

Title	FCRによる中手骨骨塩定量評価
Author(s)	多上, 智康; 竹田, 寛; 佐久間, 肇 他
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1990, 50(5), p. 512-518
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/20775
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

FCRによる中手骨骨塩定量評価

三重大学医学部放射線医学教室

多上 智康 竹田 寛 佐久間 肇
平野 忠則 中川 毅 山口 信夫

藤田学園保健衛生学部診療放射線技術学科

前 田 寿 登

厚生連松阪中央病院

松 田 彰

富士フィルム

石 田 正 光

（平成元年7月14日受付）

（平成元年11月17日最終原稿受付）

Quantitative Assessment of Mineral Content in Metacarpal Bone with Fuji Computed Radiography

Tomoyasu Tagami*, Kan Takeda*, Hajime Sakuma*, Tadanori Hirano*,
Tsuyoshi Nakagawa*, Nobuo Yamaguchi*, Hisato Maeda**,
Akira Matsuda*** and Masamitsu Takano****

*Department of Radiology, Mie University School of Medicine

**Department of Radiological Technology, Fujita Gakuen Health University

***Matsuzaka General Hospital

****Fuji Film Co.

Research Code No. : 505.9

Key Words : Fuji computed radiography, Bone mineral content,
MD method

A new microdensitometry method for quantitative assessment of bone mineral content using Fuji computed radiography (FCR) was developed and the results were compared with those obtained by the conventional film-screen method. Using both methods, X-ray pictures of the 2nd metacarpal bone were taken with a reference aluminum step wedge in nine normal subjects and nine parameters representing the width and density of bone marrow and cortex were calculated in the middle of the bone shaft.

Interobserver reproducibility assessed for three parameters was significantly higher in the FCR method than the conventional one. The value of Σ GS computed by the FCR method, that is equivalent to the net bone density of the transverse section of the shaft, showed higher correlation with the one obtained by computed tomography in comparison with the conventional method. In our FCR method, moreover, interobserver reproducibility and accuracy was improved by employing automatic manipulation as much as possible in the process of calculation. The exposure dose in the FCR method could be reduced to half of the one in the conventional method without deteriorating the accuracy.

In conclusion, our new microdensitometry method with FCR provides high accuracy and good reproducibility for the measurement of bone mineral content with small exposure dose and is likely to be useful for the long-term follow-up of the osteoporotic patients from the variety of causes.

はじめに

骨塩量の定量的解析は、慢性腎不全患者などの経過観察に重要な臨床的意義を有している。本邦では、従来よりX線像による方法、すなわち第2中手骨のX線像をmicrodensitometer (MD)により解析し、種々のパラメータの値を算出して骨塩量を定量的評価するいわゆるMD法が広く用いられてきた^{1)~4)}。他の方法、Photon Absorptiometryは、精度が高いものの特別な装置を必要とし、また、CTによる骨塩定量も高い精度が得られるが、FCR法に比べ、特別なファントムを必要とし、一人当りの検査時間も多くなり、簡便性という点で劣り、MD法ほどの普及はみられない。本法に対し、第2中手骨が全身の骨塩量を必ずしも正確に反映しておらず、臨床的意義が少ないという批判もあるが、簡便で精度の高い測定のできることで、被曝線量も少なく同一患者の経過観察に有用であることなどの理由により、現在もお臨床的に使用されている。しかし、このMD法には、解析にX線写真というアナログデータを用いること、microdensitometerを用いる計測に際し手間がかかり、また得られる値に検者間によるバラツキの生じる可能性のあることなどの欠点がある。そこで我々は、Fuji Computed Radiography (FCR)を利用してデジタル画像を求めMD法に準じて解析することにより、この中手骨骨塩定量法の信頼性や簡便性の向上と被曝線量の低減化を試みた。今回、FCR利用による骨塩定量法(FCR法)を用いて、

① X線フィルムを用いたMD法(従来法)との信頼性の比較

② 各パラメータの自動算出に関する検討

③ 低線量撮影における精度

の比較の3点について検討したので報告する。

対象と方法

FCR法と従来法との比較評価には、健康成人9人(全員男性、ボランティア、平均年齢32.2歳)を、低線量撮影の検討には、遺体中手骨4本を対象とした。

次に、従来法、FCRによるMD法、およびこれらの評価の基準として用いたCTによる骨塩定量

法を説明する。CTは、末梢の皮質骨の骨塩定量では古い機種による報告で、約2%の精度(我々の用いた機種では、更に良好な精度を示すはずである)、最近の機種では、約0.5%の良好な再現性が得られ、MD法の評価の基準に用いた⁵⁾。

従来のMD法は、手掌部をアルミ階段を入れてX線撮影し、得られたX線写真においてmicrodensitometerを用いて、第二中手骨の長軸の中間点の横断線上及び、アルミ階段の縦断線上の光の透過度を連続的に走査して、パーソナル・コンピュータへ読み取りFig. 1に示すような走査図を得る。この走査図を、コンピュータ内で各点

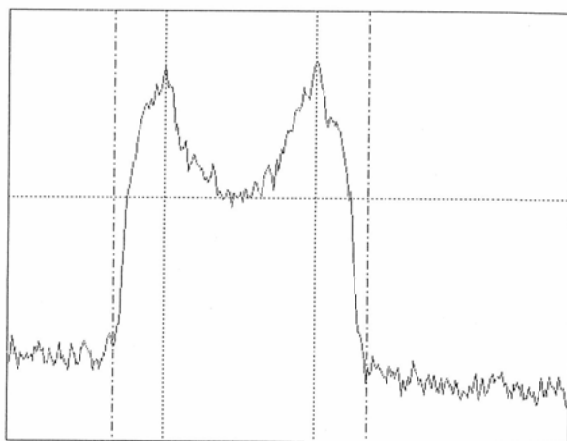


Fig. 1 Curve representing photopermeability of transverse scan of metacarpal bone on X-ray film

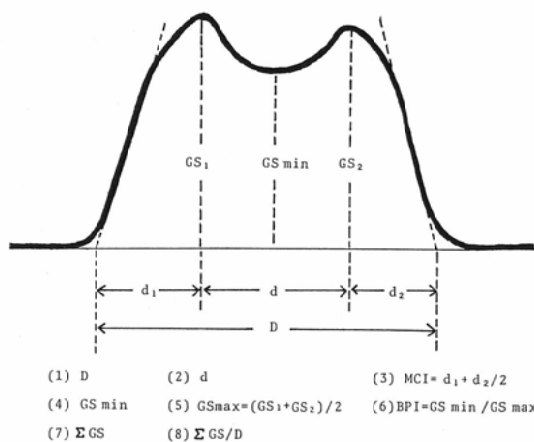


Fig. 2 Parameters representing bone mineral density

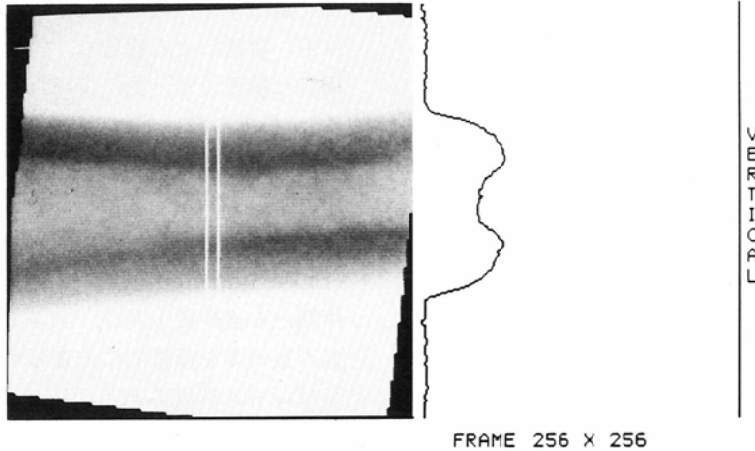


Fig. 3 Mid-axial scan of 2nd metacarpal bone on FCR. The profile curve representing bone mineral density is shown on the right.

のOD(吸光度)をアルミ階段に変換補正した作図に修正し、これを解析することにより、Fig. 2に示す骨幅D、骨髄幅d、骨皮質幅dl(尺側)・d2(桡側)、ならびにアルミ階段の厚さ(mm)に換算したピーク高GS1(尺側骨皮質のピーク高)・GS2(桡側骨皮質のピーク高)、GSmin.(骨髄中央部のピーク高)などの諸指標が計算されて出力される。また、 ΣGS はコンピュータを用いて、光学密度で得られるパターン面積をアルミ階段の厚さに換算して積分した値であり、骨幅Dで除した値 $\Sigma GS/D$ は、bone mineral analyzerで求めたbone mineral contentに相当するものである。

②FCR法では、従来のX線フィルムの代わりにイメージング・プレートを用いて撮像し、得られたデジタル画像をマグネティック・テープを介して、核医学用データ処理装置(東芝製GMS55A)に入力し、処理を行った。Fig. 3のように右手中手骨の中心部で、長軸方向に垂直な幅8pixelの直線を設定し、その線上におけるプロファイル曲線を書かせる。つぎに同時に撮像したアルミ階段のプロファイル曲線をもとにして、アルミの厚さに変換しFig. 4のような曲線を得る。さらに骨面外側のバックグラウンドそれぞれ20pixelの平均値を除去し、軟部組織のdensityを除く。骨皮質幅の決定は、プロファイル曲線の骨皮質に相当する部分が、実際にバックグラウンドと交わる点を想定

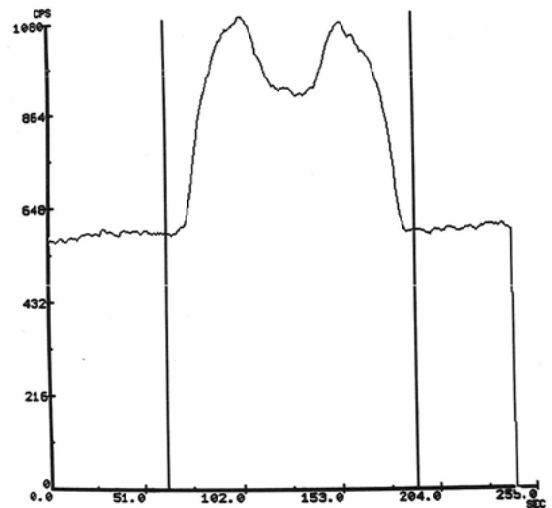


Fig. 4 The profile curve representing bone mineral density obtained by transverse scan of 2nd metacarpal bone using FCR method.

し、従来法と同様に手動にて決定した。

③対照としてCTを用いて中手骨骨塩定量を行った。その方法は、横河メディカル社製CT装置(CT/T 9000)を使用して、120kV/200mA/5mm厚/5秒スキャンの撮影条件で、右手中手骨の中心部における(長軸方向に対する)垂直断面像を得た(Fig. 5)。つぎに、このデータを、FCR法と同様に核医学データ処理装置を用いて、中手骨の断面像から骨周囲の軟部組織を除去し、MD法と同

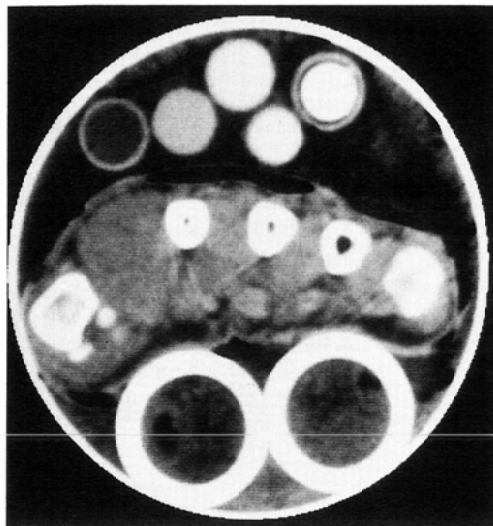


Fig. 5 Measurement of bone mineral density using CT: Hand and $K_2 HPO_4$ solution used for calibration is scanned on the same slice.

じプロフィール曲線を作成し、 ΣGS 値に相当する CT 値を求めた。なお、骨塩等価物質として磷酸水素カリウムをファントムとして、同時に撮像したが、我々の検討では、この条件でのスキャンにて磷酸水素カリウムの濃度と、CT 値とは非常に高い相関 ($r=0.9997$, $n=5$) を示し、高い直線性をもって比例するため、CT 値の磷酸水素カリウム濃度への換算は省略した。この値を、従来法及び FCR 法を評価するにあたっての基準に用いた。

以上の方法により以下の検討を行った。

1. FCR 法と従来法との精度・信頼性の比較

FCR 法と従来法で、5 人の検者により、対象とする健康成人 9 人の右第二中手骨の骨塩量を反映する 8 つのパラメータ (Fig. 2) をそれぞれ求め、検者間における再現性を比較検討した。さらに ΣGS に関しては基準とする CT から求めた値との精度の比較を行った。

2. FCR 法における各パラメータ値の自動的算出法に関する検討

FCR 法においても尚、手動による操作が必要である。そこで FCR の画像データを核医学用データ処理装置を用いることにより、以下の様にバック

グラウンドの除去、骨幅の決定を自動化するプログラムを開発した。

①バックグラウンドの決定

プロフィール曲線の微分曲線を求め、骨皮質部の peak より外側の点で初めて 0 となる点を、骨皮質部がバックグラウンドに移行する点として求めた。次に、左右のこの点より外側 20 pixel の平均値をバックグラウンドの density として、プロフィール曲線から差し引き、骨のみに相当する曲線を得た。

②骨幅 (D) の決定

プロフィール曲線の骨皮質に相当する部分を二次曲線に近似させ、基線と交わる位置を骨両端の位置として決定した。

次に、手動 FCR 法と上記自動 FCR 法にて、一人の検者にて、一人の正常人の FCR 像を対象とし、それぞれ 5 回計測し、再現性を比較した。さらに、CT 法も行った正常人 7 人に対する自動化 FCR 法の ΣGS 値を CT 法と比較した。

3. FCR 法における曝射線量低減の精度に及ぼす影響

遺体第二中手骨 4 本を対象に、FCR 法において、曝射線量を、通常の MD 法で用いる線量 (50 kV, 50mA, 0.05sec) および曝射時間を短縮することにより線量をその約 1/2, 1/5, 1/8, 1/16 に減じて 5 回ずつ撮像し、各種パラメータを求め、その変動係数を比較した。遺体骨は、軟部組織を除去し、厚さ 2mm のアクリルの容器に容れ、軟部組織の代わりに深さ 30mm の水を満たし、実際の生体と同じ撮影条件となるようにした。

結 果

(1) 従来法と FCR 法の信頼性の比較

Table 1 には、被検者 9 人を対象に、従来法と FCR 法を用いて 5 人の検者により求められたパラメータの値の、検者間の変動係数の被検者 9 人についての平均値を示す。骨塩量を反映する GS_{max} , BPI, ΣGS は、FCR 法の方が、MD 法よりも、検者間の変動係数が有意に小さく再現性の高いことが示された。しかし、骨幅を表すパラメータ D では、従来法の方が良好な再現性を示した。しかし、これは自動化 FCR 法によれば骨幅は

Table 1 Inter-Observer Reproducibility of four parameters of the conventional and FCR method

	n	Mean Value of Variation Coefficient		p<0.05
		conventional method	FCR	
1 GS max	9	4.84±1.55	2.61±1.54	p<0.05
2 BPI	9	3.60±1.42	2.02±0.90	p<0.05
3 ΣGS	9	2.93±1.50	1.99±0.63	p<0.05
4 D	9	1.82±0.54	3.37±1.05	p<0.05

Table 2 Correlation coefficient between ΣGS measured by CT and MD method. Comparison of the conventional and FCR method

Examiner	CT vs conventional method	CT vs FCR
(1)	0.862	0.952
(2)	0.846	0.940
(3)	0.909	0.895
(4)	0.855	0.942
(5)	0.898	0.893

自動的に決定され、従来法と同等以上の再現性を示すものと考えられる。

Table 2には、CT法も行った被検者7人を対象として、各5人の検者により、MD法とFCR法で求められたΣGS値を、CTより求められた値とそれぞれ比較して得た相関係数の一覧を示す。3人の検者でFCR法の方が相関係数が高く、残る2人も同等の変動係数を示し、また変動も少なく、信頼性が高いものと思われた。

(2) FCR法における自動化プログラムの精度検定

一人の検者において手動法および自動化プログラムを用いて各種パラメータの値をそれぞれ5回測定して得た平均値・標準偏差・及び変動係数を、Table 3に示す。各パラメータ共、自動化プログラムの方が変動係数が小さく良好な結果を得ている。Fig. 6にFCR法による自動化プログラムを用いて求められたΣGS値のCTより得られた値との相関を示すが、相関係数0.968と、良好な結果が得られた。

Table 3 Reproducibility of individual parameters of the manual and automated calculation in FCR method.

	n	manual		automated	
		mean±s.d.	c.v.	mean±s.d.	c.v.
1 MCI	5	0.531±0.011	2.1	0.499±0.003	0.6
2 d	5	4.014±0.082	2.0	4.387±0.034	0.8
3 GSmin	5	2.167±0.089	4.1	2.121±0.020	0.9
4 GSmax	5	3.513±0.053	1.5	3.424±0.014	0.4
5 ΣGS/D	5	2.592±0.031	1.2	2.512±0.015	0.6
6 BPI	5	0.616±0.019	3.1	0.619±0.008	1.3
7 D	5	8.566±0.061	0.7	8.760±0.040	0.5
8 ΣGS	5	22.20±0.150	0.7	22.01±0.030	0.1

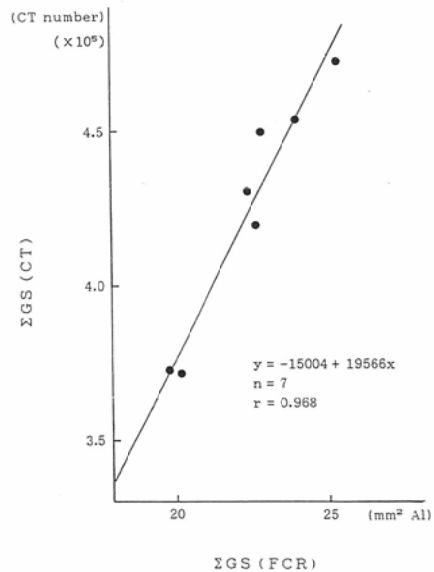


Fig. 6 Comparison of ΣGS calculated by FCR and CT

(3) FCR法における線量低減の精度に及ぼす影響

Fig. 7には、1, 1/2, 1/5, 1/8, 1/16の線量にした場合の各パラメータの5回の測定における変動係数を示す。1/5以下に減じると、特にBPI, GSminなどの骨密度の指標となるパラメータの変動係数が大きくなってしまいが、1/2の線量では、いずれのパラメータももとの線量の変動係数とほとんど変化がなく、十分な精度がえられることがわかった。

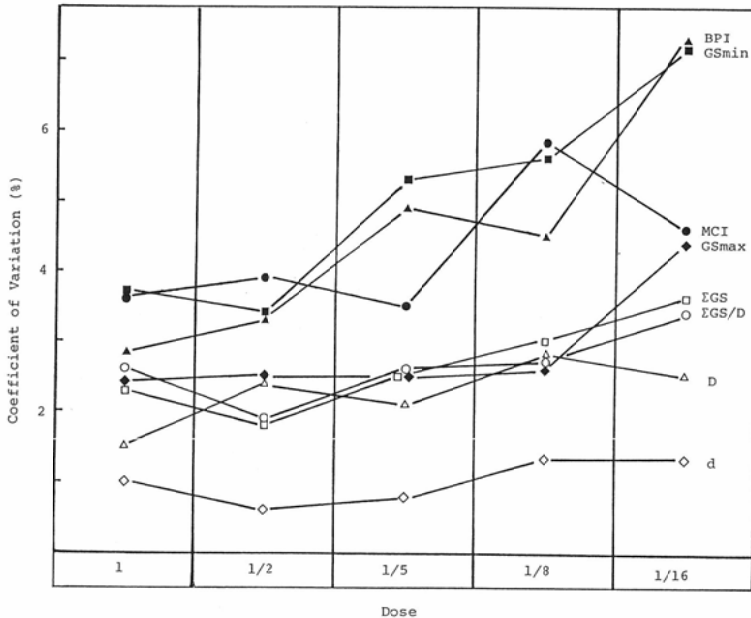


Fig. 7 Influence of Exposure Dose on Reproducibility in FCR method

考 案

わが国では、平均寿命が延び高齢者の増加が著しく、また血液透析の普及により長期生存する慢性腎不全患者が増加している。高齢者は、骨粗鬆症及びそれに起因する各種骨折が、腎不全患者では骨病変を伴う副甲状腺機能亢進症の合併が、医療費抑制という点からも、その予防は重要な問題となってきた。現在、これらの骨塩量減少の診断には、わが国では、簡便な方法として井上ら¹¹⁻¹⁴⁾によるMD法が広く普及している。そこで我々は、精度の向上、検査の簡易化、被曝線量の低減を図るため、このMD法に、現在急速に普及しているFCRを応用することを試みた。

FCRを用いるのが有利な理由は以下の通りである。

1. イメージングプレートのダイナミックレンジが高い¹⁷⁾ことより、従来法に比べ骨吸収度の測定において、より高い直線性が得られること。

2. 線量の低減がはかれること。

これは、慢性腎不全等による骨粗鬆症の経過観察には、長期間繰り返し骨塩定量検査を実施する必要があり、それには一回の検査における被曝量

をできるだけ軽減させる必要がある。従来のMD法での線量の低減化が困難なのは、X線写真の濃度をmicrodensitometerで測定するため、撮影の線量を低減すると、骨濃度を透過度と直線性の悪い部分で計測することになり、精度が劣ってしまうからである。増感紙の使用や現像処理、高感度フィルムの使用にて線量の1/2程度の低減化は不可能ではないが、解像力の劣化による精度の劣化あるいは煩雑さのため困難が伴うものと思われる。一方、FCR法では、イメージング・プレートの発光量は入射X線量と非常に少ない線量にまで直線性を保っているため低線量でも高精度の計測が可能であると言われている¹⁷⁾。

3. データがデジタル化されているために、計算の自動化が、はかれることである。従来の方法では、撮像した写真をmicrodensitometerで読み取る作業が必要であり、これが手間がかかり、誤差の生じる点であった。FCR法では、画像データをそのままコンピュータで処理でき、しかもそのプログラムを自動化すれば、簡便で迅速に結果がえられ、測定者間の変動もX線撮影時によるもの以外には、ほとんど生じないものと思われる。

今回我々の研究では、このいずれの点も良好な結果が得られた。特に自動化FCR法では、骨塩量を表すΣGS値は、変動係数0.1%、CT法による値との相関は、0.968と、CT法に匹敵する精度と信頼性を有するものと考えられた。線量の低減化は、繰り返し測定して経過観察する必要がある慢性腎不全患者には、特に益する点が多いと思われる。また、自動化の点は、コンピュータとプログラムがあれば、誰でも簡便に精度の高い測定を可能にするもので、FCRを持つ何れの施設の間でも、骨塩量の普遍的評価が可能になるものと思われる。

今後の課題としては、データの転送および計算処理速度を早めることであるが、これはハードウェアおよびソフトウェアの進歩により近い将来解決されることと思われる。また、撮影の条件および方法（例えば、プロファイル曲線の幅など）をさらに調整すれば、より低い線量でも骨塩定量が可能になることも考えられる。さらに、FCRを中手骨以外の、例えば腰椎などの骨塩定量に応用することも有用な試みと思われる。

結 語

1. FCR利用による第2中手骨骨塩定量法を考案し、従来のMD法と精度や再現性などの比較検討を行った。

2. 健康成人9人における検討では、FCR法は、検者間における変動が少なく、またΣGS値のCT値との相関も高く、従来法と同等あるいはそれ以上の精度を示した。

3. 我々の開発したFCR法による各パラメータの自動化算出法は、十分に高い精度を示した。

4. FCR法では、曝射線量を通常の1/2まで低減しても精度に変化なかったが、それ以下の線量では、変動の大きくなるパラメータもみられた。

5. FCRによる骨塩定量法は、簡便で高い精度が得られ、経過観察の必要な慢性腎不全患者等の骨塩量評価に有用と思われる。

稿を終えるにあたり、終始御協力いただきました、三重大学中央放射線部技師、中西 篤氏及び黒川孝治氏に心よりお礼申し上げます。

本論文の要旨は、第93回日本医学放射線学会中部地方会、第46回日本医学放射線学会総会において発表した。

文 献

- 1) 井上哲郎, 角佳志彦: 骨量のX線学的計測. 整形外科MOOK, No 34, p12-35, 金原出版, 1984
- 2) 井上哲郎, 他: X線像による骨萎縮度判定の試み, 骨代謝, 13: 187-195, 1980
- 3) 井上哲郎, 他: 手部X線像による方法, 骨代謝, 14: 91-104, 1981
- 4) Inoue T, et al: Quantitative assessment of bone density. J Jpn Orthop Ass 57: 1923-1936, 1983
- 5) Christopher E, et al: Quantitative CT for determination of bone mineral density: A review. Radiology 166: 509-522, 1988
- 6) 高野正雄: FCRシステムの基礎研理. FCRの臨床, 画像診断, 4(Suppl 1): 131-135, 1984
- 7) Sonoda M, et al: Computed radiography utilizing scanning laser stimulated luminescence. Radiology 148: 833-838, 1983