

Title	胸部X線写真のデジタル化画像に関する研究
Author(s)	山崎, 克人
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1989, 49(3), p. 327-334
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/17008
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

胸部 X 線写真のデジタル化画像に関する研究

神戸大学医学部放射線医学教室（主任：河野通雄教授）

山崎 克人

（昭和63年11月16日受付特別掲載）

（平成元年1月23日最終原稿受付）

Comparative Studies on Physical Characteristics and Clinical Efficacy of Conventional and Digitized Chest Radiographs

Katsuhito Yamasaki

Department of Radiology, Kobe University School of Medicine
(Director: Prof. Michio Kono)

Research Code No. : 207.1

Key Words : Diagnostic capability, Digital chest image, MTF,
Clinical evaluation, ROC study, PACS

Comparative studies were performed between digitized and conventional radiographs of the chest in terms of their physical characteristics and diagnostic efficacy. The purpose of these studies is to confirm the diagnostic capability of digitized image whether it can use for primary diagnosis in routine works. The results of two studies show good correlation each other. It is strongly suggested that the conventional chest radiographs should be digitized with 100 μm pixel in 12 bit density resolution.

緒 言

デジタル化 X 線画像に関しては多くの研究が行なわれてきたが^{1)~8)}臨床的有用性については詳細な検討は少ない現状である。我々は将来の PACS (Picture Archiving and Communication System) の実現の一段階として臨床的有用性について検討を行ない、その裏づけとして画像工学的研究を行なった。本研究は以下の3つの部分からなる。

1) 画像工学的研究

デジタル化 X 線画像の濃度分解能、空間分解能の評価のためにバーガー・ファントームならびにハウレット・チャートによる検討を行なった。またデジタル化 X 線画像の画質の評価のために Modulation Transfer Function (MTF) 解析を行なった。

2) 臨床的評価

胸部単純 X 線写真を 100 μm 及び 175 μm の pixel size, 12 ビットの濃度分解能でデジタル化を行なった。8人の放射線科医により8種類のあらかじめ定めた X 線所見について5段階評価を行なった。

3) Receiver Operating Characteristic (ROC) 評価

臨床的評価の裏づけとして胸部ファントームに疑似腫瘤ならびに疑似毛髪線を設定し、これを X 線写真に撮影し ROC 評価を行なった。

方 法

1) 画像工学的評価

本研究ではレーザー・デジタイザー、レーザー・プリンター並びに高速画像処理装置より成るプロトタイプのフィルム画像処理装置（日立メディコ製）を使用した⁹⁾。

a) バーガー・ファントームによる濃度分解能の測定

デジタル化X線画像の濃度分解能の測定のために直径1mmのバーガー・ファントーム(京都科学標本社製)¹⁰⁾¹¹⁾を使用した。バーガー・ファントームのX線画像を管球電圧80KVP, 管球電流200mAの条件で撮影し, これを100 μ m及び175 μ mのpixel size, 12bitの濃度分解能でデジタル化を行ない, これらのハード・コピーを100 μ m pixel size, 8bitの濃度分解能でレーザー・プリンターにて作成した。実験に用いたバーガー・ファントームのX線画像をFig. 1に示す。また175 μ mのpixel size画像に対し2種類の高域通過処理画像のハード・コピーをレーザー・プリンターにて作成した。2種類の高域通過処理はいずれもunsharped mask法でcut off周波数はhigh pass filter Iは0.08LP/mm, high pass filter IIは0.01 LP/mmであった。バーガー・ファントームのX線画像ならびにデジタル化X線諸画像のハード・コピーについての識別閾値測定を8人の放射

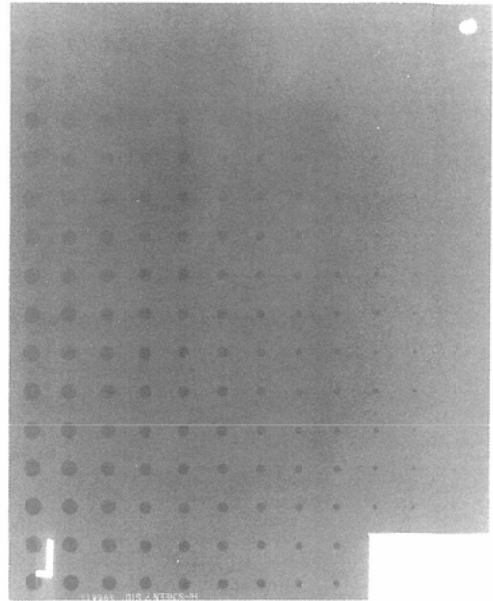


Fig. 1 Radiograph of a Burger phantom

線科医により行なった。

b) ハウレット・チャートによる空間分解能の

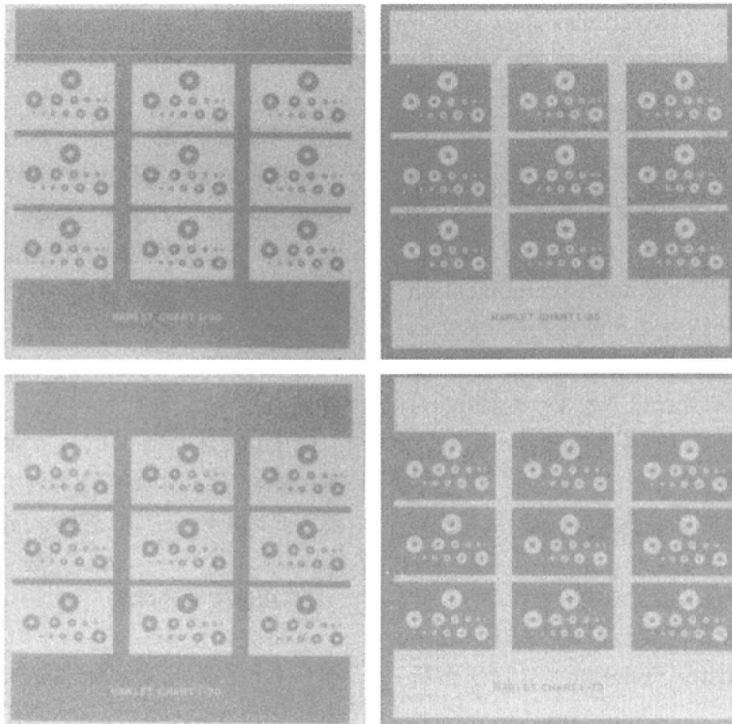


Fig. 2 Radiograph of a Howlett chart

測定

空間分解能の検討のためにハウレット・チャート¹²⁾による検討を行なった。ハウレット・チャートは銅版製のチャート(フジ写真フィルム工業)で、管球電圧50KVP, 管球電流30mAの条件で撮影した。撮影系は増感紙 Hi-screen standard, フィルムはRXを使用した。実験に用いたハウレット・チャートのX線画像をFig. 2に示す。ハウレット・チャートによる測定はオリジナル画像, 100 μm 及び175 μm のデジタル化画像のハード・コピーについて空間分解能の測定を行なった。また175 μm の pixel size 画像に対し2種類の高域通過処理像のハード・コピーをレーザー・プリンターにて作成した。高域通過処理についてはバーガー・ファントームの場合と同様の high pass filter I, high pass filter IIを使用した。ハウレット・チャートのX線画像ならびにデジタル化X線諸画像のハード・コピーについての識別閾値測定を8人の放射線科医により行なった。

空間周波数に対する画質の測定のためにMTF解析¹³⁾を行なった。鉛の0.5から10 line pair/mmの銅版製のパターンが用いられた。このX線像を200 μm , 150 μm , 100 μm および50 μm の pixel size, 12 bitの濃度分解能でデジタル化を行ない、これらについて contrast 法で測定をおこないコルトマン変換式を用いてMTFに変換した。

2) 臨床的評価

150枚の胸部X線写真を100 μm 及び175 μm の pixel size, 12ビットの濃度分解能でデジタル化

を行なった。100 μm 及び175 μm の pixel sizeの無処理画像, 175 μm pixel sizeの階調処理画像, 175 μm pixel sizeの高域通過処理画像(2種類)のハード・コピーをレーザー・プリンターにて作成した。これらのハード・コピー画像をオリジナル・フィルムを含めて同一のシャーカステン上に並らべ8人の放射線科医により8種類のあらかじめ定めた所見について5段階評価を行なった(1; poor, 2; bad, 3; equal to original film, 4; good, 5; excellent)。8種類のあらかじめ定めた所見は左右の主気管支, 左の上葉気管支, A-P Window, 右肺動脈A8, 後縦隔線, 毛髪線, 右傍気管線並びに腫瘤形であった。

Receiver Operating Characteristic (ROC)¹⁴⁻²¹⁾評価としては、薄切片状のソーセージ片(5mm厚×1.5cm直径)を胸部ファントーム(京都科学標本社製)の背側に置き疑似腫瘤とした。疑似腫瘤の位置測定には胸部を縦6×横7コの合計42カ所に分割しモンテ・カルロ法により決定した。細いアルミニウム線(0.9mm直径, 10cm長)を胸部ファントームの背側に置き疑似毛髪線とした。位置決定は疑似腫瘤の場合と同様に行なった。また疑似毛髪線の方法はおおよそ胸部の中心部を向くようにした。胸部ファントームのX線写真を50種類の異なる位置の疑似腫瘤をとまなうもの、50種類の異なる位置の疑似毛髪線をとまなうもの、50種類の疑似腫瘤, 疑似毛髪線をとまなわないもの合計150枚のX線写真を撮影した。これらは100 μm 及び175 μm の pixel size, 12ビットの

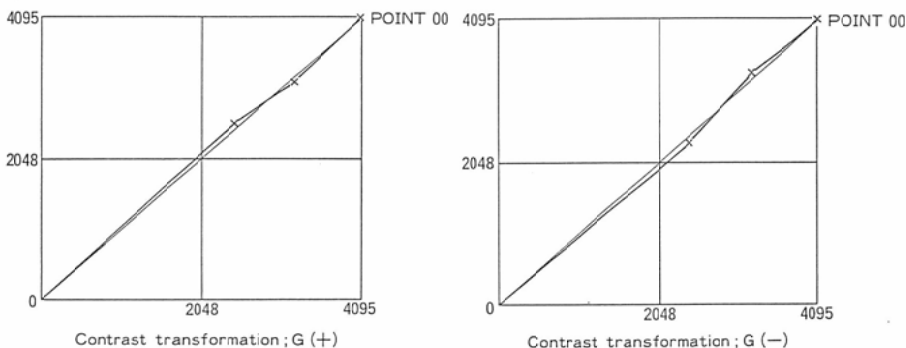


Fig. 3 Two kinds of gray scale curve of contrast transformation : G(+), G(-)

濃度分解能でデジタル化をおこなった。100 μ m及び175 μ mのpixel sizeの無処理画像, 175 μ mの画像について2種類の階調処理画像のハード・コピーについて評価をおこなった。2種類の階調処理は以下のようにおこなった。

(1) Region of Interest (R.O.I.)を疑似腫瘍もしくは毛髪線を含む肺野に設定しヒストグラムをとった。

(2) R.O.I.のヒストグラムを含む範囲で階調直線の傾斜を25%増加させたものをG+とする。また同様に階調直線を25%減少させたものをG-とする。横軸を変換前の濃度のデジタル値にとり縦軸に変換後の濃度のデジタル値にとった階調曲線をFig. 3に示す。オリジナル・フィルムとデジタル化画像の4種類のハード・コピーは以下の様であった。

1. 疑似腫瘍を有する場合と有しない場合の胸部のオリジナル・フィルム。
2. 100 μ m及び175 μ mのpixel sizeのデジタル画像のハード・コピー。
3. 175 μ m Pixel Sizeのデジタル化画像の階調処理画像 (G+)。
4. 175 μ m Pixel Sizeのデジタル化画像の階調処理画像 (G-)。

オリジナル・フィルムとデジタル化X線画像のハード・コピーについての評価を8人の放射線科医により行なった。評価の順序はランダムにおこなった。観察は5段階評価でおこなった。疑似腫瘍については(1=腫瘍は絶対に存在しない。から5=腫瘍は絶対に存在する。)とした。毛髪線についても同様に(1=毛髪線は絶対に存在しない。から5=毛髪線は絶対に存在する。)と5段階評価をおこなった。

結 果

1) バーガー・ファントーム

バーガー・ファントームでの識別閾値を縦軸にfilm densityを横軸にとった結果をFig. 4に示す。オリジナル画像, 175 μ m pixel sizeのデジタル画像, 100 μ m pixel sizeのデジタル画像の測定結果はいずれも下に凸の曲線を示す。曲線のそれぞれの最小値はfilm densityで1.0から1.5の

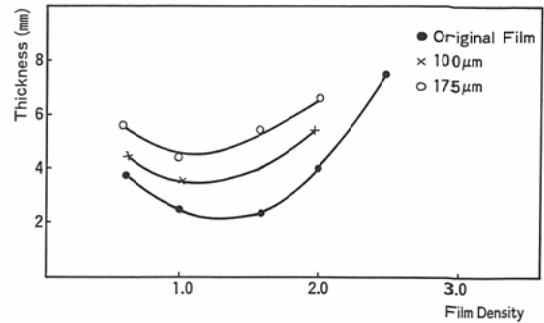


Fig. 4 Burger phantom study of original and digitized image

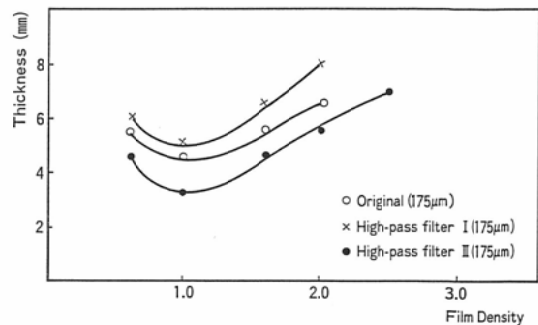


Fig. 5 Burger phantom study of unprocessed and high pass filtered image

間にあった。175 μ m pixel sizeのデジタル画像での識別閾値はどのfilm densityにおいても100 μ m pixel sizeのデジタル画像での識別閾値より大であった。オリジナル画像での識別閾値はどのfilm densityにおいても100 μ m pixel sizeのデジタル画像での識別閾値より小であった。

175 μ m pixel sizeのデジタル画像の無処理画像とhigh pass filter I, high pass filter IIによる処理画像のfilm densityに対する識別閾値をFig. 5に図示する。無処理画像に比べるとhigh pass filter IIでは識別閾値の改良が見られたが, high pass filter Iではむしろ劣化の傾向がみられた。

2) ハウレット・チャート

空間分解能の識別閾値を縦軸に取り, film densityを横軸に取った。オリジナル画像, 100 μ m pixel size画像, 175 μ m pixel size画像について得られたfilm densityに対する空間分解能の識別閾値の曲線をFig. 6に示す。これらはいずれも上

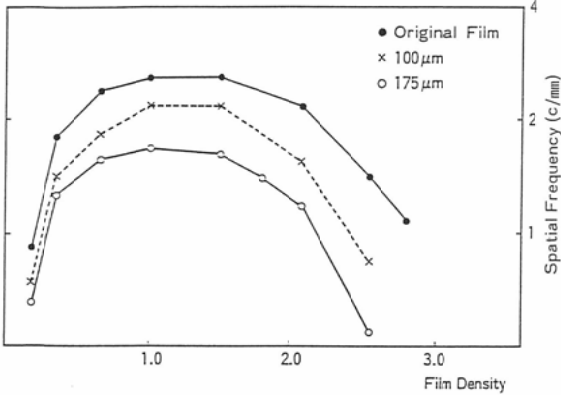


Fig. 6 Howlett chart study of original and digitized image

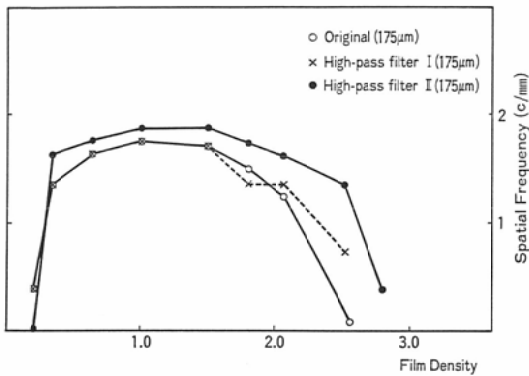


Fig. 7 Howlett chart study of unprocessed and high pass filtered image

に凸を示し、最大値は film density で1.0から1.5の間であった。100 μm pixel size のデジタル画像での空間分解能の識別閾値は175 μm pixel size のデジタル画像よりも良好であった。またオリジナル画像の空間分解能の識別閾値はどの film density でも100 μm pixel size のデジタル画像よりも良好であった。また175 μm pixel size のデジタル画像の high pass filter による識別閾値の変化を調べた。film density に対する空間分解能の識別閾値を Fig. 7 に示す。空間分解能の識別閾値は high pass filter I では殆ど変化が認められなかった。また high pass filter II では若干の改善が認められた。

3) MTF 測定

200, 150, 100, 50 μm pixel size のデジタル

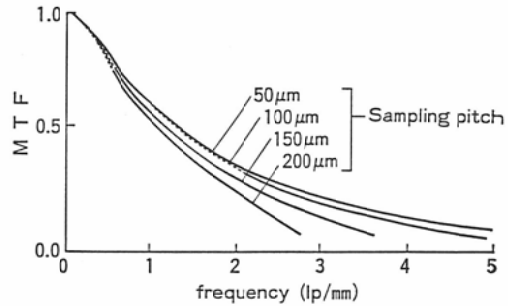


Fig. 8 MTF characteristics due to digitization of different sampling pitch

画像の MTF カーブを Fig. 8 に示す。MTF カーブは100 μm pixel size までは改善が大きいですが50 μm ではそれほどでは無い。

4) 臨床評価

臨床評価は8種類のあらかじめ定めた所見について行った。放射線科医8名の評価の値の平均値と標準偏差値の結果を Table 1 に示す。またこれらの結果について統計的評価 (paired T test) を行ない以下の結論を得た。

- i) 肺血管影, 気管支影, 腫瘍影は原画像とほぼ等しい評価が得られた ($p < 0.05$).
- ii) 175 μm のデジタル画像での毛髪線, 縦隔線の評価は原画像より劣化が見られた ($p < 0.05$).
- iii) 毛髪線, 縦隔線の評価は175 μm より100 μm でのデジタル画像の方がすぐれていた ($p < 0.05$).

iv) 毛髪線をのぞいた7つの所見の評価については high pass filter II を施したデジタル画像は high pass filter I を施した画像よりも劣化がみられた。また high pass filter II を施したデジタル画像の評価の統計偏差は high pass filter I を施した画像の統計偏差よりも大きい。

5) ROC 解析

疑似毛髪線についての ROC 解析の結果は Fig. 9 に示す。疑似腫瘍影についての結果は Fig. 10 の通りであった。尚、統計的検定法については文献^{19)~21)}に従った。

- i) 疑検毛髪線

1) 原画像と100 μm でのデジタル画像間の正診率は原画像が優れていた ($p < 0.05$).

Table 1 Clinical evaluation of digitized chest image

	R.L. main bronchus	L. upper bronchial trunk	Aorto-pulmonary window	R・A ₃ (pulmonary artery)	posterior mediastinal junction line	hair line	R. paratracheal stripe	coin lesion (≧1.5cm)
digital image (175 μ m)	2.69 \pm 0.46	2.76 \pm 0.49	2.94 \pm 0.29	2.95 \pm 0.10	2.50 \pm 0.59	2.41 \pm 0.50	1.83 \pm 0.28	2.85 \pm 0.46
gray scale process (175 μ m)	2.33 \pm 0.47	2.50 \pm 0.64	2.72 \pm 0.52	3.00 \pm 0.45	2.36 \pm 0.53	2.65 \pm 0.58	1.17 \pm 0.15	2.96 \pm 0.55
high pass filter I (175 μ m)	3.08 \pm 0.35	2.89 \pm 0.38	3.00 \pm 0.24	3.00 \pm 0.23	3.00 \pm 0.02	2.41 \pm 0.51	2.67 \pm 0.19	2.84 \pm 0.46
high pass filter II (175 μ m)	2.58 \pm 0.86	2.29 \pm 0.61	2.42 \pm 0.63	2.90 \pm 0.38	2.91 \pm 0.61	2.74 \pm 0.97	1.67 \pm 0.19	1.70 \pm 0.88
digital image (100 μ m)	2.75 \pm 0.36	2.83 \pm 0.37	2.75 \pm 0.43	2.83 \pm 0.37	3.00 \pm 0.00	2.78 \pm 0.42	2.22 \pm 0.58	3.00 \pm 0.02

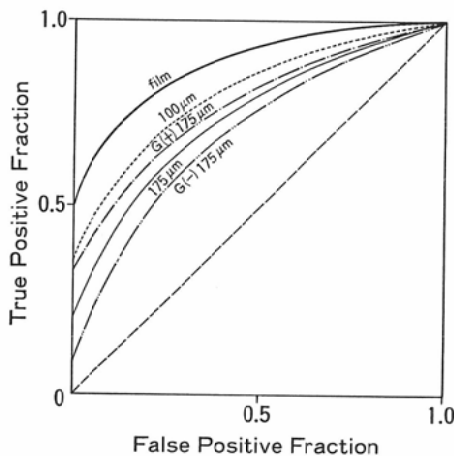


Fig. 9 ROC curve for simulated hair line

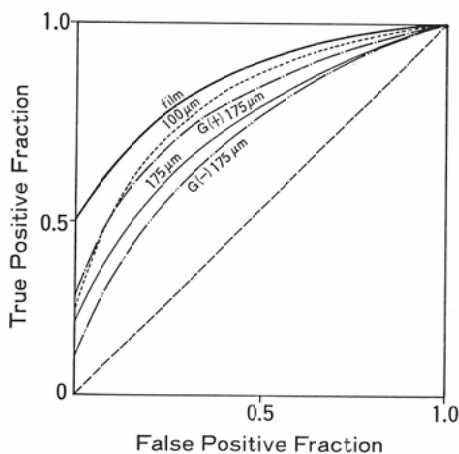


Fig. 10 ROC curve for simulated nodule

2) 100 μ m と175 μ m での正診率では100 μ m が優れていた ($p < 0.05$).

3) 175 μ m pixel size での階調処理画像 G (+) と G (-) では正診率は G (+) が優れていた ($p < 0.05$).

ii) 疑似腫瘍

1) 原画像と100 μ m でのデジタル画像間の正診率は原画像が優れていた ($p < 0.05$).

2) 100 μ m と175 μ m での正診率では100 μ m が優れていた ($p < 0.05$).

3) 175 μ m pixel size での階調処理画像 G (+) と G (-) では正診率は G (+) が優れていた ($p < 0.05$).

考 察

本研究で用いられたフィルム画像処理装置については第1に機械としての性能を証明した。これによりデジタル化による画像情報の損失について議論する際に評価の手段として十分な性能をもつことが明らかになった⁹⁾。次に本研究の対象としては胸部 X 線画像を選んだ、その理由としては胸部 X 線画像は単純写真としては多くの臨床情報を持ち、本研究を開始するに際し施行したほぼ全分野の X 線画像のデジタル化による臨床情報の損失についての予備的研究では胸部 X 線画像について最も厳しい評価が得られたからであった。

また本研究での評価の対象としてはデジタル

化画像のハード・コピーを選んだ。この理由はデジタル化画像の評価の第1段階として空間分解能の優れたハード・コピーを用いるのが良いと判断したことによる。次の段階としてCRT画像の臨床的有用性を評価する予定である。

バーガー・ファントムを用いた結果ではfilm densityは1.0から1.5の間に最良の識別閾値を示し、従来から言われてきたことと一致する。またこれらの実験データからはデジタル化による濃度分解能の低下は明らかであり、pixel sizeを小さくすることにより濃度分解能の改善が見られた。high pass filterにより濃度分解能の改善が見られることもあるが、filterの種類によっては低下が見られることもある。

ハウレット・チャートではfilm density1.0から1.5の間に空間分解能の識別閾値の最良点があることは従来からの報告と一致する。またデジタル化による空間分解能の低下は明らかであり、pixel sizeを小さくすることにより空間分解能の改善が見られた。MTF測定からはpixel sizeを200 μm から150 μm 、150 μm から100 μm に変化させた場合よりも100 μm から50 μm に変化させた場合のMTFの改善は小さいことが分かった。従って100 μm がデジタル化における1つの限度であると思われた。

臨床評価の結果からは毛髪線、縦隔線を除いた所見に対しては175 μm pixel sizeの画像と原画像はほぼ等しい評価が得られた。CRT画像の臨床評価についての他の研究でも原画像とほぼ等しいという結果が発表されている⁸⁾。但し本研究では毛髪線、縦隔線の様な線状構造を示すものは175 μm pixel sizeのデジタル画像では原画像に比べて低下がみられた。これについては観察者の好み等の主観的な問題や評価に用いた画像の縮小効果による影響も考慮されねばならないと考えられるが、pixel sizeを175 μm から100 μm にすることにより評価の改善が見られたことから、線状構造については175 μm pixel sizeのデジタル化は不十分であると考えられる。またhigh pass filterについては臨床評価の結果では毛髪線を除く所見についてhigh pass filter Iがhigh pass filter IIより

評価は高かった。それに反しバーガー・ファントム、ハウレット・チャートの実験からはhigh pass filter IIがhigh pass filter Iより有効な画像処理であるという結果と矛盾する。しかし臨床評価の統計的偏差を見るとhigh pass filter IIの方がhigh pass filter Iよりも大きく、評価の対象の部位の構造によりhigh pass filterを選ぶ必要があることを意味する。

ROC解析の結果からは疑似毛髪線についても疑似腫瘤影についても正診率はデジタル化により低下が認められた。しかし臨床評価においては腫瘤影は175 μm pixel sizeのデジタル化画像でもほぼ原画像と等しいという評価を得ている。これは矛盾するようであるがROC解析ではわずかな濃度差でしか描出されないsimulated noduleであり、臨床評価では濃度差の明らかな1.5cm以上の腫瘤影である。濃度差の明らかな腫瘤影に対してはデジタル化による情報量の損失は許容範囲内ではないかと考えられる。毛髪線や縦隔線のような線構造に対してはROC実験や臨床評価でもデジタル化による劣化が明らかであり、これについては他の研究結果¹¹⁻⁵⁾とよく一致する。今後のPACSの実用化にあたり線状構造を原画像に近づけることが課題である。

結 論

本研究において長期間にわたるROC実験、臨床評価を中心にデジタル化画像の評価を行った。またそれらの裏づけとして画像工学的研究を行った。デジタル化画像のハード・コピーについては100 μm のデジタル化画像は175 μm のデジタル化画像より優れているという結論を得た。しかし100 μm のデジタル化画像も原画像に等しいか劣っているという結論を得た。以上の結果からデジタル化画像のハード・コピーにおける臨床評価並びに画像工学的評価からは100 μm pixel sizeもしくはそれ以下のpixel sizeでのデジタル化が望ましいといえる。

稿を終えるに臨み、御指導と御校閲を賜りました河野通雄教授に深甚の謝意を表します。また終始暖かい御援助をいただきました神戸大学放射線医学教室の諸兄に深く感謝いたします。

本論文の要旨は、第46回日本医学放射線学会総会（1987年）に於いて発表した。

文 献

- 1) MacMahon H, Vyborny CJ, Metz CE, et al: Digital radiography of subtle pulmonary abnormalities: An ROC study of the effect of pixel size on observer performance. *Radiology* 158: 21-26, 1986
- 2) Dev P, Breatnach ES, Yester MV, et al: Digital and conventional chest imaging: A modified ROC study of observer performance using simulated nodules. *Radiology* 158: 35-39, 1986
- 3) Goodman LR, Foley WD, Wilson CR, et al: Digital and conventional chest images: Observer performance with film digital radiography system. *Radiology* 158: 27-33, 1986
- 4) Lams PM, Cocklin ML: Spatial resolution requirements for digital chest radiographs: An ROC study of observer performance in selected cases. *Radiology* 158: 11-19, 1986
- 5) Foley W, Wilson CR, Keyes G: The effect of varying spatial resolution on the detectability as diffuse pulmonary nodules: Assessment with digitized conventional radiographs. *Radiology* 141: 25-31, 1981
- 6) Fraser RG, Breatnach E, Barnes GT: Digital radiography of the chest: Clinical experience with a prototype unit. *Radiology* 148: 1-5, 1983
- 7) Fuhrman CR, Gur D, Good B, et al: Storage phosphor radiographs vs conventional films: Interpreters' perceptions of diagnostic quality. *AJR* 150: 1011-1014, 1988
- 8) 福久健二郎, 松本 徹, 飯沼 武, 他: 胸部X線写真のCRT表示による読影診断, *Medical Imaging Technology* 5: 49-60, 1987
- 9) Okabe T, Sato K: Experimental systems for diagnostic image management. PACS III for medical application. *Proc SPIE* 536: 199-202, 1985
- 10) Burger GCE: Phantom tests with X-rays. Philips Technical Report 11: 79-96, 1949
- 11) Burger GCE: The perceptibility of details in roentgen examinations of the lung. *Acta Radiologica* 31: 193, 1949
- 12) Howlett LE: Photographic resolving power. *Canadian Journal Research* 24A: 25-40, 1946
- 13) Giger ML, Doi K: Investigation of basic imaging properties in digital radiography. I. Modulation transfer function. *Med Phys* 11: 287-295, 1984
- 14) Goodenough DJ, Rossmann K, Lusted LB: Radiographic applications of signal detection theory. *Radiology* 105: 199-200, 1972
- 15) Metz CE, Goodenough DJ, Rossmann K: Evaluation of receiver operating characteristic curve data in terms of information theory with application in radiography. *Radiology* 109: 297-303, 1973
- 16) Goodenough DJ, Rossmann K, Lusted LB: Radiographic applications of receiver operating characteristic (ROC) curves. *Radiology* 110: 89-95, 1974
- 17) Rossmann K: An approach to image quality evaluation using observer performance studies. *Radiology* 113: 541-544, 1974
- 18) Starr SJ, Metz CE, Lusted LB, et al: Visual detection and localization of radiographic images. *Radiology* 116: 533-538, 1975
- 19) Swets JA: ROC analysis applied to the evaluation of medical imaging techniques. *Invest Radiol* 14: 109-121, 1979
- 20) Dorfman DD, Alf E: Maximum likelihood estimation of parameters of signal detection theory and determination of confidence intervals: Rating method data. *J Math Psych* 6: 487-496, 1969
- 21) Hanley J, McNeil BJ: The meaning and use of the area under a receiver operating characteristic (ROC) curve. *Radiology* 143: 29-36, 1982