

筋強調フィルタ法による腰椎骨梁の定量解析

北山 彰¹, 板谷 道信¹, 山下 一也¹
 友光 達志², 曾根 照喜³, 福永 仁夫³
 山北 幸重⁴, 山内 広世⁴

Quantitative Analysis of Lumbar Trabeculae by Streak-Emphasized Filter Method

Akira KITAYAMA¹, Michinobu ITAYA¹, Kazuya YAMASHITA¹,
 Tatsushi TOMOMITSU², Teruki SONE³, Masao FUKUNAGA³,
 Yukishige YAMAKITA⁴ and Hirose YAMAUCHI⁴

キーワード：デジタル画像解析，筋強調フィルタ法，骨梁，骨萎縮度分類，腰椎側面X線像

概 要

腰椎側面X線画像による骨萎縮度の分類は、縦行する骨梁の状態を視覚的に判定する主観的診断法によって行われているが、この方法は観察者の経験や観察時の環境など種々の要因によって影響を受ける。そこで我々は腰椎側面X線像に描出された骨梁を画像工学的に強調する筋強調フィルタ法を考案し、骨梁の定量解析を試みた。

その結果、新しく考案した筋強調フィルタ法は前処理に背景トレンド処理を必要とすることなく、骨梁を有効に抽出することが可能であった。また、サイズの異なる平滑化フィルタを使用し得られた結果を互いに比較することで、解析の対象とする骨梁の横幅を指定することが可能であった。

これらにより、新しく考案した筋強調フィルタ法は、腰椎側面X線画像において縦行する骨梁の太さと数を定量的に評価することを可能にした。

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される²⁾。したがって、骨粗鬆症の診断、予防および治療の導入には、骨強度を定量的に計測することが臨床上重要である。

骨強度は、骨量と骨の3次元構造などに依存する³⁾。

一般に骨量は、dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) や quantitative computed tomography (QCT) など、X線を用いた骨塩定量法に基づく骨密度測定によって定量的に判定されている⁴⁾。他方、骨の構造解析は、組織学的に骨形態計測を行う侵襲的な技法⁵⁾やX線画像をコンピュータに取り込み非侵襲的に骨梁の構造解析を行う方法⁶⁻¹⁰⁾が一部では行われているものの、これらの定量的解析法は未だ確立されていない。また、従来から骨強度の定性的評価法として行われてきた骨萎縮度分類法は、腰椎側面X線像に描出された縦行する骨梁の数と走行状態を視覚的に判定し、骨量の多少とともに構造を同時に判定できる方法である。

日本骨代謝学会の「原発性骨粗鬆症の診断基準(1996年度改訂版)」¹¹⁾では、骨粗鬆症の診断は第一義的に腰椎の骨密度もしくは骨萎縮度分類によって行うように定められている。しかし、主観的診断法である骨萎縮度分類は、観察者が視覚的に判定するため、観察者の経験や知識、写真を観察するときの環境あるいは観察時の精神状態など、様々な要因によって判定結果が影

(平成11年9月9日受理)

¹⁾川崎医療短期大学 放射線技術科, ²⁾川崎医科大学附属病院 中央放射線部, ³⁾川崎医科大学 核医学, ⁴⁾旭化成工業株式会社

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

²⁾Department of Radiology, Kawasaki Medical School Hospital

³⁾Department of Nuclear Medicine, Kawasaki Medical School

⁴⁾Asahi Chemical Industry Co., Ltd.

響を受け、客観的な判定法としては問題がある。

そこで我々は、骨萎縮度分類に従い、骨梁の分布状態から骨強度を定量的に評価することを目的として本研究を行った。つまり、腰椎側面X線画像に描出された骨梁を画像工学的に強調する筋強調フィルタ法を考案し、画像上で縦行する筋の数を計測することによって骨梁の定量解析を試みたので報告する。

2. 対象および方法

基礎的検討の対象には健常例（摘出第2腰椎骨密度値 0.857 g/cm^2 ）および骨粗鬆症例（摘出第2腰椎骨密度値 0.353 g/cm^2 ）の献体から摘出された第2腰椎の側面X線画像を使用し、臨床的検討には椎体骨折23例を含む女性95例（23～78歳、（平均年齢±標準偏差 57.8 ± 8.5 歳）、腰椎骨密度値 $0.409 \sim 1.166 \text{ g/cm}^2$ 、 $(0.768 \pm 0.135 \text{ g/cm}^2)$ ）の第3腰椎側面X線画像を使用した。

図1に画像解析の手順を示す。まず、腰椎側面X線画像をフィルムディジタル化(LD-4500, コニカ)を用いてピクセルサイズ 0.1 mm 、量子化8 bitでデジタル化し、画像をパーソナルコンピュータ(Macintosh 8600/250, Apple)に記憶させた。ついでコンピュータのモニター上でパブリックドメイン画像処理ソフト NIH Image (Ver. 1.61)を使用し、腰椎の前屈、後屈による骨の傾きを幾何学的変換処理で、縦に走行する骨梁が垂直となるように角度補正したあと、腰椎椎体の中

央部に 200×250 ピクセルの関心領域 (region of interest, ROI)を設定し、これを解析の対象とした。

次にROIの原画像に対し、①平滑化フィルタを適用し、ROIのボケ画像を作成した。②原画像からボケ画像を減算し、骨梁のエッジが強調された画像を作成した。③ROI画像の骨梁だけを抽出するために、減算によって作成されたエッジ強調画像に対し、ROIのピクセル値の平均値を閾値とした2値化処理を行った。なお、使用した平滑化フィルタのサイズは、 5×5 、 11×11 、 21×21 、 31×31 、 41×41 と 51×51 の6種類である。ここで、我々は①から③までの一連の画像処理の過程を筋強調フィルタ法と呼称する。

図2に1本の骨梁を例にして、我々が考案した筋強調フィルタ法について説明する。図2の(a)～(c)は骨梁における直線L-L'間の写真濃度プロフィールを示し、(a)の実線は原画像、点線は平滑化フィルタ処理後のボケ画像、(b)の実線は減算処理（原画像－ボケ画像）後のエッジ強調画像の写真濃度プロフィールである。また、(b)の1点鎖線は2値化処理の閾値レベルを示し、

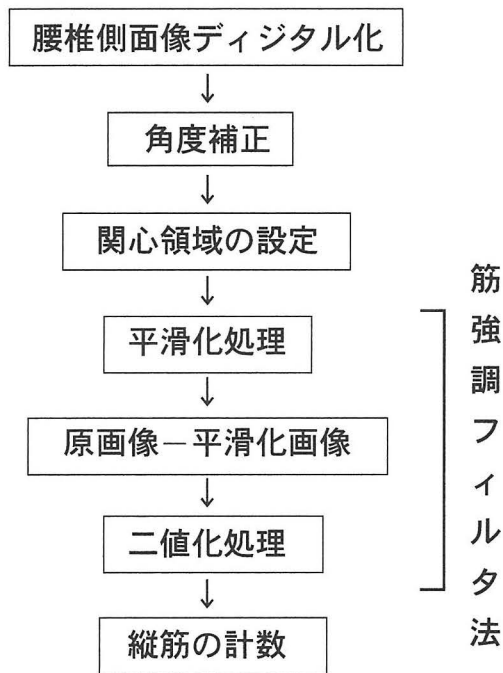


図1 画像解析の手順

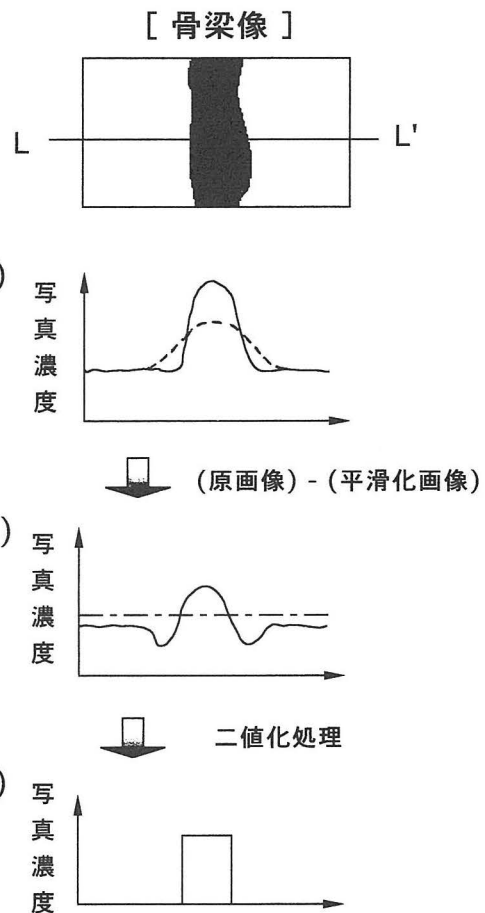


図2 筋強調フィルタ法の概略

(c)はエッジ強調画像を2値化処理し、骨梁構造が強調された画像の写真濃度プロファイルである。

そして最後に、筋強調フィルタ法によってROIの画像上に明瞭に描出された骨梁から表計算ソフト Excel (Ver. 5.0, Microsoft) を用いて縦行する筋の数を計数した。

3. 結 果

図3および図4に考案した筋強調フィルタ法を平滑化フィルタのフィルタサイズを変化させて、健常例および骨粗鬆症例の抽出腰椎側面画像に適用し得られた2値化画像を示す。また、図5にはこれらの画像から計数された縦筋の数と使用した平滑化フィルタのフィ

ルタサイズとの関係を示した。

平滑化フィルタのサイズが小さいと細い骨梁構造が描出され、したがって計数される筋の数は多くなった。他方、フィルタサイズが大きくなるに従い、太い骨梁構造が描出され、計数される筋の数は次第に減少した。

健常例と骨粗鬆症例では、すべてのフィルタサイズにおいて骨粗鬆症例の方が計数された縦筋の数が多く、健常例と骨粗鬆症例で検出された筋の数の差が最も大きかったのは、平滑化フィルタサイズが11×11のときであった。

図6に平滑化フィルタサイズが11×11の筋強調フィルタ法を椎体骨折23例を含む95例の臨床画像に適用したときに求められた縦筋の数と腰椎骨密度との関係を示した。

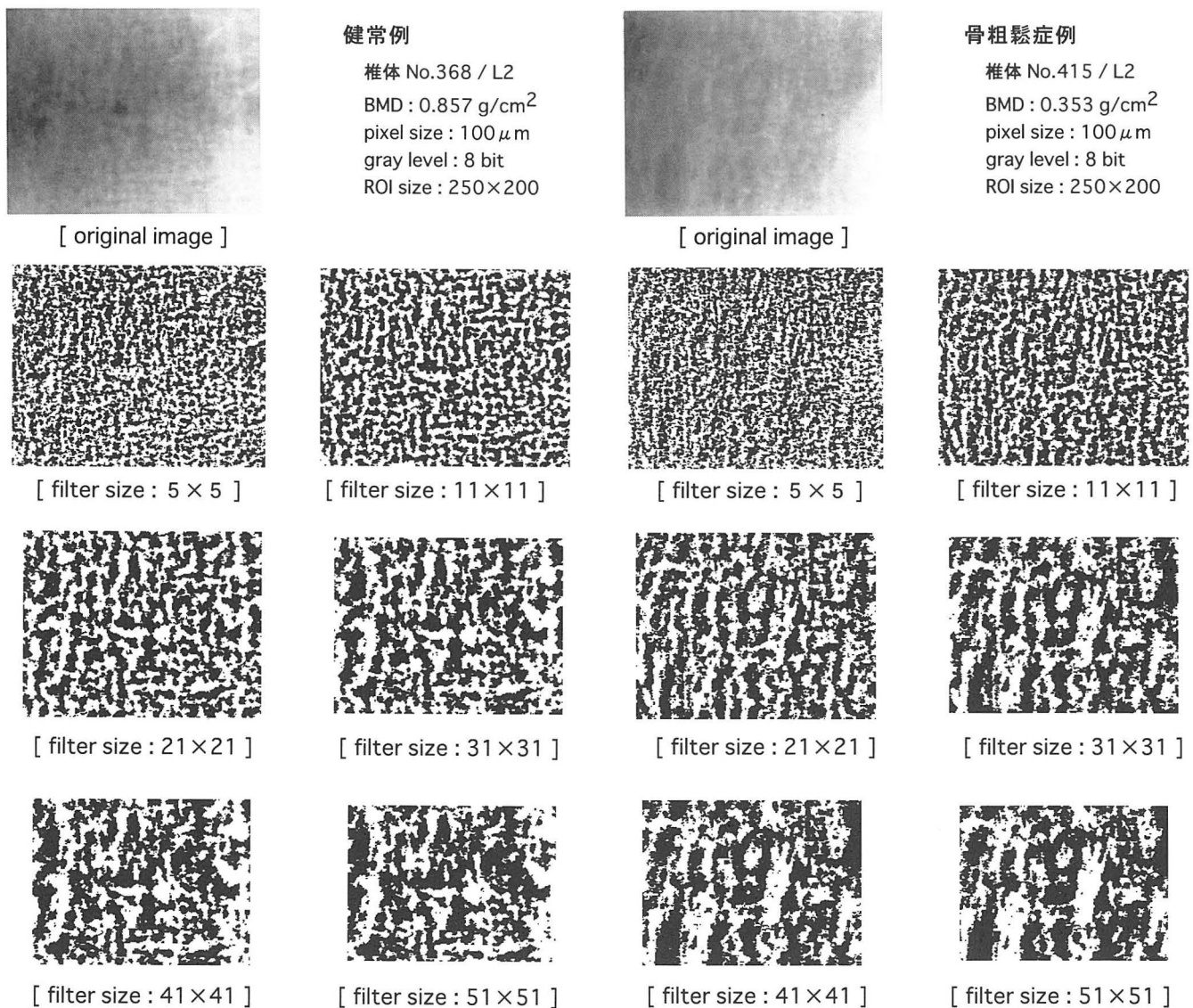


図3 平滑化フィルタサイズを変化させ、筋強調フィルタ法を適用したときの2値化画像：健常例

図4 平滑化フィルタサイズを変化させ、筋強調フィルタ法を適用したときの2値化画像：骨粗鬆症例

示した。

筋強調フィルタ法によって求められた縦筋の数と腰椎骨密度との間には弱い負の相関性 ($r = -0.26, p = 0.011$) が認められた。

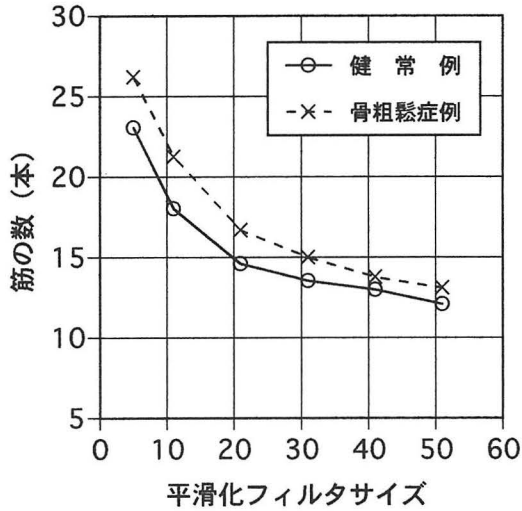


図5 平滑化フィルタサイズと筋強調フィルタ法によって計数された縦筋の数との関係

4. 考 察

新しく考案した筋強調フィルタ法は前処理に背景トレンド処理を必要とすることなく、指定した ROI 全体の骨梁を有効に抽出することが可能であった。

健常例および骨粗鬆症例に筋強調フィルタ法を適用した場合、検出された縦筋の数は骨粗鬆症例の方が多かった。これは図7の写真濃度プロファイルで示すように、健常例では骨梁の3次元的な分布密度が高く、したがってX線写真上で骨梁と骨梁の重なりが生じ、骨梁の写真コントラストが高くなる。このため、1点鎖線で示す閾値レベルで2値化を行った場合、実際の骨梁の分布密度は高いにもかかわらず、検出される筋の数は少なくなったと考えられる。他方、骨粗鬆症例では骨梁の3次元的な分布が粗であるために、X線写真上で骨梁の写真コントラストが低く、したがって2値化処理を行った場合、多くの骨梁が抽出されることが原因であると考えられた。

また、筋強調フィルタ法を腰椎側面X線画像に適用して得られた縦筋の数と腰椎骨密度との相関性が低かったことについては、腰椎骨密度は骨量の指標であるのに対し、筋強調フィルタ法によって計数された縦筋の数は骨構造の指標であることが原因であると考えられる。

表1に臨床画像に対し、ある平滑化フィルタサイズを用いて計数された縦筋の数から、異なるフィルタサイズを使用して計数された縦筋の数を減算して得られた結果と腰椎骨密度との相関係数を示す。

異なるフィルタサイズの結果を互いに比較することによって解析の対象とする骨梁の横幅を指定することが可能である。単一の平滑化フィルタのみを使用した場合に比べ、複数の平滑化フィルタを組み合わせた場

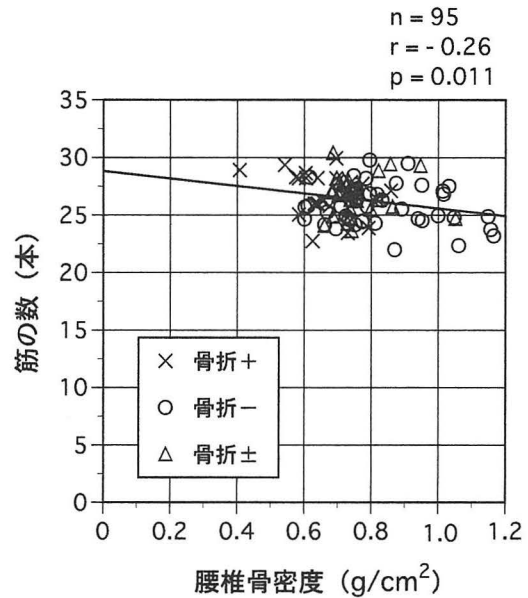


図6 腰椎骨密度と筋強調フィルタ法によって計数された縦筋の数との関係 (平滑化フィルタサイズ11×11)
図の×印は椎体骨折が認められる症例、○印は椎体骨折が認められない症例、△印は椎体骨折の有無が断定できない症例を示す。

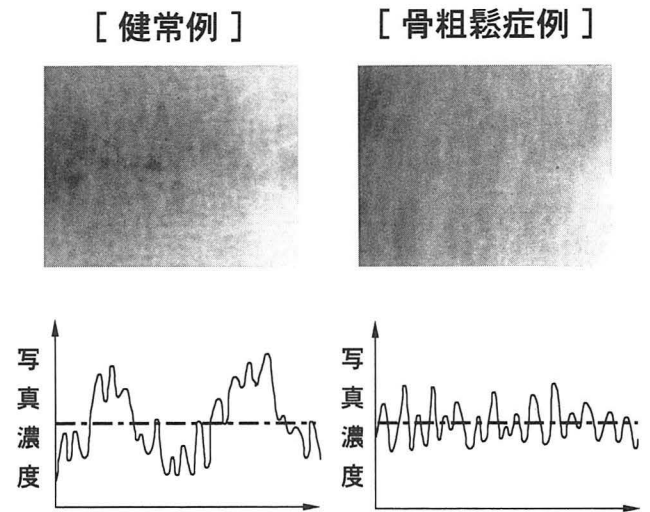


図7 健常例および骨粗鬆症例の腰椎側面X線像における写真濃度プロファイルの概念
写真濃度プロファイルの1点鎖線は2値化の閾値を示す

合では、得られた結果と腰椎骨密度との相関係数が高い値となった。つまり、骨梁の太さの因子を考慮に入れることで骨量の指標である腰椎骨密度との相関性が向上したものと考えられる。

表1 平滑化フィルタサイズの組み合わせとそのときに減算によって求めた縦筋の数と骨密度との相関係数

平滑化フィルタのサイズの組み合わせ	縦筋の数と骨密度との相関係数
(5)-(11)	-0.190
(11)-(21)	-0.295
(21)-(31)	-0.268
(31)-(41)	-0.257
(41)-(51)	-0.247
(5)-(21)	-0.288
(11)-(31)	-0.330
(21)-(41)	-0.309
(31)-(51)	-0.282
(5)-(31)	-0.316
(11)-(41)	-0.345
(21)-(51)	-0.324

5. 結 論

- (1) 新しく考案した筋強調フィルタ法は骨梁構造を有効に描出でき、その太さと数を定量的に評価することが可能であった。
- (2) 使用する平滑化フィルタのサイズを大きくすると太い筋が描出され、計数される筋の数は減少した。
- (3) 骨粗鬆症の診断に使用する平滑化フィルタのサイズは、11×11が適切であった。
- (4) 計測された縦筋の数と骨密度との間には弱い負の相関性 ($r = -0.26$, $p = 0.011$) が認められた。また、この相関性はサイズの異なる平滑化フィルタを

考慮に入れることで向上した。

以上により、筋強調フィルタ法はX線画像の骨梁の定量化に有用であった。今後、2値化時の閾値あるいは画像コントラストの考慮などを更に検討する必要があると考える。

6. 文 献

- 1) 福永仁夫, 大塚信昭, 曾根照喜: 骨粗鬆症の定量的評価, 画像診断14(12): 35-41, 1994.
- 2) 山本逸雄: 骨粗鬆症の定量診断, CLINICAL CALCIUM 5(11): 7, 1995.
- 3) 福永仁夫: 骨質の評価法—特集にあたって—, THE BONE 10(4): 17-18, 1996.
- 4) 森田陸司, 福永仁夫, 山本逸雄: 骨ミネラル量の測定の臨床的意義, 日放技学誌46(7): 903-910, 1990.
- 5) 内山 徹, 谷澤龍彦: 骨形態計測法, THE BONE 10(4): 51-60, 1996.
- 6) 曾根照喜, 友光達志, 北山 彰, 武田直人, 三宅真理子, 今井弘子, 福永仁夫: フラクタル次元を用いたX線骨梁像の解析, Osteoporosis Jpn 4(2): 47-50, 1996.
- 7) Ishida T, Yamashita K, Takigawa A, et al: Trabecular pattern analysis using fractal dimension, Jpn. J. Appl. Phys. 32: 1867-1871, 1993.
- 8) Benhamou CL, Lespessailles E, Jacquet G, et al: Fractal organization of trabecular bone images on calcaneus radiographs, J. Bone Miner. Res. 9: 1909-1918, 1994.
- 9) Ishida T, Takigawa A, Yamashita K: Spectral analysis of trabecular patterns, IMECO TC7 Int'l Symp. on AIMaC' 91: 199-204, 1991.
- 10) 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.
- 11) 日本骨代謝学会骨粗鬆症診断基準検討委員会: 原発性骨粗鬆症の診断基準 (1996年度改訂版), Osteoporosis Jpn 4(4): 65-74, 1996.

