって、本方法の臨床における有用性を評価した。

B. 研究方法

女性の大腿骨近位部骨折患者 42 名(平均 85 歳)。受傷後 1 週間以内に骨量ファントム (B-MAS 200, 京都科学)とともに定量的 CT を撮像(120kv, 150mAs, slice thickness 3 mm, matrix 512×512)を行った。定量的 CT 画像を解析コンピュータに転送し、海綿骨に 3mm の 4 節点ソリッド要素と、皮質骨外層に 0.4 mm の 3 節点シェル要素を使用し、三次元骨強度解析モデルを作成した(図 1)。骨は不均質材料とし、重量密度は各要素に対して骨量ファントムの CT 値から換算式により計算した。材料特性は各要素の位置に対応する重量密度から個々に算出し、これに対応する要素の材料特性に割り当てた。ヤング率は Keyak (1994)ら、および Keller (1994)らの方法により設定した。ポアソン比は、0.4 とした。非骨折側の三次元解析モデルを作成した (Bessho et al., 2007)。各要素の材料特性は各要素位置に対応する CT 値から骨密度を個々に算出し、骨密度に対応する材料特性を割り当てた。

(図 1) 使用要素型



骨頭への荷重方向は、前額面において骨軸から γ 度、横断面において頸部軸から δ 度前方方向に傾斜した荷重をかけた。立位

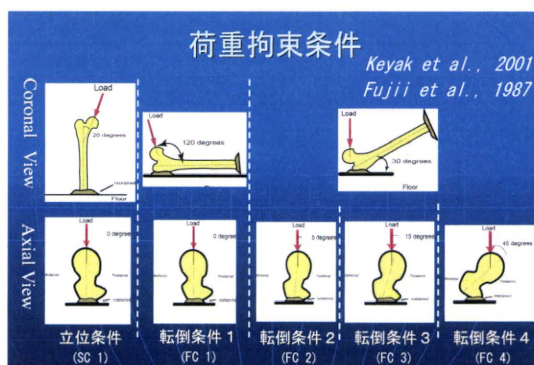
を模擬した条件 (γ 160 度 δ 0 度)(立位条件 (SC))、転倒を模擬した条件、転倒条件 1 (γ 120 度 δ 0 度(FC1))、転倒条件 2 (γ 60 度 δ 0 度(FC2))、転倒条件 3 (γ 60 度 δ 15 度(FC3))、転倒条件 4 (γ 60 度 δ 45 度(FC4))を設定した (図 3)。Newton-Raphson 法を用いた荷重増分法による非線形解析を行い、1 つのシェル要素の最大主応力とその要素の臨界応力を超える場合(クラック)、または、1 つのシェル要素の Drucker-Prager 相当応力が要素の降伏応力を超え、かつ最小主歪みが-10000 micro strain 以下の場合(圧潰)をそれぞれ骨折と定義した。1 要素以上の破壊を骨折と定義し、予測骨折荷重を解析した。各荷重拘束条件の相違による強度の相違を比較した。

統計処理は、ピアソンの相関係数、Friedmann 法 Post hoc test に Sheffe 法を用い、有意水準を 0.05 以下とした。

(倫理面での配慮)

CT 撮影に関しては、患者・家族同意の上で撮影を行った。CT データ・解析データは、暗号化を行った。

(図 2) 荷重拘束条件



C. 研究結果

82 歳の大腿骨転子部骨折患者の解析例

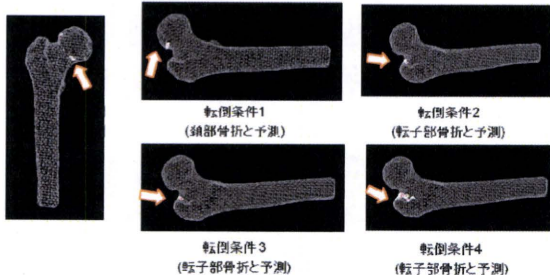
を提示する (図 3)。

予測骨折荷重は、立位条件 3150 N(標準偏差(SD) 610 N)、転倒条件 1 2270 N(SD 600 N)、転倒条件 2 1060 N(SD 250) 転倒条件 3 980 N (SD 230 N)、転倒条件 4 710 N(SD 174 N)。立位条件の予測骨折荷重は、転倒条件 2、転倒条件 3、転倒条件 4 よりも有意に大きかった (すべて $p < 0.001$)。転倒条件 1 での予測骨折荷重は、転倒条件 2、転倒条件 3、転倒条件 4 よりも有意に大きかった ($p < 0.05$, $p < 0.001$, $p < 0.001$) (図 4)。立位荷重では、全例頸部骨折が予測され、転倒条件 1 を除く転倒条件では転子部骨折が予測されました。転倒条件 1 では、予測骨折型と実際の対側骨折型に関連が認められました ($p < 0.05$) (図 5)

(図 3) 予測骨折荷重・部位(白矢印の部分は、予測骨折部位)

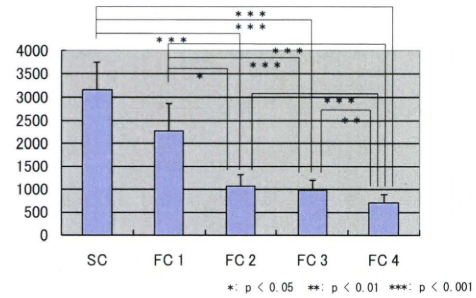


単純レントゲン



解析結果

(図 4) 平均予測骨折荷重



(図 5) 予測骨折型と対側の骨折型の比較

荷重拘束条件 予測骨折型	SC		FC 1		FC 2		FC 3		FC 4	
	S	T	S	T	S	T	S	T	S	T
頸部内側骨折患者 (20人)	20	0	16	4	0	20	0	20	0	20
転子部骨折患者 (22人)	22	0	4	18	0	22	0	22	0	22

S: sub-capital region, T: Trochanteric region

(図 6) 各予測骨折荷重の相関性

	SC	FC1	FC2	FC3	FC4
SC	-	0.467**	0.615***	0.614***	0.631***
FC1	0.467**	-	0.586**	0.584**	0.463**
FC2	0.615***	0.586**	-	0.894***	0.728***
FC3	0.614***	0.584**	0.894***	-	0.861***
FC4	0.631***	0.463**	0.728***	0.861***	-

** $p < 0.01$.
*** $p < 0.001$.

D. 考察

藤井ら (1987) は、Singh分類 II ~ III の骨粗鬆がある解剖用大腿骨に対して荷重方向を変えて各2検体ずつ計6検体行った結果を報告した。それぞれ、立位荷重は2400 N、側方転倒条件 (本条件では、転倒条件2) では1400 N、後側方転倒条件 (本条件では、転倒条件4) では700 Nであった。立位条件、側方・後側方条件の順に強度は低下する傾向にあった。

Eksteinら (2002) の報告によれば、男女合わせた平均80歳の解剖用cadaverの大腿骨の垂直圧縮荷重の強度の平均3460 Nであった。

立位条件よりも側方転倒条件、側方転倒条件よりも後側方転倒条件が骨折危険度を高めた。

E. 結論

三次元骨強度解析モデルを用いた大腿骨近位部の強度評価は臨床においても有用であると示唆された。

患者から実際に撮影したCT画像より作成した有限要素モデルは、実際の骨強度を反映していると考えられる。

F. 研究発表

1.論文発表

Masahiko Bessho, Isao Ohnishi, Takuya Matsumoto, Satoru Ohashi, Juntaro Matsuyama, Kenji Tobita, Masako Kaneko, and Kozo Nakamura., Prediction of proximal femur strength using a CT-based nonlinear finite element method: differences in predicted fracture load and site with changing load and boundary conditions., Bone 2008 in press.

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 (2009)

別所雅彦(東京大学 医学部整形外科), 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)

松本卓也(東京大学 医学部整形外科)、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)

Matsumoto T, Ohnishi I, Bessho M, Imai K, Ohashi S, Nakamura K , Prediction of vertebral strength under loading conditions occurring in activities of daily living using a computed tomography-based nonlinear finite element method. Spine. 2009 15;34(14):1464-9.

Bessho M, Ohnishi I, Matsumoto T, Ohashi S, Matsuyama J, Tobita K, Kaneko M, Nakamura K. Prediction of proximal femur strength using a CT-based nonlinear finite element method: differences in predicted fracture load and site with changing load and boundary conditions. Bone. 2009 (2):226-31.

松本卓也、大西五三男、別所雅彦、金子雅子、大橋暁、飛田健治、中村耕三、CT/有限要素法を用いた脊椎椎体の日常生活における骨強度評価 □骨粗鬆症治療効果判定への応用□ SERM: Selective Estrogen Receptor Modulator7号 Page88-89, 2009

別所雅彦、大西五三男、金子雅子、松本卓也、大橋暁、飛田健治、中村耕三、塩

酸ラロキシフェン 2 年内服患者における大腿骨近位部の骨強度変化-CT/ 有限要素法による薬剤効果判定への応用-, SERM: Selective Estrogen Receptor Modulator7 号 Page90-91, 2009

Bessho, Masahiko; Ohnishi, Isao; Kaneko, Masako; Matsumoto, Takuya; Ohashi, Satoru; Tobita, Kenji; Nakamura, Kozo, CT-based finite element method for predicting the strength of the proximal femur in patients with postmenopausal osteoporosis - Evaluation of inter- and intra-observer reliabilities and reproducibility -, Transactions Vol. 36, p2275, ORS 2011 Annual Meeting, Long Beach, CA, 2011

2.学会発表

(発表誌名巻号・頁・発行年等も記入)

別所 雅彦、大西五三男、松本卓也、大橋暁、飛田健治、金子雅子、中村耕三、CT/有限要素法を用いた新鮮死体大腿骨標本の予測骨折部位の検証、第 17 回コンピュータ外科学会(2008) 08(XV)-71

別所雅彦、大西五三男、松本卓也、金子雅子、大橋暁、飛田健治、中村耕三、CT/有限要素法による骨強度評価について-大腿骨近位部の薬剤効果判定への応用に関する予備的研究- Osteoporosis Japan Vol.16 Suppl.1, 2008, p145,

別所雅彦、大西五三男、松本卓也、大橋暁、飛田健治、松山順太郎、中村耕三、CT 画像を用いた有限要素法非線形解析による大腿骨近位部の骨強度評価 荷重・拘束条件の相違による予測骨強度の相違について、日本整形外科学会雑誌(0021-5325)82 巻 3 号 Page

S518 (2008.03)

別所雅彦、大西五三男、松本卓也、金子雅子、大橋暁、飛田健治、中村耕三、CT/有限要素法による大腿骨近位部の骨強度評価 □検者内・検者間解析信頼性、解析再現性について-、Osteoporosis Japan 17 巻 増刊 1 号 Page200, 2009

金子雅子、大西五三男、別所雅彦、松本卓也、大橋暁、飛田健治、中村耕三、林直人、CT 有限要素法による大腿骨近位部の骨強度評価 □年齢別骨強度値の作成と骨強度に影響する因子の解析 Osteoporosis Japan 17 巻 増刊 1 号 Page200, 2009

松本卓也、大西五三男、別所雅彦、金子雅子、大橋暁、飛田健治、中村耕三、CT/有限要素法を用いた脊椎椎体の日常生活における骨強度評価 □骨粗鬆症治療効果判定への応用□ Osteoporosis Japan17 巻 増刊 1 号 Page202, 2009

松本卓也、大西五三男、別所雅彦、大橋暁、金子雅子、飛田健治、中村耕三、CT・CAD/有限要素法解析を用いた Lag screw 刺入高位による大腿骨頸部の応力・ひずみの検討、日本コンピュータ外科学会誌 11 巻 3 号 Page320-321, 2009

別所雅彦、大西五三男、松本卓也、金子雅子、大橋暁、飛田健治、中村耕三、CT/有限要素法による非線形解析を用いた大腿骨近位部の強度評価 一荷重・拘束条件の相違による予測骨強度・部位の相違について-日本コンピュータ外科学会誌 11 巻 3 号 Page318-319, 2009

別所雅彦、大西五三男、金子雅子、大橋暁、飛田 健治、中村耕三、定量的CT画像を用いた大腿骨近位部の骨強度評価 - 有

限要素法による予測骨強度と大腿骨頸部の骨密度による大腿骨近位部骨折の識別力についての検討 - Osteoporosis Japan p190, 18 巻, 増刊 1 号 p190, 2010

金子雅子、大西五三男、別所雅彦、大橋暁、飛田 健治、中村耕三、CT 有限要素法による大腿骨近位部の骨強度評価 - 年齢別骨強度値の作成と大腿骨近位部骨強度値に影響する因子の解析 - Osteoporosis Japan, p190, Osteoporosis Japan 18 巻 増刊 1 号, 2010

別所雅彦、大西五三男、松本卓也、金子雅子、大橋暁、飛田健治、松山順太郎、中村耕三、定量的 CT を用いた有限要素法による大腿骨近位部の予測骨強度と大腿骨頸部の骨密度による大腿骨近位部骨折の識別力についての検討、日本整形外科学会雑誌 84 巻 4 号 PageS469、2010

G. 知的財産権の出願・登録状況

(予定を含む。)

1.特許取得

なし

2.実用新案登録

なし

3.その他

なし

低侵襲・高精度骨折整復・治療支援システムの開発に関する研究

低侵襲・高精度骨折整復・治療支援システムに関する開発

分担研究者 大橋 暁 東京大学医学部附属病院 整形外科 特任助教

研究要旨 本研究は骨強度・骨折のリスクを非侵襲且つ高精度に定量評価できる診断装置の開発を行うことを目的とする。

研究期間を通じ、ET法を用いた診断装置の開発を行い基礎実験、臨床測定を行った。その結果、ET法は、荷重負荷に対する動的な体内の骨の歪を非侵襲に計測が可能であり、診断装置により骨強度・骨折のリスクを非侵襲且つ高精度に定量評価できる可能性が示された。

A. 研究目的

研究の目標は、さまざまな病態における骨強度・骨折のリスクを非侵襲且つ高精度に定量評価できる診断装置の開発を行うことを目的とする。

B. 研究方法

骨折において許容荷重量は骨折部の骨強度に依るため、骨癒合部の骨強度評価が重要である。そこで、骨の変形を非侵襲・非接触に検出するため超音波エコートラッキング (Echo-Tracking: ET) 法により骨 (骨表面) の荷重にともなう変形を計測し骨強度評価を行う。ET法は、組織からの RF (Radio Frequency) エコー信号の位相を検出し、超音波の波長以下の精度で組織の微小変位を計測する技術である。我々はこの手法を用い、骨表面計測用の診断装置を開発し、基礎実験において 2.6 ミクロンの測定精度を実証した。臨床では、骨折部の近位部と遠位部にプローブを骨軸に平行に設置し、荷重に伴い生じる変位を各々2カ所で測定し、

それぞれの変位量が作る角度の和を ET 変形角と定義し、骨の剛性評価を行う。

ET法を用いた臨床測定において、骨の変形の検出精度と骨の強度を評価するのに十分な変形量を把握することは重要なことである。変形量は骨が弾性領域内で挙動する場合、荷重量に比例することになるが多大な荷重は被検者に疼痛を与えるだけでなく骨の塑性変形を来すことにもなり得る。しかし、荷重量が小さければ測定精度は低下し十分な強度評価が不可能となる。そこで、基礎実験では形状・材料特性を模した模擬脛骨 (SAWBONES、USA) を用い ET 計測の正確性と適切な荷重量を確かめた。

臨床測定方法を模し脛骨前内側面が上面にそして近位と遠位の脛腓関節面が支点となるように模擬骨を設置した。歪ゲージはゲージ長 2 mm のものを、3 点曲げの主軸で最大の歪が生じると考えられる脛骨前内側面の計測軸上に 4 箇所貼付した。ET 計測は脛骨前内側面計測軸上で荷重の近遠位部それぞれ 40 mm のスパンで計測を行った。加重はロードセルを用い毎秒 2 N にて 2.5 N の加重を行い歪計測と ET 計測の同時計測を行った。

続いて、骨折症例において経時測定を行った。測定対象は8名9肢で（男5女3）で治療法の内訳は保存療法が2例2肢、手術症例は6例7肢（髄内釘：3例4肢、プレート：1例1肢、腸骨移植とスクリュー：1例1肢、創外固定：1例1肢）であった。測定期間は平均26.2週（8～60週）で測定回数は平均6.7回（3～10回）であった。いずれの測定も健常者での測定手順に従い固定・荷重・測定を実施した。初回の測定時にはB画像により骨折部位を特定し、近位若しくは遠位の骨折断端より30mm程度の健常皮質骨部を荷重中心とし、骨折近位と遠位の皮質骨部にそれぞれプローブを設置した。（図1）また、金属プレートによる内固定治療を行っている症例では、荷重点・近遠位の測定点いずれも金属プレート上に設置し荷重によるプレートの変形角の検出を試みた。骨軸上に設置された荷重点・近遠位の測定点は、初回の測定時に基準点からの距離計測を行い記録した。測定は2～4週程度の間隔で実施される整形外科の受診時に行い、経時的なET変形角度の測定を行い評価した。測定は各5回行い、5回の平均と標準偏差を算出した。受診時には同時にレントゲン撮影も行い、レントゲンとの比較検討を行った。

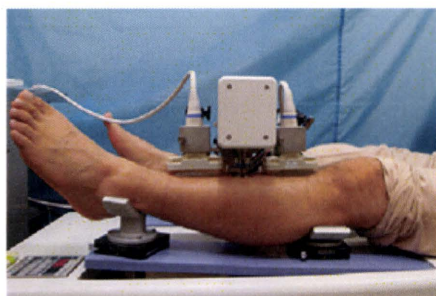


図1 ET測定装置

また、これまで開発を行ってきた小型プローブについては狭小化した骨や骨幹端部の骨折症例では骨表面の検出が困難であることが臨床評価より明らかとなり、測定のための波形取得の際にB画像の表示を必要とした。そのため、小型プローブの改良を実施した。そして、新たに開発したプローブを用い狭小化した骨や骨幹端部の骨折症例においてET測定可能な波形が取得可能であるか臨床例で確認を行った。

（倫理面への配慮）

今回の研究で用いられる超音波はすでに臨床で用いられているものと周波数・音圧ともにかかわらず安全性は確立されている。また、検査の際に負荷される荷重は被検者が日常生活において常に受けている荷重より充分小さいものでありこの検査による骨への損傷は無く安全である。

検査に際しては対象者および対象者家族に口頭および文書を用いて説明を行い、十分に理解し同意を得られたもののみを対象とする。また、全研究を通して患者の個人情報には公開されない。

C. 研究結果

模擬脛骨を用いた基礎実験では、骨表面に貼付した各歪ゲージで荷重に伴い圧縮方向の歪が生じ、2.5N加重では荷重部近傍で約-80 micro strainの主歪が検出された。ET計測では、2.5N荷重にて0.0741度の変形角が検出された。検出されたET変形角と歪量を5Nごとにプロットし両者の関

係を調べたところ歪計測と ET 計測ではいずれも相関係数 0.998 以上と非常に強い相関を示した。

臨床測定である骨折症例測定では全症例において測定可能であり、荷重に伴う疼痛を含め測定に伴う如何なる合併症は認められなかった。測定に要した平均所要時間は 17 分であった。また、測定再現性は標準偏差 0.011 度で %CV では 3 %であった。

治癒型と考えられた保存・内固定症例における ET 変形角の経時変化をグラフ化した。これらでは ET 変形角は指数関数的な減少がみられた。

一方、遷延治癒、骨癒合不全型と考えられた症例では変形角度の急激な減少が見られず治癒型とは異なる経過が見られた。(図 2)

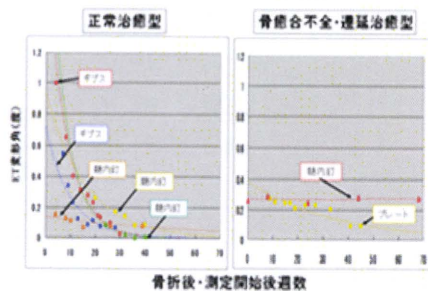


図 2 骨折症例の測定経時変化

小型プローブの改良においては術中用の小型プローブ (UST-536、ALOKA, 東京) を改良することにより長軸 31mm の B 画像表示可能なプローブの開発に成功した。これにより脛骨長 300 mm の症例では理論上 208 mm が測定可能な範囲となる。また、これを用い ET 波形の取得を行った所、脛骨偽関節により遠位端が狭小化している症例と、骨幹端部の骨折に対するイリザロフ創外固定器症例において、鮮明な皮質骨表面の B 画

像と ET 測定に十分な振幅を持つ波形取得が可能であった。

D. 考察

模擬脛骨を用いた基礎実験では、25 N の荷重により荷重部近傍では約 -80 micro strain と小さな歪を検出可能であったが、先行研究においては生体脛骨の前内側面に歪みゲージを貼付し、歩行させた際に生じる歪み量は約 -400 micro strain であるとしている。ET 角と歪量には強い相関みられたことより ET 計測は日常生活動作レベルの歪を高精度に検出可能であるといえる。

また、実際の骨折症例における測定においても、手術療法・保存療法いずれも、非侵襲に骨折部の剛性を定量評価可能であり、これらのデータから ET 測定が臨床において脛骨の剛性を取得可能であったことは明らかである。

ET 法は、荷重負荷に対する動的な体内の骨の歪を非侵襲に計測するという画期的な方法であり、これは骨の力学特性を非侵襲に実測出来たということでありその意義は大きい。

E. 結論

臨床測定に際し、適切な荷重量と測定された変形量が有用であるかを確かめるため模擬脛骨を用い歪ゲージとの相関を評価した。その結果、本測定が健常脛骨に対し微小な荷重量である 25N において日常生活レベルで生じる歪みを評価可能であった。

また、実際の骨折症例においても、骨の微小変形を高精度に検出が可能で、骨癒合

過程において正常治癒、遷延および癒合不全を判定可能な計測法であるといえる。

以上より ET 法を用いた診断装置により骨強度・骨折のリスクを非侵襲且つ高精度に定量評価できる可能性が示された。

げ試験による実測値の比較 - , 第 14 回 超音波骨折治療研究会 2011 年 p28

F.研究発表

1.論文発表

Bessho M, Ohnishi I, Matsumoto T, Ohashi S, Matsuyama J, Tobita K, Kaneko M, Nakamura K. Prediction of proximal femur strength using a CT-based nonlinear finite element method: differences in predicted fracture load and site with changing load and boundary conditions. Bone. 2009 (2):226-31.

松本卓也、大西五三男、別所雅彦、金子雅子、大橋暁、飛田健治、中村耕三、CT/有限要素法を用いた脊椎椎体の日常生活における骨強度評価 □骨粗鬆症治療効果判定への応用□ SERM: Selective Estrogen Receptor Modulator7 号 Page88-89, 2009

2.学会発表

大橋暁、大西五三男、松本卓也、別所雅彦、飛田健治、松山順太郎、中村耕三、CT・CAD/有限要素法解析を用いた創外固定ピン応力の検討 非対称ピンプロファイルはピンと骨の界面における応力集中を軽減する、日本整形外科学会雑誌(0021-5325)82 巻 3 号 Page S518 (2008)

飛田健治、大西五三男、松本卓也、別所雅彦、金子雅子、中村耕三、低出力超音波パルス治療の骨癒合強度に対する効果 - マイクロ CT を用いた仮骨強度予測と点曲

II 研究成果の刊行に関する一覧表

研究成果の刊行に関する一覧表

【H20. 4. 1～H23. 3. 31】

書籍

著者氏名	論文タイトル名	書籍全体の編集者名	書籍名	出版社名	出版地	出版年	ページ
大西五三男	創外固定の原理と応用 基礎から新しい臨床展開まで】創外固定の原理(基礎) 創外固定法の基礎	四宮謙一	別冊整形外科	南江堂	東京	2009	13-18 (55号)
大西五三男、松山順太郎	【骨折とその治療機転】超音波エコートラックキング法を用いた骨癒合判定法	森 諭史	Clinical Calcium	医薬ジャーナル社	東京	2009	682-690 (19巻5号)
大西五三男	骨粗鬆症の薬物療法 薬効評価と臨床研究の進歩】薬物療法総論 薬物治療の薬効評価と意義 定量的CTを用いた有限要素法による骨強度評価と薬剤効果判定		日本臨床	日本臨床社	大阪	2009	932-937 (67巻5号)

雑誌

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
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 Medical Biol	34	775-83	2008
Bessho, M.; Ohnishi, I.; Matsumoto, T.; Ohashi, S.; Tobita, K.; Matsuyama, J.; Nakamura, K.	Prediction of strength and fracture location of the proximal femur by a CT-based nonlinear finite element method - Effect of load direction on hip fracture load and fracture site -	9th EFORT congress, Transactions	9	P91	2008

別所雅彦、大西五三男、松本卓也、大橋暁、飛田健治、松山順太郎、中村耕三	CT画像を用いた有限要素法非線形解析による大腿骨近位部の骨強度評価 荷重・拘束条件の相違による予測骨強度の相違について	日本整形外科学会雑誌	82巻3号	S518	2008
大橋暁、大西五三男、松本卓也、別所雅彦、飛田健治、松山順太郎、中村耕三	CT・CAD/有限要素法解析を用いた創外固定ピン応力の検討 非対称ピンプロファイルはピンと骨の界面における応力集中を軽減する	日本整形外科学会雑誌	82巻3号	S518	2008
金子雅子、大西五三男、別所雅彦、松本卓也、中村耕三	CT有限要素法による大腿骨近位部の骨強度評価—骨強度基準値作成に関する予備的研究—	Osteoporosis Japan	Vol.16 Suppl .1	142	2008
今井一博、大西五三男、山本精三、中村耕三	CT/有限要素法による脊椎椎体骨折リスクおよびアレンドロネート効果の評価	Osteoporosis Japan	Vol.16 Suppl .1	144	2008
別所雅彦、大西五三男、松本卓也、金子雅子、大橋暁、飛田健治、中村耕三	CT/有限要素法による骨強度評価について—大腿骨近位部の薬剤効果判定への応用に関する予備的研究—	Osteoporosis Japan	Vol.16 Suppl .1	145	2008
松本卓也、大西五三男、別所雅彦、大橋暁、飛田健治、金子雅子、中村耕三	CT/有限要素法による脊椎椎体の強度解析—日常生活における骨強度評価への応用—	Osteoporosis Japan	Vol.16 Suppl .1	p143	2008
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、	コンピュータ外科学会誌	Vol. 10, No. 3	253-4	2008
S. Joung, K. Kamon, H. Liao, J. Iwaki, T. Nakazawa, M. Mitsuishi, Y. Nakajima, T. Koyama, N. Sugano, Y. Maeda, M. Besho, A. Ohashi, T. Matsumoto, I. Onishi, I. Sakuma	A robot assisted hip fracture reduction with a navigation system	LECTURE NOTES IN COMPUTER SCIENCE (MEDICAL IMAGE COMPUTING AND COMPUTER-ASSISTED INTERVENTION - MICCAI 2008)	5242	501-508	2008

Masahiko Bessho; ; Isao Ohnishi; Takuya Matsumoto ; Satoru Ohashi; Masako Kaneko; Kenji Tobita; Ko zo Nakamura;	Predicting strengths of the femur and vert ebra in patients with postmenopausal osteo porosis by a CT based finite element metho d - The predicted fra cture load of the pro ximal femur is correl ated with that of the lumber vertebra	Transactions 55th Annual M eeting of the Orthopaedic Research Soci ety	55	637	2009
別所雅彦(東京大 学 医学部整形外 科), 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	SERM: Selecti ve Estrogen R eceptor Modul ator	6号	56-57	2008
松本卓也(東京大 学 医学部整形外 科)、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-	SERM: Selecti ve Estrogen R eceptor Modul ator	6号	58-59	2008
別所 雅彦、大西 五三男、松本卓 也、大橋暁、飛田 健治、金子雅子、 中村耕三	CT/有限要素法を用いた 新鮮死体大腿骨標本の 予測骨折部位の検証	コンピュータ 外科学会紙	Vol 10 No. 3	371-372	2008
鄭常賢、加門大 和、廖洪恩、光石 衛、中島義和、小 山毅、菅野伸彦、 前田ゆき、別所雅 彦、大橋暁、松本 卓也、岩城純一 郎、中沢東治、大 西五三男、中村耕 三、佐久間一郎、	直達式骨折整復を支援す る骨折整復システムの開 発	先端医療開発 研究シンポジウ ム講演抄録集		51	2008
加門大和、鄭常 賢、廖洪恩、小林 英津子、光石衛、 中島義和、小山 毅、菅野伸彦、前 田ゆき、別所雅彦、 大橋暁、岩城純一 郎、中澤東治、大 西五三男、佐久間 一郎	直達式骨折整復支援装 置を用いた整復動作に関 する研究	第6回生活支 援工学系学会 連合大会講演 予稿集		77	2008

Bessho M, Ohnishi I, Matsumoto T, Ohashi S, Matsuyama J, Tobitaka K, Kaneko M, Nakamura K.	Prediction of proximal femur strength using a CT-based nonlinear finite element method: differences in predicted fracture load and site with changing load and boundary conditions	Bone	45	226-231	2009
Matsumoto T, Ohnishi I, Bessho M, Imai K, Ohashi S, Nakamura K	Prediction of vertebral strength under loading conditions occurring in activities of daily living using a computed tomography-based nonlinear finite element method	Spine	34(14)	1464-1469	2009
飛田健治、大西五三男、松本卓也、大橋暁、別所雅彦、金子雅子、中村耕三	創外固定を用いたウサギ脛骨骨切モデルにおける低出力超音波パルスの効果 -マイクロCTを用いた3次元的Bone Strength Indices評価-	日本創外固定・骨延長学会雑誌	21巻	78	2010
大橋暁、大西五三男、松本卓也、別所雅彦、飛田健治、金子雅子、岡崎祐司、佐藤和強、松山順太郎、中村耕三	CT/有限要素法を用いた創外固定除去後骨欠損例の経時的骨強度予測	日本創外固定・骨延長学会雑誌	21巻	81	2010
松本卓也、大西五三男、別所雅彦、金子雅子、大橋暁、飛田健治、中村耕三	CT/有限要素法を用いた脊椎椎体の日常生活における骨強度評価 □骨粗鬆症治療効果判定への応用□	SERM: Selective Estrogen Receptor Modulator	7号	88-89	2009
別所雅彦、大西五三男、金子雅子、松本卓也、大橋暁、飛田健治、中村耕三	塩酸ラロキシフェン2年内服患者における大腿骨近位部の骨強度変化-CT/有限要素法による薬剤効果判定への応用-	SERM: Selective Estrogen Receptor Modulator	7号	90-91	2009
別所雅彦、大西五三男、松本卓也、金子雅子、大橋暁、飛田健治、中村耕三	CT/有限要素法による大腿骨近位部の骨強度評価-検者内・検者間解析信頼性、解析再現性について-	Osteoporosis Japan	17巻増刊1号	200	2009
金子雅子、大西五三男、別所雅彦、松本卓也、大橋暁、飛田健治、中村耕三、林直人	CT有限要素法による大腿骨近位部の骨強度評価-年齢別骨強度値の作成と骨強度に影響する因子の解析	Osteoporosis Japan	17巻増刊1号	200	2009

松本卓也、大西五三男、別所雅彦、金子雅子、大橋暁、飛田健治、中村耕三、	CT/ 有限要素法を用いた脊椎椎体の日常生活における骨強度評価-骨粗鬆症治療効果判定への応用-	Osteoporosis Japan	17巻増刊1号	202	2009
石原良太、池邊賢治、鄭常賢、小林英津子、廖洪恩、清徳則雄、落合正志、大西五三男、佐久間一郎	Universal-Bar-Link 創外固定器の位置姿勢誘導システムの開発	日本コンピュータ外科学会誌	11巻3号	186-187	2009
林成煥、道家健仁、小野木真哉、中島義和、光石衛、佐久間一郎、別所雅彦、大西五三男、中村耕三	経皮的穿刺のためのレーザによる位置・姿勢呈示	日本コンピュータ外科学会誌	11巻3号	380-1	2009
林成煥、道家健仁、小野木真哉、中島義和、光石衛、佐久間一郎、別所雅彦、大西五三男、中村耕三	レーザを用いた創外固定器の設置支援に関する検討	日本コンピュータ外科学会誌	11巻3号	376-7	2009
斎藤季、成田拓也、中島義和、橋詰博行、小野木真哉、杉田直彦、藏本孝一、中島義雄、光石衛	統計形状モデルを用いた骨折骨の位置姿勢および形状の推定	日本コンピュータ外科学会誌	11巻3号	184-5	2009
飛田健治、大西五三男、松本卓也、大橋暁、別所雅彦、金子雅子、松山順太郎、中村耕三	μ CT 解析ソフトを用いた 3 次元慣性モーメントによる仮骨強度評価	日本コンピュータ外科学会誌	11巻3号	302-303	2009
別所雅彦、大西五三男、松本卓也、金子雅子、大橋暁、飛田健治、中村耕三	CT/有限要素法による非線形解析を用いた大腿骨近位部の強度評価 -荷重・拘束条件の相違による予測骨強度・部位の相違について-	日本コンピュータ外科学会誌	11巻3号	318-319	2009
松本卓也、大西五三男、別所雅彦、大橋暁、金子雅子、飛田健治、中村耕三	CT・CAD/有限要素法解析を用いた Lag screw 刺入高位による大腿骨頸部の応力・ひずみの検討	日本コンピュータ外科学会誌	11巻3号	320-321	2009

大橋暁、大西五三男、松本卓也、別所雅彦、金子雅子、飛田健治、松山順太郎、岡崎裕司、佐藤和強、中村耕三	CT/有限要素法解析を用いた創外固定抜去後骨欠損例の経時的骨強度予測	日本コンピュータ外科学会誌	11巻3号	402-403	2009
石橋英明、大西五三男、松本卓也、別所雅彦、中村耕三	CT/有限要素法解析による腰椎椎体骨強度に対するラロキシフェンの効果	日本整形外科学会雑誌	83巻2号	S180	2009
別所雅彦、大西五三男、松本卓也、大橋暁、金子雅子、飛田健治、松山順太郎、中村耕三	CT非線形有限要素法を用いた大腿骨近位部と腰椎の骨強度評価について	日本整形外科学会雑誌	83巻2号	S181	2009
今井一博、大西五三男、山本精三、中村耕三	骨強度評価法を用いた閉経後女性における椎体骨折リスクおよびアレンドロネート効果の評価	日本整形外科学会雑誌	83巻2号	S181	2009
金子雅子、大西五三男、別所雅彦、松本卓也、大橋暁、飛田健治、中村耕三、林直人	CT有限要素法による大腿骨近位部の骨強度評価 骨強度基準値作成に関する予備的研究	日本整形外科学会雑誌	83巻2号	S182	2009
大橋暁、大西五三男、松本卓也、飛田健治、別所雅彦、松山順太郎、金子雅子、中村耕三	Universal-Bar-Link創外固定器を用いた変形矯正における固定器設置位置・角度の誤差許容範囲の検討	日本整形外科学会雑誌	83巻3号	S574	2009
大西五三男、別所雅彦、松本卓也、金子雅子、中村耕三	高齢者の骨脆弱性骨折の予防 定量的CTを用いた有限要素法による大腿骨近位部の力学特性・強度の評価	日本整形外科学会雑誌	83巻3号	S672	2009
飛田健治、大西五三男、松本卓也、大橋暁、別所雅彦、松山順太郎、金子雅子、中村耕三	低出力超音波パルス治療の骨癒合リモデリング期に対する効果 マイクロCTを用いた仮骨の髓腔化・皮質骨化の定量評価	日本整形外科学会雑誌	83巻8号	S1239	2009
今井一博、大西五三男、山本精三、中村耕三	CT/有限要素法による椎体骨折リスクおよびアレンドロネート効果の評価	Osteoporosis Japan	17巻2号	226-229	2009

Isao Ohnishi, Masahiko Bessho, Takuya Matsumoto, Masako Kaneko, Satoru Ohashi, Kazuhiro Imai, and Kozo Nakamura	Evaluation of Bone Strength Using Quantitative Computed Tomography Based Finite Element Method - Clinical Application for the Diagnosis of Osteoporosis -	The 3rd VIMS Conference/Workshop	November	15-16(006)	2009
KANEKO, MASA KO; Ohnishi, Isao; Bessho, Masahiko; Matsumoto, Takuya; Ohashi, Satoru; Tobita, Kenji; Nakamura, Kozo	Prediction of proximal femur strength by a quantitative computed tomography-based finite element method -Creation of predicted strength data of the proximal femur according to age range in a normal population and analysis of risk factors for hip fracture-	Transactions of 56th Annual Meeting of the Orthopaedic Research Society	35	0596	2010
Bessho, Masahiko; Ohnishi, Isao; Matsumoto, Takuya; KANEKO, MASA KO; Ohashi, Satoru; Tobita, Kenji; Nakamura, Kozo	Strength index by quantitative computed tomographybased finite element method offers higher discriminatory power for hip fracture than areal bone mineral density of the femoral neck	Transactions of 56th Annual Meeting of the Orthopaedic Research Society	35	0604	2010
Matsumoto, Takuya; Ohnishi, Isao; Bessho, Masahiko; Ohashi, Satoru; KANEKO, MASA KO; Tobita, Kenji; Nakamura, Kozo	Prediction of Vertebral Strength Under Loading Conditions of Daily Life Using a CT-Based Finite Element Method	Transactions of 56th Annual Meeting of the Orthopaedic Research Society	35	0656	2010
Tobita, Kenji; Ohnishi, Isao; Matsumoto, Takuya; Ohashi, Satoru; Bessho, Masahiko; KANEKO, MASA KO	- Effect of low-intensity pulsed ultrasound stimulation on gap healing in a rabbit osteotomy model evaluated by micro computed tomography-based 3-dimensional cross-sectional moment and cross-sectional moment of inertia	Transactions of 56th Annual Meeting of the Orthopaedic Research Society	35	0695	2010