

## 腰椎の外部形状と内部構造の統合解析による 骨粗鬆症の病態解明

東 華岳<sup>1)</sup> 久保金弥<sup>2)</sup> 鷺見雄希<sup>3)</sup> 林 達郎<sup>4)</sup>  
周 向栄<sup>4)</sup> 藤田広志<sup>4)</sup> 小野塚實<sup>5)</sup>

### はじめに

わが国の急速な高齢化に伴い、骨粗鬆症性骨折に由来する寝たきりの高齢者が増加の一途をたどっている。骨粗鬆症性骨折の中で、脊椎、特に腰椎の椎体骨折が最も発生頻度が高いといわれている。最近の腰椎に関する研究から、腰椎の外部形態（高さ、幅、深さ、断面積、体積）と内部構造（中央にある海綿骨と表面にある皮質骨の三次元微細構造）が力学的に複雑に絡み合うことにより椎骨の骨強度が保持されていることがわかってきた<sup>1)</sup>。そこで本研究では、骨粗鬆症が発症しやすい腰椎の構造特性を解明し、骨粗鬆症の予防と治療のための基礎的データを得るため、高分解能エックス線 CT と新規三次元画像解析法を用いて腰椎椎体の外部形状と内部構造を定量解析し、腰椎の骨密度・強度の相関

を数理力学的に分析した。

### 1 対象と方法

岐阜大学医学部の解剖学実習に供されたご遺体 48 症例（56～98 歳の男女それぞれ 24 例；平均年齢  $78.2 \pm 12.7$  歳）を対象とした。これらの対象者を 62 歳群（男女 8 例ずつ；平均年齢  $62 \pm 3.4$  歳）、78 歳群（男女 8 例ずつ；平均年齢  $78 \pm 3.9$  歳）、92 歳群（男女 8 例ずつ； $92 \pm 3.6$  歳）の 3 群に分け、それぞれのご遺体から第 3 腰椎を採集した。腰椎椎体はエックス線マイクロ CT 装置（MCT-CB100MF, Hitachi Medical Corporation）で観察し、連続撮影を行った。次いで、腰椎椎体の高さ（H）、幅（W）、深さ（D）、断面積（cross-sectional area；CSA）を計測した（図 1）。椎体の高さは椎体中央部の正中矢状面で測定

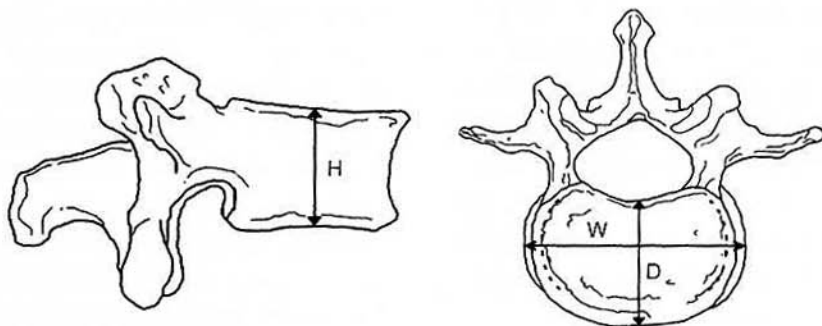


図 1 腰椎椎体外部形態の測定部位

H：椎体の高さ、W：椎体の幅、D：椎体の深さ

<sup>1)</sup> 岐阜大学大学院医学系研究科病態制御学講座解剖学分野, <sup>2)</sup> 星城大学大学院健康支援学研究科, <sup>3)</sup> 藤田保健衛生大学整形外科教室, <sup>4)</sup> 岐阜大学大学院医学系研究科再生医科学専攻知能イメージ情報分野, <sup>5)</sup> 神奈川歯科大学生理学分野

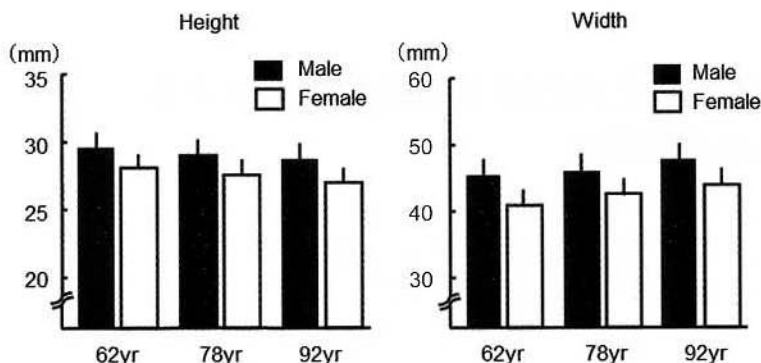


図2 腰椎椎体の高さ(左)と幅(右)の加齢変化

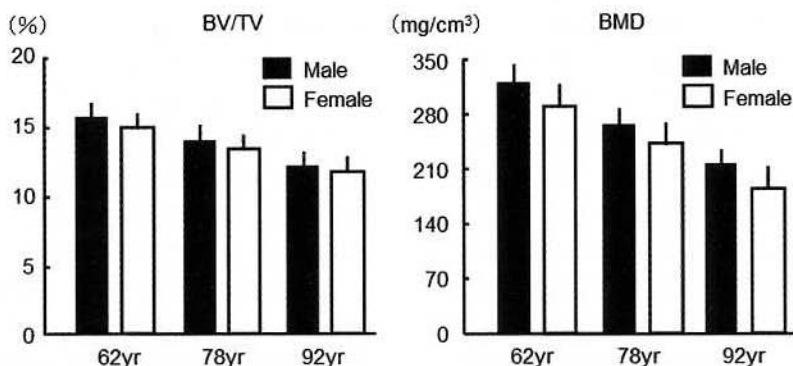


図3 椎体海綿骨 BV/TV (左) と BMD (右) の加齢変化

し、椎体の幅、深さ、断面積は横断面で測定した。骨密度の低い椎体中央部に関心領域を設定し、腰椎椎体中心部  $15 \times 15 \times 15$  mm の立方体を切り取り、三次元画像解析ソフトウェア（ラトックシステムエンジニアリング株式会社）を用いて、Chen らの方法に準じて海綿骨の骨量を定量解析した<sup>2,3)</sup>。また、基準ファントム（京都科学社）を用いて CT 値と骨密度の検量線を生成し、平均 CT 値から骨密度を算出した。さらに、腰椎椎体における上下・前後・左右三方向の海綿骨を定義し、外力に対する各方向の海綿骨抗力を南郷らの方法により算出した<sup>4)</sup>。

## 2 結果

### 1) 椎体外部形態の変化

腰椎椎体の高さの計測結果を図 2 左に示す。椎体中央部の高さは女性より男性のほうが約

2mm 高かった。椎体中央部の高さは男女とも加齢に伴い低くなり、92 歳群の椎体の高さは 62 歳群に比較して約 7% 減少した。椎体中央部の幅は女性より男性のほうが大きく、高さの変化とは逆に、加齢とともに増加傾向が認められた(図 2 右)。92 歳群の椎体の幅は 62 歳群に比較して約 7.5% 増加した。椎体の幅/高さの割合は、男女とも加齢に伴い増加し、92 歳群の幅/高さの割合は 62 歳群に比べて約 15% 増加した。一方、椎体の深さは、高さや幅と同様に、女性より男性のほうが大きく、加齢による有意な変化は認められなかった。椎体中央部の CSA は女性より男性のほうが大きく、椎体の幅と同様加齢とともに増加し、92 歳群の CSA は 62 歳群より  $0.7 \sim 0.9 \text{ cm}^2$  (約 8%) 増加した。

### 2) 椎体の内部構造の変化

腰椎椎体内部にある海綿骨の骨量 (BV/TV) と

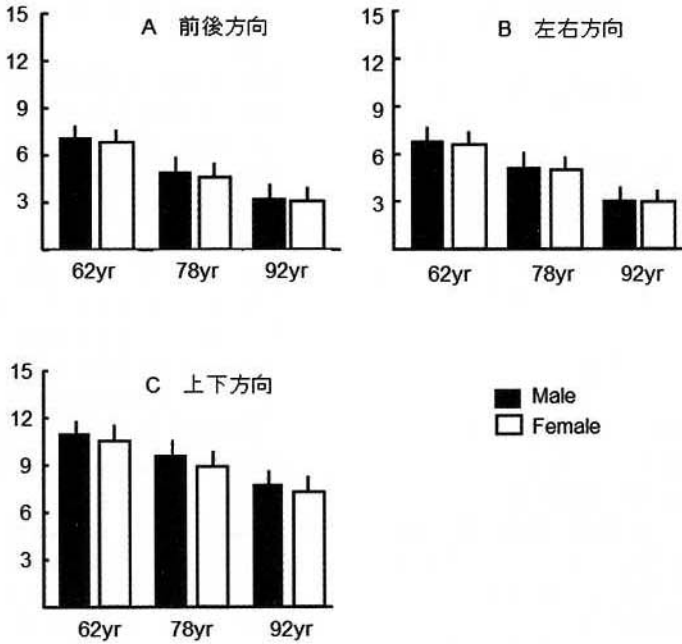


図4 椎体海綿骨抗力の加齢変化

骨密度は、男女とも加齢にしたがって低下し(図3)、92歳群の骨量と骨密度は62歳群のそれより、それぞれ約22%と14%低下した。

椎体海綿骨抗力は椎体の前後、左右方向に比べ、常に力が負荷される上下方向で高かった(図4)。また、加齢に伴い椎体の上下、前後、左右3方向の海綿骨抗力がすべて低下した。92歳群の上下、前後、左右3方向の海綿骨抗力は62歳群に比較して、それぞれ約30%、約60%、約60%減少し、減少率は上下方向より、前後、左右方向で顕著であった。

### 3 考 察

腰椎の力学強度には、骨密度のほか、骨特有の外部形態と内部構造が複雑に関わっているといわれている<sup>1,5)</sup>。腰椎椎体の骨強度を100%と換算すると、そのうち70%は骨密度の、また4%は椎体の高さの影響を受けると報告されている<sup>6)</sup>。また、Duanらは椎体中央部の断面積が骨強度に大きく影響し<sup>7)</sup>、McDonnellらは、腰椎の外部形態だけでなく、腰椎内部にある海綿骨の構

造特性(骨量、骨梁の形状、骨梁の幅、骨梁の数、骨梁の連結性を含む骨形態パラメータ)が腰椎の力学強度に深く関与していると指摘している<sup>8)</sup>。われわれはこれまでに、1,031症例のCT画像から椎体海綿骨の骨密度を計測し、骨密度は加齢、性別および椎体の高さのレベルに依存することを明らかにしてきた<sup>9)</sup>。今回、加齢に伴う腰椎椎体の外部形態と内部構造の変化を同時に検討した結果、腰椎椎体の内部における海綿骨の骨量と骨密度が加齢とともに低下することがわかった。また、海綿骨抗力は左右と前後方向に比べ、荷重を支える上下方向で減少率が比較的小さいことがわかった。一方、腰椎椎体外部形態のうち、男女とも加齢に伴い椎体の高さが低下したが、幅と断面積が逆に増加することが明らかとなった。これらのことから、腰椎椎体の脆弱性をあらわす指標として椎体の高さだけではなく、幅/高さの割合を測定することにより、より正確な骨強度を知ることができるものと考えられた。さらに、92歳群の椎体の高さは62歳群より約7%低下するが、これは椎体内部

の海綿骨の骨量変化 (22%) の 1/3 に相当することから、椎体の内部構造より外部形態の変化率のほうが小さいこともわかった。

【謝 辞】 本稿を終えるにあたり、骨粗鬆症財団より平成 22 年度研究助成を賜りましたことに深謝いたします。また、本研究の遂行にあたり、マイクロ CT 装置のご提供をいただいた岐阜大学大学院医学系研究科組織・器官形成分野の手塚建一先生に感謝の意を表します。

## 文 献

- 1) Prakash, et al. Vertebral body integrity: a review of various anatomical factors involved in the lumbar region. *Osteoporos Int* 2007;18:891-903.
- 2) Chen H, et al. Age- and gender-dependent changes in three-dimensional microstructure of cortical and trabecular bone at the human femoral neck. *Osteoporos Int* 2010;21:627-36.
- 3) Chen H, et al. Regional variations of vertebral trabecular bone microstructure with age and gender. *Osteoporos Int* 2008;19:1473-83.
- 4) 南郷脩史ほか. 骨粗鬆症による腰椎脆弱性の評価. *Osteoporosis Jpn* 2008;16:114-7.
- 5) Ruysse-Witrand A, et al. Vertebral dimensions as risk factor of vertebral fracture in osteoporotic patients: a systematic literature review. *Osteoporos Int* 2007;18:1271-8.
- 6) Seeman E, et al. Fracture site-specific deficits in bone size and volumetric density in men with spine or hip fractures. *J Bone Miner Res* 2001;16:120-7.
- 7) Duan Y, et al. Structural and biomechanical basis of racial and sex differences in vertebral fragility in Chinese and Caucasians. *Bone* 2005;36:987-98.
- 8) McDonnell P, et al. Vertebral osteoporosis and trabecular bone quality. *Ann Biomed Eng* 2007;35:170-89.
- 9) Hayashi T, et al. Analysis of bone mineral density distribution at trabecular bones in thoracic and lumbar vertebrae using X-ray CT images. *J Bone Miner Metab* 2011;29:174-85.