

## 結論

今後、運動、薬物、啓蒙活動などの介入を行ったものに対し、骨折予防効果の前向き研究を進めていく。

## E. 研究発表

### 1.論文発表

なし

### 2.学会発表

なし

(発表誌名巻号・頁・発行年等も記入)

## F. 知的財産権の出願・登録状況

なし

### 1.特許取得

なし

### 2.実用新案登録

なし

### 3.その他

なし

## 2型糖尿病患者の骨強度評価における、定量的CTを用いた有限要素法の必要性に関する 予備検討

分担研究者 杉本 利嗣 島根大学医学部内科学第一 教授

研究協力者 山本 昌弘 島根大学医学部内科学第一 助授

研究要旨 2型糖尿病の大腿骨頸部骨折では、骨密度非依存的に骨折危険度が高いことがメタ解析により示されている。一方椎体の骨密度は対照群より高値だが、骨折危険度の増加については不明であった。今回の検討により2型糖尿病は椎体骨折に対する独立した危険因子であること、DXA法による骨密度では大腿骨頸部骨折と同様に椎体骨折の予測は困難であることが明らかとなった。定量的CTを用いた有限要素法は骨質の構造的要素を加味した骨強度評価法であり、有用な骨強度評価法の存在しない2型糖尿病において検討的価値が高いと考えられる。

### A. 研究目的

メタ解析により2型糖尿病(T2DM)ではDXA法による骨密度が対照群よりも高いにもかかわらず大腿骨頸部骨折の相対危険度が高いことが明らかにされた。このことはT2DMの骨強度を評価するために、DXA法とは異なる新たな骨強度評価法が必要であることを意味する。定量的CTを用いた有限要素法では大腿骨頸部および椎体骨の撮影画像を用いて骨強度の検討が可能である。そこで本法による骨強度評価法がT2DMの骨折予測において有用であるかを検討することを計画した。

しかし上述したメタ解析では椎体の骨密度は対照群より有意に高いが相対骨折危険度については有意な所見が得られていない。そこで有限要素法による椎体強度の検討に先立ち、1) T2DMにおいて椎体骨折の正常対照群と比較した相対危険度および椎体骨折と骨密度の関係を検討した。続いて2) 対照群およびT2DMにおいて有限要素法による骨折加重値と大腿骨頸部骨折および椎体骨折の関係を検討することを計画した。

### B. 研究方法

1) T2DMにおける椎体骨折の相対危険度および椎体骨折と骨密度の関係の検討

外傷歴および骨代謝に影響のある薬剤または疾患既往歴がなく、顕性糖尿病性腎症のない50歳以上の男性および閉経後女性の2型糖尿病患者を対象とした。胸腰椎X線写真で椎体骨折の有無を判定した。DXA法にて椎体、大腿骨頸部および橈骨1/3の骨密度を測定し、椎体骨折の有無で骨密度の平均値を比較し、椎体骨折に対する骨密度のCut-off値を年齢の一致した対照群と比較した。対照群と糖尿病群においてロジスティック回帰分析で椎体骨折と骨密度の関係を検討した。

(倫理面での配慮)

本研究は当施設の倫理委員会の承認を受け、本研究へ参加の同意取得の上行われている。

### C. 研究結果

50歳以上の男性および閉経後女性のT2DM患者では、性別に関わらず年齢および

BMI で調整後において糖尿病の存在が独立した椎体骨折の危険因子であった(女性: odds ratio (OR) = 1.86,  $p = 0.019$ ; 男性: OR = 4.73,  $p < 0.001$ )。性別に関わらず、T2DM では年齢を考慮した BMD Z 値はいずれの BMD 測定部位でも椎体骨折の有無で有意差を認めなかった。ROC 解析による椎体骨折に対する BMD 値の Cut-off 値は、性別に関わらずいずれの部位においても、BMD 値は対照群よりも高値であったが、感度・特異度はいずれも低値であった。ロジスティック回帰分析により、糖尿病合併症や治療薬、既知の骨折危険因子で調整後において、椎体骨折と骨密度に有用な関係を認めなかった。

#### D. 考察

この結果により、T2DM の椎体骨折の予測は大腿骨頸部骨折と同様に DXA 法の骨密度では困難であることが明らかとなった。このことは T2DM では骨質低下が骨強度へ強く影響を及ぼしていると思われる。定量的 CT を用いた有限要素法では、DXA 法と異なり 3 次元的な骨密度情報のみならず、T2DM の骨脆弱性に関わる骨質の構成要素のひとつである骨梁の連結性や皮質骨幅等の構造的情報を加味して骨強度を推定することが可能である。したがって有限要素法による T2DM の骨強度評価は検討的価値が高いと思われる。

次年度に向けて以下のプロトコールで有限要素法による T2DM の骨強度評価を行うことを計画進行中である。

2) 有限要素法による骨強度評価の有用性の検討

骨強度に影響を及ぼす基礎疾患および薬

剤投与歴のない対照群と、顕性腎症のない 2 型糖尿病患者において、通常の腹部画像診断に用いる CT 撮影条件下で、骨量ファントム (B-MAS 200、京都科学) とともに第三腰椎および大腿骨頸部を撮影する。得られた画像データを、加重拘束条件および対照群と同一の材質特性を与えた条件下で有限要素法を用いた骨折加重値を Mechanical Finder version 5.2 rev.005 で計算する。大腿骨頸部骨折歴の有無および胸腰椎 X 線写真で判定した椎体骨折の有無で骨折加重値の平均値および骨折に対する Cut-off 値を比較する。年齢、喫煙の有無、飲酒歴の有無等の既知の骨折危険因子で調整後において、有限要素法による骨折加重値が独立した骨折危険因子であるか否かを検討する。

対照群 10 名、糖尿病群 20 名の撮影を行い、解析進行中である。

#### E. 結論

T2DM では対照群に比して椎体骨折の相対危険度が高く、また現在の DXA 法による骨密度による骨強度評価法では骨脆弱性を判別できない。T2DM の椎体骨折および大腿骨頸部骨折予測において新たな骨強度評価法が必要であり、定量的 CT を用いた有限要素法による T2DM の骨強度評価は検討的価値が高いと思われる。

#### F. 研究発表

##### 1. 論文発表

- 1) Diabetic Patients Have an Increased Risk of Vertebral Fractures Independent of Bone Mineral Density or

Diabetic Complications. Yamamoto M.,  
Yamaguchi T, Yamauchi M, Kaji H,  
Sugimoto T. J Bone Miner Res. [Epub  
ahead of print], 2008

2. 学会発表

- 1) 山本昌弘、山口徹、山内美香、矢野彰  
三、杉本利嗣：閉経後2型糖尿病患者  
におけるHip structure analysisに  
よる大腿骨皮質骨構造の解析（第一  
報）。第10回日本骨粗鬆症学会。大  
阪、2008年10月
- 2) 山本昌弘、山口徹、山内美香、矢野彰  
三、杉本利嗣：2型糖尿病患者におけ  
る高血糖状態ではucOC/OC比が低下  
する。大阪、2008年10月

G. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得 なし。
2. 実用新案登録 なし。
3. その他 なし。

## 定量的 CT を用いた有限要素法による骨強度診断法の実用化に関する研究

分担研究者 萩野 浩 鳥取大学医学部保健学科教授  
研究協力者 土海 敏幸 鳥取大学整形外科

研究要旨 骨強度は骨密度だけではなく、骨の形状や骨梁構造など、骨の構造的因子にも大きく影響される。定量的 CT データをもとにした有限要素法を用いることで、骨の形態や構造、また局所の力学特性を加味した骨強度の予測評価が可能である。骨折危険度および骨折発生部位予測、骨折予防、骨粗鬆症治療の効果判定などの恩恵が期待される定量的 CT データをもとにした有限要素法の実用化について、臨床例を対象とした撮影・解析法を確立した。

### A. 研究目的

定量的 CT を用いた有限要素法 (CT/FEM) の実用化ができれば、骨の形態や構造、また局所の力学特性を加味した骨強度の予測評価が可能である。これにより骨折危険度および骨折発生部位予測、骨折予防、骨粗鬆症治療の効果判定などの恩恵が期待される。当大学はその特性のため新規の原発性骨粗鬆症患者の数が少ない一方で、続発性骨粗鬆症患者が多く、原発性の骨粗鬆症であっても既に骨粗鬆症薬を内服している患者が多い。

本研究の目的は、まず CT/FEM の基準値作成である。エントリーできた患者に関しては、骨折発生予測における感度・特異度に関する横断研究 (骨折予測横断研究) と骨折発生予測における感度・特異度に関する縦断研究 (骨折予測縦断研究) も行う。

### B. 研究方法

対象：新規もしくは内服加療中の原発性骨粗鬆症患者。

方法：

1) 説明と同意：外来または病棟で研究と測定内容の説明を行い、書面で同意を得る。その後研究協力者が問診を行う。

2) 測定内容：腰椎単純レントゲン撮像 (正側)、第 2 腰椎 CT 撮影 (CT/FEM)、腰椎の骨密度測定 (DEXA:QDR 4 5 0 0) を行う。可能な症例では、6 か月毎に定期的に身重量測定・腰椎の単純レントゲン撮像、CT/FEM、腰椎骨密度測定を継続する。

3) CT/FEM のデータから年齢別の基準値を作成する。また DEXA と CT/FEM の比較を行い、その相関性を検討する。

骨折発生予測における感度・特異度に関する横断研究 (骨折予測横断研究) においては、DEXA と強度値 (CT/FEM) に関する Receiver Operating Characteristic (ROC) 解析を行い、DEXA と CT/FEM の比較・検討を行う。さらに年齢、性別、身長、体重など骨強度・骨密度を修飾する交絡因子を群間で調整し、骨折要因の抽出を行う。

骨折発生予測における感度・特異度に関する縦断研究 (骨折予測縦断研究) においては、ベースライン、6 カ月、12 カ月、18

ヵ月、24ヵ月、30ヵ月、36ヵ月の各時期にDEXAとCT/FEMを行い、追跡期間内の測定値の絶対値と変化率、骨折の発生の有無を評価する。

(倫理面での配慮)

本研究を始めるにあたり、倫理審査申請書を作成して本大学倫理審査委員会に提出した。平成20年9月30日に承認を得た。

C. 研究結果

平成21年1月より患者のエントリーを開始した。現時点で1名の撮像を行い、解析を開始している。今後症例数を増やし、解析を行う予定である。

上位頸椎の骨密度測定を症例を選んで同時に行っており、続発性骨粗鬆症患者(関節リウマチ)に15名の測定を予定し、そのうち7名は腰椎のCT/FEM測定と同時に頸椎骨密度評価を行う予定である。

D. 考察

CT/FEM撮像・解析の方法を確立し、解析を開始した。本研究では、症例によって同時に上位頸椎の骨密度測定も行っており、頸椎と腰椎の骨密度の比較やCT/FEMによって、原発性骨粗鬆症における骨強度評価とその骨折発生の予知能力評価、続発性骨粗鬆症との差異を明らかとすることができる。

E. 結論

CT/FEMの実用化に関する研究を開始、撮像・解析方法を確立した。

F. 研究発表

なし

G. 知的財産権の出願・登録状況

なし

分担研究者 林直人

東京大学医学部附属病院コンピュータ画像診断学／予防医学講座 特任准教授

#### 研究要旨

検診受診者CTの骨密度データをのべ950例収集したが、検診CTの撮像方法に改善の必要性があることが判明した。椎体自動検出に関しては、椎体と脊柱管の楕円中モデルが有望であることが示唆された。

#### A. 研究目的

1) 定量的CTを用いた有限要素法による骨強度診断法の解析できる正常者のデータベースを作成するために検診受診者CTによる骨密度データの収集すること。

2) 椎体を自動検出するプログラムを開発するために、サンプルCTデータを用いてセグメンテーションを行うための画像処理技術の検討を行うこと。

#### B. 研究方法

1) 東大病院コンピュータ画像診断学／予防医学検診部門において、検診受診者のPET/CTの撮像の際に骨量ファントムを腰～股関節部に置いて撮像して、解析用のCTデータの収集を行う。同時に超音波法による骨量定量のデータも収集する。

2) 頭部～骨盤部までの全身CTのサンプルデータを用いて、椎体の前方成分と脊柱管を2本の円柱と見立てる楕円柱モデルに当てはめる。それによるセグメンテーション方法を検討し、その精度を調べる。

#### (倫理面での配慮)

検診自体を研究として倫理申請しており、受診者からは文書による承諾書を取得している。

#### C. 研究結果

1) 2009年2月時点で延べ950例の骨密度データを収集した。その間に、通常の診断用の画像では腰椎の分析に必要な解像度が不足する事が判明し、また股関節に関しては撮像範囲の不足により解析できない場合があることが判明した。

2) 各椎体と椎間板を一つの楕円柱として、脊柱管をもう一つの楕円柱としてそれぞれモデル化した。CT画像と一致するようにモデルを変形し、椎体と椎間板を抽出する。その後椎間板の位置および傾きを検出できた(Fig. 1)。臨床CT画像を用いて本手法の有効性を検討した結果、正常脊椎例では88%で正しく椎体と脊柱管を分離できる事が確認された。

#### D. 考察

1) これまで通常の検診CTの撮像方法だけでは有限要素法の解析に必要な情報が十分には得られない可能性があるため、撮像方法の改善の必要性が判明した。多人数に対する被曝量の問題を考慮しつつ、検診CTの撮像プロトコールの変更を今後検討する。

2) 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。今後、改善を加えながら、多数例での検討を行う。このセグメンテーション方法が確立した段階で、有限要素法の解析に必要な椎体の自動抽出をめざす。

#### E. 結論

有限要素法の解析に必要な正常者のCTデータの収集がすすみ、さらにその解析に使用する椎体の自動抽出のための画所処理技術の基礎的検討で進歩が見られた。

#### F. 研究発表

##### 1. 論文発表

・なし

##### 2. 学会発表

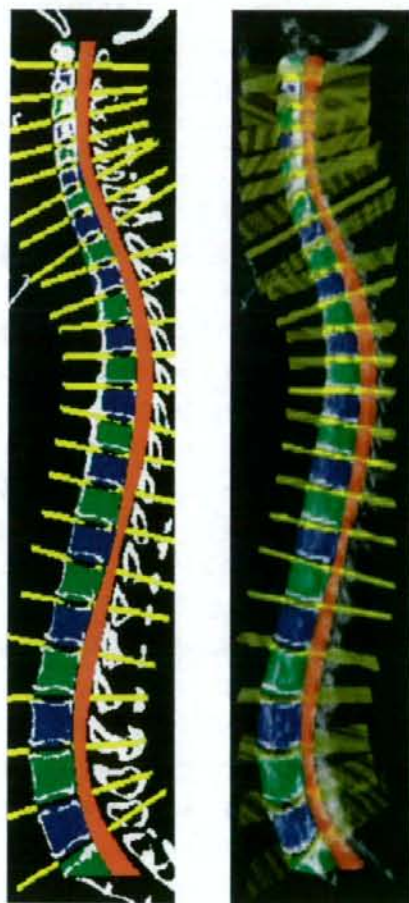
・日本医用画像工学会第 27 回大会 (2008 年) 「側彎に対応した全脊椎の自動 CT セグメンテーション」花岡昇平 (東京大学 大学院医学系研究科生体物理医学専攻), 野村行弘, 根本充貴, 増谷佳孝, 前田恵理子, 吉川健啓, 林直人, 吉岡直紀, 大友邦

・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.

##### G. 知的財産権の出願・登録状況

・なし



(a)

(b)

Fig 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.



# 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

分担研究者 福永仁夫 川崎医科大学放射線医学(核医学)教授

研究要旨 定量的 CT による有限要素法を用いた骨強度診断法を実用化するために健常若年男女 104 名の腰椎および大腿骨近位部の CT データを取得した。また、DXA による腰椎および大腿骨近位部の骨密度測定を実施した。引き続き研究を進め、健常若年成人の基準値設定を行う予定である。

## A. 研究目的

定量的 CT による有限要素法を用いた骨強度診断法を実用化するために健常若年男女の基準値を作成すること。

## 1. 論文発表

なし

## 2. 学会発表

なし

## B. 研究方法

健常若年男女に対して、腰椎と大腿骨近位部の CT 撮影、骨密度測定および骨の健康に関連する病歴聴取を実施した。

(倫理面での配慮)

研究は川崎医科大学の倫理委員会の承認を得て行った。

## 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

## C. 研究結果

健常若年男女 104 名(男性 43 名、女性 61 名;年齢  $21.5 \pm 1.5$  歳)からデータ収集を行った。腰椎骨密度の平均値は男性  $1.091 \text{ g/cm}^2$ 、女性  $1.015 \text{ g/cm}^2$ 、大腿骨頸部骨密度の平均値は男性  $1.068 \text{ g/cm}^2$ 、女性  $0.851 \text{ g/cm}^2$ であった。骨強度値については専用の解析ソフトを用いて現在算出中である。

## D. 考察、結論

今回の対象集団では、特に男性において、大腿骨頸部骨密度がこれまでの他の報告に比べて高値の傾向を示した。症例の選択に偏りがある可能性が考えられ、基準値設定に際して考慮を要する事項と思われた。

## E. 研究発表

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 東京都老人医療センター 整形外科部長

研究要旨 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。対象は、女性の大腿骨近位部骨折患者2名に対してCT撮影を行った。CT画像から、3次元有限要素法モデルを作成した。荷重拘束条件は立位条件と転倒条件を設定し解析を行った。結果は、症例1(84歳女性)では、立位条件では300kgfで頸部に予測骨折部位が予測された。転倒条件では100kgfで転子部に予測骨折部位が予測された。症例2(64歳女性)では、立位条件では320kgfで頸部に予測骨折部位が予測された。転倒条件では120kgfで転子部に予測骨折部位が予測された。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。

A. 研究目的

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。

B. 研究方法

対象は、女性の大腿骨近位部骨折患者2名(症例1:84歳 転子部骨折、症例2:64歳 頸部内側骨折)。倫理委員会の承認のもと患者の同意を得て、骨量ファントム(B-MAS200、京都科学)とともに、CT撮影(定量的CT撮影)を行った。定量的CT画像から、非骨折側の大腿骨を別所ら(2007)の方法を用いて3次元骨強度解析モデルを作成した。

(倫理面での配慮)

患者、家族同意の上で定量的CT撮影を行い、データは暗号化をかけた。検査結果は、患者に還元をおこなった。

定量的CTから、海綿骨に3mmの4節点ソリッド要素と、皮質骨外層に0.4mmの3節点シェル要素を使用し、3次元骨強度解析モデルを作成した。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ら(1998)、およびKellerら(1994)の方法により設定した。ポアソン比は、0.4とした。

荷重条件および拘束条件は、(1)立位条件として骨軸から20度内側に傾けた方向で骨頭を圧縮し、遠位端を拘束した条件(Fig. 1)、(2)転倒条件として、骨軸を床面に対して30度傾け、15度内旋し荷重を行い、遠位と転子部を拘束する条件をそれぞれ設定した(Fig. 2)。

Fig. 1:  
立位条件

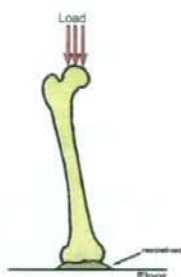
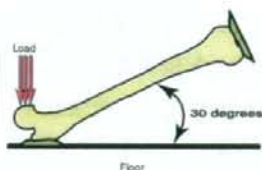


Fig. 2:  
転倒条件



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。

### C. 研究結果

症例1 (84歳女性)では、立位条件では300 kgfで頸部に予測骨折部位が予測された。転倒条件では100 kgfで転子部に予測骨折部位が予測された。症例2 (64歳女性)では、立位条件では320 kgfで頸部に予測骨折部位が予測された。転倒条件では120kgfで転子部に予測骨折部位が予測された。症例2のX線像 (Fig. 3)、予測骨折部位 (Fig. 4, Fig. 5)を示す。



Fig. 3 X線像 (右大腿骨頸部骨折 Garden Type IV)

Fig. 4:  
立位条件  
矢印は、  
予測骨折  
部位を示  
す。

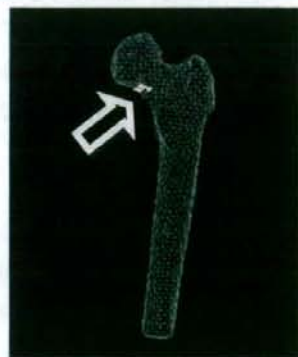
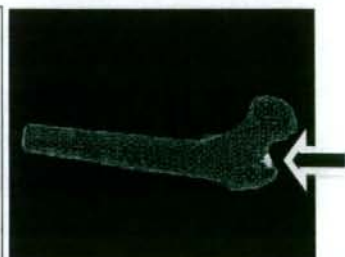


Fig. 5:  
転倒条件  
矢印は、  
予測骨折  
部位を示  
す。



### 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1400N、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。

#### 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

なし

(発表誌名巻号・頁・発行年等も記入)

#### 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

## QUS 標準化に関する研究

分担研究者 楊 鴻生 兵庫医科大学篠山病院整形外科准教授

研究要旨 市販している 6 機種種の超音波骨密度測定器を用い、各機種種における再現性と各機種種間の相関について検討し、QUS の標準化が可能であるかどうかについて検討した。用いたパラメーターは全ての機種種で測定可能であった SOS を用いた。同一ファントムによる各機種種による測定精度の検討では、%CV は 0.035 より 0.338 であり、どの機種種においても測定再現性があることが分かった。ボランティア 232 名 (男性 122 名、女性 110 名) に対し、6 機種種同時測定を行い、それぞれの測定値より良好な相関が得られたため、各機種種により算定された標準的 SOS (s-SOS) を求め、各機種種からの換算式を求めることができた。

### A. 研究目的

骨密度測定の意義は、骨の脆弱性を発見することにより、骨折の予防や骨粗鬆症の治療を行なうことである。骨強度を予測すると考えられている骨密度測定には、超音波による骨密度測定が期待されている。しかし市販されている超音波骨密度測定器にはそれぞれ異なったアルゴリズムにより測定され、異なったパラメーターを用いられているため、検診における診断基準や機種種間の比較が困難であり、骨折予防として普遍的に使用する妨げとなっている。

今回われわれは測定アルゴリズムが異なっているが、全ての機種種において測定可能である一次パラメーターの SOS (Speed of Sound) を用い、同一ファントムによる各機種種における再現性を検討した。また同一被検者に対し、市販 6 機種種による同時測定を行い、機種種間における相関性を検討した。これらの検討より、標準化 SOS (s-SOS) を求めることを目的とした。そして各機種種より s-SOS への換算式を求めることを目的とした。

### B. 研究方法

現在、国内の臨床に使用されている QUS 装置 4 機種種と新規参入する 2 機種種を用いた。

メーカー名	機種名	測定パラメータ
アロカ	AOS-100	SOS, TI, OSI
エルコー・ホレーション	CM-200	SOS
GE 横河メディカルシステム	A-1000 Express	SOS, BUA, Stiffness
セティ	UBIS5000	SOS, BUA, STI
日本光電	Benus	SOS, 骨梁面積率
日本シグマックス	Minelyzer	SOS, BUA, BQI

一次パラメーターである SOS について検討した。同一ファントム (S/N133) を用い、各機種種 5 回づつ測定して、%CV を算出した。ボランティア 232 名 (男性 122 名、女性 110 名) を同一日、同一時間、同一条件にて 6 機種種すべてで SOS 測定を行った。

全ての機種種間での相関係数と回帰分析を行い、s-SOS を求めた。各機種種からの換算式も回帰分析より求めた。

測定を受ける全てのボランティアには文書による同意を得た。

### B. 研究結果

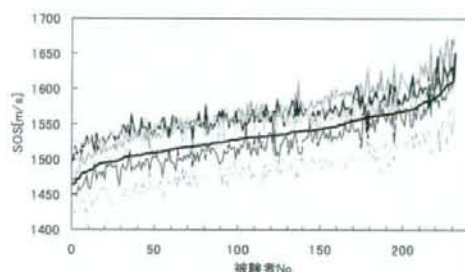
ファントムの測定結果である。

	機種A	機種B	機種C	機種D	機種E
平均値 [m/s]	1549.4	1551.4	1565.0	1581.0	1568.2
最大値 [m/s]	1551	1552	1574	1587	1572
最小値 [m/s]	1548	1551	1562	1575	1566
標準偏差	1.517	0.548	5.050	5.339	2.387
分散	2.30	0.30	25.50	28.50	5.70
%CV	0.098	0.035	0.323	0.338	0.152

SOS 値は機種毎に独自の値を示し

1549.4m/s から 1581.0 m/s の範囲に分布している。機種毎にアルゴリズムが異なって入ることためであるが、%CV 値はすべて十分な低値を示しており技術的には完成度が高く、安定な測定動作をしめた。

ボランティア測定における機種間の相関は 0.75~0.88 であり、相関の良かった上位 4 機種のデータを図に示したが 4 機種より求めた s-SOS を実線で示したが、各機種の回帰式より s-SOS への換算式が求められることができた。



$$\text{AOS100} \quad s\text{-SOS} = 1.18 \times \text{SOS 値} - 307.95$$

$$\text{CM200} \quad s\text{-SOS} = 0.86 \times \text{SOS 値} + 220.24$$

$$\text{A1000} \quad s\text{-SOS} = 0.79 \times \text{SOS 値} + 298.00$$

$$\text{UBIS5000} \quad s\text{-SOS} = 1.03 \times \text{SOS 値} + 3.64$$

$$\text{新 Benus} \quad s\text{-SOS} = 1.40 \times \text{SOS 値} - 636.67$$

$$\text{ミネライザー} \quad s\text{-SOS} = 2.00 \times \text{SOS 値} - 1504.74$$

### C. 考察

今回は検討から、それぞれの機種における測定アルゴリズムが異なっているため、標準フ

ァントムによる標準化は困難であり、実際の測定値より、標準化した SOS を算出する方法をとった。今回の方法は、今後新機種が登場する場合、標準化に使用した機器と相関分析を行い、回帰式を算出する複雑な方法をとらなければならない。理想は標準化ファントムの作成であるが、将来の課題として残された。超音波骨密度測定の一次パラメーターとしては SOS 以外に BUA があるが、機種により測定できない場合があるので、今後の検討となった。

### D. 結論

超音波骨密度測定器の測定精度は良好であり、日常診療において、十分信頼性のある値を示している。しかし、測定パラメーターの結果は各機種によるアルゴリズムに影響され、同じ SOS でもかなり異なった値を示す。それぞれの測定値間での相関は非常に高いので、標準化 SOS (s-SOS) を案出することが可能であり、各回帰式より s-SOS への換算式を求めることができた。今後これにより、検診や診断において、普及することが期待される。

### E. 研究発表

学会発表

楊 鴻生(2008) QUS の標準化について  
一標準化の基になった各 QUS 機器の測定結果、第 10 回日本骨粗鬆症学会 ワークショップ、平成 20 年 1 月 21-23 日、大阪

### 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

## 三次元有限要素法による骨強度解析について

- 大腿骨に骨折リスクのある患者の骨強度予測:臨床応用の可能性について -

分担研究者 井樋 栄二 東北大学整形外科教授

### 研究要旨

骨粗鬆症がある患者へのCT/有限要素法の応用を行うに際して、臨床応用の可能性を確認するために、実際に健常ボランティアを対象に対して解析を行った。長管骨に骨脆弱性が存在した場合の骨折の危険性について、これまでにX線やCT画像のretrospectiveな評価から骨折予測を行ったものや、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。しかし正確にどの程度の荷重で骨折が起こりえるか予測できるような指標は未だない。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、長管骨の骨脆弱性をシミュレートした。欠損の大きさ、位置を変化させ、3次元有限要素法を用いた骨強度解析を行った。骨強度の変化がとらえられ、臨床応用が可能であることが確認できた。

### A. 研究目的

骨粗鬆症がある患者へのCT/有限要素法の応用を行うに際して、臨床応用の可能性を確認するために、健常ボランティアを対象に対して解析を行った。また、長管骨に骨脆弱性が存在したモデルを作成し、その大きさと局在による骨強度の低下を三次元有限要素法で測定して、骨折リスクを予測すること、臨床応用の可能性を確認することが目的である。

### B. 研究方法

33歳男性の健常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。(仮想欠損の作成)骨幹部狭部に直径10mmと15mm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。(骨強度解析)膝関節面を拘束して大腿骨頭から荷重軸方向に荷重をかけた。荷重を次第に大きくして、骨皮質が破壊され始める荷重を骨折荷重とした。欠損のない正常骨が骨折する荷重と

比較し強度の低下を計測した。

本研究は東北大学倫理委員会の承認を得た。

### C. 研究結果

10mmの欠損では骨幹部中心から12mm前方で最大64.2%骨強度が低下した。15mmの欠損では10mm前方で最大46.8%骨強度が低下した。

### D. 考察

これまでのretrospectiveな画像評価では画像撮影時と骨折時の時間的解離の問題があり正確な評価が困難であった。また、屍体骨の破断実験では骨内部の脆弱部の再現が難しい。今回の研究結果から、本方法は個々の症例の骨折リスクを予測する非常に有用な判断材料になりえる。また、実際に臨床応用が可能であることが確認できた。

### E. 結論

骨脆弱部の位置による骨強度を計測することで、骨折リスクを予測するための有用な指標となりえる。

### F. 研究発表

1. 論文発表



なし

2. 学会発表

日本整形外科学会基礎学術集会にて発表

(2008年10月23日、京都)

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

### Ⅲ 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～H21. 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
金憲経	介護予防の対人支援—転倒—	熊谷秋三	健康と運動の疫学入門	医学出版	東京	2008	181-189
山本昌弘、杉本利嗣	XIII章その他の合併症 7. 骨病変	河盛隆造、岩本安彦	糖尿病 最新の治療 2010-201	株式会社南江堂	東京	2009	(in press)
楊 鴻生	運動器とアンチエイジング関節、筋	日本抗加齢医学会	アンチエイジング医学の基礎と臨床	メディカルビュー	東京	2008	379-383
楊 鴻生	骨代謝マーカー	越智隆弘	最新整形外科学体系1	中山書店	東京	2008	52-59
楊 鴻生	上皮小体機能亢進症、上皮小体機能低下症、骨軟化症	越智隆弘	最新整形外科学体系21	中山書店	東京	2008	304-311

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 Med 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 non linear 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
Suzuki T, Kwon J, Kim H, Shimada H, Yoshida Y, Iwasa H, Yoshida, H	Low serum 25-hydroxyvitamin D levels associated with falls among Japanese community-dwelling elderly	Journal of Bone and Mineral Research	23 (8)	1309-1317	2008
Kanazawa I, Yamaguchi T, Yamamoto M, Yamauchi M, Yano S, Sugimoto T.	Combination of Obesity with Hyperglycemia is a Risk Factor for the Presence of Vertebral Fractures in Type 2 Diabetic Men.	Calcif Tissue Int	83 (5)	324-331	2008
Kanazawa I, Yamaguchi T, Yamamoto M, Yamauchi M, Yano S, Sugimoto T.	Relationships between serum adiponectin levels versus bone mineral density, bone metabolic markers, and vertebral fractures in type 2 diabetes mellitus	Eur J Endocrinol	160 (2)	265-273	2008
Hayashi K, Yamamoto M, Murakawa Y, Yamauchi M, Kaji H, Yamaguchi T, Sugimoto T.	Bone fragility in male glucocorticoid-induced osteoporosis is not defined by bone mineral density.	Osteoporosis International		(in press)	2009