<原 著>

CT による腰椎の骨塩の分布パターンとその加齢の影響について

—ヒストグラム法による分析—

丹野 宗彦 山田 英夫 遠藤 和夫 林田 興一
井手 宏 栗原 教光 間島 寧興 千葉 一夫

<要 約> Computed tomography (CT) を用いて椎体の海綿質内の骨塩の分布状態につきヒストグラム法と平均の CT 値を測定することにより検討した。その結果、1. 骨塩が均等に分布している腰椎のヒストグラムではその骨塩の分布は正規分布を示した。2. 最も高い頻度を示した CT 値は男性群では加齢と共に減少し、年齢と高い相関を示した($r = -0.79$)。他方女性群では50歳までこのパラメーターは減少傾向をしめさず、50歳以降より急峻なカーブを描いて減少した。平均の CT 値も同様な傾向を示した。3. 骨塩の不均等分布している椎体ではヒストグラムで正規分布を示さず複数の頻度ピークを示した。以上の結果より骨の病態解析には従来より行なわれてきた平均の CT 値を測定することに加えてヒストグラム法による骨塩の分布状態の検索も重要と考えられる。

Key words: single-energy computed tomography, ヒストグラム法, 骨塩分析, 椎体, 骨粗鬆症

はじめに

骨塩を非観血的かつ定量的に測定する為に種々の方法が報告されている¹⁾²⁾。またそれらの測定法上の改良、工夫も報告されている³⁾⁴⁾。CT を用いた骨塩定量法はその1つであるが、single および dual photon absorptiometry などによる方法に比して優れている点として椎体骨の横断面 (tansaxial image) を撮影することにより骨皮質と海綿質をおのおの分離して骨塩を測定することが可能であることや、また骨塩の僅かな変化も検出可能であることなどがある。

しかし、従来報告されている CT による骨塩の測定方法は椎体内の一定範囲の開心領域 (ROI) における平均 CT 値 (HU) が主で、それを標準のミネラルファントムと比較して骨塩量に換算して表示してあるにすぎない。この方法では ROI の骨塩が均一に分布していることを条件とし、その場合にはその値はその骨組織の骨塩を正確に反映していると考えられるが、加齢に伴い骨組織より骨塩の脱灰や微小骨折などがおこり⁵⁾、その修復機構として逆に化骨が起きてくる場合その骨の骨塩は不均等に分布しているので平均 CT 値

だけでは病態を正しく反映していない可能性がある。特に高齢者の椎体の CT 像では椎体内外に無数の化骨が認められることが日常経験される⁶⁾。このような症例に対して前述した表示方法のみを用いると、骨粗すう症がマスクされてしまいその程度を過小評価する可能性がある。そこで我々は不均等分布している骨組織の病態を出来る丈正しく評価するためには個々のピクセル当りの CT 値に関した情報が必要であると考え、ROI の CT 値に対する頻度のヒストグラムを作成しその分布状態より骨の状態の解析を試みた。今回は特に骨塩が均等に分布している椎体につき基礎的検討を行なった。その結果本方法は骨の病態解析に有用な方法と考えられたので報告する。

対象および方法

24人の男性 (28~91歳)、37人の女性 (30~89歳) につき検討した。この内44人 (男性18人、女性26人) は健常ボランティアである。腰椎のイメージは GE CT/T 8800 で撮影した。撮影は以下の条件で行なった。即ち、120kVp, 200mA, 342View per slice, 3 puls, slice-thickness 5mm, 35cm FOV でターゲット法にて撮影した。被検者の第3腰椎を scout view image で選択し、椎体の endoplate に平行になるように gantry を傾け scan を行なった。撮影終了後、画像をヒストグラム分析用の software に転送しヒストグラムを作り

M. Tanno, H. Yamada, K. Endou, K. Hayashida, H. Ide, N. Kurihara, Y. Mashima : 東京都老人医療センター核医学放射線部

受付日 : 1988. 12. 2 採用日 : 1989. 2. 8.

その解析を行なった。なおヒストグラム用の ROI は basivertebral vein を含む slice 面を選択し、骨皮質に接する最大面積の矩形を設定しこれをヒストグラム用の ROI とした。また、椎体の平均の CT 値はその骨海綿質をトレースしその内部全体を用いて求めた。

各種濃度のリン酸水素二カリウム (K_2HPO_4) の入ったファントムを用いてその CT 値をはかり骨塩量に対する CT 値の直線性につき検討を行なった。

結 果

ファントムより得られた CT 値 (HU) はリン酸水素二カリウムの濃度の増加と共に直線的に増加した。

正常ボランティアで椎体に異常な化骨像を認めなかった代表的なヒストグラムを図 1 に示した。ある CT 値に頻度ピークを有し且つ左右対称的に頻度が減衰するいわゆる釣鐘型の分布を示した。さらに正規確率紙を用いてこの分布が正規分布しているか否か検討した。椎体の CT 値 (横軸) に対する相対累積頻度 (縦軸) をプロットし、直線性が得られるか否か検討した。図 2 は男性および女性の各年代の代表的な例について検討したものであるが、一部の例を除き殆どの例では直線性が得られ正規分布していることが判明した。また加齢に伴いより低い CT 値で直線性を示した。その傾きは、ほぼ平行であるが 30 代の女性の 1 例で緩い勾配が見られ高い CT 値より低い CT 値まで幅広く分布していることが示された。また累積頻度の最も低い値を示す CT 値は加齢と共に低下傾向を示し、一部の高齢者では前述した CT 値が 0 以下となり、いわゆる骨髄の脂肪変性を示唆する所見が得られた。

ヒストグラムで頻度ピークを示した CT 値の加齢の影響につき検討した。その結果男性群では加齢と共に頻度ピークの CT 値は減少し、年齢と高い相関を認めた ($r = -0.79$)。他方、女性群では加齢とともに特異な減少パターンを示した。すなわち 50 歳以前ではその CT 値は加齢による変化は殆ど認められず、ほぼ同じ CT 値を維持した。しかし、50 歳を過ぎると急峻なカーブを描いて CT 値が減少した。また 30 歳代の CT 値は 50 歳代のそれよりむしろ低値傾向を示した (図 3)。平均の CT 値も頻度ピークの CT 値と同様な傾向を示した (図 4)。また各症例の平均の CT 値とその標準偏差値について検討したのが図 5 である。加齢と共に平均値の低下傾向とその標準偏差値の増加傾向を認めた。またヒストグラムの頻度ピーク値と平均値との関係を

図 1 骨塩が均等に分布している腰椎の代表的なヒストグラム例

図 2 ヒストグラムの正規確率紙による正規分布の検定

図3 頻度ピークのCT値の加齢による変化

図4 平均のCT値の加齢による変化

図5 平均のCT値とその標準偏差値の加齢による変化

みたのが図6である。両者間には相関係数 $r=0.96$ の高い相関を認めた。しかし、95%信頼度における回帰

曲線との関係で検討してみると少数例ではあるがCTの平均値とヒストグラムの頻度のピークとの間には必

図6 平均のCT値と頻度ピークのCT値との関係

図7 骨塩が不均等に分布している腰椎の代表的なヒストグラム例とその正規確率紙による検定

えられる。

考 察

骨塩の状態は、骨産生と骨吸収の程度により種々異なると考えられる。加齢に伴い全身骨の骨塩量の減少傾向がみられることが知られている⁷⁾⁸⁾。しかし、この傾向は前述したように骨の部位⁹⁾¹⁰⁾により、更に同じ部位の骨でも骨皮質と骨海綿質でも異なると考えられる。加齢に伴って起きる老人性骨粗鬆症ではしばしば同じ骨の海綿質内でも骨塩の不均等分布が認められる。その理由として、骨の脱灰とともに散在性の微小骨折 (microfracture) などが起き、その修復機転とし

ずしも良好な相関を認めないものがあった。このような症例ではCTの平均値は必ずしもヒストグラムの頻度のピークを反映したものでないことを示していると考

での化骨形成 (callus formation)¹⁰⁾により骨塩の不均等分布を来すものと考えられる。このことは我々は日常高齢者にCTを施行し、殆どの症例で椎体内外に無数の化骨を認めているという事実からも裏付けられる。また大動脈に沿って石灰化も認めることもしばしばある。前述した化骨部を共に測定した場合骨粗鬆症の程度を過小評価することが考えられる。我々はこの点に関する骨塩の定量方法の問題点を指摘してきた⁶⁾。

他方骨塩の定量法にはDual photon absorptiometry, CTによる検査およびDual photon X-rayなどによる方法があり、より絶対値に近い骨塩を算出するために再現性や精度に関する検討が行なわれている。しかし、高齢者を対象とした骨塩の定量化にはこの点に関することと共に前述した骨内外におきる無数の化骨をいかに排除して測定するかという点でその測定には慎重な配慮が払われる必要がある。それ故加齢に伴う生理的变化の部位と化骨部位とを分離して解析する必要がある。このような場合の骨代謝を解析する為には骨の関心領域における骨塩の定量的分析に加えて定性的な分析が必要と考えられる。我々は基礎的検討としてCTにて視覚的に骨塩が均等に分布していると考えられる椎体の海綿質について検討を行なった。その結果、CTのヒストグラム法による解析の結果では、二つのパラメーターの加齢による影響についてみると、男女共特徴的な減少傾向を示した。頻度ピークについてみた場合男性群では年齢と高い相関 ($r = -0.79$)を示し加齢と共に減少傾向を示したのに反して、女性群では50歳代まで減少傾向を示さず、50歳以降より急峻なカーブを描いて減少した。これらの知見より女性の加齢による骨塩の減少には女性ホルモンが重要な役割を果していることが強く示唆された。藤井ら¹¹⁾は同様にCTを用いて腰椎の加齢による骨塩量の変化について報告しており、男性群に関しては、我々とほぼ同様な知見を報告している。しかし、女性群では加齢に伴い骨塩は減少するものの、その減少傾向は既に30歳代より認められることを報告している。また、我々の得た結果では症例数は少ないが30歳代と50歳代を比較すると30歳代の骨塩量は50歳代のそれよりむしろ低値傾向を示しておりこの原因についても併せて検討が必要と考える。

また図6で示したように視覚的にみて均等な骨塩の分布を示した殆どの症例では平均値はヒストグラムでの頻度のピーク値と良い相関が認められたが、少数例

では両者の間には解離傾向がみられ平均値は関心領域内のピクセルの最も頻度の高いCT値を必ずしも反映したものではないことが示唆された。さらに化骨などがあり骨塩が不均等分布している場合、この両者の解離傾向は顕著となることが予想される。即ち、ヒストグラムでは頻度ピークが複数存在することになり、従って正規分布を示さないと考えられる。その例を図7に示した。7a, bの椎体の平均のCT値はほぼ同じであった。しかし椎体のCT像をみても、前者では多数の骨硬化像が認められるのに反して、後者ではほぼ均等な骨塩の分布を示している。更にヒストグラムについてみると骨硬化像を示した椎体ではいくつもの頻度ピークを認めた。さらに正規確率紙による検定では、均等な骨塩の分布を示した椎体では直線性を示したが、不均等分布している椎体では直線性が得られないことが示されている(図7c)。このことは従来報告されてきた椎体の関心領域における平均したCT値のみの情報だけではその骨の病態を十分反映し得ないことを示している。従って、平均のCT値に加えて、更に骨塩のヒストグラムを併用することにより骨の病態をより正確に把握しうるものと考えられる。骨塩の不均等分布症例に関しては今後更に検討を重ねる必要があると考える。

本検査法は簡便であることより骨のルーチン検査に使用出来その病態解析に有用な方法であると考え

稿を終えるにあたり、横河メジカルの技術のスタッフの御協力に謝意を申し上げます。

文 献

- 1) Cann CE, Genant HK: Precise measurement of vertebral mineral content using computed tomography. J Comput Assist Tomogr 4: 493—500, 1980.
- 2) Gotfredsen A, Podenphant J, Norgaard H, et al: Accuracy of lumbar spine bone mineral content by dual photon absorptiometry. J Nucl Med 29: 248—254, 1988.
- 3) Lambiase R, Sartoris DJ, Fellingham L, et al: Vertebral mineral status: Assessment with single-versus multisection CT. Radiology 164: 231—236, 1987.
- 4) Banks LM, Stevenson JC: Modified method of

- spinal computed tomography for trabecular bone mineral measurements. *J Comput Assist Tomogr* 160 : 707—712, 1986.
- 5) Vernon-Roberts B, Pirie CJ: Healing trabecular microfractures in the bodies of lumbar vertebrae. *Ann Rheum Dis* 32 : 406—412, 1973.
 - 6) 丹野宗彦, 山田英夫, 林田興一, 遠藤和夫, 他: 老年者の骨シンチグラムの特徴—椎体骨病変を中心として—. *日老医誌* 23 : 463—468, 1985.
 - 7) Cann CE: Quantitative CT determination of bone mineral density: A review. *Radiology* 166 : 509—522, 1988.
 - 8) Geusens P, Dequeker J, Verstraetern A, et al: Age-, sex-, and menopause-related changes of vertebral and peripheral bone: Population study using dual and single photon absorptiometry and radiogrammetry. *J Nucl Med* 27 : 1540—1549, 1986.
 - 9) Seldin DW, Esser PD, Alderson PO: Comparison of bone density measurements from different skeletal sites. *J Nucl Med* 29 : 168—178, 1988.
 - 10) Hansson R, Roos B: Microcalluses of the trabeculae in lumbar vertebrae and their relation to the bone mineral content. *Spine* 6 : 375—380, 1981.
 - 11) Fujii Y, Tsunenari T, Tsutsumi M, et al: Quantitative computed tomography: Comparison of two calibration phantoms. *J Bone Mineral Metabolism* 6 : 71—74, 1988.

Abstract

Distribution Pattern of Density in Lumbar Vertebra Studied with Computed Tomography: A Study of Histogram Plot

Munehiko Tanno, Hideo Yamada, Endou Kazuo, Ko-ich Hayashida, Hiroshi Ide,
Norimitsu Kurihara, Yasuoki Mashima and Kazuo Chiba

The bone mineral status of the cancellous bone in the lumbar vertebrae was evaluated by analysing density histograms and measuring the mean density by computed tomography. The results obtained were as follows: (a) the distribution pattern of bone density in lumbar vertebrae revealed a normal distribution. (b) high correlation coefficients between peak density ($r=-0.79$) or mean density ($r=-0.77$) and age was obtained in males, whereas peak densities in females were maintained well

at ages younger than 50 years and peak densities abruptly decreased after 50 years of age. Osteoporotic vertebrae, in which multiple osteosclerotic changes were observed, had several peak densities and did not show normal density distribution pattern. These results indicated that our methods combining analysis of density histograms and measurement of mean density are useful to evaluate the bone mineral status.

key words: *histogram, osteoporosis, computed tomography, bone mineral analysis, vertebrae*
(*Jpn J Geriatr* 26: 334—339, 1989)

Department of Nuclear Medicine and Radiological Sciences, Tokyo Metropolitan Geriatric Hospital