



Title	Dual Energy X-Ray Absorptiometry(DEXA)による骨塩定量法の基礎的検討
Author(s)	小泉, 潔; 内山, 晓; 荒木, 力 他
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1990, 50(2), p. 123-129
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/17084
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

Dual Energy X-Ray Absorptiometry (DEXA)による 骨塩定量法の基礎的検討

山梨医科大学放射線医学教室

小泉 潔 内山 晓 荒木 力 日原 敏彦
尾形 均 門澤 秀一 可知 謙治 大西 洋
大場 洋 遠山 敬司

（平成元年6月3日受付）

（平成元年9月12日最終原稿受付）

Fundamental Evaluation of Bone Densitometry Using Dual Energy X-ray Absorptiometry (DEXA)

Kiyoshi Koizumi, Guio Uchiyama, Tsutomu Araki, Toshihiko Hihara, Hitoshi Ogata,
Shuichi Monzawa, Kenji Kachi, Hiroshi Onishi,
Hiroshi Oba and Keiji Toyama
Department of Radiology, Yamanashi Medical College

Research Code No. : 505.9

*Key Words : Bone mineral density,
Dual energy X-ray absorptiometry, Osteoporosis,
Metabolic bone disease*

A newly developed instrument based on dual energy X-ray absorptiometry (DEXA), Hologic QDR-1000, was evaluated fundamentally and clinically. Image quality was quite satisfactory though radiation exposure was minimal, 780.2 nC/kg (3.024 mR) for lumbar measurement. Reproducibility of the repeated measurement of a phantom was fairly good; 0.343 CV% in a same day and 0.520 CV% in a long period. Accuracy determined by measurement of potassium phosphate solution was also satisfactory. Bone mineral densities measured by this instrument were fairly correlated with those measured by single energy quantitative CT; coefficient was 0.740 for 17 patients. Mix-DP plates of more than 10 cm thick overestimated the bone mineral densities of a phantom. Bone mineral densities of Japanese normal volunteers were in the normal range (mean \pm 2SD) of the Americans though mostly lower than the mean. In patients with spondylosis deformans or prominent aortic calcification, bone mineral densities might be overestimated. Lateral view was obtainable though its reproducibility was not good. Positioning especially for measuring femoral neck was quite critical for reproducible measurement. In conclusion, this new instrument is quite accurate and satisfactory for clinical application to measuring bone mineral densities.

緒　　言

非侵襲的に骨塩量を測定することは加齢あるいは閉経に伴う骨粗鬆症や代謝性骨疾患の診断、治療、経過観察に重要である。現在、臨床的によく

行なわれている方法として、radiogrammetry 法¹⁾、microdensitometry 法²⁾、single あるいは dual photon absorptiometry 法³⁾、single あるいは dual energy quantitative CT 法⁴⁾などあり、そ

れぞれ一長一短を有している。骨塩量の測定に際し、特に必要とされる条件は次のようなものである⁵⁾。第一に長期間の測定に際して高い測定精度あるいは再現性が要求される。第二に骨塩の減少を検出するための正確度が大切であり、比較のための正常域の検討が必要である。第三に臨床的に有意な骨塩減少を検出するのに充分な（正常女性の年間骨塩減少量である0.8%から閉経後骨粗鬆症の15%までカバーできる）検出感度が要求される。その際、5%の骨塩変化が統計学上有意差ありとするためには再現性は変動係数で2%以内にあるべきである。第四に皮質優位あるいは海綿骨優位の部位を区別して測定できることが要求される。以上の点を考慮すると dual photon absorptiometry 法 (DPA) の有用性が認識される。最近それと同様の原理ではあるが、¹⁵³Gd のガンマ線に代わり X 線を用いた装置 (dual energy X-ray absorptiometry : DEXA) が開発された。これは、線源の交換が不要であり、画質も良好である点有用性が期待されている。本装置に基盤的臨床的検討を加えたので報告する。

材料と方法

今回検討した装置は Hologic 社製骨塩定量装置 QDR-1000である。この装置は Fig. 1 に示した構造を持つものである。すなわち、ベッド内に X

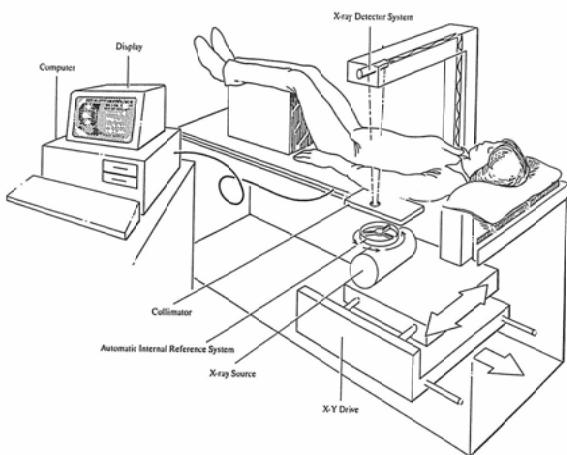


Fig. 1 Structure of a newly developed instrument based on dual energy x-ray absorptiometry (DEXA), Hologic QDR-1000.

線発生装置があり、70kVp および140kVp の異なるエネルギーの X 線を交互に発生するが、その際、管球の前面にある円板が回転し、140kVp の X 線ができる時に真鍮製フィルターがかかるように同期しており、結果的に 2 つの異なるエネルギーピークをもつ X 線を得ることができる。さらに、円板は骨および軟部組織相当物質の部分を有し、それぞれの減衰特性を測定することによりキャリプレイションを行なっている。患者の腹側前方のアーム内にある検出器にはシンチレータとしてタンゲステン酸カドミウムが使われている。

基礎的事項として以下の項目を検討した。被曝線量に関しては、指頭型電離箱線量計(ラドコン、330ml のプローブを使用)を測定中心部あるいは約60cm 離して置き、腰椎測定を摸して、幅12.5 cm 長さ15.3cm をスキャンした時の線量を測定した。測定精度に関しては、腰椎ファンтомあるいは健常者ボランティアの骨塩量を繰返し測定した時の再現性を検討した。正確度に関しては、直徑7cm 長さ20cm すなわち投影面積140cm²のプラスチック製円筒に既知量(グラム単位)のリン酸水素二カリウムを溶解した液を入れ、水を満たした外筒中において測定した。既存の方法との比較として、ほぼ同じ時期に測定した第3腰椎の単一エネルギーX線CTによる測定値(CaCO₃相当量)と本装置による測定値とを24例の腎透析患者(男13人女11人、平均年齢58.6±13.1歳、平均透析期間50.3±51.0ヶ月)において検討した。さらに、体厚の違いによる測定値に及ぼす影響を検討するため、厚さ17cm の樹脂に包埋された腰椎ファンтомに Mix-DP プレートを重ねて測定した。

臨床的事項として以下のことを検討した。臨床所見および各種検査成績より骨粗鬆症あるいは代謝性骨疾患を除外された症例を健常者として、その腰椎骨塩量を本装置により測定した。また、実際の測定に際して、問題となるような症例を選択し、その測定あるいは解析における注意点を検討した。

結 果

1 回の測定に要する時間は腰椎で約 8 分、大腿骨近位部で約 6 分である。この腰椎測定を想定し

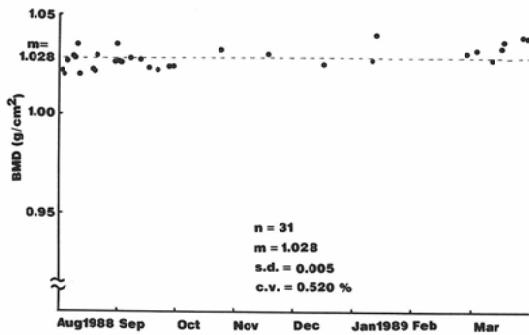
た場合の電離線量計にて測定した被曝線量は 780.2nC/kg (3.024mR) であった。測定部位より約60cm 離れた場所においては 9.5nC/kg (0.037 mR) であった。

腰椎ファントムあるいは健常者ボランティアの骨塩量を測定した時の測定精度を Table 1 に示した。腰椎ファントムを同一日に10回連続して測定した時の再現性を変動係数で示すと 0.343%，健常者 2 人でそれぞれ日を変えて腰椎を 3 回測定した時の平均変動係数は 0.798% であった。大腿骨頸部や大転子部の測定では、各 1 例ずつではあるが、それぞれ 0.809%，0.433% と非常に良好であった。それに対し、腰椎側面の測定では 1.199% とやや高値であった。腰椎ファントムを 1988 年 8 月より 1989 年 3 月までの長期に渡り測定した時の測定値を Fig. 2 に示した。長期の変動係数は日内変動よりわずかに高いが、0.520% と良好であった。

既知濃度のリン酸水素カリウム溶液を測定した時の結果を Fig. 3 に示した。溶液の濃度を減少させるにつれ、測定値は直線的に減少し、外挿すると

Table 1 Reproducibility of the measurement

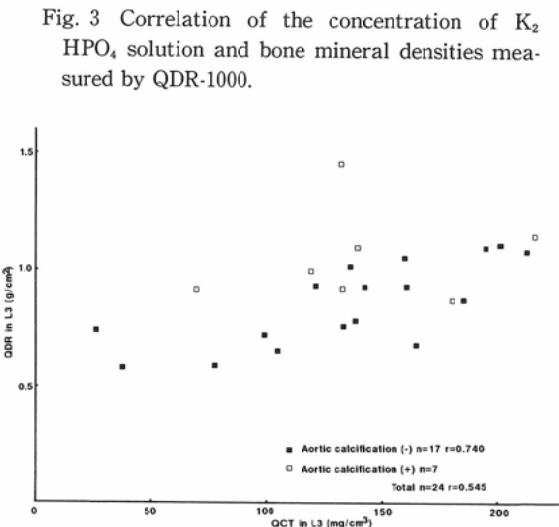
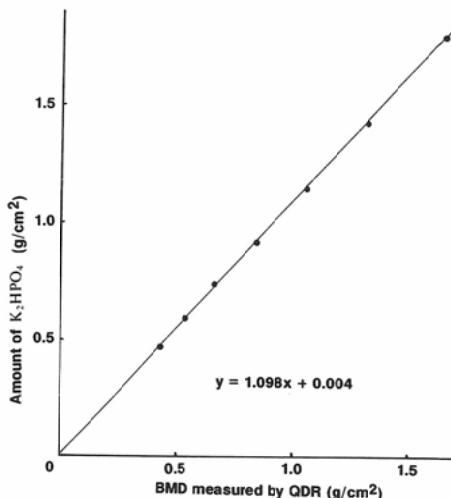
Object of measurement	Times of measurement	CV%
Spine phantom	10	0.343
Spine #1	3	0.603
" #2	3	0.993
Lateral spine	3	1.199
Femoral neck	3	0.809
Femoral trochanter	3	0.433
Ward's triangle	3	0.951



ほぼ原点に交わり、非常に良好であるが、数値として見た場合、直線の傾きは 1.098 であり、このことは約 0.9 倍低値に算出されるということになる。

腎透析患者において本装置による測定値および QCT による第 3 腰椎の骨塩測定値を対比し Fig. 4 に示した。全 24 例において相関係数 0.545 と有意の相関 ($p < 0.01$) を示しているが、そのうち、CT 上大動脈壁の石灰化を呈している例を除いた 17 例でみると相関係数 0.740 と相関度はより高かった。

腰椎ファントムに Mix-DP プレートを重ねて測定した結果を Fig. 5 に示した。プレート厚約 10



cm すなわちファンタム厚も含め体厚で約27cmまでは測定値に影響を及ぼさなかったが、それより厚くなると測定値は急激に過大評価される傾向であった。

健常者男24名女22名での腰椎測定値を本装置に内蔵されている白人の正常者データベースのグラ

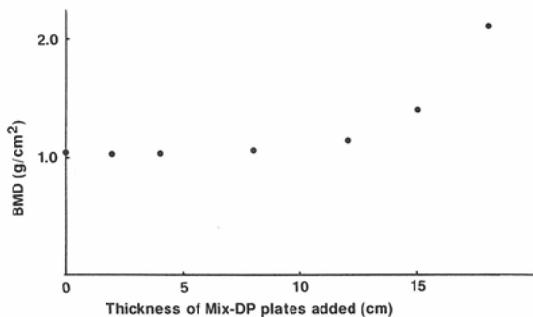


Fig. 5 Effect of thickness of Mix-DP plates on measuring bone mineral densities of a phantom.

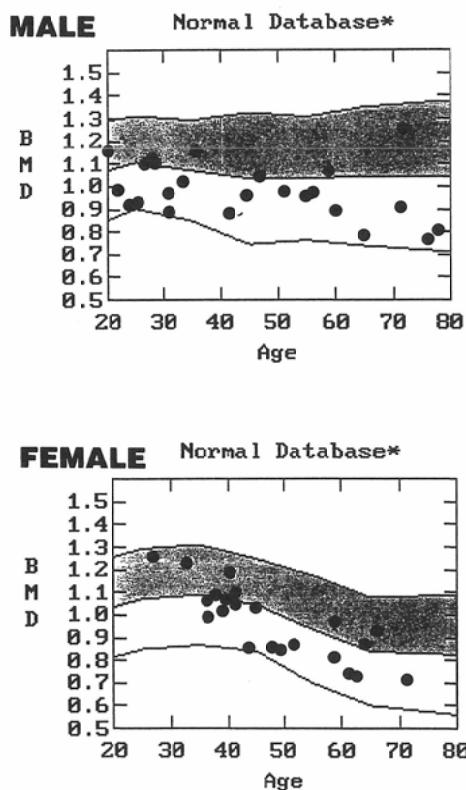


Fig. 6 Bone mineral densities of Japanese normal volunteers plotted on American normal database.

フ上にプロットしたものを Fig. 6 に示す。男女いずれの例も同年齢白人の平均値±2SD の範囲内におさまっている。ただし、男性では全ての年代にわたり、女性では中高齢者においては平均値を下回る例が多かった。

症例提示

以下に問題となるような症例を提示する。

本装置は、腰椎に関しては正面像の測定が一般的であるが、側臥位にて測定することにより側面像での解析も可能である。その例を Fig. 7 に示す。ただし、その場合には問題点もある。解析に際して、骨の辺縁を自動決定するのであるが、側面像では椎弓とくに棘突起まで充分骨として認識されないことがある。そのせいか、あるいは、軟部組織の厚みが異なるせいか骨塩測定値は正面像 (Fig. 7A) と側面像 (Fig. 7B) とは一致せず、本例では側面での測定値は BMD で約15%, BMC で約7%低値になった。

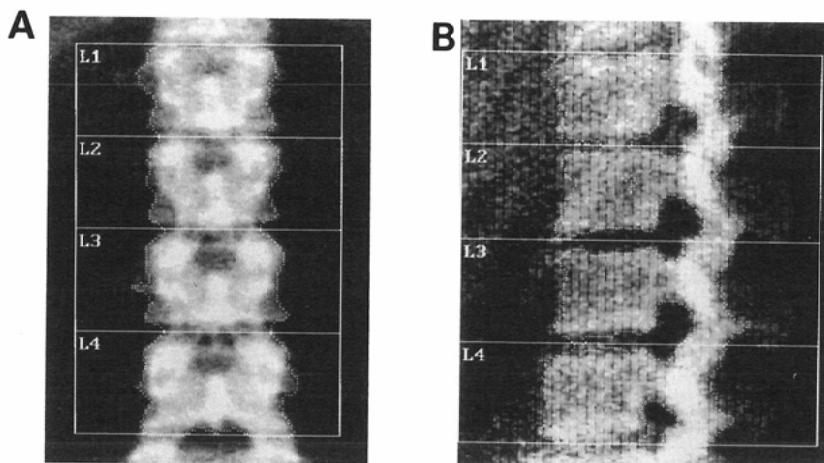
大腿骨近位の測定に際しては股関節を内旋位 (Fig. 8A) にすることが大切であるが、それをしないで自然肢位 (Fig. 8B) のまま測定すると、見かけ上大腿骨頸部は短縮し、転子間稜は頸部に重なり、従って、頸部の骨塩量はこの症例で約12%過大評価された。

変形性脊椎症で著明な骨棘形成のある症例 (Fig. 9A) では同部すなわち L3, 4 の骨塩量は L1, 2 に比し過大評価される。その場合、骨棘部を解析より除くことにより L3, 4 測定値は L1, 2 測定値に近づく (Fig. 9B)。ただし、骨棘部をどこまで除くかは議論の余地がある。この例では、その一部を除くことにより第4腰椎の測定値は約5%低下した。

大動脈瘤を有し著明な石灰化をきたしている例 (Fig. 10A) では、自動解析で石灰化大動脈瘤を骨と認識し骨塩量 (BMC 値) および骨面積は過大評価された。本例のような場合石灰化の部位に重なる椎体および椎体よりはずれて存在する石灰化大動脈瘤を測定範囲より除く (Fig. 10B) ことにより測定値は約7%低下した。

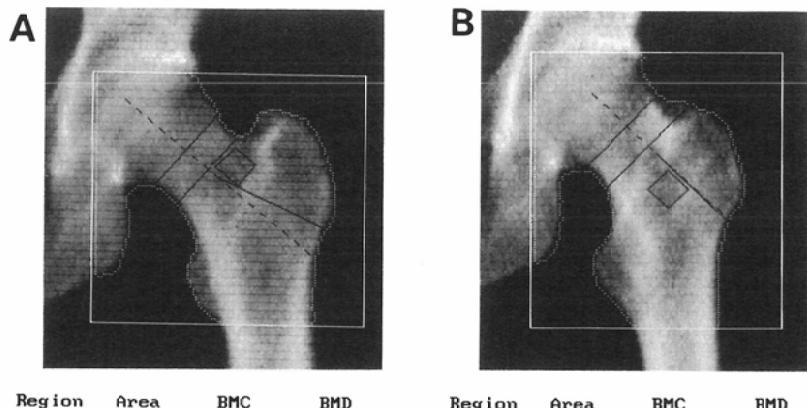
討 論

骨粗鬆症あるいは代謝性骨疾患などにおける骨



Region	Area (cm ²)	BMC (grams)	BMD (gms/cm ²)	Region	Area (cm ²)	BMC (grams)	BMD (gms/cm ²)
L1	13.52	14.68	1.086	L1	16.17	16.54	1.023
L2	13.51	16.06	1.189	L2	15.03	13.72	0.912
L3	16.08	18.51	1.151	L3	16.58	15.48	0.934
L4	17.72	22.24	1.255	L4	18.94	21.00	1.109
TOTAL	60.82	71.49	1.175	TOTAL	66.72	66.74	1.000

Fig. 7 Measurement of lumbar spine of a normal volunteer in supine (A) and lateral (B) position

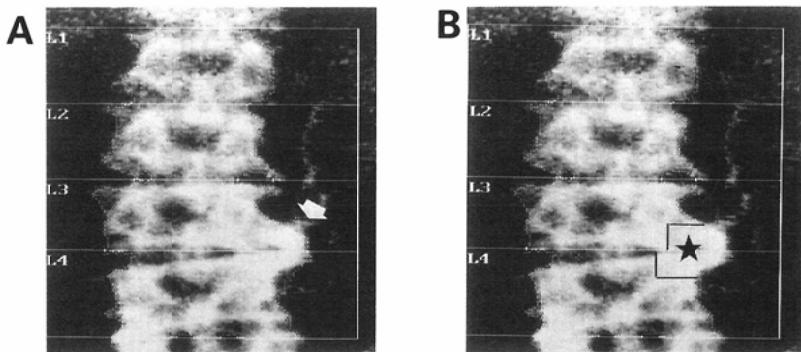


Region	Area (cm ²)	BMC (grams)	BMD (gms/cm ²)	Region	Area (cm ²)	BMC (grams)	BMD (gms/cm ²)
Neck	3.73	4.03	1.080	Neck	4.43	5.38	1.213
Troch	11.44	9.31	0.813	Troch	7.51	7.12	0.949
Inter	20.66	25.52	1.235	Inter	22.31	30.58	1.371
TOTAL	35.83	38.86	1.084	TOTAL	34.25	43.09	1.258
Ward's	1.07	0.84	0.789	Ward's	1.08	1.13	1.039

Fig. 8 Effect of positioning on measuring femoral neck and trochanter; inner rotation (A) and outer rotation (B).

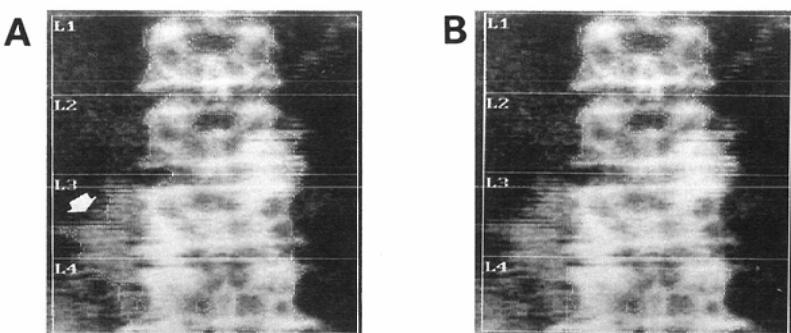
塩量の測定に際しては、装置の測定精度および正確度が優れたものでなければならないのは議論の余地がない。¹⁵³Gd を用いた DPA 装置は腰椎およ

び大腿骨近位部の骨塩量が測定できるという利点のため広く普及しており、その測定精度は変動係数でみると、腰椎ファントムにおいて 1.7~2.2%，



Region	Area (cm ²)	BMC (grams)	BMD (gms/cm ²)	Region	Area (cm ²)	BMC (grams)	BMD (gms/cm ²)
L1	14.59	9.27	0.635	L1	14.59	9.27	0.635
L2	15.89	10.78	0.679	L2	15.89	10.78	0.679
L3	18.09	14.30	0.791	L3	16.48	12.49	0.758
L4	22.55	17.82	0.790	L4	20.49	15.42	0.752
TOTAL	71.11	52.18	0.734	TOTAL	67.46	47.96	0.711

Fig. 9 Effect of sclerotic change (white arrow) due to spondylosis deformans on measuring lumbar spine; including (A) and excluding (B) the osteophyte (black star).



Region	Area (cm ²)	BMC (grams)	BMD (gms/cm ²)	Region	Area (cm ²)	BMC (grams)	BMD (gms/cm ²)
L1	13.60	9.26	0.681	L1	13.60	9.26	0.681
L2	15.28	11.73	0.768	L2	13.36	9.98	0.747
L3	23.74	21.86	0.921	L3	0.00	0.00	0.000
L4	20.40	15.21	0.746	L4	15.77	12.35	0.783
TOTAL	73.02	58.06	0.795	TOTAL	42.74	31.59	0.739

Fig. 10 Effect of calcification of the aortic wall (white arrow) on measuring lumbar spine; including (A) and excluding (B) the calcification.

患者腰椎において1.35～4%と報告されている⁶⁾。今回検討したX線を用いたDEXA装置では、腰椎ファントムにおいて短期再現性0.343%，長期再現性0.520%，健常者腰椎において0.798%といずれも明らかに勝っていた。その理由として、X線を用いた本装置の場合、光子が増加することによって、データの統計変動が減少し、その結果

として、ガンマ線を用いたDPAの画像より明らかに解像力のすぐれた画像がえられ、従って、骨の辺縁設定においても再現性よく設定されるものと思われる。大腿骨頸部や大転子部の測定においても腰椎の測定と同様に良好な再現性を示しているが、Fig. 8で示したように、下肢をわずかに外旋しただけで頸部の測定値は12%変化するのであ

るから、その測定には細心の注意が必要である。

今回、正確度の検討はリン酸水素二カリウム溶液で行なったが、その濃度と本装置測定値との相関は非常に良好であった。ただ、数値自体を比較すると必ずしも一致せず、測定値は低めに出ていた。その理由として、まず骨塩はリン酸水素二カリウムで成り立っているのではない点、さらに、実際の椎体は、ファントムのような円柱ではない点など考えられ、この検討法の限界は存在する。絶対値の正確性の検討には、最終的には人骨を脱灰して、その ash weight を測定する必要があろう。

透析患者という限られた症例ではあるが、QCTとの相関がよかつたのも本装置の正確度が高いことを裏付けるものと思われる。CT 上大動脈壁の石灰化をきたしている症例においては、本装置による測定値はやや高い傾向を認めていたがこれはおそらく、大動脈石灰化は高齢者に多く、同時に骨棘形成を伴う変形性脊椎症により測定値が高値になったものと考えたい。大動脈石灰化でも、Fig. 10 に見られる大動脈瘤の著明な石灰化になると、測定値は明らかに影響を受ける。幸いにも、本装置は画像が鮮明であり、従って、解析時にマニュアル操作でこのような部位は解析から容易に除くことができる。

Mix-DP プレートを重ねて測定したのは、腹厚の影響を想定したものである。この結果からは、極端な肥満者においては測定値の解釈に注意をする事が示唆される。この事は、側面撮影の際に問題になってくる。すなわち、一般に前後方向の腹厚より左右方向の厚みの方が大きい。従って、側面撮影での測定値はこの厚みの問題や、再現性が軽度に悪いことなど種々の問題を含んでおり、大動脈の著明な石灰化例などで単純に側面像での測定値を正面像の代用値にしないと思われる。

数は少ないが、健常日本人での腰椎測定値を白人のと比較すると、中高齢者において、日本人の方がやや低値に測定される傾向があった。これは他の報告^{7)~9)}に一致する結果であるが、この点に関しては症例数を増やして検討する余地があり、最終的には、日本人の正常データベースを作成する必要があろう。

結 語

Dual energy X-ray absorptiometry 法の原理に基づく骨塩定量装置である Hologic 社製 QDR-1000 に基盤的臨床的検討を加えた。作成される画像は非常に鮮明であるにもかかわらず、その被曝線量は十分低く、繰返し測定による再現性は極めて良好であった。骨塩相当物質の測定および QCT による測定値との対比により正確度もほぼ満足できるものと考える。臨床例での測定に際して、腹厚の問題、測定部位の問題、大動脈の石灰化や骨棘形成の問題など注意すれば、本装置は極めて有用や骨塩測定装置であると結論する。

本論文の要旨は第48回日本医学放射線学会総会（神戸）において発表した。透析患者の QCT 測定値を提供していただいた三井クリニックおよび社保山梨病院に感謝します。

文 献

- 1) Wahner HW, Dunn WL, Riggs BL: Assessment of bone mineral. Part 1. J Nucl Med 25: 1134-1141, 1984
- 2) 井上哲郎, 串田一博, 宮本繁仁, 他: X 線像による骨萎縮度判定の試み, 骨代謝, 13: 187-195, 1980
- 3) Wahner HW, Dunn WL, Riggs BL: Assessment of bone mineral. Part 2. J Nucl Med 25: 1241-1253, 1984
- 4) Cann CE, Genant HK: Quantitative spinal bone mineral analysis. (In) Moss AA, Gamsu G, Genant HK eds: Computed Tomography of the Body, 1140-1146, 1983, WB Saunders, Philadelphia
- 5) Wahner HW, Dunn WL, Riggs BL: Non-invasive bone mineral measurements. Semin Nucl Med 13: 282-289, 1983
- 6) Goodwin PN: Methodologies for the measurement of bone density and their precision and accuracy. Semin Nucl Med 17: 293-304, 1987
- 7) 友光達志, 福永仁夫, 大塚信昭, 他: シンチカグラを使用した Dual Photon Absorptiometry 装置の基礎的検討, 核医学, 24: 171-175, 1987
- 8) 乗松尋道: Dual Photon Absorptiometry による骨量測定. 藤田拓男, 井上哲郎編, 第4回骨粗鬆症シンポジウム, 43-50, 1988, 協和企画通信, 東京
- 9) 金 洪海, 串田一博, 山崎 薫, 他: Osteoporosis の診断(骨量の測定) -X-ray dual photon absorptiometry による健常日本人の脊椎骨塩量の測定一, 日本骨代謝学会雑誌, 7: 81, 1989