

CT 画像を用いた脊柱海綿骨の骨密度定量化

平野 雅嗣* 光本 浩士** 山崎 克人*** 田村 進一****

Bone Density Quantification in The Spinal Column Cancellous Bone

Using CT Images

Masatsugu HIRANO, Hiroshi MITSUMOTO*¹, Katsuhito YAMASAKI, Shinchi TAMURA

ABSTRACT

Osteoporosis patients have been increasing year by year with the aging of the population. For this reason, the measurement of bone density is essential. This research reports the development of a computer support system for CT images of osteoporosis patients. The purpose is to provide a more precise measurement tool for each image of the slice of the displaced and extracted spine to detect the boundary between the sea surface bone and the cortical bone. The computer support system proposed here calculated the average of the CT values using data values of the cancellous bone region. This research shows it is possible to measure changes in bone density along the spine and changes from vertebra to vertebra.

KEY WORDS: Osteoporosis, Cancellous bone, Cortical bone, Region growing method

1. はじめに

近年、高齢化に伴い、骨粗鬆症患者が年々増加している。その影響により医師による CT 像の読影が膨大化し、多大な時間と労力が必要になり、見落としが危惧されている。このため、骨粗鬆症患者の CT 画像を対象としたコンピュータ支援システムの開発がなされている。先行研究として高橋ら¹⁾のシステムでは、安定して骨粗鬆診断が行えているが、プログラムはオープンになっていない。骨密度は後述する抽出された海綿骨の設定した楕円内のみを計測しており、折角抽出した情報を生かし切れていない。より精密な計測をするに

は海綿骨抽出に関し精度のよい手法を開発しなければならない。また、同抽出に関し、近藤ら²⁾は Snakes による手法を検討している。この手法はパラメータの設定によって輪郭の持つ形状や濃度値などに左右され、試行錯誤によってすべての輪郭が抽出可能となる値を決める必要がある。

本稿では、三次元 CT 画像から抽出した脊椎データを用いて、海綿骨と皮質骨の領域分割処理を行い、海綿骨の骨密度を計測する手法を提案し、椎骨内での変化を計測した。

2. 骨粗鬆症

2・1 骨粗鬆症

骨粗鬆症とは、骨の強度が低下し骨折しやすくなる病気である。全身の骨がもろくなるため、軽い力が加

*電気情報工学科、**大阪電気通信大学 准教授、***栄宏会小野病院 医師、****(株)NBL 研究所 所長

わるだけで様々な部位の骨折が起こる。骨粗鬆症になると、立った姿勢から転んだくらいでも、椎体(背骨)、大腿骨近位部(足の付け根)などに骨折を起こしやすくなる。

2・2 皮質骨と海綿骨

骨は、皮質骨と海綿骨に分けられる。外側にある皮質骨はカルシウムやリンを主成分とする硬い骨で、海綿骨は骨髓腔内に広がる骨梁と呼ばれる小さな骨の柱の集合体である(図1)。

海綿骨は表面積が大きく、骨髓と広く接し、骨代謝回転は皮質骨に比べて約10倍と言われている。従って、初期の骨量減少が認められるのは海綿骨である。従って、骨粗鬆症に経過観察のためには、海綿骨の骨密度を計測すべきである。

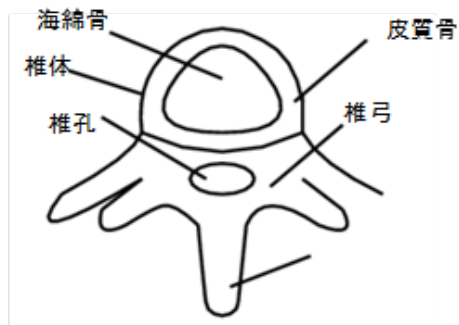


図1 人の椎骨

3. 脊柱抽出処理の流れ

処理の流れを図2に示す。CTデータを読み込み、標準的な前処理を行う。領域拡張の開始点を決め、領域拡張処理を施し、脊柱領域のみを抽出する。

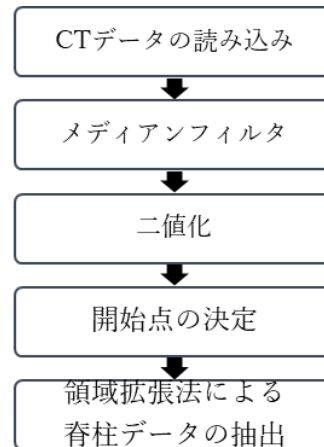


図2 脊柱抽出処理

3・1 開始点決定手法

脊柱抽出には、領域拡張法を使用する。領域拡張処理とは、円、球などの構造要素を設定し、構造要素内のすべての点がある条件を満たす際、この構造要素を領域に含み、満たさない場合は含まない。この処理を指定した開始点から繰り返すことにより構造要素ごとに領域を抽出することができる処理である。従って、構造要素の大きさにより脊柱と肋骨が分離できるが、開始点を肋骨部や骨以外の位置に設定すると脊柱抽出はできない。

従来手法として北坂ら³⁾は領域拡張の開始点を、入力画像の中央のスライス(入力された n 枚のスライスのうち $n/2$ 枚目のスライス)における最大連結成分の重心としている。しかし、この手法では開始点が椎孔と呼ばれる穴に設定される事があり、領域拡張法が動作しない。

対策として、われわれは円形度を用いた脊柱抽出処理を用いることにより脊柱領域を安定的に抽出することができる手法を開発した。

3・2 空洞処理

空洞処理とは、スライス画像の骨領域内に存在する大きな空洞を埋める手法である。領域分割処理でスライス画像を生成する。骨の輪郭を抽出し、点(0, 0)を開始点として輪郭の外部領域を領域拡張処理で埋める。処理後の画像を白黒反転し、骨領域内部に存在する大きな空洞を埋める。

4. 皮質骨と海綿骨の領域分割処理

4・1 処理の流れ

処理の流れを図3に示す。脊柱データを読み込み各スライス画像を生成する。そして、スライス画像ごと

の重心位置を求め、極座標変換し画素値の移動平均を行う。その画素値から境界点を求め、境界点の移動平均を行う。境界点座標を極座標から直角座標に変換し、皮質骨と海綿骨の境界を決める。

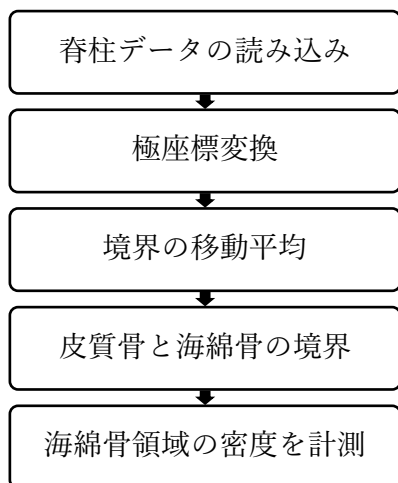


図 3 皮質骨と海綿骨の領域分割処理

4.2 脊柱スライス画像の極座標変換

極座標とは (r, θ) で点の位置を示す方法である(式(1)).

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}, \theta = \tan^{-1} \frac{y}{x} \quad (1)$$

スライス画像の重心位置 (px, py) を中心 (cx, cy) に平行移動し、CT データと骨領域データを同時に 0 から 359 度になるまで 1 度ずつ回転 (θ) させ、その際の骨領域データと同じ座標に位置する CT データの画素値を中心から上 (r) へ出力画像に代入した。なお重心は全ての画素の重みを 1 として位置の平均を求める。

4.3 境界点計算

原点 $(0, 0)$ から縦軸下方向に 1 ピクセルずつ調べ、縦軸の画素値の最大値より 9/10 以下の画素値を検出したとき、その座標を境界点とする。そして横軸 1 度進め、横 0 から 360 度の範囲で繰り返す、合計 360 点を検出する。

境界点決定後、座標の逆変換(式(2))を行うことで極座標から直角座標へ戻すことができる。最後に画像座標へ変換(式(3))を行い、各点を線で結ぶことで領域境界を決定することができる。

$$x = r \cos \theta, y = r \sin \theta \quad (2)$$

$$dx = cx - x, dy = cy - y \quad (3)$$

5. 海綿骨の骨密度計算

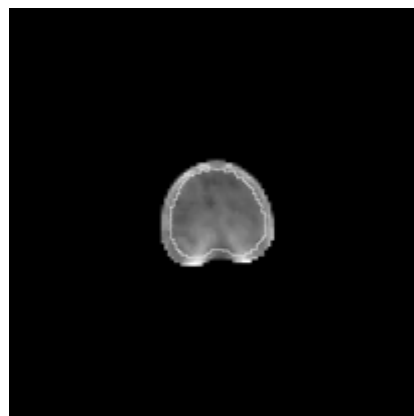
皮質骨と海綿骨の境界を決定した後、領域拡張処理を用い、境界の外部領域に 255 を代入する。海面骨のみの領域を求める。処理後、海綿骨領域の座標を利用

し、元データである CT データの CT 値を海綿骨領域に代入し、骨密度(BMD)を計算する。

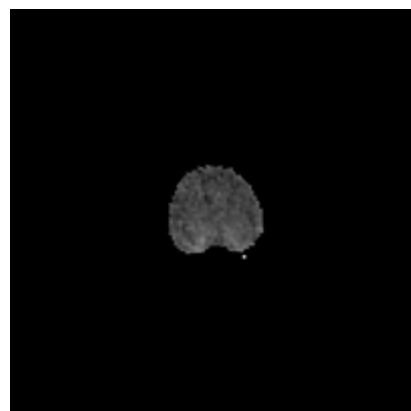
海綿骨領域内の CT 値が高い点のみに対し、メディアンフィルタ処理を行う。処理した後、海綿骨領域内の CT 値の合計と面積から平均 CT 値を求め、これを骨密度(BMD)とする。

6. 実験結果

CT 画像 388 枚の中、脊柱のスライス画像である 210 枚用い実験を行った。図 4(a)の白いラインは抽出した海綿骨と皮質骨の境界を表す。図 4(b)は海綿骨領域のみを表す。スライスごとの椎体骨密度(V BBMD) と海綿骨骨密度(BMD) について、健常者(図 5(a))と骨粗鬆患者(図 5(b))の計測結果を示す。椎体の骨密度は、骨密度が高い皮質骨を含むため海綿骨領域の骨密度より高いと考えられ、グラフはそれを示している。海綿骨領域の計測がより骨粗鬆症に関わる骨の状態を把握するために必要であると思われる。



(a) 境界輪郭

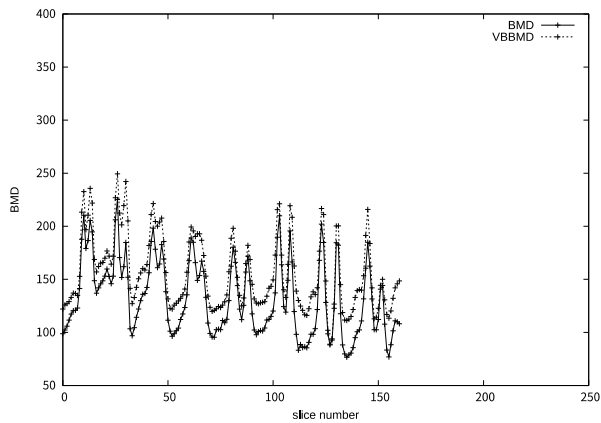


(b) 海綿骨領域

図 4 海綿骨の領域分割



(a) 健常者



(b) 骨粗鬆患者

7. まとめ

本稿では、三次元CT画像から脊柱を抽出するため、領域拡張の開始点を、円形度を基準とした脊柱のスライス画像から選択し先行研究に対し改良を図った。次に骨粗鬆症が進行すると脊柱内に空洞が存在し、空洞が大きいため、領域拡張処理が止まってしまったため、空洞処理を追加した。抽出した脊柱データのスライス画像を極座標変換し、海綿骨と皮質骨の境界を検出した。そして、海綿骨のみの領域を用い、海綿骨の骨密度を計測する手法を提案し、椎骨内での骨密度の変化を計測した。

今後の課題として、骨梁を立体的に把握し、その大きさを定量化したい。

参考文献

- 1) 高橋秀次, 鈴木英宣, 仁木登 ほか: 胸部マルチスライスCT画像を用いた骨粗鬆症診断システム, 信学論 D, Vol. J96-D, No. 4, pp. 892-900(2013)
- 2) 近藤一光, 尾川浩一, 長岡智明 ほか: Snakes を用いた脊椎形状認識と骨粗鬆症診断への応用, 法政大学計算科学研究センター報告, 17, pp. 73-77(2004)
- 3) 北坂孝幸, 小川浩史, 横山耕一郎 ほか: 解剖学的知識に基づく非造影3次元腹部X線CT像からの複数臓器領域の抽出, コンピュータ支援画像診断学論, Vol. 9, No. 1, pp. 1-14(2005)