

## 軀幹骨の骨塩定量用 Dual Energy X-ray Absorptiometry 装置の基本性能の検討

今井 弘子, 渡辺 良, 長谷川 徹, 友光 達志\*, 福永 仁夫\*, 大塚 信昭\*

高齢化社会の到来に伴い, 骨粗鬆症の頻度は増加している. 骨粗鬆症の診断には, 骨量減少の所見が必須であるが, 現在, dual energy X-ray absorptiometry (DEXA) を用いた骨塩量の測定が広く行われるようになった. そこで, DEXA である QDR-1000 の基本性能について検討した.

QDR-1000 で測定した腰椎および大腿骨近位部の *in vivo* および *in vitro* の bone mineral density (BMD) の日差再現性は C. V. = 1~2% であり, 精密度は良好であった. 被検体厚の変化による BMD 値の変動は少ないことが示された. 体厚依存性は少なかった. 被曝線量はきわめて少量であった. 骨塩量の計測範囲は常時一定の大きさを, 同一部位に設定する必要があった.

BMD の算出には骨面積つまり骨幅が関与するが, QDR-1000 の骨幅の検出には濃度依存性があり, 濃度が低下するとともに骨幅が過小評価されることが示された.

(平成3年10月28日採用)

## Study of Fundamental Performance of a Dual Energy X-ray Absorptiometric Unit for Axial Bone Mineral Quantification

Hiroko Imai, Ryo Watanabe, Toru Hasegawa, Tatsushi Tomomitsu\*, Masao Fukunaga\* and Nobuaki Otsuka\*

With the coming of an increasingly aging, the incidence of osteoporosis is also increasing. In the diagnosis of osteoporosis, it is essential to recognize a finding of osteopenia. Recently, dual energy X-ray absorptiometry (DEXA) has been applied widely to quantify bone mineral content. In this paper, the fundamental performance of the QDR-1000, one type of DEXA unit, was evaluated.

The QDR-1000 showed high precision both *in vivo* and *in vitro* (C. V. = 1~2%). BMD measured by the QDR-1000 was almost independent of changes in body thickness. The radiation dose calculated as skin exposure was less than 0.05 mSv. Since BMD values are affected by the presence or absence of an air zone, when BMD calculations are made the position of the patient and the size of the range of BMD calculation must be kept the same. In BMD measurement by the QDR-1000, the bone edge was falsely detected under a low BMC condition, and the bone width was found

to be smaller than the true value. (Accepted on October 28, 1991) *Kawasaki Igakkaishi* 17(4):

351-356, 1991

**Key Words** ① Dual energy X-ray absorptiometry (DEXA)

② Bone densitometry ③ Osteoporosis

④ Bone mineral density

## はじめに

高齢化社会の到来に伴い、骨粗鬆症の頻度も増加している。骨量減少の所見は骨粗鬆症の診断に必須であるが、従来の腰椎単純X線像を用いた慈大式骨萎縮度分類や大腿骨近位部のSingh分類などの定性的評価に加え、近年種々の非侵襲的な定量法が行われている。これら定量法には、中手骨のX線フィルムを用いるmicrodensitometry (MD) 法,<sup>1)</sup> <sup>125</sup>Iや<sup>241</sup>Amを線源とする単一光子吸収測定法 (single photon absorptiometry, SPA),<sup>2), 3)</sup> エネルギーの異なる二つのガンマ線を放出する<sup>153</sup>Gdを線源とする二重光子吸収測定法 (dual photon absorptiometry: DPA),<sup>4)</sup> 2種類の異なるエネルギーのX線を用いた二重エネルギーX線吸収測定法 (dual energy X-ray absorptiometry, DEXA)<sup>6)~9)</sup> の光子吸収法のほか、CTを用いた定量的X線CT法 (quantitative computed tomography, QCT)<sup>10), 11)</sup> があり、臨床応用されている。しかし、それぞれの定量法は測定原理が異なるだけでなく、測定部位も異なっている。つまり、MD法やSPA法は皮質骨が主体である中手骨や橈骨を測定対象とするのに対し、DPA法やDEXA法では海綿骨が主体の腰椎のほか大腿骨近位部や全身骨の定量が可能である。また、QCT法では腰椎海綿骨を測定対象としている。これら骨塩定量法のうち、DEXA法は検査時間が短く、被曝線量も少なく、しかも画像の空間分解能や測定の再現性がよいので、近年その普及が著しく、広く臨床に供されている。そこで、今回、現在市販されている軀幹骨の骨塩定量用DEXA装置の基本性能について検討したので報告する。

## DEXA装置の概要

軀幹骨の骨塩定量用DEXA装置であるHologic社製QDR-1000の使用電圧、使用電流、X線エネルギー、検出器の数とシンチレーターの種類およびデータ収集時間をTable 1に示す。

QDR-1000は、140KVと70KVとのX線管電圧を切り換える方式により、エネルギーの異なる連続スペクトルのX線を交互に発生させ、これをCdW<sub>4</sub>シンチレーション検出器で検出し、その電流積分をAD変換機でデジタル化する装置である。<sup>7), 8)</sup>

## 方 法

DEXA装置の基本性能として、測定の精密度、測定値の体厚依存性、被曝線量、測定範囲の設定に伴う諸問題および骨幅検出方法と骨塩量との関係の5項目について検討した。

### 1. 測定の精密度

*in vivo* の測定の精密度の検討には健常男性3例(20~41歳)と健常女性2例(ともに20歳)の

**Table 1.** The fundamental performances of QDR-1000

	QDR-1000
Tube Voltage (KV)	140
Tube Current (mA)	3
Beam Energy	140 & 70*
Detector	1 CdW <sub>4</sub>
Data Acquisition Time (min.)	5

\*KV

計5例を対象とした。*in vitro*の測定の精密度の検討には、人骨入り腰椎ファントム(PBU-3, 京都科学)を用いた。腰椎および大腿骨頸部のbone mineral density (BMD), つまりBMC/骨面積をQDR-1000で1週間ごとに5回測定し、*in vivo*における変動係数を求めた。

## 2. 測定値の体厚依存性

吸収体の厚さによるBMD値の影響について検討した。つまり、hydroxyapatiteよりなる18 cm厚の腰椎ファントム(Hologic)に1 cm厚のアクリルを付加し、合計の厚さを18~30 cmにして測定を行った。ファントム厚が20 cmのBMDを基準として、その変動を検討した。

## 3. 被曝線量

被曝線量は、熱蛍光線量計(TLD, 極光)を用いてX線入射側の皮膚表面線量を測定した。

## 4. 骨塩量の計測範囲の設定に伴う諸問題

骨塩量の計測範囲の設定の違いによるBMDの変動について、QDR-1000を用いて検討した。まず、計算範囲に吸収体のみが存在する場合と吸収体の他に空気層を含む場合のBMD値を検討した。人骨入り大腿骨近位部ファントム(PBU-3)を用いて、計算範囲を大腿骨骨頭の上縁と内側、大転子の外側5 mm および小転子遠位1 cm に設定し、この状態でのBMDを基準として、計算範囲を大転子外側に拡大したときのBMDの変化率を求めた。

## 5. 骨塩量と骨面積との関係

5種類の異なる濃度のhydroxyapatiteを含んだrodファントムを用いて、計算される骨面積とBMDの実測値との関係を検討した。

## 結 果

### 1. 測定値の精密度

QDR-1000のBMDの測定値の変動係数(% C. V.)は、腰椎では前後方向からのデータ収集の場合は1.80%であり、側面方向

からのときは5.57%を示し、大腿骨頸部では1.97%であった。*in vitro*の測定では% C. V.は0.54%であった。

### 2. 測定値の体厚依存性

体厚が15 cmから30 cmに変化した場合のBMD測定値の変動をFigure 1に示す。20 cmを基準としたときの% BMD値の変動は±1.0%以下であった。

### 3. 被曝線量

QDR-1000による被曝線量は0.03 mSvであった。

### 4. 骨塩量の計算範囲の設定に伴う諸問題

計算範囲に吸収体のほかに空気層を含む場合は(Fig. 2a), 吸収体のみの場合(Fig. 2b)に比してBMDは高値を示した。また、計算の範囲の外縁が大転子外側より遠位で大きくなるほ

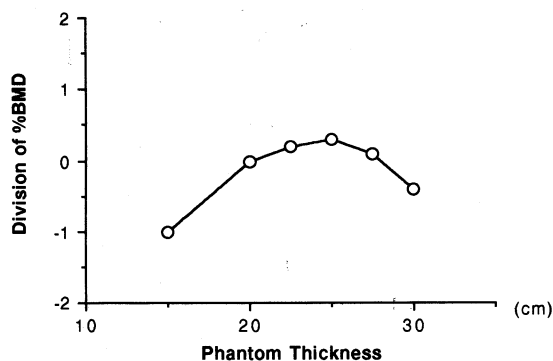


Fig. 1. The effect on BMD of change in the phantom thickness

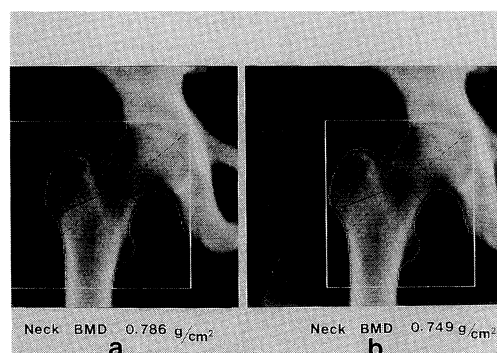


Fig. 2. Differences in BMD on the range of BMD calculation with (a) and without (b) the air zone

ど、BMDは高値を示し2.5 cm 遠位部では% BMDは0.5 cm 遠位部より約5%大であった (Fig. 3).

5. 骨塩量と骨面積の関係

BMD値が減少するとともに骨面積が低下する傾向が認められた (Fig. 4).

考 察

QDR-1000の *in vivo* における精密度は、いずれの部位においても測定の実験においてものC. V.は2%以下と良好であり、骨塩量の3~4%以上の増減を認識できる感度の良い方法であることが示された。

体厚によるBMD値への影響はQDR-1000において従来の報告と同様に軽度認められたが、<sup>15), 16)</sup> 通常の診療使用に際しては大きな影響は少ないと思われる。

被曝線量は、QDR-1000ではきわめて低いことが示された。これはQCT(2~5 mSv)やMD法(< 1 mSv)<sup>17)</sup>に比して少ない被曝線量であり、経過観察や治療効果の判定に繰り返しの測定が必要な症例にも安全に使い得ることを意味している。

骨塩量の計算範囲の設定が手動操作で可能なQDR-1000では、計算範囲内に軟部組織などのほかに空気層が存在すると正確な測定が不可能となる。これは、骨塩量の計算に使用される透過X線の放射線の基準値が変化することによる。特に、大腿骨近位部では腰部に比し軟部組織の厚さが一定ではなく、計算範囲を大きく設定すると空気層が含まれる可能性が高くなる。今回の検討の結果、計算範囲は常

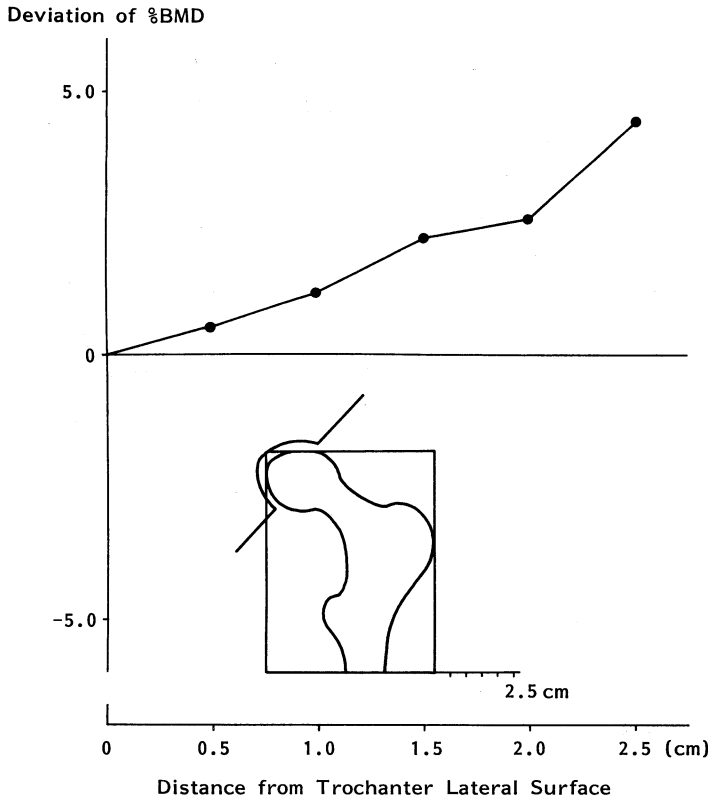


Fig. 3. The effect of change in the size of the range of BMD calculation on BMD

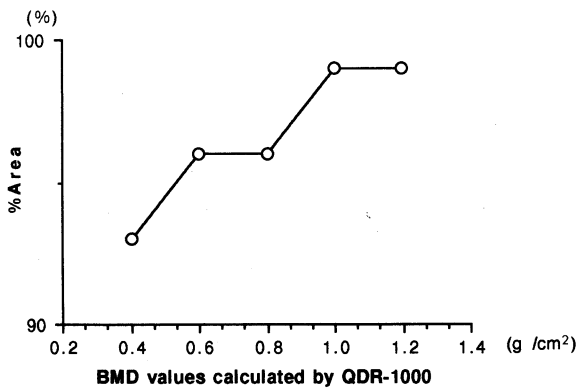


Fig. 4. The effect of change in the area changing on BMD

時大きさを一定に、しかも、同一部位に設定する必要性が認められた。

BMDの算出には、BMCと骨面積が必要であるが、骨面積は骨幅に主として規定される。さらに、骨幅の検出方法は装置により異っている。<sup>9), 18), 19)</sup> 今回の検討、低濃度では骨幅は少なく認識され、そのためBMDが過大評価されることが示された。このように、今回の検討からDEXA装置であるQDR-1000の基本性能は明らかにされたが、これらの点を十分に熟知して測定値を解釈することが一望される。

## 結 語

1. DEXA装置であるQDR-1000の基本性能について検討した。

2. QDR-1000における腰椎および大腿骨頸部のBMD値の日差再現性は*in vivo*, *in vitro*ともにC. V.=1~2%であり、測定精度は良好であった。

3. 体厚の変化に伴うBMDの測定値の変動は、1.0%以下であり、BMD値の体厚依存性は少ないことが認められた。

4. QDR-1000の被曝線量は0.05 mSv以下であり、きわめて少ないことが示された。

5. 骨塩量測定時には、測定範囲を常時一定の大きさで、しかも同一部位に設定する必要がある。

6. BMDの算出に必要な骨幅の検出は濃度依存性があり、QDR-1000では低濃度で骨幅が過小に評価された。

## 文 献

- 1) 井上哲郎, 山下源太郎: X線像による骨萎縮度判定の試み。「骨形態計測」(高橋栄明編), 第1版. 東京, 医歯薬出版. 1981, pp. 105-118
- 2) Cameron, J. R. and Sorenson, J.: Measurement of bone mineral *in vivo*: An improved method. *Science* 142: 230-232, 1963
- 3) 山本逸雄, 土光茂治, 福永仁夫, 鳥塚莞爾, 高坂唯子, 森田陸司, 浜本 研: Bone mineral analyzerによる骨塩定量. *核医学* 13: 759-767, 1976
- 4) Reed, C. W.: The assessment of bone mineralization from the relative transmission of <sup>241</sup>Am and <sup>137</sup>Cs radiation. *Phys. Med. Biol.* 11: 174, 1966
- 5) Dunn, W. L., Wahner, H. W. and Riggs, B. L.: Measurement of bone mineral content in human vertebrae and hip by dual photon absorptiometry. *Radiology* 136: 485-487, 1980
- 6) 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. *Radioisotopes* 37: 521-524, 1988
- 7) Mazess, R. B., Collick, B., Trempe, J., Barden, H. and Hanson, J.: Performance evaluation of a dual-energy X-ray bone densitometer. *Calcif. Tissue Int.* 44: 228-232, 1989
- 8) 串田一博, 傳田正史, 藤原敏弘: Quantitative digital radiographyによる骨塩量の測定. *映像情報 Med* 21: 955-958, 1989
- 9) 荒井博史, 伊藤和夫, 永尾一彦: Dual energy X-ray absorptiometry法による骨塩定量装置(XR-26)の性能評価. *映像情報 Med* 22: 485-489, 1990
- 10) Reich, N. E., Seidemann, F. E., Tubbs, R. R., Intyre, W. J. M., Meaney, T. F., Alfidi, R. J. and Pepe, R. G.: Determination of bone mineral content using CT scanning. *Am. J. Roentgenol.* 127: 593-594, 1976
- 11) Cann, C. E. and Genant, H. K.: Precise measurement of vertebral mineral content using computed tomography. *J. Comput. Assist. Tomogr.* 127: 493-500, 1980

- 12) Shipp, C. C., Berger, P. S., Deehr, M. S. and Dawson-Hughes, B. : Precision of dual-photon absorptiometry. *Calcif. Tissue Int.* 42 : 287—292, 1988
- 13) Pouilles, J. M., Tremolieres, F., Louvet, J. P., Fournie, B., Morlock, G. and Ribot, C. : Sensitivity of dual-photon absorptiometry in spinal osteoporosis. *Calcif. Tissue Int.* 43 : 329—334, 1998
- 14) Valkema, R., Verheij, L. F., Blokland, J. A. K., Zwinderman, A. H., Bijvoet, O. L. M., Papapoulos, S. E. and Pauwels, E. K. J. : Limited precision of lumbar spine dual-photon absorptiometry by variations in the soft-tissue background. *J. Nucl. Med.* 13 : 1774—1787, 1990
- 15) Wahner, H. W., Dunn, W. L. and Brown, M. L. : Comparison of dual-energy X-ray absorptiometry and dual photon absorptiometry for bone mineral measurements of the lumbar spine. *Mayo Clin. Proc.* 63 : 1075—1084, 1988
- 16) Sorenson, J. A., Duke, P. R. and Smith, S. W. : Simulation studies of dual energy X-ray absorptiometry. *Med. Phys.* 16 : 75—80, 1989
- 17) 友光達志 : 骨ミネラル測定と骨粗鬆症. 「骨塩定量法の原理と基本性能」(森田陸司編), 第1版. 大阪, メディカルレビュー社. 1989, pp. 27—32
- 18) Roa, G. U., Yaghami, I., Wist, A. O. and Arora, G. : Systematic errors in bone-mineral measurements by quantitative computed tomography. *Med. Phys.* 14 : 62—69, 1987
- 19) Morita, R., Fukunaga, M., Shiraki, M., Orimo, H., Nakamura, T., Fujita, T., Inoue, T., Kaneda, K., Tomita, A., Yamamoto, K. and Norimatsu, H. : Cross calibration of BMD values among the different bone densitometric equipments. *International Symposium on Osteoporosis 2* : 796—798, 1990