Computed tomography による第12胸椎—第4腰椎椎体海綿骨骨塩量計測の臨床的意義についての検討

新潟大学医学部整形外科（主任：田島達也教授）
天 海 憲 一

A Clinical Applicability of Bone Mineral Density Measurement of the 12th Thoracic the 4th Lumbar Vertebral Spongiosa with Computed Tomography.

Kenichi AMAGAI

Department of Orthopaedic Surgery, Niigata University School of Medicine, Niigata
(Director: Prof. Tatsuya TAJIMA)

In order to examine relationship of bone mineral density (BMD) between T12–L4 vertebral spongiosa and to evaluate the threshold value of L3–BMD to cause a vertebral fracture, the author measured BMD of five vertebrae, i.e., the twelfth thoracic (T12) to the fourth lumbar vertebra (L4), by means of computed tomography with a phantom for calibration of BMD, being expressed in mg/cm^3 as mineral equivalent of $CaCO_3$. The objects of this study consisted of 85 cases, including 38 healthy persons, 20 of primary osteoporosis, 22 of secondary osteoporosis and 5 who were recumbent for ca. 4 weeks after anterior fusion of lower lumbar spines.

A significant difference was disclosed in BMD between L3 and other vertebrae except L4 in healthy persons. No significant difference in BMD was found between L3 and L2 or L4 in osteoporotic objects. Positive correlation of BMD of L3 to that of other vertebrae was revealed therefore an approximate value of BMD of L3 can be calculated from that of other vertebrae, even if L3 is fractured and BMD of L3 is unmeasurable.

During recumbency for ca. 4 weeks after anterior vertebral fusion, mean decrease in BMD of T12–L3 was 8.3%. Sixty four percent of women whose BMD of L3 was less than 90 mg/cm^3 had single or multiple vertebral compression fractures of T12–L5 except L3. A certain decrease of BMD of L3 after onset of vertebral fracture(s)

Reprint requests to: Kenichi AMAGAI,
Department of Orthopedic Surgery,
Niigata University School of Medicine,
Niigata City, 951, JAPAN.

別刷請求先: 〒951 新潟市旭町通1番町
新潟大学医学部整形外科学教室
天海憲一

being taken into consideration, decrease of BMD of L3 to ca. 100 mg/cm^3 seems to warn the possible occurrence of vertebral fracture.

Key words: computed tomography, bone mineral density.
コンピューター断層撮影，骨塩量.

I. はじめに

骨粗鬆症例において，軽微な外力によって大腿骨頸部骨折や脊椎圧迫骨折を惹起する可能性の高い骨量減少の程度を定量的に診断できれば，このような治療困難な骨折を予防できる可能性がある．その第一歩として，骨粗鬆症を早期に診断するためと治療効果を判定するために種々の骨塩量計測法が考案されている．これらのうち，四肢骨を検討の対象とする方法では，リモデリングの遅い皮質骨を計測するため骨塩量の変動幅が小さく，早期に骨塩量の減少をとらえることは困難である[1)2)]．そこで，リモデリングの早い椎体海綿骨を対象とし，骨量ファントムを使用して computed tomography（以下 CT）で計測を行う方法が Cann と Genant によって考案され[3)]，これによる計測値と椎体の Ca 含量とはよく相関することが知られている[4)5)]．本邦では，重松らの報告[6)]以来圧迫骨折や変性変化の発生が少ない第3腰椎（以下L3）を計測し，この値を代表値として用いている．しかし，同椎体に圧迫骨折が一旦生じた場合にはこれを計測して指標とすることは不可能になる．重松らはこのような場合に，L3の圧迫骨折発生後この骨折が生じなかったと仮定したL3の骨塩量を，L2あるいはL4の骨塩量計測値で代用できるとしている[6)]．

上記の基本的考えの妥当性を検討することと，L3の骨塩量を指標とし圧迫骨折危険値を決定することを目的とし，本研究を行った．

II. 対象例と計測方法

A. 対象症例

対象は女性69例，男性16例であり，これを以下の4群に分類した．

I群：骨代謝に影響する明らかな基礎疾患がなく，圧迫骨折もない21歳から67歳の健常女性32例と，22歳から32歳の健常男性6例である．

II群：L3を除くT12－L5の単独ないしは複数の圧迫骨折を認める閉経後および老人性骨粗鬆症をもつ49歳から81歳の女性20例である．

III群：慢性関節リウマチ・膠原病・腎性骨異栄養症・上皮小体機能亢進症などによる二次性骨粗鬆症をもつ32歳から65歳の女性17例と，33歳から57歳の男性5例である．

IV群：L4より尾側の一椎間あるいは二椎間前方固定を施行され，術後1カ月間完全な臥床状態におかれた26歳から54歳の男性5例である．

B. 計測方法

I群ではT12からL4までの5椎体，II，III群でT12からL4のうち圧迫骨折のない椎体，IV群ではT12と，固定椎体を除く腰椎体を計測した．使用 CT 機種はI，II，III群は Somatom CR および DR（いずれも Siemens 社製）で，IV群は GE9800（General Electric 社製）である．管電圧およびスライス幅は，Somatom CR および DR がそれぞれ 125KV，8mm で，GE9800 が 80KV，10mm とした．矢状面像である scout view を用いて正確に各椎体の中央横断面像を撮影し，この像から栄養孔および皮質骨にかからぬように長方形の関心領域（ROI）を設定し，平均 CT 値を算出した．同時に撮影した骨量ファントム B-MAS（京都科学標本株式会社製）内の5種類の $CaCO_3$ 配合ロッドの平均 CT

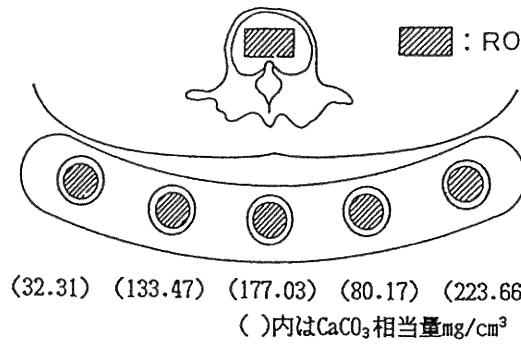

図 1 骨塩量の算出方法
$CaCO_3$ 濃度の異なる5個のファントムから $CaCO_3$ 濃度と CT 値の回帰式（Y=A+BX，Yは $CaCO_3$ 濃度，XはCT値）を求める．椎体内の計測領域（または関心領域 ROI:Region of interest）の平均 CT 値をこの回帰式に代入し，椎体海綿骨骨塩量を $CaCO_3$ 相当量として算出する．
（骨量ファントム B-MAS 説明書より引用）

値も算出し，この値とそれぞれの $CaCO_3$ 相当量から回帰式をもとめる（**図 1**）．この回帰式より各椎体の海綿骨平均 CT 値を $CaCO_3$ 相当量（mg/cm³）に換算し，これを骨塩量とした[7]．

C. 検討項目

1．計測値の再現性を検討するため，Ⅰ群に属する29歳と32歳の男性2名のL3を Somatom CR を用いて日時をかえて3回ずつ計測した．

2．CT 機種による計測値の差を検討するため，Ⅰ群に属する32歳の男性1名のL3を3機種で計測した．

3．椎体間の骨塩量の関係

a．Ⅰ群の全症例と，Ⅲ群中T12－L4椎体に圧迫骨折のない女性13例と男性3例についてL3と他椎体の骨塩量の差を検討した．

b．Ⅰ＋Ⅱ＋Ⅲ群に属する男女両性においてL3と他椎体の骨塩量の相関を検討した．

c．Ⅳ群の1カ月臥床後の骨塩量を対象に，b．で得られた結果をもとにL3から他椎体の骨塩量，および他椎体からL3の骨塩量の算定を行い，算定値と実測値を比較し算定値の有用を検討した．

4．Ⅳ群で，1カ月臥床がT12－L3椎体の骨塩量におよぼす影響を検討した．

5．L3の骨塩量と圧迫骨折の関係について検討した．

III. 結　　果

A. 計測値の再現性と CT 機種間の差

Somatom CR を用いたL3の3回計測による骨塩量計測値の変動幅は，Ⅰ群に属する29歳男性では 2.6mg/cm³，32歳男性では 3.4mg/cm³ であった（**表 1**）．2症例における骨塩量計測値の標準偏差はそれぞれ 1.3mg/cm³，1.8mg/cm³ と小さく本法の再現性は良好といえる．

また，上記の32歳男性のL3を3機種で計測すると Somatom CR と DR との骨塩量計測値は近似していたが，Somatom CR および DR と GE9800 では後者の値が大きく，それぞれ 13.6mg/cm³，17.6mg/cm³ の差を認めた（**表 2**）．

表 1 Somatom CR による骨塩量計測の再現性

	29歳男		32歳男	
	CT値	骨塩量	CT値	骨塩量
1回目	231.2	217.5	219.0	222.3
2回目	226.2	214.9	230.4	218.9
3回目	224.4	216.5	228.4	221.8
平均	227.4	216.3	225.9	221.0
標準偏差	3.5	1.3	6.1	1.8

骨塩量の単位は mg/cm³
2症例における骨塩量計測値の標準偏差はそれぞれ 1.3mg/cm³，1.8mg/cm³である

表 2 CT 機種による計測値の差(32歳，男)

機　種	電　圧 (KV)	CT 値	骨塩量 (mg／cm³)
Somatom CR	125	225.9	221.0
Somatom DR	125	224.7	217.0
GE9800	80	288.5	234.6

骨塩量計測値は Somatom CR と Somatom DR では近似しているが，Somatom CR および DR と GE9800 では後者の値が大きくそれぞれ 13.6mg/cm³，17.6mg/cm³ の差を認める

B. 椎体間の骨塩量の関係

1．L3と他椎体の骨塩量の差

Ⅰ群の男女両性とも，L3よりT12，L1，L2の骨塩量はそれぞれ有意に（女：$p<0.01$，男：$p<0.05$）に多かった．しかし，L3とL4の骨塩量には有意差はなかった（**表 3**）．同様にⅢ群のうちT12からL4に圧

表 3 各椎体の骨塩量(平均値±標準偏差)

		T12	L1	L2	L3	L4
健常群	女(n=32)	185.5±44.1**	190.7±45.2**	185.5±44.1**	175.1±49.7	180.6±55.4
(Ⅰ)	男(n=6)	220.2±38.5*	216.0±36.2*	208.2±35.2*	196.7±36.8	207.2±26.2
骨粗鬆症群	女(n=13)	102.3±38.5**	98.4±47.0*	89.8±42.0	86.1±40.4	91.1±29.4
(Ⅲ)	男(n=3)	198.4±82.8	181.6±82.5	178.4±80.6	169.7±96.7	162.4±87.5

単位は mg/cm³，L3 との有意差(**＝$p<0.01$，*＝$p<0.05$)

迫骨折のない女性13例では，L3に対してT12とL1の骨塩量は有意に（それぞれ $p<0.01$，$p<0.05$）多かったが，L3とL2，L4の骨塩量とは有意差がなかった．男性は3例と症例が少ないが，L3とL2，L4の骨塩量の差はいずれも 10mg/cm³ 以下であり，有意差はなかった．

2．Ⅰ＋Ⅱ＋Ⅲ群におけるL3と他椎体の骨塩量の相関関係

L3の骨塩量とT12，L1，L2，L4の骨塩量との相関関係をみると，男女両性とも極めて高い正の相関を認めた（**表 4**，$p<0.01$）．したがって，L3の骨塩量から他椎体の骨塩量，および他椎体の骨塩量からL3の骨塩量が算定可能である．

3．Ⅳ群を対象とした骨塩量の算出

L3の骨塩量と他椎体の骨塩量との回帰式を用いて（**表 4**），L3から他椎体の骨塩量を算定すると，実測値と算出値の差が 10mg/cm³ 以下は15椎体中10椎体で，このうち6椎体が 5mg/cm³ 以下であった．また，実測値と算定値の差を実測値に対する比率でみると，5％以下は11椎体でこのうち2％以下は5椎体であった（**表 5**）．

同様に他椎体よりL3の骨塩を算定すると，実測値と算定値の差が 10mg/cm³ 以下は15椎体中10椎体で，このうち6椎体が 5mg/cm³ 以下であった（**表 6**）．また，それぞれの差を実測値に対する比率でみると，5％以下は8椎体であった．症例ごとに3椎体からの算定値を平均すると，実測値との差が全例 10mg/cm³ 以下となり，しかも4例が 3mg/cm³ 以下となった．この差を実測値に対する比率でみると，症例4が6％で，それ以外の症例は2％以下であった．平均算定値は実測値と極めて近似することが確認された．

表 4　Ⅰ，Ⅱ，Ⅲ群における L3と他椎体の骨塩量の関係

	椎体	症例数	回帰式	相関係数
女	T12	54	Y＝30.79＋0.914X	0.953**
	L1	57	Y＝12.40＋1.006X	0.983**
	L2	63	Y＝ 4.91＋1.012X	0.979**
	L4	62	Y＝ 6.53＋0.986X	0.960**
男	T12	9	Y＝ 34.36＋0.947X	0.988**
	L1	9	Y＝ 36.03＋0.898X	0.982**
	L2	9	Y＝ 34.57＋0.872X	0.989**
	L4	10	Y＝-13.89＋1.072X	0.951**

Y＝各椎体の骨塩量，X＝L3の骨塩量，**＝$p<0.01$
L3の骨塩量と T12，L1，L2，L4の骨塩量と間には男女性とも極めて高い正の相関を認めた．このことより，回帰式を用いて他椎体の骨塩量から L3の骨塩量を算定可能といえる．

表 5　L3から他椎体の骨塩量の算定（Ⅳ群）

		T12	L1	L2
症例1	実測値	254.0	250.7	240.9
(26)	算定値	258.5	248.6	241.0
2	実測値	230.3	214.0	186.9
(34)	算定値	214.6	206.9	200.5
3	実測値	204.1	207.0	211.3
(40)	算定値	215.3	207.6	201.2
4	実測値	188.4	176.4	160.3
(45)	算定値	189.9	183.5	177.8
5	実測値	159.8	142.6	140.8
(54)	算定値	153.5	149.0	144.3

（　）内は年齢，単位は mg/cm³
実測値と算定値の差は，15椎体中10椎体が 10mg/cm³ 以下であり，このうち6椎体は 5mg/cm³以下であった．

表 6　L3以外の椎体からL3の骨塩量の算定（Ⅳ群）

	実測値	L3の算定値			
	L3	T12から	L1から	L2から	平均
症例1	236.7	231.9	239.1	236.6	235.9
2	190.3	206.9	198.2	174.7	193.3
3	191.1	179.3	190.4	202.7	190.8
4	164.2	162.7	156.3	144.2	154.4
5	125.8	132.5	118.7	121.8	124.3

単位は mg/cm³
L3以外の椎体から L3の骨塩量を算定し，症例ごとにこれらを平均すると実測値との差は症例4が 9.8mg/cm³ でその他の症例は 3 mg/cm³以下であった．

C．臥床による骨塩量の減少

Ⅳ群のL4より尾側の椎体前方固定術を受けた男性5例について，手術操作による骨塩量の変動を除外するため，最尾側の測定椎体は固定椎体より最低一椎間離れたL3椎体とし，T12からL3までの4椎体の骨塩量を術直前と1カ月臥床後で計測し比較した（**表 7**）．症例ごとに4椎体の平均減少率をみとる，それぞれ5.3%，7.2

表 7 腰椎前方固定術後一カ月臥床による骨塩量の変化(男5例)

症例	固定椎間		T12	L 1	L 2	L 3	平均減少量／率
1	L4/5/S1	術前	266.8	269.2	254.4	246.9	13.8/ 5.3%
		術後	254.0	250.7	240.9	236.7	
2	L5/S1	術前	240.5	231.9	208.8	205.5	15.9/ 7.2%
		術後	230.3	214.0	186.9	190.3	
3	L4/5	術前	203.9	207.8	210.5	194.1	0.7/ 0.3%
		術後	204.1	207.0	211.3	191.1	
4	L4/5/S1	術前	219.9	202.1	188.0	193.1	28.5/14.2%
		術後	188.4	176.4	160.3	164.2	
5	L4/5	術前	169.1	153.4	154.7	129.8	9.5/ 6.3%
		術後	159.8	142.6	140.8	125.8	

単位は mg/cm^3
症例3を除く4症例の一カ月臥床による骨塩量減少率は8.3%である.

%，0.3%，14.2%，6.3%であった．5例の平均減少率は6.7%で，ほとんど骨塩量が減少しなかった1例を除いた4例の平均減少率は8.3%であった．

D. L3 の骨塩量と圧迫骨折の関係

Ⅱ＋Ⅲに属する全女性37例中24例に，L3を除くT12—L5の単独ないしは複数の圧迫骨折を認めた．この24例におけるL3の骨塩量は全例 110mg/cm^3 以下であった．しかし，このうち3例のみが 100mg/cm^3 以上であり，それ以外の21例は 90mg/cm^3 以下であった．L3の骨塩量が 90mg/cm^3 以下なのはⅠ群で3例，Ⅱ群で12例，Ⅲ群で18例でⅠ＋Ⅱ＋Ⅲ群に属する全女性69例中33例であり，後者のうち21例，64%に圧迫骨折が認められた．これらのうち圧迫骨折の時期と契機が明らかなのは4例のみであり，また腰痛の出現時期が比較的明らかで圧迫骨折発生時期を推定できたのは7例であった．したがって，圧迫骨折発生から骨塩量計測までの期間が不明な例が多く，L3の骨塩量が 90mg/cm^3 以下の64%に圧迫骨折が認められたという理由で圧迫骨折危険値を 90mg/cm^3 と確定することはできなかった．

IV. 考　　察

A. 本法の特徴

骨塩量計測法としては，非侵襲的で計測が容易であること，僅かな骨塩量の変化を捉えられること，さらに，再現性が高いことが要求される．本法は，リモデリングの早い海綿骨を計測を対象としているため，四肢骨を検討の対象とする方法よりも僅かな骨塩量の変動を捉えられる特徴がある[8)9)]．また，CT が広く普及した現在では骨量ファントムを用意するだけで簡単に計測できることも大きな利点である．欠点としては，放射線被爆が挙げられるが，その量は 100—200mrem とごく僅かであるとされている[9)]．また，骨髄中の脂肪のため，計測値が実際の骨塩量よりも低くなることも欠点である．Genant らは，異なった2種類の電圧で計測することで脂肪の影響を除外できるとした[4)]．しかし，この値と本法のように1種類の電圧で計測した値が高い相関を示すこと，2種類の電圧による計測では放射線被爆量が2倍になることから，本法のほうが実際的と考えられる．

B. 椎体間の骨塩量の関係について

重松らは，骨粗鬆症患者10例について変形のないL2，3，4を計測し，症例ごとに3椎体の CT 値の差をみている．その結果，CT 値の差の平均は9.8であり，経過観察中にL3に圧迫骨折が生じた場合には，L2あるいはL4の CT 値でL3に圧迫骨折が起きなかった場合の CT 値の代用ができるとした[6)]．著者の検討では，健常群（Ⅰ群）では男女両性ともL2はL3よりも有意に骨塩量が多かったが，L4とL3の骨塩量に有意差はなかった（**表 3**）．このことよりL2でL3の骨塩量をそのまま代用することは不適切であるが，L4の骨塩量で代用することは可能といえる．また，骨粗鬆症群（Ⅲ群）では男女両性ともL2およびL4とL3の骨塩量に有意差がなかったことから，L2およびL4の骨塩量でL3のそれを代用することは可能といえる．

しかし，経過観察中に健常群のL3とL4，および骨粗鬆症群のL2，L3，L4に圧迫骨折が生じた場合には他椎体の骨塩量でL3の骨塩量を代用することは不可能になる．この場合，男女両性ともL3の骨塩量とT12，L1，L2，の骨塩量が極めて高い正の相関を示すことから，後者の骨塩量からL3のそれを算定することが可能であることが判った（**表 6**）．

また今回の検討より，椎体間で骨塩量に差があり，健常群および骨粗鬆症群の男女両性ともT12＞L1＞L2＞L3＜L4の関係がほぼ成り立つことが明かとなった（**表 3**）．Krolner らは，dual photon absorptiometry（以下 DPA）を用いて，健常女性で計画的に運動を行わせた群と対象群の腰椎の骨塩量を計測し，骨塩量は運動群では増加し，対象群では減少したと報告している[10)]．また，著者の検討から脊椎への荷重負荷を除いた状態である臥床により骨塩量が減少することが分かっている．

これらの事実から，荷重や運動負荷が脊椎の骨塩量を規定する重要な因子であることが分かる．したがって，椎体間の骨塩量の差は，椎体間で荷重および運動負荷に差があるためではないかと推定される．計測椎体の中で生理的後弯と前弯の移行部であるT12とL1に負荷が最も多いため，これらの骨塩量が他の椎体よりも多いと考える．

C．臥床による骨塩量減少について

腰椎前方固定術後わずか1カ月間の臥床で5例中4例に平均 16.9mg/cm^3，8.3%の骨塩量減少を認めた（表7）．5例中1例には骨塩量の減少を認めなかったが，この例の手術法，臥床期間，食餌内容は他の4例と差がなかった．したがって，臥床による骨塩量減少には固体差があると考えられる．Hansson らは DPA を用いて，特発性側弯症に対する脊椎後方固定術前後でL4の骨塩量を計測し，術後1カ月間の臥床により平均10.7%減少したと報告している[11]．近年，高齢者に対する手術適応は拡大してきているが，術後のわずかな臥床により腰椎前方固定群同様急速に骨塩量が減少するならば，術後に脊椎圧迫骨折を起こす危険性が極めて高くなる．したがって，早期離床が可能な手術法の選択が望まれるとともに，不用意な長期臥床はさけなければならない．

D．L3 の骨塩量と圧迫骨折の関係について

Genant らは20－80歳の健常女性の年平均骨塩量減少率を1.2%と報告している[12]．どのような原因であれ，ある一定値まで骨塩量が減少すれば脊椎圧迫骨折を起こす危険性が高くなることが予想される．そこで，圧迫骨折発生の指標となる骨塩量が分かれば予防的治療を考慮する上で極めて有用であるため，骨塩量と圧迫骨折の関係が諸家により検討されている[13)~16)]．

L3の骨塩量と圧迫骨折好発部位であるT12やL1の骨塩量との間に極めて高い正の相関があることから，L3の骨塩量を指標として圧迫骨折発生の危険性を予測することは妥当である．著者の検討では，L3の骨塩量が 90 mg/cm^3 以下であった女性33例中64%にL3を除くT12－L5の単独ないし複数の圧迫骨折を認めたが，圧迫骨折発生から骨塩量計測までの期間が不明な例が多く，圧迫骨折を起こした時点のL3の骨塩量を 90mg/cm^3 と確定することはできなかった．これは，腰椎前方固定後わずか1カ月間の臥床により骨塩量が平均8.3%減少したように，圧迫骨折後の運動制限によって骨塩量が減少した可能性があるからである．今後は圧迫骨折発生時期が明らかで，しかもその直後に骨塩量計測を行った症例を増やし圧迫骨折危険値を決定する必要があるが，現時点ではL3の骨塩量が 90mg＋α mg/cm^3 すなわち 100 mg/cm^3 程度に減少を示す場合には圧迫骨折の危険性が高くなると判断するのが妥当である．

V．総　　括

1．CT と骨量ファントムによる脊椎海綿骨骨塩量計測の再現性は極めて高いことを確認した．しかし，機種間では計測値に差が認められることから，骨塩量の変動をみる場合には，同一機種で計測すべきことが判明した．

2．T12からL4までの5椎体の計測から，健常群および骨粗鬆症群の男女両性とも椎体の骨塩量には差があり，T12＞L1＞L2＞L3＜L4の関係があることが明かとなった．これは，椎体間で荷重および運動負荷に差があるためと思われた．

3．健常群では男女両性ともL2はL3よりも有意に骨塩量が多かったが，L4とL3の骨塩量に有意差はなかった．このことよりL2でL3の骨塩量は代用できないが，L4の骨塩量で代用することは可能である．また，骨粗鬆症群では男女両性ともL2およびL4とL3の骨塩量に有意差がなかったことから，L2およびL4の骨塩量でL3の骨塩量を代用可能であることが判明した．

4．L3と他椎体の骨塩量とは極めて高い正の相関を示すことから，回帰式（表4）を用い，他椎体の骨塩量から圧迫骨折が起きなかった場合のL3の骨塩量を算定できることが判明した．

5．腰椎前方固定術後1カ月間の臥床により，5例中4例にT12－L3の4椎体に平均 16.9mg/cm^3，8.3%の骨塩量減少を認めた．

6．L3の骨塩量が 90mg/cm^3 以下の女性33例中21例，64%にL3を除くT12－L5の単独ないし複数の圧迫骨折を認めた．これらの例において圧迫骨折発生時期の不明な例が多いため，圧迫骨折発生時におけるL3の骨塩量を確認することはできなかったが，骨塩量計測までにある程度の骨塩量減少が生じたと考え，L3の骨塩量が 100mg/cm^3 程度に減少を示す場合には圧迫骨折の危険性が高いと推測される．

稿を終えるにあたり，御指導，御校閲を賜りました田島達也教授，ならびに高橋栄明助教授に深謝いたします．研究に御協力いただきました新潟大学歯科放射線科，伊藤寿介教授，ならびに佐々木富貴子先生に感謝の意を表します．

参 考 文 献

1) **福永仁夫，友光達志，森田陸司**：Photon absorptiometry による骨塩量の測定：第3腰椎と橈骨の骨塩量の比較．日骨代謝誌，**6**：21～23，1988．

2) **Genant, H.K., Cann, C.E., Ettinger, B. and Gordan, G.S.**：Quantitative computed tomography of vertebral spongiosa：a sensitive method detecting early bone loss after oophorectomy. Ann. Intern. Med., **97**：699～705，1982．

3) **Cann, C.E. and Genant, H.K.**：Precise measurement of vertebral mineral content using computed tomography. J. Comput. Assist. Tomogr., **4**：493～500，1980．

4) **Genant, H.K., Cann, C.E., Ettinger, B., Gordan, G.S., Kolb, F.O., Reiser, U. and Arnaud, C.D.**：Quantitative computed tomography for spinal mineral assessment：current status. J. Comput. Assist. Tomogr., **9**：602～604，1985．

5) **清水弘之**：Computed tomography ファントム同時撮影による骨塩定量の基礎的研究．日整会誌，**62**：1199～1210，1988．

6) **重松泰介，三好邦達，渋谷重義**：CT-number による脊椎骨粗鬆症の骨萎縮度の検討（第2報）．骨形態計測ハンドブック，高橋栄明（編），西村書店，新潟，pp. 228～234，1983．

7) **野崎一人，渋谷重義，杉山隆，三好邦達**：新ファントムによる骨塩量定量について．日整会誌，**61**：395，1987．

8) **福永仁夫，大塚信昭，曽根照喜，村中　明，柳元真一，友光達志，森田陸司，横林常夫，梶原康正，西下創一**：CT 用脊椎骨 Phantom を用いた第3腰椎の骨塩量の定量：臨床的検討．骨形態計測，**6**，乗松尋道（編），西村書店，新潟．pp. 75～79，1986．

9) **Genant, H.K. and Cann, C.E.**：Spinal osteoporosis：advanced assessment using quantitative computed tomography. Spine update 1984, Radiology Research and Education Foundation, San Francisco, pp. 331～343, 1983.

10) **Krolner, B., Toft, B., Nielsen, S.P. and Tondevold, E.**：Physical exercise as prophylaxis against involutional vertebral bone loss：a controlled trial. Clinical Science, **64**：541～546, 1983.

11) **Hansson, T.H., Roos, B.O. and Nachemson, A.**：Development of osteopenia in the forth lumber vertebra during prolonged bed rest after operation for scoliosis. Acta orthop. scand., **46**：621～630, 1975.

12) **Genant, H.K., Block, J.E. and Steiger P.**：Quantitative computed tomography in the assessment of osteoporosis. Osteoporosis update 1987, Radiology Research and Education Foundation, San Francisco, pp. 49～71, 1987.

13) **Firooznia, H., Golimbu, C., Rafii, M. and Schwartz, M.S.**：QCT assessment of bone density and its relationship to fracture occurrence and fracture incidence. Osteoporosis update 1987, Radilogy Research and Education Foundation, San Francisoc, pp. 103～113, 1987.

14) **Buchanan, J.R., Myers, C., Greer R.B., Lloyd, T. and Varano, L.A.**：Assessment of the risk of vertebral fracture in menopausal women. J. Bone and Joint Surg., **69**：212～217, 1987.

15) **Gallagher, C., Goldgar, D., Mahoney, P. and McGill, J.**：Measurement of spine density in normal and osteoporotic subjects using computed tomography：relationship of spine density to fracture threshold and fracture index. J. Comput. Assist. Tomogr., **9**：634～635, 1985.

16) **Rosenthal, D.I., Ganott, M.A., Wyshak G., Slovik, D.M., Doppelt, S.H. and Neer, R.M.**：Quantitative computed tomography for spinal density measurement factors affecting precision.：Invest. Radiol., **20**：306～310, 1985.

（平成元年3月8日受付）