

2) 我々が採用した楕円柱モデルによるセグメンテーションはこれまでに報告されている方法よりも正確に椎体や脊柱管を抽出できる可能性が示唆された (図1)。

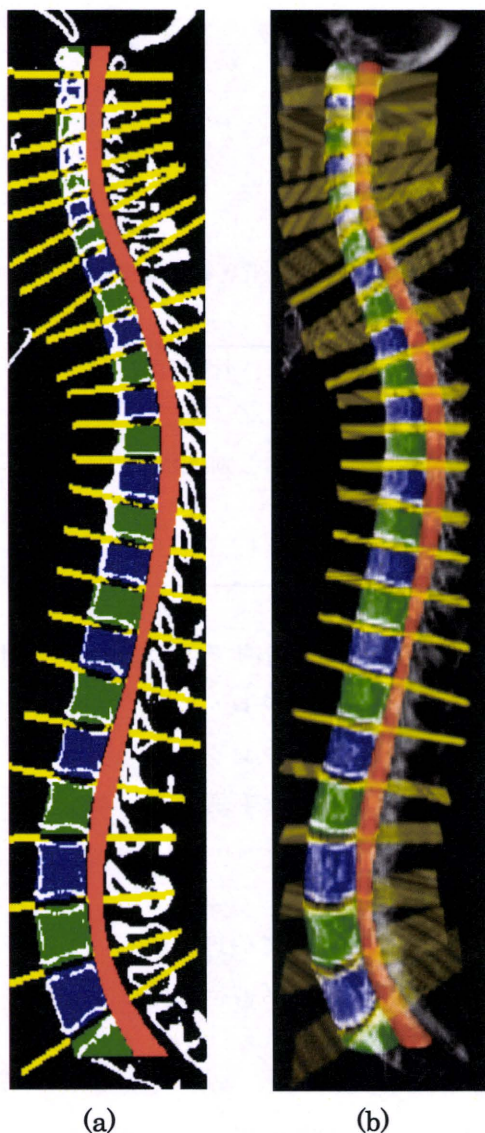


図1. Segmentation result. The vertebral column is displayed as green and blue stripe. The orange column represents the spinal canal. Each yellow plane includes an intervertebral disk. (a) a sagittal multiplanar image. (b) volume rendering.

腰椎分析用の高解像度データからは、L2椎体を自動抽出するプログラムが開発できた (図2、3)。

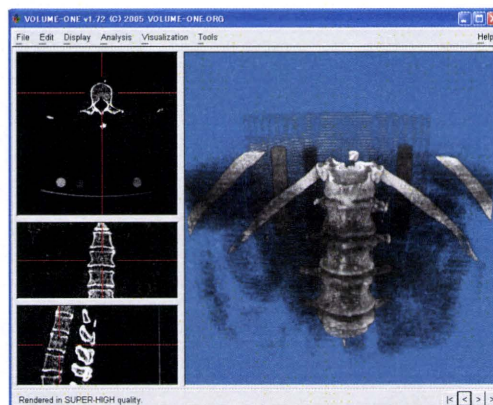


図2. 椎体抽出前

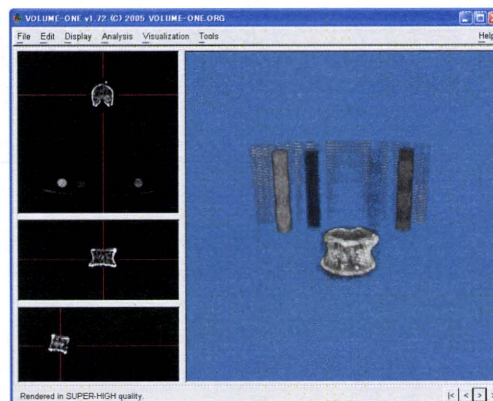


図3. L2椎体と骨量ファントムの抽出後

これらのプログラム単独では実際の臨床現場で利用することは困難であるために、これらのプログラムやその他の画像診断支援などの画像解析用のプログラムを実行するための共通プラットフォームをウェブベースにて開発し、実際に臨床現場にて試験運用を開始した (図4)。

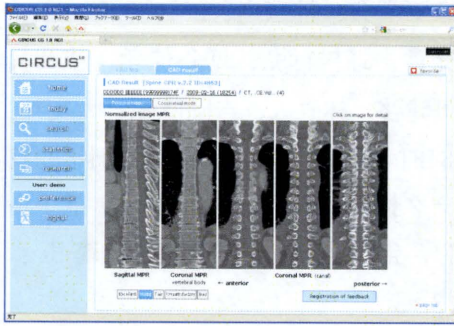


図4. ウェブベース共通プラットフォーム
さまざまな画像解析用プログラムを同じ画
面上で実行することができる。

D. 研究発表

1. 論文発表

• Hanaoka S, Nomura Y, Nemoto M, Masutani Y, Maeda E, Yoshikawa T, Hayashi N, Yoshioka N, Ohtomo K. Automated segmentation method for spinal column based on a dual elliptic column model and its application for virtual spinal straightening. J Comput Assist Tomogr 2010, 34(1): 156-162.

• Nomura Y, Hayashi N, Masutani Y, Yoshikawa T, Nemoto M, Hanaoka S, Miki S, Maeda E, Ohtomo K. CIRCUS: an MDA Platform for Clinical Image Analysis in Hospitals. Transactions on Mass-Data Analysis of Images and Signals Vol. 2, No. 1 (2010) 112-127.

2. 学会発表

• 日本医用画像工学会第 27 回大会 (2008 年)「側彎に対応した全脊椎の自動 CT セグメンテーション」花岡昇平(東京大学 大学院医学系研究科生体物理医学専攻), 野村行弘, 根本充貴, 増谷佳孝, 前田恵理子, 吉川健啓, 林直人, 吉岡直紀, 大友邦

• Computer Assisted Radiology and Surgery (CARS) (2008)” Automated segmentation method for spinal column based on parametric model and its application for curved MPR display.”

S. Hanaoka, Y. Masutani, Y. Nomura, M. Nemoto, N. Yoshioka, E. Maeda, T. Yoshikawa, N. Hayashi, K. Ohtomo.

• 花岡昇平、野村行弘、根本充貴、増谷佳孝、前田恵理子、吉川健啓、林直人、吉岡直紀、大友邦. 側湾症、多発性骨転移に対応した全脊椎の自動セグメンテーションおよび CPR 作成. 第 68 回日本医学放射線学会総会、横浜、2009.4.16-19.

• 野村行弘、林直人、増谷佳孝、吉川健啓、根本充貴、花岡昇平、前田恵理子、大友邦. CAD ソフトウェアの臨床応用を目的とした Web ベースの CAD 実行環境構築. 電子情報通信学会医用画像研究会、東京、2009.7.15.

• 花岡昇平、野村行弘、根本充貴、増谷佳孝、前田恵理子、吉川健啓、林直人、吉岡直紀、大友邦. 一般化円筒モデルに基づく脊椎椎体の海綿骨、皮質骨の分離と標準化骨濃度マップの作成. 電子情報通信学会医用画像研究会、東京、2009.7.15.

• 花岡昇平、野村行弘、根本充貴、増谷佳孝、前田恵理子、吉川健啓、林直人、吉岡直紀、大友邦. 体幹部 CT 画像における椎体骨転移のコンピュータ支援画像診断の初期的検討. 第 28 回医用画像工学会大会、名古屋、2009.8.4-5.

• Nomura Y, Hayashi N, Masutani Y, Yoshikawa T, Nemoto M, Hanaoka S, Maeda E, Ohtomo K. An integrated platform for development and clinical use of CAD software: building and utilization in the clinical

environment. CARS 2009 (23rd International Congress and Exhibition of Computer Assisted Radiology and Surgery), Berlin, Germany, June 23-27, 2009.

・Nomura Y, Hayashi N, Masutani Y, Yoshikawa T, Nemoto M, Ohtomo K, Hanaoka S, Maeda E. An integrated platform for clinical use of CAD software and feedback. RSNA 2009 (95th Scientific Assembly and Annual Meeting of Radiological Society of North America), Chicago, USA, November 29-December 4, 2009.

・野村行弘, 林直人, 増谷佳孝, 吉川健啓, 根本充貴, 花岡昇平, 前田恵理子, 大友邦. 臨床における統合的 CAD 開発環境の構築 (第三報) 第 69 回日本医学放射線学会学術集会、横浜 2010. 4. 8-11.

・野村行弘, 林直人, 増谷佳孝, 吉川健啓, 根本充貴, 花岡昇平, 三木聡一郎, 前田恵理子, 大友邦. CAD ソフトウェアの臨床応用/評価/追加学習を目的とした Web ベースの CAD 実行環境—処理結果およびフィードバックに基づく解析機能の実装—第 29 回日本医用画像工学会、神奈川、2010. 7. 30-31.

・野村行弘, 林直人, 増谷佳孝, 吉川健啓, 根本充貴, 花岡昇平, 三木聡一郎, 前田恵理子, 大友邦. CAD ソフトウェアの臨床応用/評価/追加学習を目的とした Web ベースの CAD 実行環境—フィードバックに基づく追加学習に関する初期検討—電子情報通信学会医用画像研究会、埼玉、2010. 9. 3.

・根本充貴, 野村行弘, 花岡昇平, 増谷佳孝, 吉川健啓, 林直人, 吉岡直紀, 大友邦. 体幹部 CT 像上の解剖学的ランドマーク自動検出法に関する初期検討. 第 29 回日本

医用画像工学会、神奈川、2010. 7. 30-31.

・根本充貴, 野村行弘, 増谷佳孝, 花岡昇平, 吉川健啓, 林直人, 吉岡直紀, 大友邦. 3次元 SIFT を用いた CT 像中の解剖学的ランドマーク検出処理の実験的検討. 電子情報通信学会医用画像研究会、埼玉、2010. 9. 3.

・根本充貴, 花岡昇平, 増谷佳孝, 野村行弘, 吉川健啓, 林直人, 吉岡直紀, 大友邦. 多数のランドマーク位置候補検出結果からの最適組み合わせ検索アルゴリズム<第 2 報>—撮像範囲未知画像から得られる候補点の最適組み合わせ探索に関する検討—電子情報通信学会医用画像研究会、京都、2010. 11. 15.

・花岡昇平, 増谷佳孝, 野村行弘, 根本充貴, 前田恵理子, 吉川健啓, 林直人, 吉岡直紀, 大友邦. 多数のランドマーク位置候補検出結果からの最適組み合わせ検索アルゴリズム. 電子情報通信学会医用画像研究会、埼玉、2010. 9. 3.

・三木聡一郎, 野村行弘, 林直人, 増谷佳孝, 吉川健啓, 根本充貴, 花岡昇平, 前田恵理子, 大友邦. CIRCUS CS: フィードバック機能を備えた Web ベース臨床 CAD プラットフォーム. J-RISM 2010、埼玉、2010. 9. 4.

・Hanaoka S, Masutani Y, Nomura Y, Nemoto M, Maeda E, Yoshikawa T, Hayashi N, Yoshioka N, and Ohtomo K. Vertebral body segmentation algorithm for whole spine CT images with various pathological changes. 24th International Congress and Exhibition of Computer Assisted Radiology and Surgery (CARS 2010), Geneva, Switzerland, June 23-26, 2010.

・Hanaoka S, Masutani Y, Nomura Y, Nemoto

M, Maeda E, Yoshikawa T, Hayashi N, Yoshioka N, and Ohtomo K. Vertebral body segmentation algorithm for whole spine CT images with various pathological changes. 24th International Congress and Exhibition of Computer Assisted Radiology and Surgery (CARS 2010), Geneva, Switzerland, June 23-26, 2010.

• Nemoto M, Nomura Y, Hanaoka S, Masutani Y, Yoshikawa T, Hayashi N, Yoshioka N, and Ohtomo K. Preliminary study on appearance-based detection of anatomical point landmarks in body trunk CT Images. International Workshop on Machine Learning in Medical Imaging (MLMI 2010), Beijing, China, September 20, 2010.

• Nomura Y, Hayashi N, Masutani Y, Yoshikawa T, Nemoto M, Hanaoka S, Miki S, Maeda E and Ohtomo K. CIRCUS: a MDA platform for clinical image analysis in hospitals. 5th International Conference on Mass Data Analysis of Images and Signals in Medicine, Biotechnology, Chemistry and Food Industry (MDA 2010), Berlin, Germany, July 12-13, 2010.

E. 知的財産権の出願・登録状況

• なし

研究発表

1. 論文発表

- Hanaoka S, Nomura Y, Nemoto M, Masutani Y, Maeda E, Yoshikawa T, Hayashi N, Yoshioka N, Ohtomo K. Automated segmentation method for spinal column based on a dual elliptic column model and its application for virtual spinal straightening. J Comput Assist Tomogr 2010, 34(1): 156-162.
- Nomura Y, Hayashi N, Masutani Y, Yoshikawa T, Nemoto M, Hanaoka S, Miki S, Maeda E, Ohtomo K. CIRCUS: an MDA Platform for Clinical Image Analysis in Hospitals. Transactions on Mass-Data Analysis of Images and Signals Vol. 2, No. 1 (2010) 112-127.

2. 学会発表

- 日本医用画像工学会第 27 回大会 (2008 年)「側彎に対応した全脊椎の自動 CT セグメンテーション」花岡昇平(東京大学 大学院医学系研究科生体物理医学専攻), 野村行弘, 根本充貴, 増谷佳孝, 前田恵理子, 吉川健啓, 林直人, 吉岡直紀, 大友邦
- Computer Assisted Radiology and Surgery (CARS) (2008)” Automated segmentation method for spinal column based on parametric model and its application for curved MPR display.” S. Hanaoka, Y. Masutani, Y. Nomura, M. Nemoto, N. Yoshioka, E. Maeda, T. Yoshikawa, N. Hayashi, K. Ohtomo.
- 花岡昇平, 野村行弘, 根本充貴, 増谷佳孝, 前田恵理子, 吉川健啓, 林直人, 吉岡直紀, 大友邦. 側湾症、多発性骨転移に対応した全

脊椎の自動セグメンテーションおよび CPR 作成. 第 68 回日本医学放射線学会総会、横浜、2009.4.16-19.

- 野村行弘, 林直人, 増谷佳孝, 吉川健啓, 根本充貴, 花岡昇平, 前田恵理子, 大友邦. CAD ソフトウェアの臨床応用を目的とした Web ベースの CAD 実行環境構築. 電子情報通信学会医用画像研究会、東京、2009.7.15.
- 花岡昇平, 野村行弘, 根本充貴, 増谷佳孝, 前田恵理子, 吉川健啓, 林直人, 吉岡直紀, 大友邦. 一般化円筒モデルに基づく脊椎椎体の海綿骨、皮質骨の分離と標準化骨濃度マップの作成. 電子情報通信学会医用画像研究会、東京、2009.7.15.

- 花岡昇平, 野村行弘, 根本充貴, 増谷佳孝, 前田恵理子, 吉川健啓, 林直人, 吉岡直紀, 大友邦. 体幹部 CT 画像における椎体骨転移のコンピュータ支援画像診断の初期的検討. 第 28 回医用画像工学会大会、名古屋、2009.8.4-5.

- Nomura Y, Hayashi N, Masutani Y, Yoshikawa T, Nemoto M, Hanaoka S, Maeda E, Ohtomo K. An integrated platform for development and clinical use of CAD software: building and utilization in the clinical environment. CARS 2009 (23rd International Congress and Exhibition of Computer Assisted Radiology and Surgery), Berlin, Germany, June 23-27, 2009.

- Nomura Y, Hayashi N, Masutani Y, Yoshikawa T, Nemoto M, Ohtomo K, Hanaoka S, Maeda E. An integrated platform for clinical use of CAD software and feedback. RSNA 2009 (95th Scientific Assembly and Annual Meeting of Radiological Society of North America), Chicago, USA, November 29-December 4,

2009.

・野村行弘, 林直人, 増谷佳孝, 吉川健啓, 根本充貴, 花岡昇平, 前田恵理子, 大友邦. 臨床における統合的 CAD 開発環境の構築 (第三報) 第 69 回日本医学放射線学会学術集会、横浜 2010. 4. 8-11.

・野村行弘, 林直人, 増谷佳孝, 吉川健啓, 根本充貴, 花岡昇平, 三木聡一郎, 前田恵理子, 大友邦. CAD ソフトウェアの臨床応用/評価/追加学習を目的とした Web ベースの CAD 実行環境—処理結果およびフィードバックに基づく解析機能の実装—第 29 回日本医用画像工学会、神奈川、2010. 7. 30-31.

・野村行弘, 林直人, 増谷佳孝, 吉川健啓, 根本充貴, 花岡昇平, 三木聡一郎, 前田恵理子, 大友邦. CAD ソフトウェアの臨床応用/評価/追加学習を目的とした Web ベースの CAD 実行環境—フィードバックに基づく追加学習に関する初期検討—電子情報通信学会医用画像研究会、埼玉、2010. 9. 3.

・根本充貴, 野村行弘, 花岡昇平, 増谷佳孝, 吉川健啓, 林直人, 吉岡直紀, 大友邦. 体幹部 CT 像上の解剖学的ランドマーク自動検出法に関する初期検討. 第 29 回日本医用画像工学会、神奈川、2010. 7. 30-31.

・根本充貴, 野村行弘, 増谷佳孝, 花岡昇平, 吉川健啓, 林直人, 吉岡直紀, 大友邦. 3 次元 SIFT を用いた CT 像中の解剖学的ランドマーク検出処理の実験的検討. 電子情報通信学会医用画像研究会、埼玉、2010. 9. 3.

・根本充貴, 花岡昇平, 増谷佳孝, 野村行弘, 吉川健啓, 林直人, 吉岡直紀, 大友邦. 多数のランドマーク位置候補検出結果からの最適組み合わせ検索アルゴリズム<第 2

報>~撮像範囲未知画像から得られる候補点の最適組み合わせ探索に関する検討~電子情報通信学会医用画像研究会、京都、2010. 11. 15.

・花岡昇平, 増谷佳孝, 野村行弘, 根本充貴, 前田恵理子, 吉川健啓, 林直人, 吉岡直紀, 大友邦. 多数のランドマーク位置候補検出結果からの最適組み合わせ検索アルゴリズム. 電子情報通信学会医用画像研究会、埼玉、2010. 9. 3.

・三木聡一郎, 野村行弘, 林直人, 増谷佳孝, 吉川健啓, 根本充貴, 花岡昇平, 前田恵理子, 大友邦. CIRCUS CS: フィードバック機能を備えた Web ベース臨床 CAD プラットフォーム. J-RISM 2010、埼玉、2010. 9. 4.

・Hanaoka S, Masutani Y, Nomura Y, Nemoto M, Maeda E, Yoshikawa T, Hayashi N, Yoshioka N, and Ohtomo K. Vertebral body segmentation algorithm for whole spine CT images with various pathological changes. 24th International Congress and Exhibition of Computer Assisted Radiology and Surgery (CARS 2010), Geneva, Switzerland, June 23-26, 2010.

・Hanaoka S, Masutani Y, Nomura Y, Nemoto M, Maeda E, Yoshikawa T, Hayashi N, Yoshioka N, and Ohtomo K. Vertebral body segmentation algorithm for whole spine CT images with various pathological changes. 24th International Congress and Exhibition of Computer Assisted Radiology and Surgery (CARS 2010), Geneva, Switzerland, June 23-26, 2010.

・Nemoto M, Nomura Y, Hanaoka S, Masutani Y, Yoshikawa T, Hayashi N, Yoshioka N, and Ohtomo K. Preliminary study on

appearance-based detection of anatomical point landmarks in body trunk CT Images. International Workshop on Machine Learning in Medical Imaging (MLMI 2010), Beijing, China, September 20, 2010.

• Nomura Y, Hayashi N, Masutani Y, Yoshikawa T, Nemoto M, Hanaoka S, Miki S, Maeda E and Ohtomo K. CIRCUS: a MDA platform for clinical image analysis in hospitals. 5th International Conference on Mass Data Analysis of Images and Signals in Medicine, Biotechnology, Chemistry and Food Industry (MDA 2010), Berlin, Germany, July 12-13, 2010.

F. 知的財産権の出願・登録状況

• なし

厚生労働科学研究費補助金（長寿科学総合研究事業）

分担研究年度終了報告書

定量的CTによる有限要素法を用いた健常若年成人の骨強度に関する研究

研究分担者 曾根照喜 川崎医科大学放射線医学(核医学)教授

研究要旨

健常若年男女を対象にCT有限要素法を用いた腰椎および大腿骨近位部の骨強度測定を実施し、体格指標、運動歴、DXAによる骨ジオメトリー解析の結果と比較した。骨強度と体格指標や運動歴との間には有意な関連がみられ、特に立位条件の大腿骨近位部強度と体重との間に高い相関を認めた。さらに、DXAによる骨強度指標とCT法による骨強度との間に有意な相関が認められ、DXAによる簡便法でも一定の骨強度評価が可能であることが示唆された。

研究分担者氏名・所属研究機関名及び所属研究機関における職名
(分担研究年度終了報告書の場合は、省略)

A. 研究目的

健常若年男女を対象にして、定量的CTによる有限要素法(CT/FEM)を実施し、基準値作成のためのデータを取得するとともに、その有用性の評価を行った。

B. 研究方法

健常若年者105人(男性44名、女性61名；平均21.8歳、19歳～33歳)に対して、CT/FEMを用いた骨強度測定と二重エネルギーX線吸収法(DXA)による大腿骨近位部のHip Structure Analysis(HSA)とを実施した。HSAはHologic社製Discoveryを用いて、頸部、転子間部、骨幹部の3部位の骨密度、断面積、外径、内径、皮質骨厚、断面係数、座屈比を求めた。
(倫理面への配慮)

研究は川崎医科大学の倫理委員会の承認を得て行った。

C. 研究結果

CT/FEMによる骨強度(CT-強度)は骨密度より体格指標との間に強い相関を示し、特に立位条件の大腿骨近位部強度と体重との間に高い相関を認めた。大腿骨と腰椎の何れも、CT-強度は運動歴との間にも正相関の傾向を示した。

HSA指標とCT-強度は、内径と座屈比の一部の組合せを除いて全て有意な相関を示した。HSA指標の中では、3部位の何

れも、断面係数あるいは断面積がCT-強度と最も高い相関を示し(0.65～0.86)、内径、外径、座屈比との相関は低い傾向がみられた。立位条件と転倒条件では、転倒条件のCT-強度の方がHSA指標と高い相関を示した。3部位の間では、骨幹部、転子間部、頸部の順に高い相関を示した。

体格指標や運動歴はDXAによる骨密度よりも、骨密度を加味した強度指標であるCT有限要素法の結果と強い関連を示しているものと思われた。また、HSA指標をCT-強度と比較した結果、大腿骨頸部の断面係数あるいは断面積がCT-強度と最も高い相関を示し、DXAによるHSAでも一定の骨強度評価が可能と思われた。

D. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

大成和寛、今井和美、曾根照喜、朱容仁、朴昇米、崔學鎮、友光達志、福永仁夫：Hip Structure AnalysisとCT有限要素法による骨強度の比較：健常若年者における検討. Osteoporosis Japan 18巻 増刊1号 page 191, 2010

E. 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

厚生労働科学研究費補助金（長寿科学総合研究事業）
分担研究年度終了報告書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に関する研究
（大腿骨近位部骨折患者の非骨折側の予測骨強度・部位の評価）

分担研究者 時村 文秋 東京都健康長寿医療センター 整形外科部長

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、本方法の有用性を検討することである。初年度は、2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、16例で解析を行った。最終年度では症例数は24例で、解析方法も工夫し解析を進めた。対象は、女性の大腿骨近位部骨折患者24名（平均84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12100N、転倒条件2、1000N、転倒条件3950N、転倒条件4710Nであった。また、予測骨折部位と実際の骨折型と関連性があった。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、CT画像における有限要素法による大腿骨近位部の強度評価は、臨床において有用であると示唆された。

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、

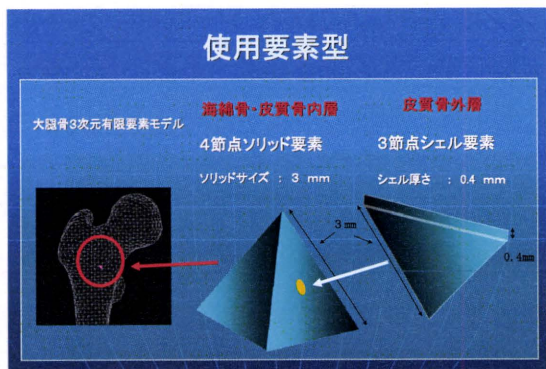
大腿骨転子部骨折を整復する際に近位骨片に対しどの程度の荷重が加わると大腿骨近位部(大腿骨頸部)にさらに破壊が発生するか危険度の評価が可能となり、骨折整復・固定の制御動作に対して有用な情報となる。本研究では、大腿骨転子部骨折の患者に対して非骨折側の定量的CT撮像を行い、定量的CT画像を用いた三次元骨強度解析モデルを作成し、解析の結果と、先行研究の強度試験の結果と比較することによって、

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 24 名(平均 84 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

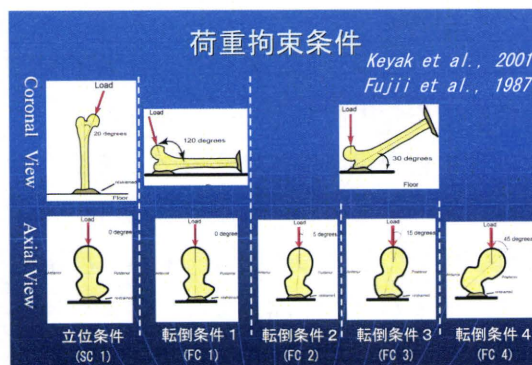
軸から γ 度、横断面において頸部軸から δ 度前方方向に傾斜した荷重をかけた。立位を模擬した条件 (γ 160 度 δ 0 度)(立位条件 (SC))、転倒を模擬した条件、転倒条件 1 (γ 120 度 δ 0 度(FC1))、転倒条件 2 (γ 60 度 δ 0 度(FC2))、転倒条件 3 (γ 60 度 δ 15 度(FC3))、転倒条件 4 (γ 60 度 δ 45 度(FC4))を設定した(図 3)。Newton-Raphson 法を用いた荷重増分法による非線形解析を行い、1 つのシェル要素の最大主応力とその要素の臨界応力を超える場合(クラック)、または、1 つのシェル要素の Drucker-Prager 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、Friedmann 法 Post hoc test に Sheffe 法を用い、Fisher の正確確率検定を行った。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

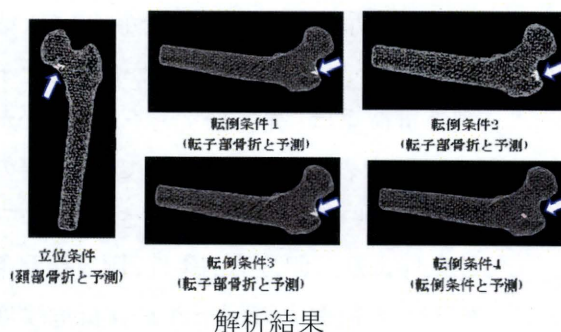
82 歳の大腿骨転子部骨折患者の解析例を提示する (図 3)。

予測骨折荷重は、立位条件 3150 N(標準偏差(SD) 560 N)、転倒条件 1 2100 N(SD 600 N)、転倒条件 2 1000 N(SD 230) 転倒条件 3 950 N(SD 200 N)、転倒条件 4 710 N(SD 180 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)

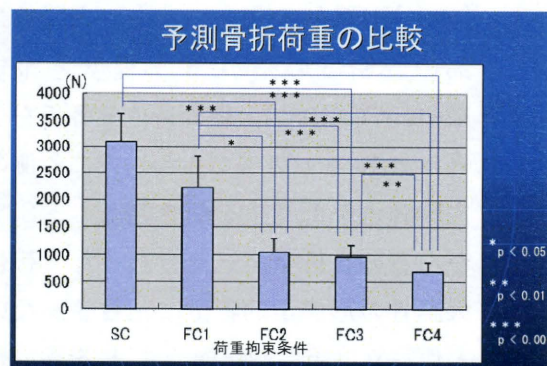


単純レントゲン



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 (11人)	11	0	9	2	0	11	0	11	0	11
転子部骨折患者 (13人)	13	0	2	11	0	13	0	13	0	13

S: sub-capital region . T: Trochanteric region

D. 考察

藤井ら(1987)の先行研究で、Singh 分類 II ~ III の骨粗鬆がある解剖用大腿骨を荷重方向を変えて各 2 検体ずつ計 6 検体行った結果報告していた。立位荷重は約 2400N、側方転倒条件では、約 1400 N、であった。立位条件、側方の順に強度は低下する傾向にあった。1 検体につき、ある 1 方向からの骨折荷重しか求めることができず、同一検体における各荷重方向に

における骨折荷重を求めることができないという限界があった。今回我々が解析した予測骨折荷重は、先行研究と矛盾はしなかった。また、骨折部位に関しても、実際の骨折に近い骨折型を表現できていた。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。また、各荷重・拘束条件間の予測骨折荷重の相関は有意であるが、相関性は低かった。大腿骨近位部の骨強度評価は、複数の荷重拘束条件から評価する必要があると示唆された。Hallら(1991)DEXAを用いて左右の大腿骨頸部の骨密度の差が5%程度と報告Bostonら(1982)大腿骨近位部骨折を受傷した患者の74%が1年以内に対側の大腿骨近位部骨折を引き起こし、83%が左右の骨折型が同一であったと報告大腿骨の形態学的特徴に左右差がないと仮定立位条件や転倒条件1を除いた転倒条件では、方向のみで骨折型が決定する可能性があった。転倒条件1では、個々の患者の形態的相違によって異なる骨折型が発生する可能性が示唆された。

E. 結論

大腿骨近位部骨折患者において、CT画像を用いた有限要素法解析により予測骨折荷重、部位の評価を行うことができた。

F. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

(発表誌名巻号・頁・発行年等も記入)

なし

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

厚生労働科学研究費補助金（長寿科学総合研究事業）
分担研究年度終了報告書

三次元有限要素法による大腿骨骨腫瘍患者の骨折予測に関する研究

研究分担者 井樋 栄二 東北大学整形外科教授

研究要旨

長管骨の溶骨性病変による病的骨折の危険性については、これまで X 線や CT 画像の retrospective な評価に基づいて予測を試みたものや、屍体骨を掘削して破断実験を行い骨強度の評価を行った報告がみられる。しかし、どの程度の荷重で骨折が起こるかを正確に予測できる指標は未だない。我々は大腿骨の CT データから作成した 3 次元モデルに仮想の欠損を作成し、長管骨の溶骨性病変をシミュレートした。欠損の大きさ、位置、荷重条件を変えて、3 次元有限要素法を用いた骨強度解析を行った。腫瘍による骨欠損が骨皮質を貫通すると、骨強度が大きく低下することが明らかになった。

A. 研究目的

3 次元有限要素法を用いて、溶骨性病変の局在と骨強度の関係を調べること

B. 研究方法

33 歳健常男性と 65 歳骨粗鬆症女性のボランティアを対象として大腿骨全長の CT を 1mm 厚で撮影した。モデルの作成、有限要素解析は Mechanical Finder（計算力学センター）で行った。骨幹部狭部に直径 0mm から 30mm までの様々な大きさの球状の欠損を作成し、前後方向の位置を 2mm ずつ変化させた。下肢の荷重軸に沿った軸圧荷重と骨幹部骨軸に対して垂直な回旋荷重の 2 条件の荷重をかけた。骨皮質が破壊され始める荷重を骨折荷重として計測した。また、球状欠損の中心を通る断面において皮質欠損率を測定した。さらに、欠損が骨内に局限していて骨皮質を貫通していないものを inner erosion、骨皮質を貫通しているものを cortical disruption、骨皮質の外表面だけにあり骨皮質を貫通していないものを outer erosion と定義して、それぞれの欠損型において皮質欠損率と骨折荷重の相関関

係を調べた。

（倫理面への配慮）

本研究は、東北大学倫理委員会の承認を得て行った。

C. 研究結果

3 つの欠損型を比較すると、健常男性の軸圧では皮質欠損率と骨折荷重の相関関係は cortical disruption で -0.92 と最も高かく、inner erosion、outer erosion ではそれぞれ -0.36、-0.11 と低い相関係数であった。回旋荷重では 3 つの欠損型いずれも -0.9 前後の高い相関係数であった。この関係は骨粗鬆症女性の軸圧荷重、回旋荷重ともに同様の傾向であった。

D. 健康危険情報

E. 研究発表

1. 論文発表
なし

F. 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

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	【骨折とその治癒機転】超音波エコートラッ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 薬物療法の薬効評価と意義 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	日本臨牀社	大阪	2009	932-937 (67巻5号)
遠藤直人	骨粗鬆症	金沢一郎 永井良三	今日の治療指針	医学書院	東京	2010	1476-1477
遠藤直人	圧迫骨折の予後	日本整形外科学会	ロコモティブシンドローム診療ガイド2010	文光堂	東京	2010	73-77
遠藤直人	骨粗鬆症の定義と概念	中村耕三 遠藤直人	整形外科臨床パサージュ4 骨粗鬆症のトータルマネジメント	中山書店	文光堂	2010	2-5
伊東昌子	構造特性と骨質	松本俊夫	骨粗鬆症のマネジメント	医薬ジャーナル社	大阪	2010	28-33
萩野 浩	骨粗鬆症, 脆弱性骨折の疫学	中村耕三, 遠藤直人	整形外科臨床パサージュ4, 骨粗鬆症のトータルマネジメント	中山書店	東京	2010	6-16
萩野 浩	高齢者の転倒の結果とその予後	武藤芳照	ここまでできる高齢者の転倒予防	(株)日本看護協会出版会	東京	2010	8-13
金憲経, 金美芝, 田中喜代次	虚弱高齢者の転倒予防を目的とした運動プログラム	田中喜代次, 牧田茂	中高年者の疾病予防・改善のための運動プログラム	NAP	東京	2010	86-95

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
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—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
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: Selective Estrogen Receptor Modulator	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: Selective Estrogen Receptor Modulator	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
K. Imai, I. Ohnishi, T. Matsumoto, S. Yamamoto, K. Nakamura.	Assessment of vertebral fracture risk and therapeutic effects of alendronate in postmenopausal women using a quantitative computed tomography-based nonlinear finite element method.	Osteoporosis Int	20	801-810	2009
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	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
Isao Ohnishi, Masahiko Bessho, Takuya Matsumoto, Masako Kaneko, Satoru Ohashi, Kazuhiro Imai, and Koza 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

Masahiko Bessho, Isao Ohnishi, Takuya Matsumoto, Satoru Ohashi, Kenji Tobita, Masako Kaneko, Juntaro Matsuyama, Kozo Nakamura	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	Transactions of 10th Congress of the European Federation of National Associations of Orthopaedics and Traumatology	10	P1841	2009
Satoru Ohashi, Isao Ohnishi, Takuya Matsumoto, Masahiko Bessho, Juntaro Matsuyama, Kenji Tobita, Masako Kaneko, Kozo Nakamura	Evaluation of Measurement Precision for Articular Cartilage Ultrasound Speed by Time of Flight Method	Transactions of 10th Congress of the European Federation of National Associations of Orthopaedics and Traumatology	10	P2006	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
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
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
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

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
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
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
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
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
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
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
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
Bessho, Masahiko; Ohnishi, Isao; Matsumoto, Takuya; KANEKO, MASAKO; 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, MASAKO; 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, MASAKO	- 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
Ohashi, Satoru; Ohnishi, Isao; Matsumoto, Takuya; Bessho, Masahiko; Matsuyama, Juntaro; Tobita, Kenji; KANEKO, MASAKO; Nakamura, Kozo	Evaluation of the Accuracy of Articular Cartilage Thickness Measurement by Conventional and Real-time Spatial Compound Ultrasonography	Transactions of 56th Annual Meeting of the Orthopaedic Research Society	35	1364	2010