

骨塩量値は機種により異なる。その原因としては用いるX線エネルギーの違い、校正に用いる基準物質の違い、解析時のベースライン、骨幅の認識のソフトウェアの違い等があげられる。したがって異なるDEXA装置により得られた骨塩量値は直接比較はできない。そのため、異なる機種間の骨塩量値の換算式が必要となる(Table 3)³⁾。この式を用いればある程度の比較は可能となるが、原則として同一機種、同一測定条件での測定が望ましい。

10-2 同一機種間の問題

同一機種の装置間では、互換性が保たれるようになっているが、同一機種間の測定値間においても異なる結果を示す場合がある。それは測定条件の違い、スキャンスピードの違い、マトリックスサイズの違い、ソフトウェアのバージョンの違い等があげられる。また施設の使用状況や管球、検出器の劣化の違いも考えられる。

11. まとめ

DEXA装置の登場は骨粗鬆症の診療において大きな影響を与えた。さらに装置の改良により、精度の向上や測定時間が短縮されDEXA装置自体としてはほとんど完成の域に達してきたように思われるが、一方でその普及とともに問題点も明らかになってきた。つまり

参考文献

- 1) 向井孝男：骨塩定量法の原理と基本性能—骨ミネラル測定と骨粗鬆症—。(森田陸司編)，pp.21-26，メディカルレビュー社，大阪，(1989)。
- 2) 福永仁夫，友光達志：骨塩定量の問題点。日骨形態誌，2，191-197，(1992)。

Table 3 Conversion formula between DEXA equipments: BMC in lumbar spine.

XR-26		Regression line	
QDR		$Y = 1.008X - 0.098$	($r = 0.993$)
DPX		$Y = 0.880X - 0.022$	($r = 0.997$)
QDR-1000			
XR		$Y = 0.906X - 0.102$	($r = 0.993$)
DPX		$Y = 0.823X - 0.046$	($r = 0.995$)
DPX			
XR		$Y = 1.130X + 0.031$	($r = 0.997$)
QDR		$Y = 1.204X - 0.045$	($r = 0.995$)

われわれ放射線技師が測定において、DEXA法が持っている特徴や限界を知った上で、それぞれの測定対象に適した測定法を選び、正確な測定をおこなう必要があるという点である。

謝 辞

稿を終えるにあたり、本報告の発表の機会を与えてくださった第52回大会会長ならびに座長の友光先生に心よりお礼申し上げます。

- 3) 福永仁夫：二重エネルギーX線吸収測定法による日本人の腰椎骨塩量の基準化に関する研究，長寿科学総合研究平成3年度研究報告。pp.402-405，長寿科学総合研究費中央事務局，東京，(1992)。

3. photodensitometryについて

symposium

真田泰三
川崎医科大学附属病院中央放射線部

1. 緒 言

photodensitometryは、手部のX線画像を用いて第2中手骨の骨量を定量する解析法の総称である。本法は、各種の骨塩定量法の中でも最も早期に開発され¹⁾、手部和標準物質としてのアルミニウム階段またはアルミニウムスローブを、同時に撮影したX線フィルムを取得できれば解析が可能であり、一般的なX線撮影装置を有する施設ならばどこでも簡単に施行できる方法である。

今回、photodensitometryの原理および現状について概説するとともに、photodensitometryによる手部の骨量解析における問題点のうち、手手X線写真の撮影条件などが解析値に及ぼす影響について報告する。

2. photodensitometryの原理と種類

photodensitometryの原理は、X線画像の写真濃度を用いて生体中の骨組織と標準物質の減弱の程度を比較

することにより、対象部位の骨量を評価するものである。標準物質としては、一般にアルミニウムが使用されている。Fig.1の上段に、中手骨とアルミニウム階段を並べて撮影したときの概要を、下段に、透過X線による写真濃度パターンを示す。強度 I_0 のX線が入射したとき、軟部組織および中手骨を透過したX線強度 I_s および I_b は次式のように表され、中手骨の厚さをアルミニウムの厚さに換算することが可能となる。

$$I_s = I_0 \exp(-\mu_s T) = I_0 \exp(-\mu_{Al} GS_1)$$

$$I_b = I_0 \exp\{-\mu_s(T-X) - \mu_b X\} = I_0 \exp(-\mu_{Al} GS_2)$$

$$X = \{\mu_{Al}/(\mu_b - \mu_s)\} (GS_2 - GS_1)$$

ここで、 μ_s 、 T は軟部組織の、 μ_b 、 X は骨の、 μ_{Al} 、 GS_1 、 GS_2 はアルミニウムのそれぞれ線減弱係数と厚さを示す。このとき、骨を取り巻く軟部組織における減弱が骨の写真濃度パターンを変化させる。この

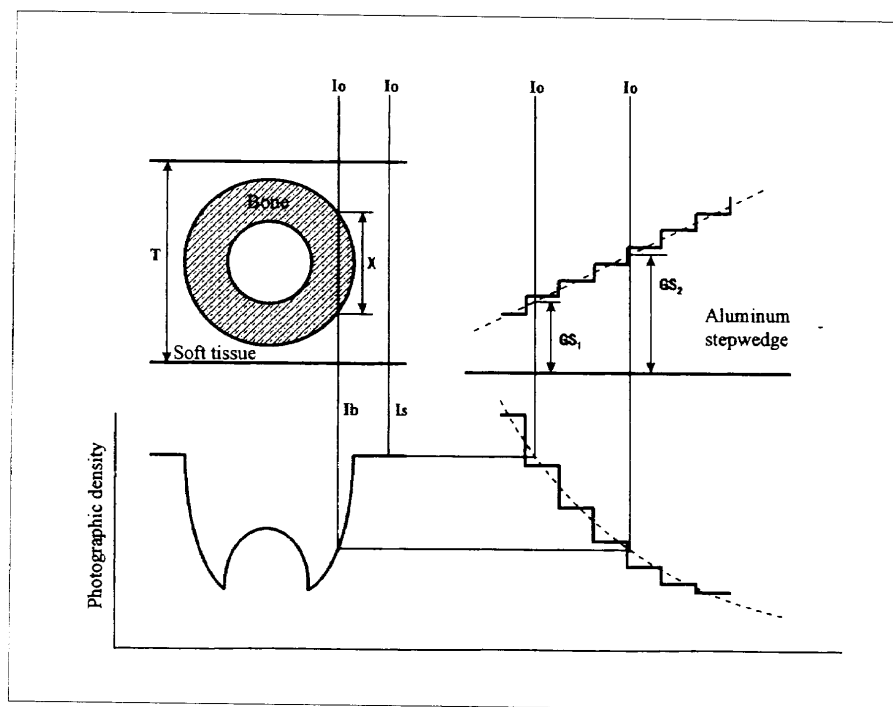


Fig. 1 Schematic diagram of the photodensitometry principle.

ため、photodensitometryの適応は、骨を取り巻く軟部組織の比較的少ない手部に制限されている。photodensitometryで用いられている骨量指標をFig.2に示す。これらの指標の中では、 $\Sigma GS/D$ およびMCIが臨床的に最もよく使用される。これは、 $\Sigma GS/D$ が単位骨幅当たりの平均骨量を表す指標であり、dual energy X-ray absorptiometry (DXA)におけるbone mineral density (BMD)に対応する値²⁾と考えられるためである。

photodensitometryには、microdensitometry (MD)法^{1, 3, 4)}、digital image processing (DIP)法^{5, 6)}、および、computed X-ray densitometry (CXD)法^{7, 8)}の3種類の方法がある。これらのうち最も早期に開発されたMD法¹⁾は、写真濃度パターンの読み取りにmicrodensitometerが使用されているため、データ解析には通常20分程度を要し、さらに、中手骨中央部の約2mm幅の濃度パターンから骨量指標値が算出されるため、算出

値の変動がやや大きいという欠点を有している⁷⁾。これに対して、DIP法およびCXD法では、写真濃度パターンの読み取り時間の短縮を図るために、前者ではデジタルビデオカメラと高周波点灯シャーカステン⁵⁾が、後者では線状に配列されたcharged coupled device (CCD)とlight emitting diode (LED)⁷⁾が採用されており、画像の読み取りから骨量指標値の算出までの処理が2～4分で可能である⁷⁾。さらに、算出した指標値の変動を低下させるため、算出に用いられる中手骨中央部の幅は6～8mmとMD法に比して広がっている^{6, 7)}。

3. photodensitometryとDXAで得られる骨量指標値の相関

photodensitometryの骨量指標はアルミニウム等価量であり、計測部位は、その測定原理上の制限から、もっぱら、皮質骨が主体をなす末梢骨の中手骨が対象とされている。しかし、photodensitometryの骨量指標値($\Sigma GS/D$)とDXAによる腰椎、大腿骨頸部および橈骨における骨量値(BMD)との間にはきわめて高い相関性が認められ(Fig.3)、本法は十分に臨床に使用できると考えられている。

4. 骨量指標値に影響を及ぼす因子

photodensitometryは、他の骨塩定量法に比して高価な特殊装置を必要とせず、通常のX線撮影装置さえあれば、実地医家にも十分可能である。また、検査は手部の撮影のみと簡単であり、短時間に多人数の検査が可能であるなどの特徴を有している。これに対して、得られる骨量指標値は、軟部組織および骨とアルミニウムのビームハードニングの相違が影響

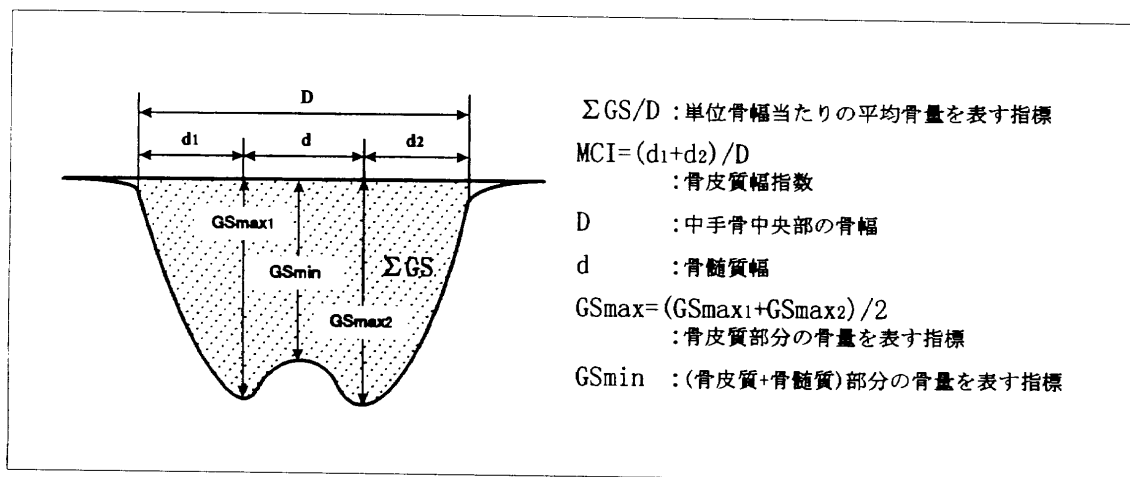


Fig. 2 Schematic diagram of the indices of bone mineral density obtained by photodensitometry.

するため、撮影に用いられるX線の線質が問題となる。また、撮影時の幾何学的条件やフィルムの現像処理の影響を受けやすく、その結果、測定精度が他の骨塩定量法に比して若干低いという短所が認められる。そこで、撮影条件および現像処理条件の変動が、photodensitometryの骨量指標値に及ぼす影響についてCXD法を用いて検討した。

4-1 撮影条件の影響の検討

検討した撮影条件は、フィルム濃度、撮影管電圧および撮影距離(focus film distance: FFD)である。被写体には、人骨を封入した腕部ファントム(株式会社京都科学製)を使用し、X線装置にはKXO-1050F(株式会社東芝製)を使用した。また、増感紙フィルム系には、LT-II/RX(化成オプトニクス株式会社/富士メディカルシステム株式会社製)を使用した。これらの配置は、臨床時と同様に、増感紙フィルム系の中央にアルミニウム階段を、その外側に腕部ファントムを置いて、X線中心束はアルミニウム階段に対して垂直に入射させた。撮影したフィルムは自動現像機(KX-500: コニカ株式会社製)を用いて現像処理し、骨量指標値の算出には、CXD法が採用されているBonalyzer(帝人株式会社製)を使用した。

手部X線フィルムの写真濃度とCXD法による Σ GS/DおよびMCIの関係をFig.4に示す。写真濃度は、管電圧を50kV、FFDを100cmで一定とし、mAs値のみを変化させて、腕部ファントムの第2、第3中手骨間の軟部組織(以下、基準部)において、0.47-0.49、1.04-1.07、1.82-1.86の3群に設定した。 Σ GS/Dでは、濃度1.04-1.07群と濃度1.82-1.86群との間には有意差は認められなかった。しかし、濃度0.47-0.49群は濃度1.82-1.86群に比して有意な低値を示した。他方、MCIでは、すべての濃度群の間に有意差は認められなかった。

異なる管電圧を用いて手部を撮影

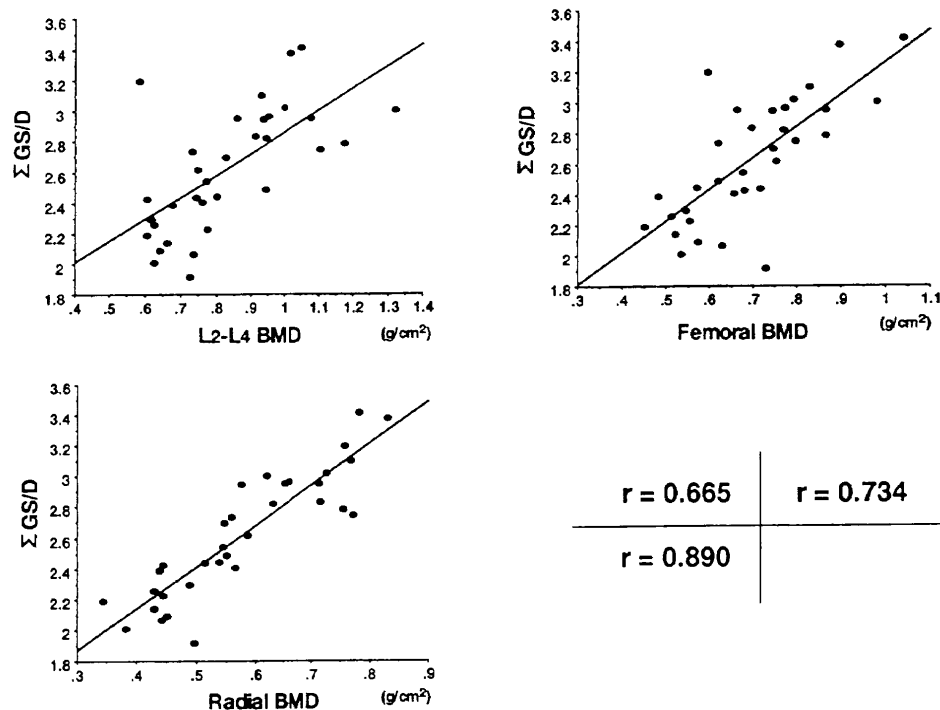


Fig. 3 Correlation between Σ GS/D obtained by digital image processing (DIP) and bone mineral density (BMD) obtained by dual energy X-ray absorptiometry (DXA).

したときの Σ GS/DおよびMCIの変動をFig.5に示す。管電圧は、40kVから60kVまで5kVごとに5段階に設定した。このとき、FFDは100cmで一定とし、腕部ファントムの基準部の写真濃度が、 0.99 ± 0.22 になるようにmAs値を調整した。 Σ GS/Dは、管電圧の上昇に伴い高値を示す傾向が認められ、40kVから55kVの各管電圧間では明らかな有意差が認められた。MCIは、45kVから60kVの間では有意差が認められなかったが、40kVでは他の管電圧に対して有意な高値を示した。

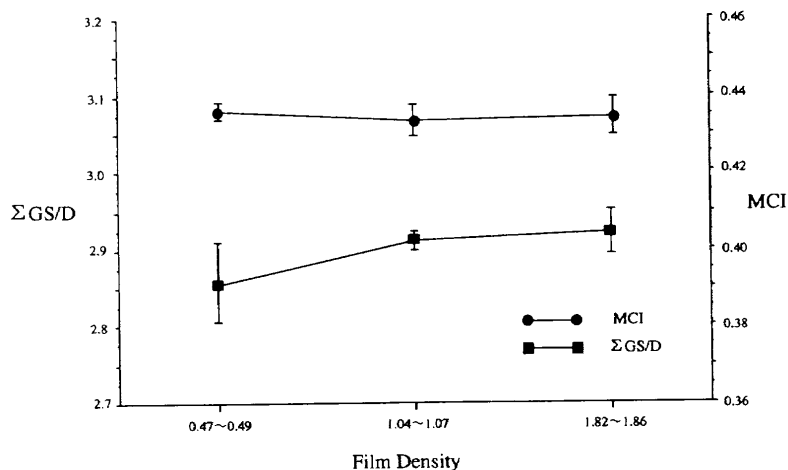


Fig. 4 Relationship between Σ GS/D or MCI and the film densities of hand radiogram.

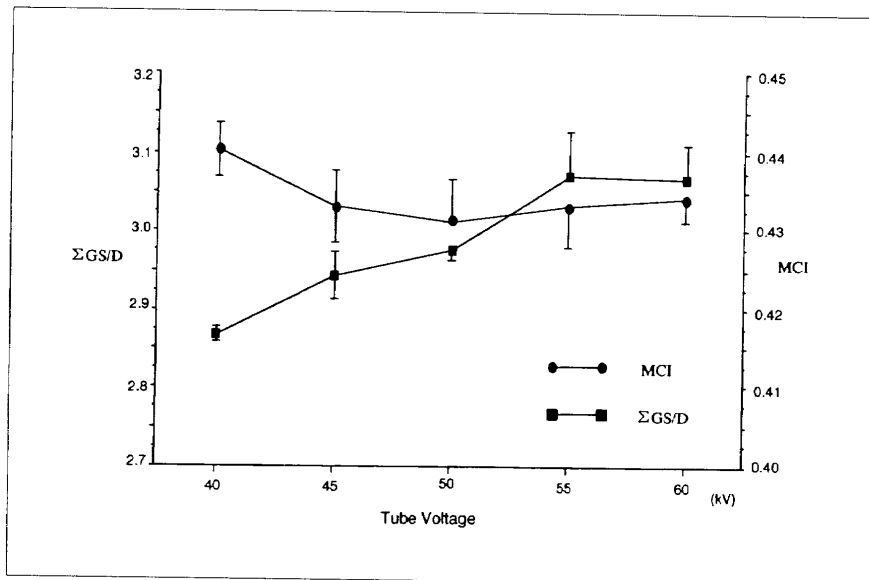


Fig. 5 Relationship between Σ GS/D or MCI and the X-ray tube voltage of hand radiogram.

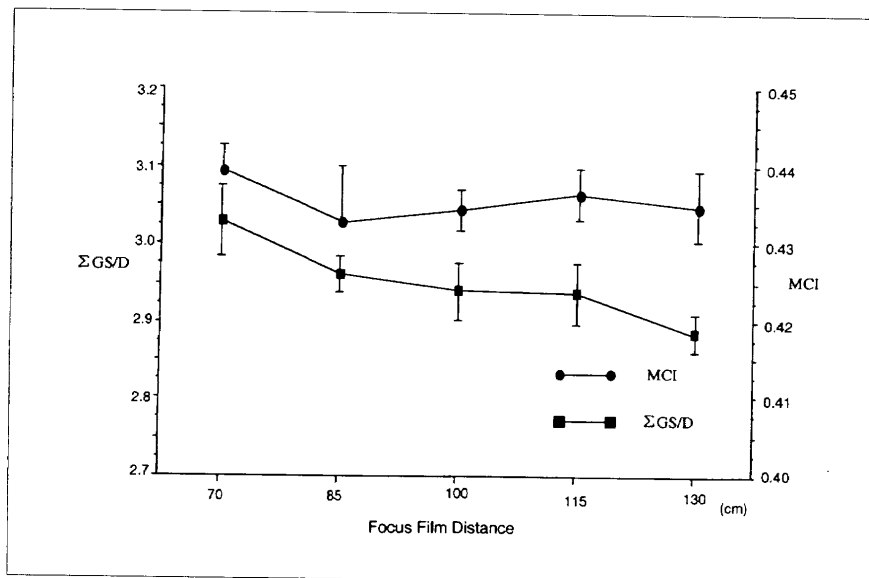


Fig. 6 Relationship between Σ GS/D or MCI and the focus film distance (FFD) of hand radiogram.

FFDが異なるときの Σ GS/DおよびMCIをFig.6に示す。FFDは、70cmから130cmまで15cmごとに5段階について検討した。このとき、管電圧は50kVで一定とし、腕部ファントムの基準部の写真濃度が、 1.04 ± 0.09 になるようにmAs値を調整した。 Σ GS/Dは、FFDの増加に反比例して減少する傾向が認められ、70cmと100cmおよび100cmと130cmとの間には有意差が認められた。しかし、85cmから115cmの間では有意差は認められなかった。MCIでは、いずれのFFDにおいても有意差が認められなかった。

以上の結果より、 Σ GS/Dは手部の撮影条件の変化にかなり影響されるため、手部の撮影条件は極力変化させない努力が必要であると考えられた。今回検討した撮影条件の範囲では、フィルム濃度については、1.82-1.86の群では、やや黒過ぎてBonalyzerの読み取りに支障をきたすことがあり、基準部における濃度は、約

1.0~1.4が解析に適していると考えられた。また、管電圧は45~60kVが、FFDは85~115cmが、それぞれ適していると考えられた。

4-2 現像処理条件の影響の検討

現像処理条件の長期的変動によるフィルム特性の変化としては、階調度と感度が考えられる。しかし、自動現像機の処理過程を人為的に変動させることは、時間的にもまた技術的にもなかなか困難である。このため、現像処理条件の長期的な変動による影響の検討は、階調度の変化については異なる増感紙フィルムの組み合わせを使用して手部を撮影する手法によって、感度の変化については前項で述べた撮影フィルムの写真濃度を変化させたときの結果を用いてシミュレーションした。

階調度の変化のシミュレーションにおいて、使用した増感紙フィルム系は、HR-4/HRC, HR-4/HRS-30, HR-8/HRS-30, HR-8/HRH(富士メディカルシステム株式会社製)の4種類であり、被写体および撮影配置などは、前項と同様に設定した。管電圧は50kV、FFDは100cmで一定とし、腕部ファントムの基準部の写真濃度が、 1.29 ± 0.07 になるように、各増感紙フィルム系ごとにmAs値を調整した。4種類の増感紙フィルム系を使用したときのCXD法による Σ GS/DおよびMCIをFig.7に示す。横軸は、bootstrap sensitometryによって算出した各増感紙フィルム系の平均階調度を示す。使用した増感紙フィルム系の平均階調度は1.82から2.59の範囲

であり、この範囲内では、 Σ GS/DおよびMCIはともに平均階調度が高くなると逆に若干低下する傾向が認められた。しかし、いずれも平均階調度の違いによる有意差は認められなかった。

相対感度の変動に伴う Σ GS/DおよびMCIの変化をFig.8に示す。横軸の相対感度は、撮影時のmAs値から換算して、濃度1.04-1.07群の感度を100としたときの相対値で示している。 Σ GS/Dは、相対感度が50まで低下すると相対感度100および200に対して有意な低値を示した。自動現像機の長期的な処理変動によるフィルムの階調度および感度の変化量は、自動現像機の機種や使用頻度などにより大きく異なり、一律に論ずるのは困難と考えられる。しかしながら、われわれの日常的な自動現像機の管理から推測すれば、自動現像機の通常の使用状況においては、階調度および感度の変化は今回検討した範囲よりも小さいと考えられる。つま

り、フィルム処理における自動現像機の長期的な処理条件の変動は、photodensitometryの指標値にあまり影響を及ぼさないと推察された。しかしながら、感度変化に伴い骨量指標値が変化を示すことは事実であり、photodensitometryの精度管理上、自動現像機の管理は必要と考えられた。

5. まとめ

骨塩定量法には周知のごとく種々の方法がある。本法は、計測部位が手部に制限されているが、その骨量指標値は他の部位での骨塩定量値ともよく相関し、臨床的に有用な方法のひとつと考えられる。さらに、本法は非常に簡便な手法であり、集団検診への応用も可能である。しかし、撮影条件の変動による骨量指標値への影響は無視できず、撮影条件は固定して使用するとともに、装置の経年変化に伴う変動に注意する必要があると考えられた。また、photodensitometryの精度管理上、自動現像機の長期的な管理の重要性が示唆された。

謝 辞

稿を終えるに当たり、当シンポジウムにおいて発表の機会を与えて頂きました。大会長はじめ役員の方々に深く感謝いたします。

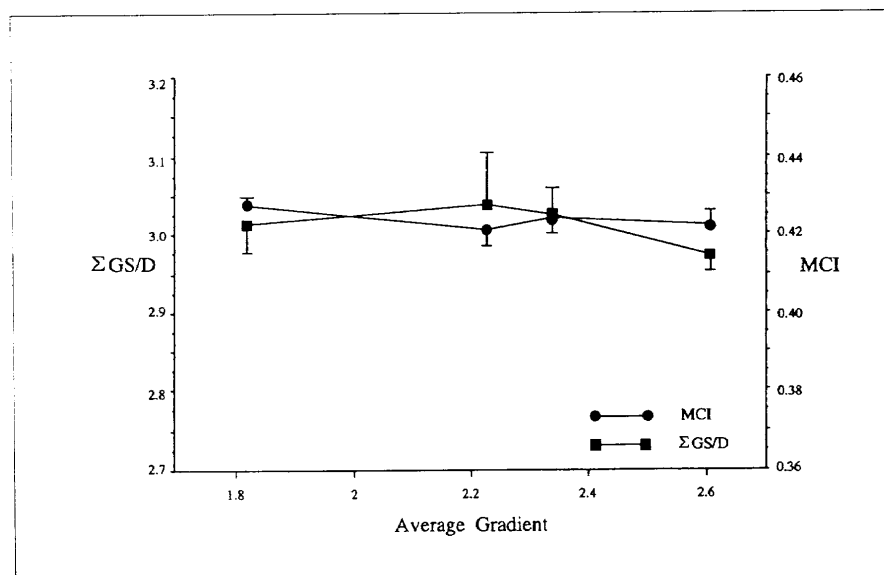


Fig. 7 Relationship between $\Sigma GS/D$ or MCI and the average gradient of screen film system.

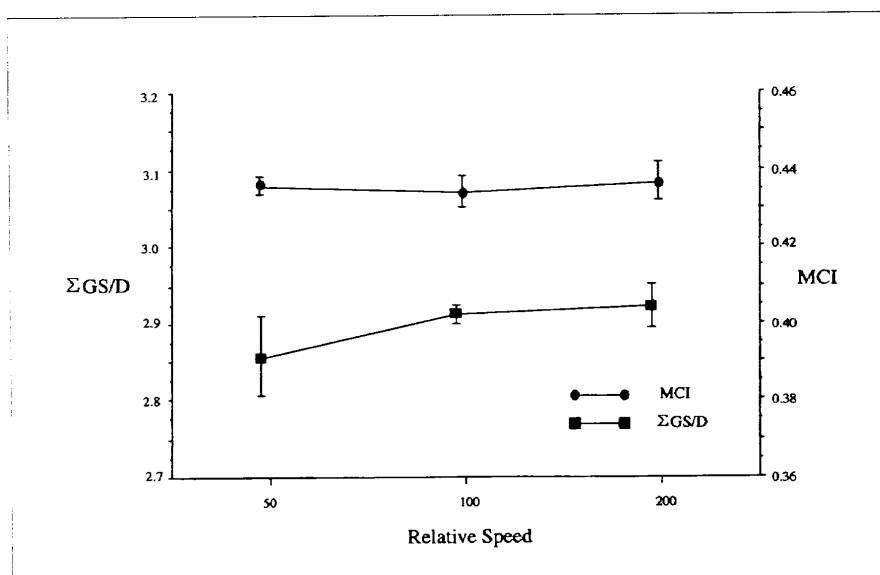


Fig. 8 Relationship between $\Sigma GS/D$ or MCI and the relative speed of screen film system.

参考文献

- 1) Anderson JB, Shimmins J, Smith DA: A new technique for the measurement of metacarpal density. Br. J. Radiol., **39** (462), 443-450, (1966).
- 2) 大濱紘三, 真田光博, 中川仁志: 画像診断法と骨塩定量法-フォトデンシトメトリー-MD, DIP-.日本臨床, **52**(9), 2317-2322, (1994).
- 3) 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).
- 4) Inoue T, Kusida K, Miyamoto S, et al.: Quantitative assessment of bone density on X-ray picture, 日整会誌, **57**(12), 1923-1936, (1983).
- 5) 小口茂樹: 第2中手骨X線写真を用いた骨評価方法の研究. 日整会誌, **61**(12), 1389-1404, (1987).
- 6) Hayashi Y, Yamamoto K, Fukunaga M, et al.: Assessment of bone mass by image analysis of metacarpal bone roentgenograms.: A quantitative digital image processing (DIP) method. Radiation Medicine, **8**(5), 173-178, (1990).
- 7) 松本千鶴夫, 串田一博, 井上哲郎, 他: 各種骨量測定法の実際-改良型MD法(CXD法)-. The Bone, **5**(3), 53-58, (1991).
- 8) 傳田正史, 串田一博, 角佳志彦, 他: 新しく開発した手部X線画像骨密度測定装置による健常男性および男性血液透析患者の中手骨骨塩量について. Therapeutic research, **13** (1), 649-655, (1992).