

骨梁の画像解析における数理形態フィルタの適用性の検討

北山 彰¹, 林 明子¹, 天野 貴司¹,
荒尾 信一¹, 原内 一¹, 友光 達志¹,
曾根 照喜², 福永 仁夫²

Study of the Application of Morphological Filter to Image Analysis of Trabeculae

Akira KITAYAMA¹, Akiko HAYASHI¹, Takashi AMANO¹,
Shinichi ARAO¹, Hajime HARAUCHI¹, Tatsushi TOMOMITSU¹,
Teruki SONE² and Masao FUKUNAGA²

キーワード：数理形態フィルタ，骨梁，画像解析，骨粗鬆症，踵骨 X 線画像

概 要

骨粗鬆症の診断，予防，そして治療の導入には骨強度の計測が重要である。現在，骨強度の推定法のひとつとして，骨 X 線写真に写る骨梁像から画像処理による骨梁の構造解析を行い，骨梁の特徴量を求める手法が，種々試みられている。

今回我々は，骨梁の特徴量として，骨梁の太さ，長さ，骨梁の面積，骨梁の本数を求める構造解析において，画像処理の過程で，画像の雑音を除去して図形パターンの特徴を 2 値化画像として抽出する数理形態フィルタの適用が有効であるか否かについて検討した。

その結果，骨梁の 2 次元画像解析では，数理形態フィルタを適用することによって，雑音が除去され，骨梁の特徴が強調された画像を得ることが可能であった。また，特に骨梁の太さの解析では，Opening 処理を行うことによって，踵骨骨密度との相関関係が改善されることがわかった。

1. 緒 言

近年，わが国では高齢化社会の到来とともに加齢に伴う退行性疾患が増加している。なかでも骨の退行性疾患の一つである骨粗鬆症の患者数の増加は顕著なものがあり¹⁾，その予防や治療は医学的のみならず，社会的にも強く要望されている。骨粗鬆症とは骨量の減少と骨の微細構造の劣化によって骨強度が脆弱化し，その結果，骨折を起こし易くなった全身性の骨疾患と定義²⁾され，骨粗鬆症の診断，予防，そして治療の導入には，骨強度の定量的な計測が重要である。

図 1 に健常および骨粗鬆症の腰椎椎体断面とその中央部の骨梁構造の比較を示すが，骨粗鬆症例では骨梁

の分布密度が疎となり，骨梁の太さが細くなっていることがわかる³⁾。現在，この健常と骨粗鬆症の骨構造の違いを骨 X 線写真に描出される骨梁像から画像処理によって求め，骨密度測定と同時に骨強度の推定を行う骨梁の構造解析法が，種々試みられている⁴⁻⁶⁾。

骨 X 線写真を用いた骨梁の構造解析では，骨梁の太さ，長さ，骨梁の面積（骨の量），骨梁の本数（分布密度），構造の複雑さなどの特徴量が定量的に解析^{4,7,8)}され，骨密度値および骨強度と比較されているが，今回我々は，これらの骨梁構造の特徴量を抽出する画像処理の過程において，画像の雑音を除去して図形パターンの特徴を 2 値化画像として抽出する数理形態フィルタ⁹⁾の適用が有用であるか否かについて検討した。

2. 対象および方法

対象には 24 歳から 61 歳まで（平均 48.0 ± 11.3 歳）の健常者 10 例および原発性骨粗鬆症の診断基準¹⁰⁾によって骨梁減少もしくは骨粗鬆症と診断された 6 例の計 16 例（踵骨骨密度値：0.154～0.603 g/cm³，平均 0.327 ±

（平成 20 年 10 月 15 日受理）

¹⁾川崎医療短期大学 放射線技術科

²⁾川崎医科大学 核医学教室

¹⁾Department of Radiological Technology, Kawasaki College of Allied Health Professions

²⁾Department of Nuclear Medicine, Kawasaki Medical School

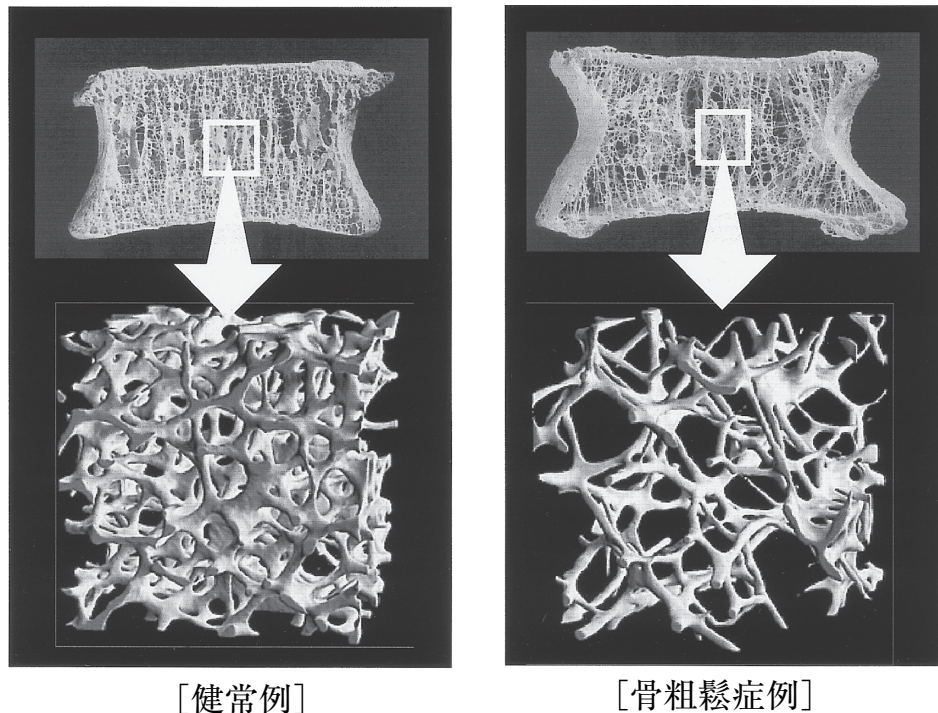


図1 健常例と骨粗鬆症例の腰椎椎体断面およびその中央部の骨梁構造の比較
健常例では骨梁の構造は太く分布は密であるが、骨粗鬆症例の骨梁は細く分布は粗であり、穴空き構造が目立つ。

0.119 g/cm³) の踵骨側面 X 線画像を用いた。対象の X 線画像の使用については川崎医療短期大学倫理委員会で承認済みである (平成20年6月5日)。

図2に実験の手順を示す。X線画像はフィルムデジタルタイザ (LD-4500; コニカ) を用いて標準化0.1mm, 量子化8 bitにてデジタル化を行い, 画像データをパーソナルコンピュータ (FMV-E600; 富士通) に取り込み, 骨梁計測が可能ないように反転処理後, 主骨梁の走行が水平方向になるように角度補正を行った。

次に, 踵骨中央部から128×128pixelの関心領域を切り出し, 背景トレンド処理によって骨の厚さによる濃度変動を除去したのち, 2値化処理を行い, 数値形態フィルタ (図3) を適用したときと適用しないときの骨梁の太さ, 面積, 本数を求めた。また, 骨梁の長さについては, 骨梁の方向性のみを線画で表示する骨格化処理画像から計測した。

そして, それらの特徴量を一般に骨強度の指標として用いられている骨密度値と比較して相関関係を求め, 骨梁の構造解析における数値形態フィルタ処理の有用性について検討した。

なお, 数値形態フィルタ処理では, 構造要素に半径0.5mmの円を使用し, 予備実験から, 目視によって画像中の雑音要素がよく除去され, 原画像に写る骨梁像の

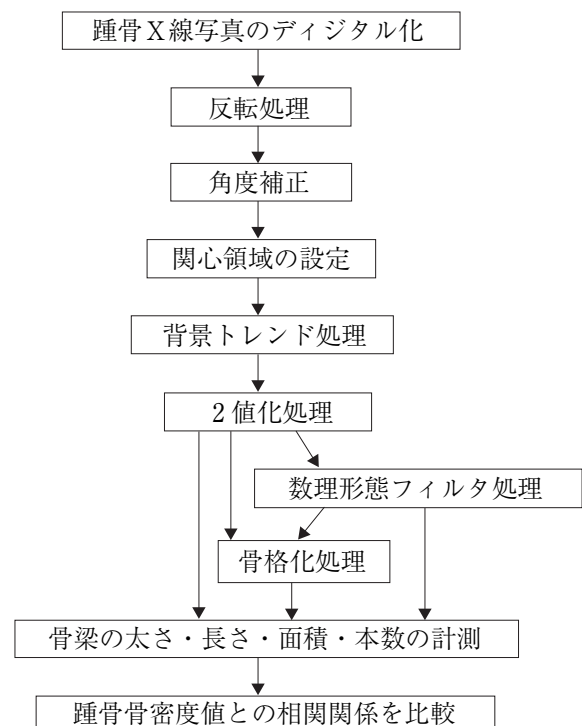


図2 実験の手順
数値形態フィルタ処理では, 構造要素に半径0.5mmの円を使用し, Opening 処理2回と Closing 処理2回を適用した。

特徴を最もよく抽出することのできた Opening 処理2回と Closing 処理2回を適用した。また, 画像処理

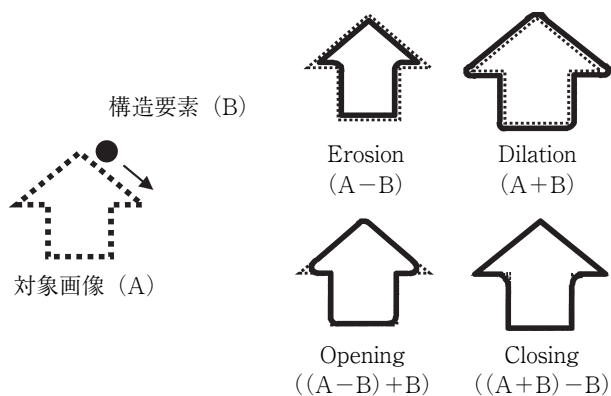


図3 数理形態フィルタ

雑音を除去して図形パターンの特徴を2値化画像として抽出するフィルタで、Erosion、Dilation、Opening、Closingとそれらの組み合わせの操作を基本とする。Erosionとは対象画像の内側にある形状と大きさを持った構造要素でなぞって画像を収縮させる操作で、画像の細かい雑音成分がカットされる。DilationとはErosionとは逆に対象画像の外側をなぞって膨張させる操作である。OpeningはErosionで収縮を行ったあと、Dilationで膨張を行う操作で、処理画像の大きさは原画像と同じだが、構造要素の形状、大きさによって、外方に飛び出したエッジが検出される。ClosingはOpeningとは逆にDilationのあとErosionを行う操作で、内方に飛びだしたエッジが検出される。

にはパブリックドメインソフト Scion Image Ver.4.0.2 を、数値計算には表計算ソフト (Excel 2000 ; Microsoft) を使用した。

3. 結 果

図4に踵骨側面X線画像(中央の白枠が関心領域)、関心領域の2値化処理画像とそれに数理形態フィルタのOpening処理を適用した画像を示す。2値化画像に数理形態フィルタを適用すると、画像の細かい雑音が除去されて、骨梁構造が特徴的に描出されているのがわかる。

図5～8に踵骨側面X線画像に描出された骨梁像から構造解析によって求めた骨梁の特徴量と踵骨骨密度値との相関関係を示す。図5が骨梁の太さ、図6が骨梁の長さ、図7が骨梁の面積、図8が骨梁の本数である。また、各図の左側が画像処理の過程で数理形態フィルタを使用しなかったときの踵骨骨密度値との相関関係で、図の中央が画像処理の過程で数理形態フィルタのOpening処理を2回適用したときの相関関係、図の右側がClosing処理を2回適用したときの相関関係である。表1には、今回検討を行った骨梁の特徴量と踵骨骨密度値との相関関係を相関係数でまとめて示す。

骨梁の太さについては、数理形態フィルタを使用しないときには踵骨骨密度値との相関関係が認められないが、数理形態フィルタ処理のOpening処理を適用することによって負の相関関係が認められるようになった(図5)。

骨梁の長さについては、数理形態フィルタを使用しなくても踵骨骨密度値との相関関係が認められたが、数理形態フィルタ処理の適用によってOpening処理、Closing処理ともに、踵骨骨密度値との相関関係がわずかに改善された(図6)。

骨梁の面積については、表1に示すとおり、今回検討を行った骨梁の特徴量の中で、踵骨骨密度値と最も高い相関関係を示していたが、数理形態フィルタ処理の適用によって踵骨骨密度値との相関関係が低下した(図7)。

骨梁の本数についても、骨梁の面積と同様に、数理形態フィルタ処理の適用によって踵骨骨密度値との相関関係は低下した(図8)。

4. 考 察

今回検討を行った骨梁の特徴量の中で、最も数理形態フィルタの適用が計測値に影響を与えたのは、骨梁

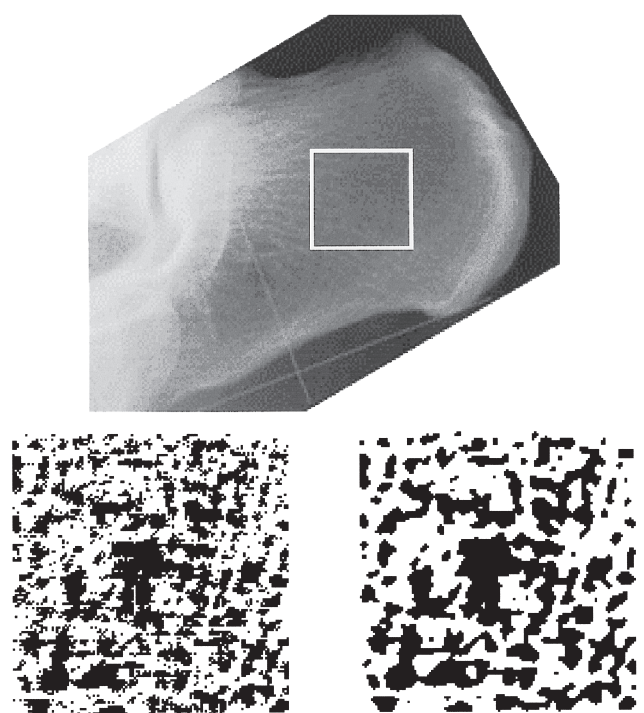


図4 踵骨中央部の2値化処理画像(左)と数理形態フィルタ(Opening処理)適用画像(右)
2値化画像に数理形態フィルタを適用すると画像の細かい雑音が除去されて骨梁構造が特徴的に描出されている。

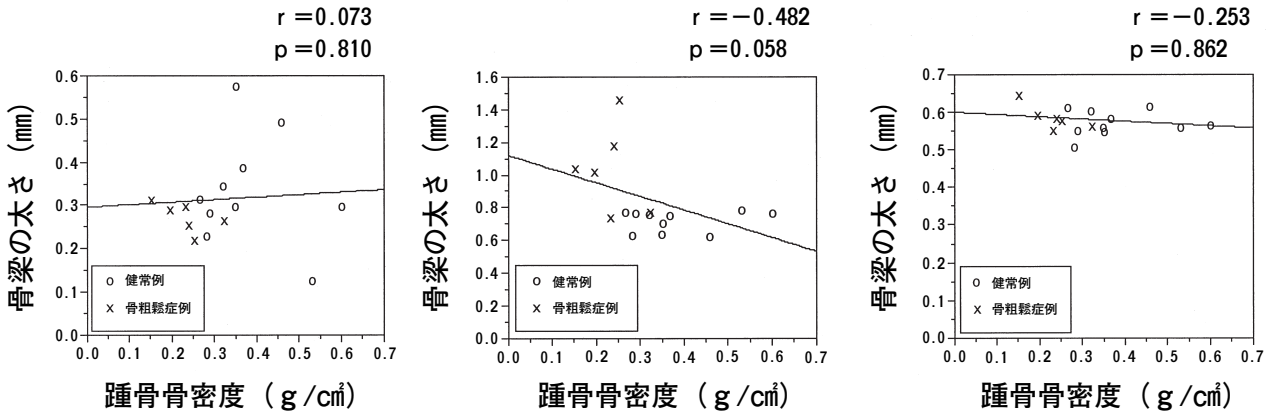


図5 骨梁の太さと踵骨骨密度値との相関関係
 数値形態フィルタの適用なし (左) 数値形態フィルタを適用：Opening (中), Closing (右)
 数値形態フィルタを使用しないときには踵骨骨密度値との相関関係が認められないが、数値形態フィルタ処理のOpening 処理を適用することによって負の相関関係が認められるようになった。

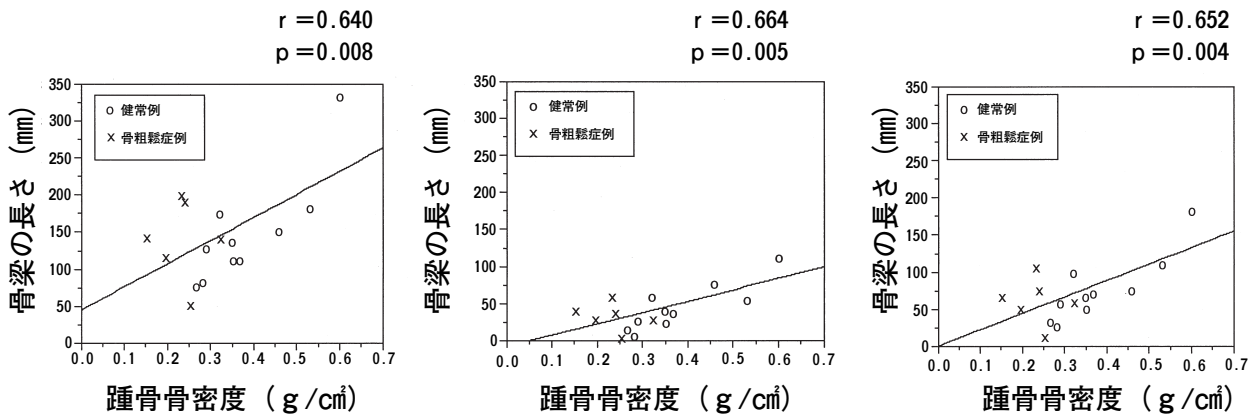


図6 骨梁の長さと踵骨骨密度値との相関関係
 数値形態フィルタの適用なし (左) 数値形態フィルタを適用：Opening (中), Closing (右)
 数値形態フィルタを使用するとOpening 処理, Closing 処理ともに、踵骨骨密度値との相関関係がわずかに改善された。

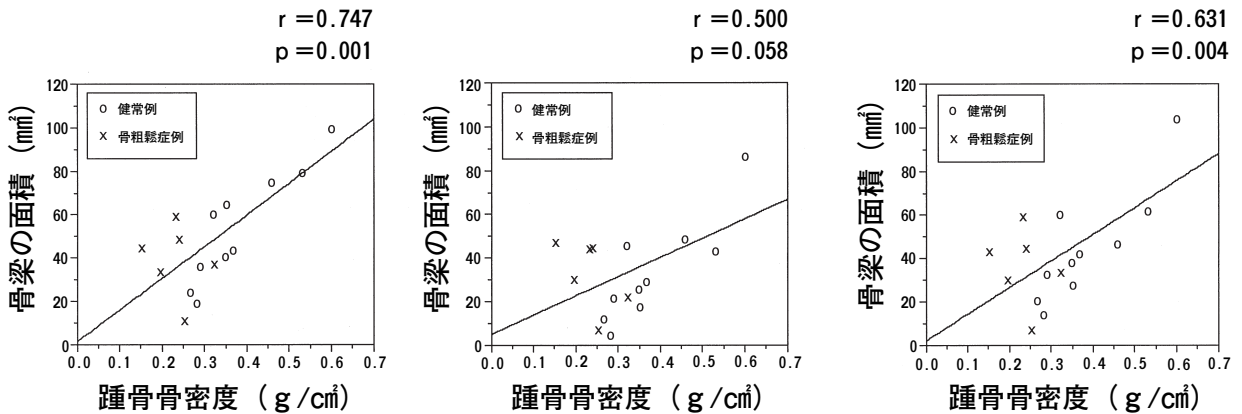


図7 骨梁の面積と踵骨骨密度値との相関関係
 数値形態フィルタの適用なし (左) 数値形態フィルタを適用：Opening (中), Closing (右)
 数値形態フィルタの適用によって踵骨骨密度値との相関関係は低下した。

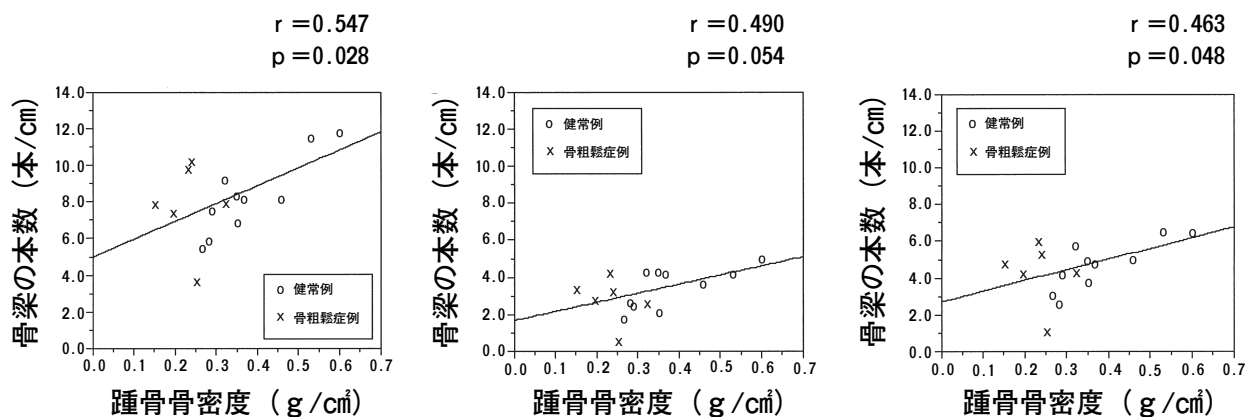


図8 骨梁の本数と踵骨骨密度値との相関関係
 数理形態フィルタの適用なし (左) 数理形態フィルタを適用: Opening (中), Closing (右)
 数理形態フィルタの適用によって踵骨骨密度値との相関関係は低下した。

表1 検討した骨梁の特徴量と踵骨骨密度の相関関係

検討した特徴量	数理形態フィルタ適用なし	数理形態フィルタを適用	
		Opening	Closing
骨梁の太さ	0.073 (p=0.810)	-0.482 (p=0.058)	-0.253 (p=0.862)
長さ	0.640 (p=0.008)	0.664 (p=0.005)	0.652 (p=0.004)
面積	0.747 (p=0.001)	0.500 (p=0.058)	0.631 (p=0.004)
本数	0.547 (p=0.028)	0.490 (p=0.054)	0.463 (p=0.048)

骨梁の太さは、数理形態フィルタの Opening 処理の適用によって踵骨骨密度値との相関関係が改善されたが、骨梁の面積、本数については、数理形態フィルタの適用によって踵骨骨密度値との相関関係は低下した。

の太さの計測に数理形態フィルタの Opening 処理を適用したときであった。Opening 処理では、図3に示すとおり、まず最初に Erosion を行うため、大きさが構造要素よりも小さな構造物は雑音成分としてカットされる(図4参照)。一方、Closing 処理では、Dilation の後に Erosion が行われるため、処理後画像には小さな構造物が残りやすい。つまり、骨梁の太さの検討では、Opening 処理を適用したときには、小さな構造物として X 線画像上に描出されていた雑音成分が適正にカットされ、骨梁の太さの計測が正確に行われたために、踵骨骨密度値との相関関係が認められるようになったと考える。また、Closing 処理では、雑音成分の除去が不十分であったために、数理形態フィルタの効果が十分に得られなかったと思われる。

骨梁の面積および骨梁の本数の計測において、画像処理の過程で数理形態フィルタを適用すると Opening

処理、Closing 処理ともに踵骨骨密度値との相関関係が低下したことについては、数理形態フィルタの適用は、X 線画像上に描出された細かな雑音成分を除去して構造物の特徴量が強調された簡素化画像を得ることができるが、今回は使用した数理形態フィルタの構造要素の形状・大きさが適切ではなかったために、フィルタの適用によって、雑音成分のみならず骨梁像の成分の一部までもが画像上から除去されたため、踵骨骨密度値との相関関係が低下したと考える。

5. 結 語

骨梁の2次元画像解析に数理形態フィルタを適用した結果、雑音除去された骨梁像の特徴抽出が可能であった。

特に骨梁の太さの解析では、Opening 処理を行うことによって、踵骨骨密度との相関関係が改善された。他方、骨梁の面積、本数の解析では、数理形態フィルタを適用すると相関関係は低下した。しかし、これらについては、数理形態フィルタの構造要素の形状や大きさ、あるいは実行する組み合わせなどを考慮することで改善することが可能であると考える。

6. 文 献

- 1) 鈴木隆雄, 林 泰史, 福永仁夫, 吉村典子, 荻野 浩, 藤原佐枝子, 塚原典子, 伊木雅之: 図でみる骨粗鬆症2002(疫学編), Osteoporosis Jpn. 10(1): 7-31, 2002.
- 2) 山本逸雄: 骨粗鬆症の定量診断, CLINICAL CALCIUM 5 (11): 7, 1995.
- 3) Lis M: Age-related Changes in Spinal Bone Mass, Structure and Strength, J. Jpn. Soc. Bone Morphom. 8: 9

- 18, 1998.
- 4) 北山 彰, 板谷道信, 友光達志, 荒尾信一, 天野貴司, 林明子, 曾根照喜, 福永仁夫, 山下一也: 骨梁の画像解析, 日放技学誌56(3): 460—471, 2000.
- 5) Chinander MR, Giger ML, Martell JM and Favus MJ: Computerized Analysis of Radiographic Bone Patterns: Effect of Imaging Conditions on Performance, Med. Phys. 27(1): 75—85, 2000.
- 6) 村上誠一, 小田敘弘, 二神恵津朗, 藤本啓司, 陣内裕介, 桂川茂彦, 中田 肇, 青木隆敏, 池田 聡: CR (computed radiography) 踵骨画像を用いた骨粗鬆症の新しい評価法, 日放技学誌59(10): 1285—1294, 2003.
- 7) 曾根照喜, 友光達志, 福永仁夫, 北山 彰, 板谷道信, 山下一也: 骨梁構造の画像解析, 日骨形態誌 6: 21—26, 1996.
- 8) 北山 彰, 板谷道信, 友光達志, 曾根照喜, 福永仁夫: X線画像における骨梁の空間周波数成分の解析, Osteoporosis Jpn. 8(2): 107—110, 2000.
- 9) 鹿島 勇, 熊坂さつき, 松木貴彦: 数理形態学による骨構造の骨格特徴抽出 — コンピューテッドラジオグラフィへの応用 —, THE BONE 10(4): 67—75, 1996.
- 10) 折茂 肇, 林 泰史, 福永仁夫, 曾根照喜, 藤原佐枝子, 白木正孝, 串田一博, 宮本繁仁, 宗圓 聰, 西村純二, 大橋靖雄, 細井孝之, 五来逸雄, 田中弘之, 猪飼哲夫, 岸本英彰: 原発性骨粗鬆症の診断基準 (2000年度改訂版), 日骨代謝誌18(3): 76—82, 2001.