

機関番号：13701

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009 ～ 2010

課題番号：21700462

研究課題名（和文） X線CT画像を用いた脊柱の解析

研究課題名（英文） Analysis of the spine on X-ray CT images

研究代表者

林 達郎 (HAYASHI TATSURO)

岐阜大学・産官学融合本部・中核的研究機関研究員

研究者番号：00509888

研究成果の概要（和文）：

脊柱の疾病の予防医学への貢献を目的とし、1,031例のCT画像を用いて18の椎体海綿骨（第1胸椎～第1仙椎）の骨密度を解析した。さらに、椎体の形態を自動的に計測するコンピュータアルゴリズムを設計し、475症例の第1腰椎の形状（(1)幅、(2)高さ、(3)深さ、(4)断面積）と骨密度の関連を統計的に解析した。本研究の結果は、椎体の骨密度及び断面積と骨強度の低下を関連付ける新たな可能性を示唆した。

研究成果の概要（英文）：

Bone mineral densities at trabecular bones of 18 vertebral bodies (from the first thoracic vertebra to the first sacral vertebra) were investigated using 1,031 CT data sets for the purpose of the contribution to the preventive medicine on the spinal disorders. The computerized scheme for the measurement of the vertebral body geometry was also designed and the correlation between the vertebral body geometry such as (1) width, (2) height, (3) depth, (4) cross-sectional area, and bone mineral density at the first lumbar vertebra was statistically analyzed using this scheme. The findings of this study suggested the new possibility of the loss of bone strength associated with the bone mineral density and the cross-sectional area.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2010年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：医用画像処理

科研費の分科・細目：人間医工学・医用生体工学・生体材料学

キーワード：CT画像、脊椎、骨粗鬆症、骨密度、計算機支援診断

1. 研究開始当初の背景

(1) 近年、疾病の徴候を早期に発見し、発症を抑える予防的治療によって健康状態を維持する、予防医学が注目を集めている。疾病の徴候の早期発見には、形態の変化に基づいて診断する画像診断が有効である。画像診断において、極初期の徴候を発見するには、ま

ず、人体の正常構造を正確に理解することが必要である。X線CT (multi-detector-row CT: 以下MDCT) は高精細な画像が得られ、人体の正常構造の理解に適している。

2. 研究の目的

(1) 本研究は、脊柱の疾病の予防に貢献する

ことを目的とするもので、大量の MDCT を用いた脊柱の普遍的な形態の提示を目標とする。具体的には、脊柱における疾病の徴候が現れると考えられる全ての特微量について、解析手法を開発し、既得の MDCT の解析を行う。そして、脊柱の正常な特微量の分布を提示する。

3. 研究の方法

(1) 研究対象となる CT 画像のデータベースを作成する。過去に体幹部の CT 検査を行った患者の中で、脊柱に病理学的な変化や正常変異の無い CT 画像を収集し、年齢、性別と共にデータベースに登録する。

(2) 第 1 胸椎 (T1) ~ 第 1 仙椎 (S1) の椎体海綿骨の骨密度を計測する。事前に、人体と骨量のファントムを用いて対象の CT 装置の CT 値と骨密度の検量線を作成しておく。次に、検査対象画像からコンピュータを用いて脊柱管を抽出し、脊柱が真直ぐになるように CT 画像を再構成する。その後、中心断面上で椎体海綿骨の領域を設定し、平均 CT 値を計測し、検量線を利用して CT 値から骨密度に変換する (図 2 参照)。最後に、年齢、性別、及び椎体の位置と骨密度の関係を解析する。

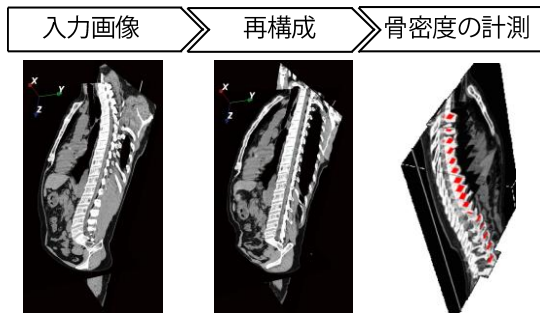


図 1 骨密度の計測

(3) 脊柱の骨強度への理解を深めるために、椎体の形状 (幅、高さ、深さ、及び断面積) をコンピュータで自動的に計測するアルゴリズムを設計し、椎体海綿骨の骨密度との関係を解析する (図 2 参照)。

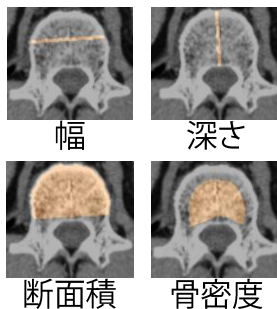


図 2 椎体形状の計測

4. 研究成果

(1) 岐阜大学医学部附属病院で過去に CT 検査を用いて体幹部を検査した 1,750 症例を収集し、放射線科医と解剖医のチェックにより、本研究に適さない 719 症例を注意深く除外した。データベースの内訳を図 3 に示す。

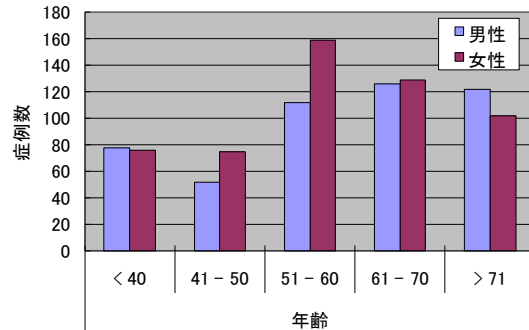


図 3 データベースの内訳

(2) 椎体海綿骨の解析結果を以下に示す。

① 椎体のレベルと骨密度の関係

51~60 歳の女性における椎体のレベルと骨密度の関係を示したグラフを図 4 に示す。この図から、椎体のレベルによって骨密度の値は異なり、全体として第 3 腰椎 (L3) で最も骨密度が低い傾向を確認した。この傾向は、年齢・性別に関係なくすべての年齢カテゴリで見られた。

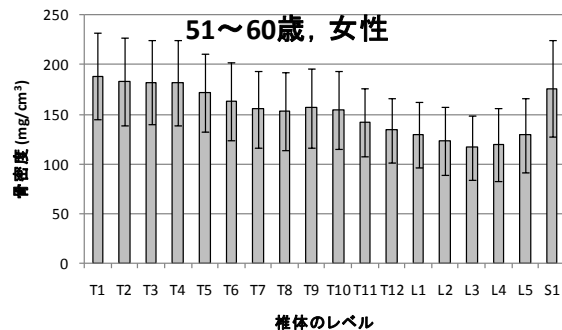


図 4 椎体のレベルと骨密度

② 性別と骨密度の関係

性別と骨密度の関係の解析結果を図 5 に示す。左側が 41 歳未満、右側が 61~70 歳における個々の椎体の骨密度を表す。この図から、性別に依存する骨密度の違いが確認できる。T1~S1 までのすべての椎体で、41 歳未満では女性の骨密度が男性より高く、逆に 61~70 歳では女性の骨密度が男性より低かった。女性は閉経後から急激に骨密度が低下するとされており、今回の研究結果から、その傾向が椎体のレベルに関係なく見られることが確認された。

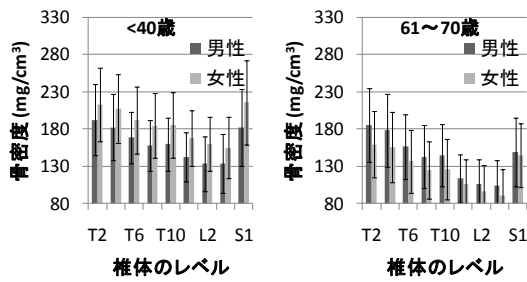


図5 性別と骨密度

③ 加齢と骨密度の関係

有意水準を $P < 0.05$ とし、Tukey の多重比較法を用いて加齢に依存する骨密度の変化を解析した。検定は、41~50歳の骨密度を基準とし、椎体ごとにどの年齢カテゴリとの間に統計的な有意差が見られるかを調査した。その結果、女性は41~50歳から51~60歳にかけて、すべての椎体で骨密度の有意な悪化が認められた。男性の骨密度は41~50歳から51~60歳にかけて統計的な差が見られなかった。さらに高齢のカテゴリと比較した結果、図6に示すように、41~50歳から61~70歳にかけて、T10~L5で統計的に有意な骨密度の悪化が認められ、41~50歳から>71歳にかけて、すべての椎体骨密度の悪化が認められた。この結果から、男性の骨密度は下位の椎体の骨密度が上位の椎体よりも速く悪化する可能性が示唆された。ただし、現時点では原因は明らかでなく、さらなる検証実験が必要と思われる。

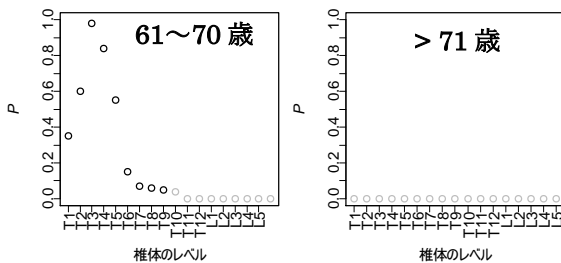
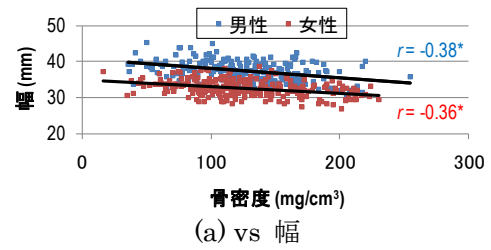


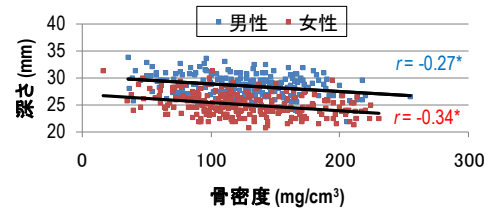
図6 加齢に依存する男性の骨密度の変化

(3) 椎体の骨密度と形状

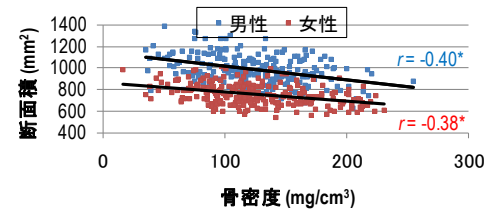
専用のコンピュータアルゴリズムを設計してL1の形状を計測した。計測結果の妥当性を保証するために、解剖医による注意深いチェックを受け、計測結果に問題が無いとされた475症例を解析に使用した。また、椎体の高さ（前縁高、中央高、後縁高）は、椎体骨折を診断する上で重要な特徴とされていることから、コンピュータにより計測した形状と併せて解析した。椎体の骨密度と形状の関係を図7に結果を示す。(a-c)より、骨密度は幅、深さ、及び断面積と弱い負の相関が見られた。一方で、(d-f)に見られるように、骨密度と高さは男性の後縁高を除いて相関関係は見られなかった。



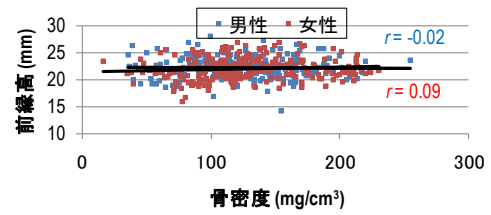
(a) vs 幅



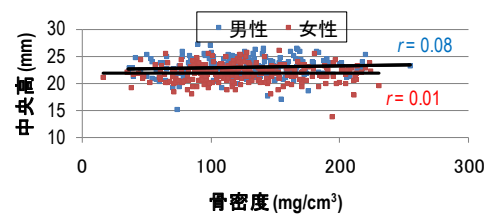
(b) vs 深さ



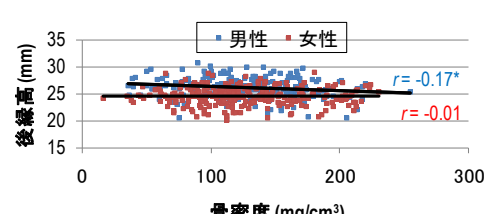
(c) vs 断面積



(d) vs 前縁高



(e) vs 中央高



(f) vs 後縁高

図7 椎体の骨密度と形状

次に、年齢と椎体の形状特徴の関係を図8に示す。図8より、幅、深さ、及び断面積は、加齢によってする一方で、高さは、加齢によって減少する傾向が示された。この結果から、

加齢によって椎体の拡大が進行して骨の密度が悪化し、その結果として骨強度が低下する可能性が示唆された。

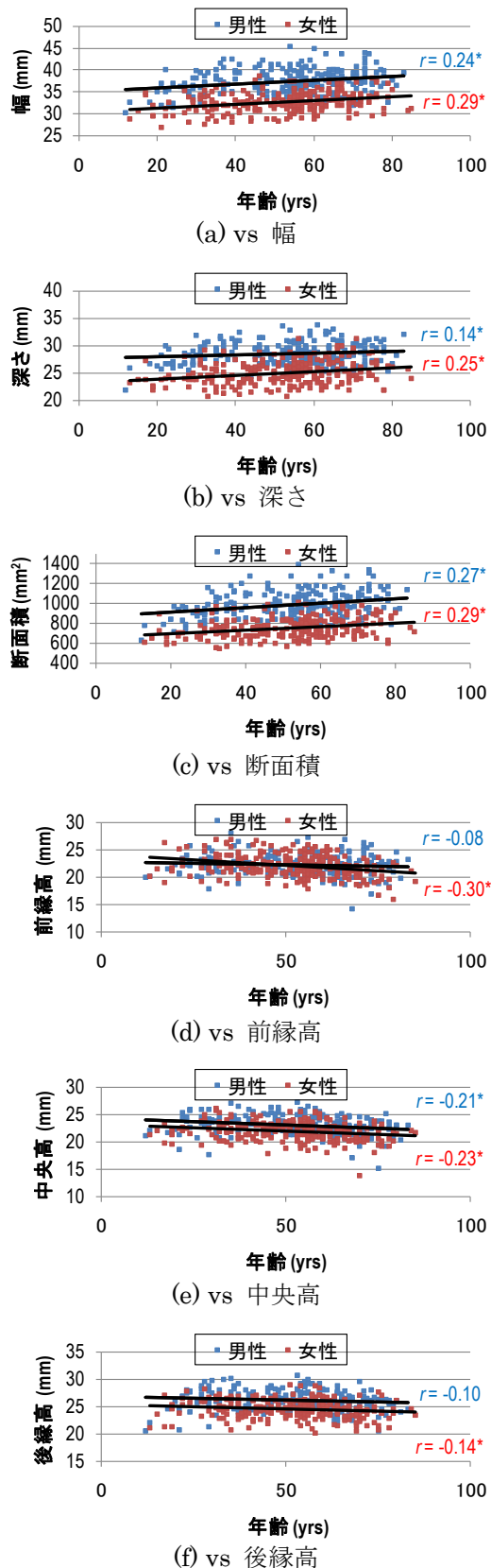


図8 年齢と椎体の形状

(4) 本研究の意義

転倒・骨折は、高齢者が寝たきりになる要因の上位を占める。骨粗鬆症は、本邦に推定1000万人以上いるとされ、骨折になりやすい状態になる疾患である。骨密度は、骨粗鬆症の診療に欠かせない特徴であり、人種や民族による影響もあるとされる。

大規模なCTデータを用いて椎体海綿骨の骨密度を計測した研究は、海外でいくつか報告されているが、すべての胸椎と腰椎の骨密度を精緻に解析した研究は、これまでに小規模な解析結果しか報告されていなかった。本研究では、画像処理技術を駆使して大規模な症例を用いた椎体海綿骨の骨密度の解析を可能にし、日本人を対象とした研究としては過去最大規模の調査を実現した。より高度な日本人の骨粗鬆症の予防や診療法を検討する上で、骨密度に対する精緻な理解は不可欠であり、本研究は有用な参照情報を提供できたと考える。

椎体の形状も脊椎骨折の危険因子の一つとして検討されている。椎体の形状は、骨密度と同様にCT画像で観察でき、脊椎骨折の予測に役立つ情報を含む可能性がある。初期的な実験として、本研究ではL1を対象に、椎体の形状と骨密度・年齢との関係を解析した。その結果、椎体の高さは他の形状特徴とは異なる傾向を示しており、男性の後縁高を除いて骨密度と相関がないことが示された。

今後は、他の椎体の形状もL1と同様の傾向であるかを解明する必要がある。また、骨格筋は骨格を動かす役割を担っており、骨の強度にも関与していると想定される。しかし、骨格筋の解析はCT画像上では容易ではなく、これまで骨格と骨格筋の関係を調査した研究は世界的にもほとんど無かった。われわれは、画像処理技術を利用して骨格筋の特徴の計測に取り組み、骨格と骨格筋の関係の解明に挑戦していきたい。

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16件)

- ① T Hayashi, H Chen, Y Tajima, et al, Correlation between vertebral body geometry and trabecular volumetric bone mineral density (vBMD) using X-ray CT images, Osteoporosis International, 査読無、22巻、2011、S181
- ② T Hayashi, H Chen, K Miyamoto, et al, Analysis of bone mineral density distribution at trabecular bones in thoracic and lumbar vertebrae using X-ray CT images, Journal of Bone and Mineral Metabolism, 査読有、29巻、2011、

174-185

- ③ T Hayashi, H Chen, K Miyamoto, et al, A decision support scheme for vertebral geometry on body CT scans, Proc of SPIE, 査読無、7962 巻、2011、796238
- ④ T Hayashi, X Zhou, H Chen, et al, Automated extraction method for the center line of spinal canal and its application to the spinal curvature quantification in torso X-ray CT images, Proc of SPIE, 査読無、7623 巻、2010、76233F
- ⑤ X Zhou, T Hayashi, H Chen, et al, Automated measurement of bone-mineral-density (BMD) values of vertebral bones based on X-ray torso CT images, Proc of the 31st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBS 2009)、査読有、2009、3573-3576
- ⑥ 韓 明旭、林 達郎、周 向榮、他、体幹部 X線 CT画像における脊柱の正中矢状面を利用した椎体の骨密度と彎曲角度の自動計測法、医用画像情報学会雑誌、査読有、26 巻、2009、52-58

[学会発表] (計 2 3 件)

- ① T Hayashi, H Chen, Y Tajima, et al, Correlation between vertebral body geometry and trabecular volumetric bone mineral density (vBMD) using X-ray CT images, European Congress on Osteoporosis & Osteoarthritis (ECCEO11-IOF)、24 Mar、2011、Palacio de Congresos de Valencia (Valencia)
- ② T Hayashi, H Chen, K Miyamoto, et al, Spinal trabecular volumetric bone mineral density on thin-section CT scans, 96th Scientific Assembly and Annual Meeting of Radiological Society of North America (RSNA 2010)、30 Nov、2010、McCormick Place (Chicago)
- ③ T Hayashi, H Chen, K Miyamoto, et al, Spinal trabecular volumetric bone mineral density (vBMD) in Japanese subjects: the relationships of thoracic, lumbar, and lumbosacral vBMD on multi-detector row computed tomography images, The American Society for Bone and Mineral Research (ASBMR) 2010 Annual Meeting, 18 Oct、2010、Metro Toronto Convention Centre/South Building (Toronto)
- ④ T Hayashi, X Zhou, H Chen, et al, Age- and gender-dependent changes in spine bone-mineral-density (BMD): BMD

measurement in Japanese subjects on multi-detector row computed tomography images, IOF World Congress on Osteoporosis & Tenth European Congress on Clinical and Economic Aspects of Osteoporosis and Osteoarthritis (IOF WCO - ECCEO 10)、6 May、2010、Fortezza da Basso (Firenze)

- ⑤ X Zhou, T Hayashi, H Chen, et al, Semi-automated approach for quantification of the spinal curvature based on the center line of the spinal canal on torso X-ray CT images, The 95th Scientific Assembly and Annual Meeting of Radiological Society of North America (RSNA 2009)、30 Nov、2009、McCormick Place (Chicago)

[図書] (計 1 件)

- ① 藤田広志、他、INNERVISION、CAD (コンピュータ支援診断) システムの最新動向、2011、43-46

[その他]

- ① ホームページ等
<http://www.fjt.info.gifu-u.ac.jp/publication/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

林 達郎 (HAYASHI TATSURO)
岐阜大学・産官学融合本部・中核的研究機関研究員
研究者番号：00509888

(2) 研究協力者

東 華岳 (AZUMA KAGAKU)
岐阜大学・大学院医学系研究科・講師
研究者番号：20273146
宮本 敬 (MIYAMOTO KEI)
岐阜大学・大学院医学系研究科・准教授相

当

研究者番号：20313885
周 向榮 (ZHOU XIANGRONG)
岐阜大学・大学院医学系研究科・助教
研究者番号：00359738
原 武史 (HARA TAKESHI)
岐阜大学・大学院医学系研究科・准教授
研究者番号：10283285
藤田 廣志 (FUJITA HIROSHI)
岐阜大学・大学院医学系研究科・教授
研究者番号：10124033