

# 定量的 CT 法による末梢骨の骨量測定 —臨床的有用性の評価—

今井 義之

骨粗鬆症の診断には、正確な骨密度 (BMD) の測定が必須である。末梢骨 CT 法 (pQCT) は、二重エネルギー X 線吸収測定法 (DXA) とは異なり、体積当たりの BMD が得られること、海綿骨と皮質骨の BMD を分離して測定できること、被曝線量が少ないことや、測定精度が良好なことなど優れた基本性能のため、骨塩定量法として注目されている。本研究では、pQCT による骨塩定量法の意義を検討した。

pQCT 装置には Densiscan-1000 (ScancoMedical AG) を使用し、橈骨 BMD (超遠位部の海綿骨 BMD (rD50)、超遠位部の海綿骨と皮質骨を併せた BMD (rD100) と骨幹部 BMD (rP100)) および脛骨 BMD (超遠位部の海綿骨 BMD (tD50)、超遠位部の海綿骨と皮質骨を併せた BMD (tD100)) を測定した。

男女共に、pQCT により測定された若年群 (22~44歳、男性107例、女性78例) の橈骨および脛骨 BMD は、高齢群 (60歳以上、男性17例、女性26例) よりも有意に高値であり、両群間の骨量減少は橈骨、脛骨ともに D50が他部位よりも減少率が大であった。性差については、高齢群では男性がいずれの部位の BMD においても女性より有意に高値であった。pQCT で測定された橈骨 BMD は DXA で測定された腰椎、橈骨および大腿骨頸部の BMD と有意 (すべて  $p < 0.001$ ) の正相関を示し、腰椎 BMD とは rD 50の相関 ( $r = 0.688$ ) が最も良好であった。原発性骨粗鬆症の診断基準で定められた骨粗鬆症の診断一致度を DXA と pQCT で比較したところ、kappa score は0.31~0.59であった。椎体骨折の有無の識別能については rD50、rD100、rP100測定の ROC 下面積はほぼ同等であった。

今回の pQCT による橈骨および脛骨 BMD の in vivo の測定の結果、加齢に伴う BMD の減少を知るには D50の測定が適していた。また、D50は DXA による腰椎 BMD と相関が良好であり、全身的な海綿骨の BMD を反映する可能性が示された。腰椎 DXA と橈骨 pQCT による骨粗鬆症の診断一致度は、中等度の一致率を呈しており、臨床的有用性が期待された。いずれにしても pQCT による骨塩定量は海綿骨 BMD と皮質骨 BMD についての情報を与えてくれるユニークな方法であることが示された。 (平成11年4月8日受理)

## Bone Mineral Density Measurements Using Peripheral Quantitative Computed Tomography (pQCT) —An Evaluation of Its Clinical Utility—

Yoshiyuki IMAI

Bone densitometry has become a major tool for the risk assessment of osteoporosis. Peripheral quantitative computed tomography (pQCT) has the potential to measure true volumetric bone mineral density (BMD,  $\text{g}/\text{cm}^3$ ) separating cortical and trabecular BMD. The most widely used

dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) provides areal BMD ( $\text{mg}/\text{cm}^2$ ). The purpose of this study was to clarify the clinical usefulness of pQCT as a method for bone mineral measurement.

The pQCT measurements were carried out at the ultradistal- and mid-radius and the tibia using a Densiscan-1000 (Scanco Medical AG). In both sexes, radial and tibial BMDs in the elderly group (aged more than 60 y.o., 17 men, and 26 women) were significantly lower than those in the young group (aged 20-44 y.o., 107 men and 78 women). The percent difference between the two groups was the greatest in trabecular BMD (D50). As to the sex-related difference, the mean values of radial and tibial BMD in men were significantly higher than in women in elderly groups.

The radial BMDs measured by pQCT correlated significantly with BMDs in the lumbar spine, radius and femoral neck measured by DXA ( $p < 0.001$ ). Lumbar BMD measured by DXA showed the highest correlation to rD50 measured by pQCT. Diagnostic ability of pQCT and DXA to detect osteoporosis was determined by comparing BMD measurements. Kappa statistics showed that in general the diagnostic agreement between these measurements was fair or moderate. The discriminative ability of these methods for vertebral fracture was assessed by receiver operating characteristic (ROC) analysis. The areas under the ROC curves were 0.68, 0.71, 0.69 and 0.78 for D50, D100, P100 and L-BMD, respectively.

These results indicate that BMD measurements made by pQCT can provide information regarding both trabecular and cortical BMD, and that this method has potential for the diagnosis and management of osteoporosis. (Accepted on April 8, 1999) *Kawasaki Igakkaishi* 25(1): 25-33, 1999

**Key Words** ① **Peripheral quantitative computed tomography (pQCT)**  
② **Bone densitometry** ③ **Osteoporosis**  
④ **Dual X-ray absorptiometry (DXA)** ⑤ **Clinical utility**

## はじめに

高齢化人口の増加とともに、加齢に伴う退行性疾患が注目されている。退行性疾患は、(1)有病率が高い、(2)正常と鑑別が困難、(3)治療は進行を遅延させることが主体、(4)早期発見が重要などの特徴をもつが、骨の退行性疾患の一つである骨粗鬆症は、骨折をしばしば合併するので高齢者のQOLを損なう。そのため、骨粗鬆症の早期発見、予防そして治療は医学的のみならず社会的にも重要である。骨粗鬆症は国際的に「低骨量と骨組織の微細構造の劣化が特徴的で、その結果骨の脆弱性が増加し、骨折を来しやすい全身性の骨疾患」と定義されている<sup>1)</sup>。したがって、低骨量と骨梁数の減少、骨梁消失、分布状態の乱れや骨梁幅の短縮を明ら

かにすることが、骨粗鬆症の診断に必要である。しかし、後者については、マイクロCT<sup>2)</sup>やMRI<sup>3)</sup>が試みられているが、臨床応用されるに至っていない。そのため、骨強度の評価には骨塩定量法が専ら用いられている。現在、microdensitometry (MD)、単一エネルギーX線吸収測定法 (single-energy X-ray absorptiometry, SXA)、二重エネルギーX線吸収測定法 (dual-energy X-ray absorptiometry, DXA)、定量的CT法 (quantitative CT, QCT)や定量的超音波 (quantitative ultrasound, QUS)などの骨塩定量法が開発され、臨床に用いられている<sup>4)~8)</sup>。これらの骨塩定量法は、骨粗鬆症のスクリーニング、診断、治療効果の評価および経過観察に広く利用されている。特に、DXAは多彩な測定部位、良好な測定精度、被曝線量の少ないことや短い測定時間など優れた基本性能のため、骨粗鬆症



の臨床においては測定方法の主流として位置付けられている<sup>9)</sup>。しかし、DXAでは真の骨密度 (bone mineral density, BMD) ではなく、面積当たりのBMD ( $\text{g}/\text{cm}^2$ ) が得られるため、骨のサイズの大小による影響をうける。また、海綿骨と皮質骨を併せたintegralなBMDが測定され、両者を分離して解析することが不可能であることなどの限界を有する<sup>10)</sup>。これに対して、QCTは、単位体積当たりの真のBMD ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) の測定が可能で、また、皮質骨と海綿骨の別々のBMD測定が可能である利点がある<sup>11)</sup>。しかし、腰椎を測定部位とするQCTは、測定精度がやや不良で、被曝線量も比較的多く、また単一エネルギーのX線を使用する通常のQCTではBMD値が骨髄中の脂肪量に影響される欠点が知られている<sup>12)</sup>。そこで、これらの欠点が是正された末梢骨専用のQCT(peripheral QCT, pQCT) が開発され<sup>13)~15)</sup>、近年市販されている。腰椎のQCTでは画像診断用のCT装置が使用されているのに対し、pQCTでは専用のCT装置が使用されるが、コンパクトであり、被曝線量が少なく、基礎的検討から測定精度が良好であることが認められている<sup>16)</sup>。しかし、pQCTの骨粗鬆症の分野における臨床応用に関する報告は少ない<sup>17)~20)</sup>。そこで、本研究ではpQCT装置 (Densiscan-1000) による末梢骨BMD測定の臨床的意義について検討したので報告する。

## 方 法

### (1) BMDの測定

#### 1) pQCTによる橈骨および脛骨のBMD測定

pQCTによる橈骨および脛骨のBMD測定には、Densiscan-1000 (ScancoMedical AG, Bassersdorf, スイス)<sup>20)</sup>を使用した。Densiscan-1000による測定は、まず測定部位のscout viewを取得後、遠位関節面にreference lineを設定する。次いで、橈骨では6 mm、脛骨では19 mm離れた位置を基点として、スライス幅1 mm、スライス間隔1.5 mmで10スライスをスキャンする。

引き続き、橈骨では27.5 mm離れた部位から更に6スライスをスキャンする。

初めの10スライスから超遠位部の海綿骨のみのBMD (D50) と、海綿骨および皮質骨を併せたBMD (D100) が得られる。次の6スライスから骨幹部の主として皮質骨のBMD (P100) が得られる。

Densiscan-1000による分解能は0.2 mmであり、in vivo の測定精度は $\text{CV} = 0.48\%$ <sup>20)</sup>、BMCと灰分重量の相関から評価された測定の正確度は $r = 0.976$  ( $\text{SEE} = 10.75\%$ ) である<sup>16)</sup>。

#### 2) DXAによる腰椎、橈骨および大腿骨頸部BMDの測定

腰椎BMD (L-BMD) はDXA装置であるQDR-2000 (Hologic, Waltham, アメリカ)<sup>21)</sup>を使用して測定した。データ収集は前後方向から行い、第2~4腰椎の平均BMDを検討に供した。測定精度は $\text{CV} = 2.3\%$ である。

橈骨BMD (R-BMD) はDXA装置であるDCS-600 (Aloka, 東京, 日本)<sup>22)</sup>を使用した。測定部位は尺骨茎状突起から肘頭までの前腕長の遠位1/3部位であり、profile scanにて左橈骨のBMDを測定した。測定精度は1.23%である。

大腿骨頸部BMD (F-BMD) はQDR-2000を用いて、被検者の右下肢を内旋30度に位置付けて測定した。測定精度は2%である。

#### (2) 原発性骨粗鬆症の診断

原発性骨粗鬆症の診断は日本骨代謝学会から発表された原発性骨粗鬆症の診断基準 (1996年度改訂版)<sup>23)</sup>によった。つまり、原発性骨粗鬆症と類似した疾患を除外後、非外傷性の椎体骨折を認める場合にはBMDが若年成人女性の平均BMD (young adult mean, YAM) の80%未満の症例、椎体骨折を認めない場合にはYAMの70%未満の症例を、骨粗鬆症と診断した。

#### (3) 椎体骨折の判定

椎体骨折の判定は、胸・腰椎の側面X線フィルムを用いて行った<sup>23)</sup>。つまり、椎体の前縁高 (A)、中央高 (C) と後縁高 (P) を計測し、(1)  $C/A, C/P$  のいずれかが0.8未満、または(2)  $A/P$  が0.75未満の時を骨折と判定した。椎体の高

さが全体的に減少している場合には、判定椎体の上位または下位の A, C, P より各々が20%以上減少している時を骨折と判定した。

## 対 象

### (1) pQCTにより測定された橈骨および脛骨 BMD の加齢変化と性差の検討

若年群 (20~44歳) 185例 (男性107例 (24.9 ± 3.9歳, 平均 ± SD), 女性78例 (25.0 ± 4.8歳)) と, 高齢群 (60歳以上) 43例 (男性17例 (71.2 ± 6.5歳), 女性26例 (71.4 ± 6.8歳)) を対象として, 橈骨 D50 (rD50), D100 (rD100), P100 (rP100) と 脛骨 D50 (tD50), D100 (tD100) の加齢による変化と性差を比較検討した。2群間の有意差検定には Student t 検定を用い, 有意水準は5%とした。

### (2) pQCTにより測定された橈骨 BMD と DXA により測定された L-BMD, R-BMD および F-BMD との相関

pQCT により測定された橈骨 BMD (rD50, rD100, rP100) と DXA により測定された L-BMD, R-BMD および F-BMD の相関は, 女性48例 (22~75歳, 55.1 ± 15.1歳) で検討した。各部位間の BMD の相関係数を求め, Fisher の Z 変換値を用いてその有意性を検討した。

### (3) pQCT により測定された橈骨 BMD 値による骨粗鬆症の診断能および椎体骨折の識別能の検討

女性48例 (22~75歳, 55.1 ± 15.1歳) を対象に pQCT により測定された橈骨 BMD (rD50, rD100, rP100) 値と DXA により測定された L-BMD, R-BMD, F-BMD 値の骨粗鬆症の診断能および椎体骨折の識別能を検討した。まず, 日本骨代謝学会の診断基準に基づいて骨粗鬆症の診断を行った場合, つまり, DXA により YAM の70%未満の BMD を骨粗鬆症とした場合の診断能と, pQCT 測定結果を用いた場合と比較検討した。なお, pQCT の橈骨 YAM は Densiscan-1000による若年成人女性 (20~44歳) 78例の平均 BMD 値とした。診断能の比較には,

感度, 特異度, パーセント一致率および kappa score を用いた。kappa score は一致度の評価に用いられる指標で, 一致度の強さとの対応については0.00未満は poor agreement, 0.00~0.20は slight, 0.21~0.40は fair, 0.41~0.60は moderate, 0.61~0.80は substantial, 0.81~1.00は almost perfect とした<sup>24)</sup>。次に, 椎体骨折の有無の識別能を, pQCT による橈骨 BMD 測定と DXA による L-BMD, R-BMD および F-BMD 測定とで比較した。識別能の比較には receiver operating characteristic (ROC) 解析を用いた。ROC 下面積 (Az) の算出とその有意差検定には, Metz らの開発したソフト (ROCKIT) を用いた<sup>25)</sup>。

## 結 果

### (1) pQCT により測定された橈骨および脛骨 BMD の加齢変化と性差

高齢群では, rD50, rD100, rP100, tD50 および tD100 のいずれも若年群に比して有意に低値であった (Table 1)。若年群の BMD を基準にした場合の高齢群における BMD の減少率を Table 2 に示す。男女ともに橈骨または脛骨の超遠位部の海綿骨 BMD (rD50, tD50) の減少率が大きいことが示された。また, 女性は男性に比べて減少率が大きであった。

性差については, 若年群では rD50, tD50, tD100 で男性の方が有意に高値を呈した (それぞれ BMD の差は 0.073 ( $p < 0.0001$ ), 0.088 ( $p < 0.0001$ ), 0.062 ( $p < 0.0001$ )). しかし, rD100 では両者間には有意な差はみられず, rP100 では女性の方が逆に有意に高値を示した (平均差 0.067 ( $p = 0.0002$ )). 一方, 高齢群では, いずれの部位の BMD においても男性が有意に高値を示した (Table 1)。

(2) pQCT による橈骨 BMD と DXA による L-BMD, R-BMD および F-BMD との相関  
pQCT による橈骨 BMD (rD50, rD100 と rP100) と DXA による L-BMD, R-BMD, F-BMD の相関を Table 3 に示す。rD50, rD100,



**Table 1.** Age- and sex-related differences in radial and tibial BMDs measured by pQCT

		Women	Men	Sex-related Differences
		(g/cm <sup>3</sup> )	(g/cm <sup>3</sup> )	p values
Young Group	rD50	0.254 ± 0.063*	0.327 ± 0.057*	<0.0001
	rD100	0.594 ± 0.087*	0.615 ± 0.084*	0.1280
	rP100	1.339 ± 0.118*	1.273 ± 0.102*	0.0002
	tD50	0.288 ± 0.053*	0.376 ± 0.062*	<0.0001
	tD100	0.572 ± 0.073*	0.634 ± 0.081*	<0.0001
Elderly Group	rD50	0.140 ± 0.063	0.237 ± 0.083	<0.0001
	rD100	0.413 ± 0.091	0.497 ± 0.123	0.0139
	rP100	0.966 ± 0.143	1.103 ± 0.144	0.0039
	tD50	0.169 ± 0.070	0.230 ± 0.069	0.0144
	tD100	0.398 ± 0.072	0.477 ± 0.099	0.0090

In both sexes, radial and tibial BMDs significantly decreased in elderly group (\*p < 0.0001, young group vs elderly group).

Values are shown as means ± SD.

**Table 2.** The percent change in BMD between young and elderly groups

	Percent Change of BMD	
	Women	Men
rD50	-44.9	-27.5
rD100	-30.5	-19.2
rP100	-27.9	-13.4
tD50	-41.3	-38.8
tD100	-30.4	-24.8

rP100とL-BMD, R-BMD およびF-BMDとの間には、いずれも有意 (p < 0.001) の正相関が得られた。DXAにより測定された部位別のBMDについては、L-BMDとはrD

50 (r = 0.688), R-BMDとはrP100 (r = 0.855), F-BMDとはrD50 (r = 0.715)が、いずれも最も良好な相関を示した。なお、相関係数間に有意性はみられなかった。また、R-BMDとrP100が全ての相関のうちで最も相関係数が高値であった。

(3) pQCTにより測定された橈骨BMD値による骨粗鬆症の診断能および椎体骨折の識別能

## の検討

pQCTによる橈骨BMDの原発性骨粗鬆症の診断能は、DXAで測定されたL-BMD値を基準とした場合、D50の感度は92.3%、特異度は59.1%、D100の感度は88.5%、特異度は68.2%、P100の感度は46.2%、特異度は86.4%であった。R-BMDを基準とした場合、D50の感度は96.0%、特異度は60.9%、D100の感度は88.0%、特異度は65.2%、P100の感度は60.0%、特異度は100%、F-BMDを基準とした場合、D50の感度は94.4%、特異度は46.7%、D100の感度は88.9%、特異度は53.3%、P100の感度は55.6%、特異度は83.3%であった。パーセント一致率お

**Table 3.** Correlations between L-BMD, R-BMD, F-BMD and D-50, D100, P100 in women

	rD50	rD100	rP100
	(g/cm <sup>3</sup> )	(g/cm <sup>3</sup> )	(g/cm <sup>3</sup> )
L-BMD (g/cm <sup>2</sup> )	0.688*	0.523*	0.470*
R-BMD (g/cm <sup>2</sup> )	0.741*	0.723*	0.855*
F-BMD (g/cm <sup>2</sup> )	0.715*	0.639*	0.669*

n = 48, \*P < 0.001

**Table 4.** Diagnostic agreement of osteoporosis between different BMD measurements

		Percent agreement	Kappa score	95% CI for Kappa score
L-BMD	rD50	77.1	0.53	0.29-0.76
	rD100	79.2	0.57	0.34-0.81
	rP100	64.6	0.31	0.08-0.55
R-BMD	rD50	79.2	0.58	0.36-0.80
	rD100	77.1	0.54	0.30-0.77
	rP100	79.2	0.59	0.38-0.80
F-BMD	rD50	64.6	0.35	0.15-0.56
	rD100	66.7	0.37	0.15-0.60
	rP100	72.9	0.40	0.13-0.67

CI, confidence interval

よび kappa score では L-BMD あるいは R-BMD で診断した場合と、pQCT による BMD で診断した場合との間に、中等度の診断一致率が認められた (Table 4)。

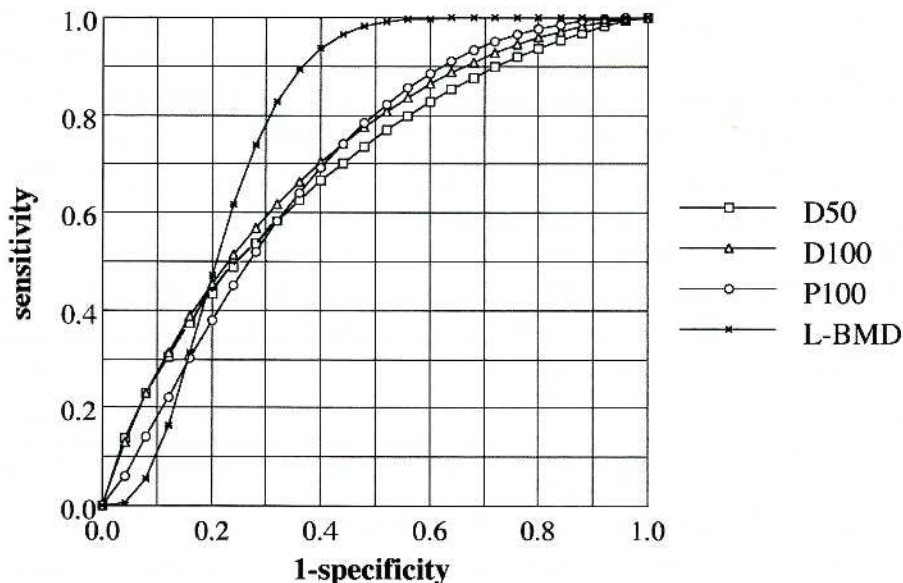
pQCT による橈骨 BMD 測定による椎体骨折の有無の識別能を解析した ROC 曲線を Figure 1 に示す。rD50, rD100, rP100 の ROC 下面積はそれぞれ 0.685, 0.708, 0.692 で各部位間に有意差はみられず、DXA による腰椎 BMD の 0.778 に比べ低値であった (p 値は rD50, rD100, rP100 の順に, 0.059, 0.039, 0.101)。

## 考 察

pQCT は種々の骨塩定量法のうち、海綿骨と皮質骨を分離してそれぞれの BMD を得ることができること、体積 BMD が算出されるので DXA で問題となる骨サイズの大小による影響を受けにくいこと、1 回の検査で海綿骨と皮質骨双方の BMD に関する情報を得ることができるなどの特徴を持つユニークな方法である。

現在、国内で使用が可能な pQCT

装置は、XCT-960 (Norland/Stratec 社, Birkenfeld, ドイツ) と Densiscan-1000 の 2 種類である。前者では測定に単スライスが用いられているのに対し、今回検討に用いた後者は、マルチスライス法が採用されているため、良好な再現性が得られると考えられている<sup>19)</sup>。測定の正確度は、実測値と骨中のミネラル量との一致度を示すものであるが、pQCT 装置の測定の正確度は、自験例では  $r = 0.976$  (SEE = 10.75%) と極めて良好である<sup>16)</sup>。このように、pQCT 装置 (Densiscan-1000) は測定精度と測定の正確度が良好



**Fig. 1.** Receiver operating characteristic (ROC) curves for radial BMD (rD50, rD100, rP100) measured by pQCT and lumbar BMD measured by DXA.



であるので骨粗鬆症の診断のほか、経過観察や治療効果の判定などに期待されている。

pQCT 装置で測定した橈骨 BMD の加齢変化について、Müller ら<sup>26)</sup>は Densiscan-1000を用いた 2 年間の縦断的検討から、女性例では閉経直後に著明な骨量減少を認めたと報告している。また、Gatti ら<sup>27)</sup>による XCT-960を用いた横断的研究でも加齢に伴う BMD の低下が報告されている。本研究では、高齢群は男女ともに若年群に比して橈骨および脛骨の海綿骨、皮質骨の BMD が有意に低値であることが示された。特に、rD50、tD50が rD100、rP100、tD100よりも減少率が大きかったが、その理由は海綿骨が主体の部位の BMD (D50)は、加齢や閉経による骨量減少が皮質骨が主体の部位 (P100)やあるいは両者を併せた部位 (D100)よりも著明に発現することを反映しているものと思われる。pQCT による橈骨と脛骨 BMD の加齢に伴う骨量減少率を DXA による L-BMD、R-BMD、F-BMD のそれと比較した場合、DXA では -26.0 ~ -30.0% であり<sup>23)</sup>、pQCT による骨量減少は同等またはそれ以上であった。さらに、pQCT は DXA よりも高い測定再現性を有するため、短期間の経過観察での骨量変化の検出が可能であり、特に D50 測定は急速骨量喪失者 (fast bone loser) の検出等においてその臨床的有用性が期待される。男性では、加齢に伴う BMD の減少率は、橈骨よりも脛骨において大であった。これは、非荷重骨である橈骨よりも荷重骨の脛骨の加齢に伴う骨量減少が男性で発現しやすいことを示唆しているものと思われる。

性差に関しては、若年群では rD50、tD50、tD100が男性で有意に高値であったが、rP100は女性が有意に高値であり、rD100では差がみられなかった。pQCT による測定部位は、遠位関節面からの距離により決定されるが、男性に比して女性では通常橈骨長が短いため、女性において P100は、より骨断面積に対する皮質骨幅比率の大きい部位が測定されるためと推測される。

高齢群では、橈骨および脛骨のすべての測定

部位で男性が女性よりも有意に高値であり、女性における加齢に伴う骨量減少は海綿骨と皮質骨のいずれにも著明に生じていることが示された。

pQCT による橈骨 BMD と DXA による BMD との相関については、Grampp ら<sup>17)</sup>は、XCT-960で測定した橈骨 BMD は DXA による橈骨 BMD とは中等度の相関 ( $r = 0.27 \sim 0.75$ ) を認めたが、腰椎 BMD とは低い相関 ( $r = 0.18 \sim 0.44$ ) であったと報告している。Gatti ら<sup>27)</sup>は、XCT-960で測定した橈骨 BMD は DXA による腰椎、橈骨、大腿骨頸部 BMD と有意な相関がみられた ( $r = 0.48 \sim 0.75$ ) と報告している。本研究では、L-BMD は rD 50 ( $r = 0.688$ ) と、R-BMD は rP100 ( $r = 0.855$ ) と、F-BMD は rD50 ( $r = 0.715$ ) と最も高い相関を認めた。腰椎は海綿骨が主体であり、橈骨超遠位部の rD50も海綿骨 BMD を反映しているため、両者間の相関が良好であったものと思われる。rP100は橈骨骨幹部の皮質骨を主体とする部位の BMD であり、また DXA による橈骨 BMD とほぼ同様の測定部位である。そのため、rP100は R-BMD と最も良好な相関性を示したものと思われる。F-BMD は rD50と最も高い相関性を認めたが、rD100や rP100と相関係数にほとんど差がなく、測定部位としては 3 部位はほぼ同等と思われる。DXA による L-BMD と rD50の相関係数は 0.688 と比較的低かったが、これは腰椎が骨硬化などの加齢に伴う退行性変化を受け易く、BMD 値が過大評価される可能性がその一因として考えられる。

今回の pQCT による原発性骨粗鬆症の診断結果を DXA による腰椎 BMD と比較すると、kappa score は中等度の一致率を示した。pQCT による椎体骨折の有無の識別能については、Grampp ら<sup>17)</sup>は XCT960による橈骨海綿骨 BMD は、DXA よりも椎体骨折の識別能が低いと報告している。本研究でも椎体骨折の識別能は、DXA による腰椎 BMD に比して劣っていた。これは、骨粗鬆化は全身の骨で同様の時期に同程度に生じるのではないこと<sup>28)~30)</sup>や骨硬度以

外の骨強度に関与する骨稜微細構築や骨質の変化が骨部位により異なる可能性<sup>31), 32)</sup>を表しているものと思われる。

今回の検討の結果, pQCT による骨量測定は骨粗鬆症のスクリーニングには使用可能であることが示された。

## ま と め

1) pQCT による橈骨および脛骨各部位の BMD の測定結果を比較すると, 加齢に伴う骨量減少の検出には, D50の測定が最も適していた。性差については, 若年群では D50, 高齢群ではすべての部位で男性が高値であった。また, 橈骨 D50は DXA による腰椎 BMD と相関が最

も高く, 全身的な海綿骨の BMD を反映していることが示された。

2) Densiscan-1000による pQCT は, 骨粗鬆症の診断や椎体骨折の識別にスクリーニングとして使用可能であることが示唆され, 今後の臨床応用が期待される。

稿を終えるにあたり, ご指導とご校閲を賜りました川崎医科大学核医学教室福永仁夫教授に深甚なる謝意を表します。そして直接ご指導をいただきました同教室曾根照喜講師, 実験についてご協力頂いた教室員の方々に深謝いたします。なお, 本研究の一部は川崎医科大学プロジェクト研究費 (8-711) および文部省科学研究費 (No.08671061) の援助によって行われた。

## 文 献

- 1) Consensus Development Conference : Diagnosis, prophylaxis, and treatment of osteoporosis. *Am J Med* 94 : 646-650, 1993
- 2) Genant HK, Engelke K, Glüer C-C, Lang TF, Majumdar S : Recent advances in the noninvasive assessment of bone density, quality and structure. *J Jpn Soc Bone Morphom* 5 : 93-108, 1995
- 3) Genant HK, Majumdar S : High-resolution magnetic resonance imaging of trabecular bone structure. *Osteoporos Int* 7 : S135-S139, 1997
- 4) Inoue T, Kushida K, Miyamoto S, Sumi Y, Orimo H, Yamashita G : Quantitative assessment of bone density on X-ray picture. *J Jpn Orthop Ass* 57 : 1923-1936, 1983
- 5) 游 逸明, 山本逸雄, 大中恭夫, 高田政彦, 中島言子, 増田一孝, 森田陸司 : SXA (Single Energy X-ray Absorptiometry) 法による踵骨骨密度測定の臨床的有用性についての検討。日骨形態誌 3 : 127-131, 1993
- 6) 福永仁夫, 友光達志, 森田陸司 : DEXA 法, 臨放 35 : 41-48, 1990
- 7) 福永仁夫, 大塚信昭, 曾根照喜, 永井清久, 森田陸司, 梶原康正, 西下創一 : 脊椎骨 Phantom を併用した CT Scan による第 3 腰椎海綿骨の骨塩量測定法。日本医放会誌 46 : 659-664, 1986
- 8) Ito M, Tsurusaki K, Hayashi K : Peripheral QCT for the diagnosis of osteoporosis. *Osteoporos Int* 7 : S120-S127, 1997
- 9) Genant HK, Engelke K, Fuerst T, Glüer C-C, Grampp S, Harris ST, Jergas M, Lang T, Lu Y, Majumdar S, Marthur A, Takada M : Non-invasive assessment of bone mineral and structure : State of the art. *J Bone Miner Res* 11 : 707-730, 1996
- 10) Adams JE : Single-and dual-energy : X-ray absorptiometry. *In Bone Densitometry and Osteoporosis*, ed by Genant HK, Guglielmi G, Jergas M. Berlin, Springer, 1998, pp 305-334
- 11) Guglielmi G, Lang TF, Cammisia M, Genant HK : Quantitative computed tomography at the axial skeleton. *In Bone Densitometry and Osteoporosis*, ed by Genant HK, Guglielmi G, Jergas M. Berlin, Springer, 1998, pp 335-347
- 12) 小山和行 : 骨粗鬆症-QCT による診断から治療まで。東京, 日本医事新報社, 1993, pp 3-53
- 13) Rüeggsegger P, Durand E, Dambacher MA : Localization of regional forearm bone loss from high resolution computed tomographic image. *Osteoporos Int* 1 : 76-80, 1991



- 14) R  gsegger P, Durand EP, Dambacher MA : Differential effects of aging and disease on trabecular and compact bone density of the radius. *Bone* 12 : 99–105, 1991
- 15) Schneider P, Borner W : Periphere quantitative Computertomographie zur Knochenmineralmessung mit einem neuen speziellen QCT-Scanner. Methodik, Normbereiche, Vergleich mit manifesten Osteoporosen. *Fortschr R  ntgenstr* 154 : 292–299, 1991
- 16) Imai Y, Sone T, Mikawa Y, Watanabe R, Fukunaga M : Precision and accuracy for peripheral quantitative computed tomography evaluated using cadaveric radii. *J Clin Densitometry* 1 : 165–172, 1998
- 17) Grampp S, Lang T, Jergas M, Gl  r C-C, Marthur A, Engelke K, Genant HK : Assessment of the skeletal status by peripheral quantitative tomography of the forearm : Shorttime precision in vivo and comparison to dual X-ray absorptiometry. *J Bone Miner Res* 10 : 1566–1576, 1995
- 18) Butz S, Wuster C, Scheidt-Nave C, G  tz M, Ziegler R : Forearm BMD as measured by peripheral quantitative computed tomography (pQCT) in a German reference population. *Osteoporos Int* 4 : 179–184, 1994
- 19) R  gsegger P : The use of peripheral QCT in the evaluation of bone remodelling. *Endocrinologist* 4 : 167–176, 1994
- 20) 友光達志, 曽根照喜, 福永仁夫, 伊東昌子, 石田 裕, 林 邦昭 : pQCT 装置 (Densiscan-1000) の使用経験. *日骨形態誌* 5 : 147–153, 1995
- 21) Fukunaga M, Tomomitsu T, Ono S, Otsuka N, Nagai K, Morita K, Imai H, Miyake M, Katagiri M : Quantification of bone mineral in the vertebral body and whole body skeleton with a newly developed dual energy X-ray absorptiometric system using a multidetector array. *Kawasaki Med J* 19 : 65–76, 1993
- 22) 友光達志, 福永仁夫, 大塚信昭, 小野志摩人, 永井清久, 森田浩一, 古川高子, 村中 明, 柳元真一, 田部井俊明, 川村幸一, 森田陸司 : X 線を用いた末梢骨を測定対象とする二重光子吸収測定装置による骨塩測定の臨床的有用性－単一光子吸収測定装置との比較－. *Radioisotopes* 37 : 521–524, 1988
- 23) Orimo H, Sugioka Y, Fukunaga M, Muto Y, Hotokebuchi T, Gorai I, Nakamura T, Kushida K, Tanaka H, Ikai T, Ohhashi Y : Diagnostic criteria of primary osteoporosis. *J Bone Miner Metab* 16 : 139–150, 1998
- 24) Landis JR, Koch GG : The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics* 33 : 159–174, 1977
- 25) Metz CE : ROCKIT user's guide. Department of Radiology, University of Chicago, 1998
- 26) M  ller A, R  gsegger E, R  gsegger P : Peripheral QCT : A low-risk procedure to identify women predisposed to osteoporosis. *Phys Med Biol* 34 : 741–749, 1989
- 27) Gatti D, Rossini M, Zamberlan N, Braga V, Fracassi E, Adami S : Effect of aging on trabecular and compact bone components of proximal and ultradistal radius. *Osteoporos Int* 6 : 355–360, 1996
- 28) Hansen MA, Overgaard K, Christiansen C : Spontaneous postmenopausal bone loss in different skeletal areas : followed up for 15 years. *J Bone Miner Res* 10 : 205–210, 1995
- 29) Pouilles JM, Tremollieres F, Ribot C : Variability of vertebral and femoral postmenopausal bone loss : a longitudinal study. *Osteoporos Int* 6 : 320–324, 1996
- 30) Abrahamsen B, Hansen TB, Jensen LB, Hermann AP, Eiken P : Site of osteodensitometry in perimenopausal women : correlation and limits of agreement between anatomic regions. *J Bone Miner Res* 12 : 1471–1479, 1997
- 31) Amling M, Herden S, Posl M, Hahn M, Ritzel H, Dellling G : Heterogeneity of the skeleton : comparison of the trabecular microarchitecture of the spine, the iliac crest, the femur, and the calcaneus. *J Bone Miner Res* 11 : 36–45, 1996
- 32) Ninomiya JT, Tracy RP, Calore JD, Gendreau MA, Kelm RJ, Mann KG : Heterogeneity of human bone. *J Bone Miner Res* 5 : 933–938, 1990