

Title	輝尽性蛍光体イメージング・プレートを用いた胸部デジタルラジオグラフィーの診断能
Author(s)	鬼塚, 英雄
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1989, 49(2), p. 177-190
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/17151
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

輝尽性蛍光体イメージング・プレートを用いた 胸部デジタルラジオグラフィの診断能

九州大学医学部放射線科学教室（主任：増田康治教授）

鬼塚 英雄

（昭和63年9月26日受付特別掲載）

（昭和63年12月9日最終原稿受付）

Diagnostic Capability of Digital Radiography of the Chest Using Scanning Laser Stimulated Luminescence

Hideo Onitsuka

Department of Radiology, Kyushu University Faculty of Medicine
(Chairman: Prof. Kouji Masuda)

Research Code No. : 506.9

Key Words : *Computed radiography,*
Scanning laser stimulated luminescence,
Imaging plate, Chest radiography

Diagnostic capability of Fuji Computed Radiography (FCR) of the chest was compared to the conventional radiography (CoR) using regular film-screen system. FCR utilizes imaging plates of scanning laser stimulated luminescence. Visibility of 14 structures of the chest radiography was evaluated by 3 radiologists in 100 pairs of FCR and CoR which were taken at the same time with the same exposure factors. FCR was superior to CoR especially in observation of the mediastinum and areas behind the heart and diaphragm. The minor fissure was better seen on CoR. Superiority of FCR to CoR was thought to be mainly due to the processed image of FCR, and the so-called normal image of FCR had little diagnostic advantage.

Simulated abnormal densities: nodular, alveolar, and interstitial densities with a chest phantom, were made, and detectability of alteration of these densities on FCR and CoR was evaluated by 19 radiologist, using ROC curve analysis. FCR and CoR revealed the similar diagnostic capability in nodular and interstitial densities. In alveolar densities, however, FCR was statistically inferior to CoR. Nineteen radiologists were divided into 3 groups by their experience in radiology, and comparison was made as to their diagnostic capability with FCR and CoR in the same manner as described above. There was no significant difference among the groups with FCR in either density pattern.

1. 始めに

輝尽性蛍光体イメージング・プレートを用いたデジタル画像処理技術（Fuji Computed Radiography, 以下 FCR と略す）は、日本が世界に先駆けて開発したものである¹⁾²⁾。以来、数多くの臨床応用あるいは基礎的研究がなされ、胸部 X 線写真における有用性についても報告がなされてき

た^{3)~6)}。

FCR の特徴である広いダイナミック・レンジゆえに、1枚のフィルムで肺野と縦隔が同時に観察でき、通常の胸部 X 線撮影では見逃しやすい縦隔や胸壁の病変を、比較的容易に発見することが可能である³⁾⁴⁾。また、縦隔ならびに肺門部の断層撮影における有用性が報告されており、さらに、

情報がデジタル化されているために黒化度の修正が比較的容易であり、撮影条件の設定に必ずしも厳密を要求されない⁴⁾。その結果、胸部のポータブル撮影に威力を発揮する可能性が示唆されてきた⁵⁾。

しかしながら、これらの報告はいずれもFCRをCTや血管造影などと同様に、ある種の特種検査として評価しており、ルーチンの胸部検査としての位置付けについてはあまり検討がなされていない。すなわち、縦隔や胸壁軟部組織などの病変発見には有用であっても、果たして胸部X線写真本来の目的である肺野病変の発見やその経過観察において、通常の胸部X線写真に劣らぬ、あるいはそれ以上の有用性が認められなければ、FCRをルーチン胸部X線検査として採用する根拠に欠けるのではないと思われる。しかし、この点に関する研究は、モデルとしての肺野病変の有無あるいはその経時的変化の絶対性に問題があり、困難であることが多く、現在まで詳しい検討がなされていない。

今回の研究は、FCRによる胸部X線検査を、従来の方法による胸部X線検査と比較し、特に肺野病変については、疑似陰影を作製し、ファントムを用いて、その検出能ならびに経時的変化の診断能について検討し、“ルーチン胸部X線検査”としてのFCRの可能性を評価することを目的とした。

2. 材料および方法

1) FCR 撮影装置ならびに表示方法

FCR撮影にはFCR-101(富士メディカルシステム社)装置と大角サイズ(35.6×35.6cm)のイメージングプレートを使用した。FCRでは1枚のフィルムに、2つの異なる方法で処理された画像を表示することができ、一方を通常のX線写真に近い像(以下ライブ像と称することとする)にするために、富士メディカル・システムの推奨する描出条件をやや修正したもの(S階調, GT:S)を、他方のデジタル画像(以下処理画像と称する)は直線階調(A階調, GT:A)を採用した。その他の処理条件はライブ像がGA:0.8, GC:1.2, GS:0.4, RN:0, RT0.0で、処理画像はそれぞれ

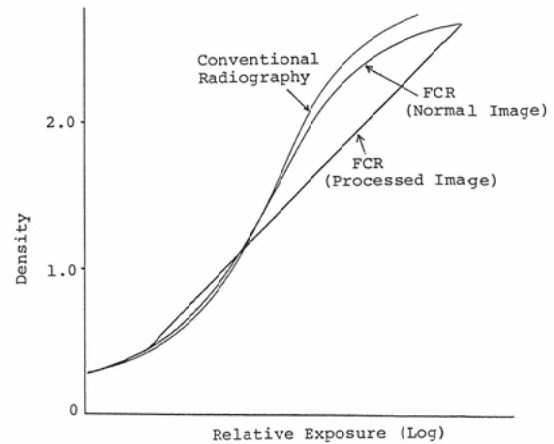


Fig. 1 Representative characteristic curves of the conventional radiography and the normal and processed images of FCR.

0.9, 1.6, 0.2, 0, 3.0である。デジタル画像としてのFCRの仕様は、濃淡階調については、情報採取の際は8ビット256階調で、出力すなわちフィルム表示は10ビット1.024階調である。1画面の大きさは17.6×17.6cmで1/2の縮小画像となり、2,000×2,000のマトリックスで表示される。

Fig. 1にFCRのライブ像と処理画像ならびにわれわれの施設で使用している従来法による画像の代表的な特性曲線を示す。

2) 正常構造の描出能

(1) 撮影方法

被検者の胸部撮影を、phototimerを用いて、管電圧120kV、フィルム焦点間距離200cm、立位背腹方向により従来法で行い、さらにそのphototimerが示す撮影値に最も近い撮影時間で、被検者の体位を変えずに、引き続きFCRを用いて行った。従って、FCRと従来法の撮影は同一条件で撮影されたとみなすことができる。X線管は東芝DRX2903H(2×2cm焦点)を専ら用いており、使用しているグリッドは13:1, 60本/cm(カーボンファイバー)である。通常のフィルム・増感紙系撮影にはフジHi-Screen増感紙とフジRXフィルム(35.6×35.6cm)を使用した。

(2) 対象

正常と診断された100名の患者の胸部X線写真が無作為にえらび、従来法とFCRの画像におけ

る肺野ならびに縦隔の正常構造について、その描出能を評価した。対象とした正常構造は次のとおりである。すなわち、1) anterior pleural reflexion, 2) azygoesophageal recess, 3) tracheal air column, 4) right main bronchus, 5) left main bronchus, 6) carina, 7) intermediate bronchus, 8) right hilar vasculature, 9) left hilar vasculature, 10) right posterior pleural sulcus, 11) left posterior pleural sulcus, 12) paraspinal line, 13) vertebral disc spaces, 14) minor fissure の14項目。

(3) 評価法

評価法は点数制とし、(1) 明瞭に観察でき、診断的価値は十分(4点)、(2) 観察はでき、診断的価値もあると思われるが、(1)より劣る(3点)、(3) どうか観察できるが診断的価値は不十分(2点)、(4) 観察できない(1点)の4段階に分けた。

(4) 読影方法

3名の放射線科医(経験年数それぞれ15年、7年、2年)により、14項目の正常構造の描出能を、従来法、ライブ像、処理画像につき、一人ずつ別個に検討し、3名による得点の平均を評点とした。また、ライブ像と処理画像の評点が異なった場合は、評点の高い方を採りFCR総合の評点とした。各像による評点の差の検定はf-検定を行った後、t-検定を用いた。

3) 胸部陰影の経時的変化の検出能

胸部撮影用ファントムを使用し、浸潤影あるいは肺泡性陰影、間質影あるいは線維性陰影、ならびに粒状影あるいは腫瘤影の疑似陰影を作製し、それぞれにおいてFCRと従来法による撮影を行い、その経時的変化の診断能について検討した。

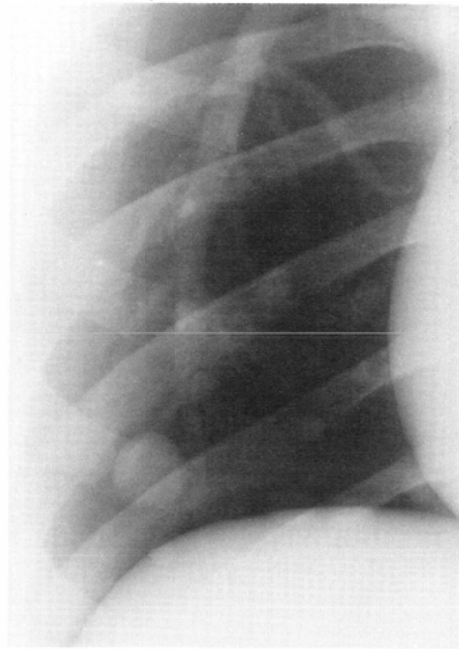
(1) 撮影方法

東芝DRX-2903H(2×2mm焦点)のX線管で撮影し、グリッドには8:1、34本/cmを用いた。従来法の撮影には極光BM-IIIの増感紙とフジRXフィルムとの組み合わせを使用した。同一条件下でFCRと従来法の撮影を行った。

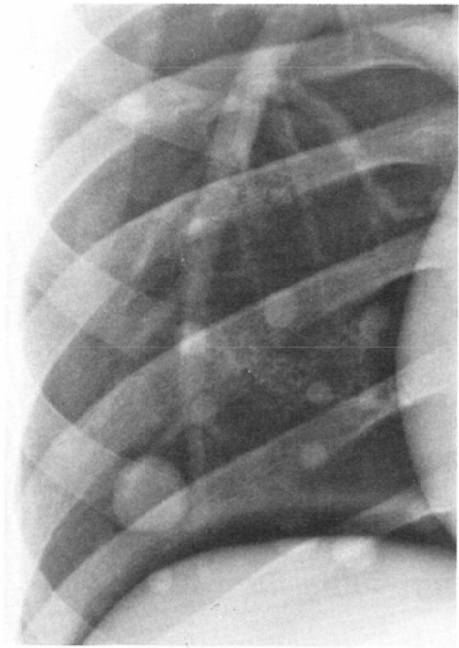
(2) 読影

19名の放射線科医が担当した。それを経験年数

により3グループに分けた。経験年数1~2年をグループ1、3~6年をグループ2、7年以上を

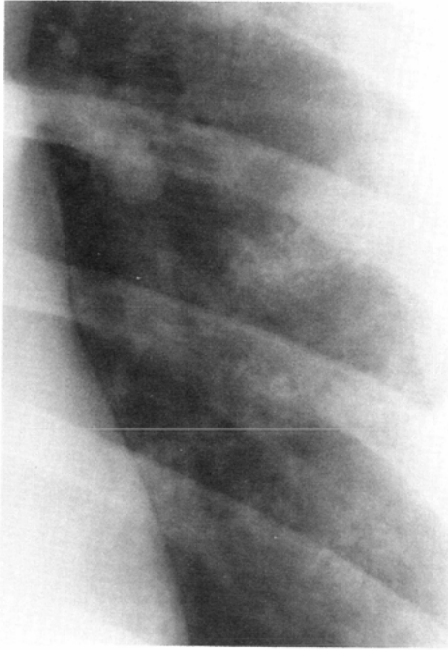


a

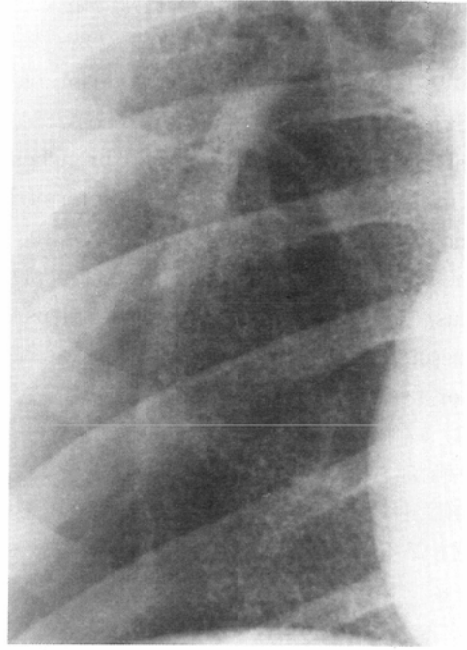


b

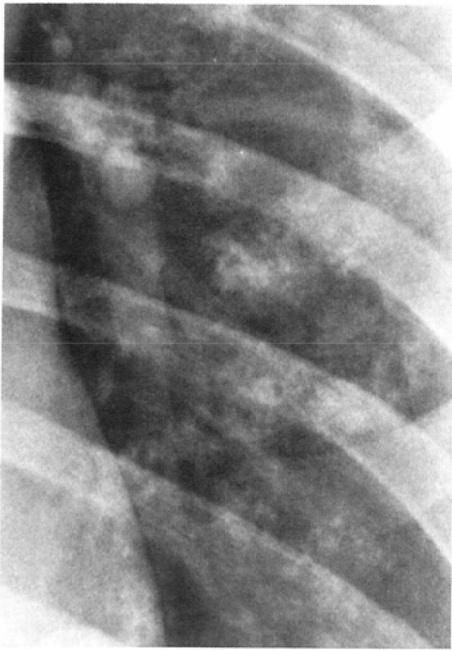
Fig. 2 Simulated nodular densities over the chest phantom. a. conventional radiography. b. FCR (processed image).



a

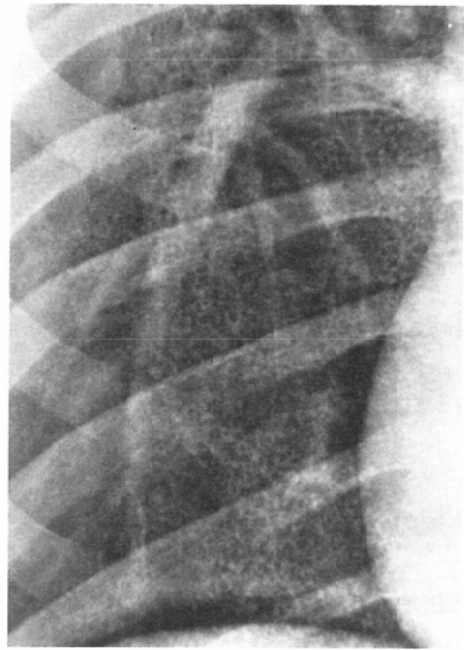


a



b

Fig. 3 Simulated alveolar densities over the chest phantom. a. conventional radiography. b. FCR (processed image).



b

Fig. 4 Simulated interstitial densities over the chest phantom. a. conventional radiography. b. FCR (processed image).

グループ3とし、それぞれ、7名、5名、7名であった。

(3) 胸部疑似陰影

ファントムには米国ヒューマノイド社製ラングチェストファントムを用いた。

肺胞性陰影のモデルとしてはスポンジに水ないし稀薄(3~4%)な水溶性造影剤を適量しみ込ませたものを使用した。腫瘍影には、小麦粉を練って、種々の大きさの球を作製し(径3mm~30mm, 密度1.65g/cm³), これらをアクリル板の上に置いて胸部ファントムに重ねた。また間質性陰影には、アクリル板の上にバラバラにしたへちまの繊維に稀薄な水溶性造影剤をしみ込ませたものを置いてファントムに重ねた。3種の疑似陰影はそれぞれ独立に撮影され、1枚のフィルムに2種以上の陰影を重ねることは行わなかった(Fig. 2, 3, 4)。

(4) 疑似陰影としての評価

従来法とFCRとで撮影された3種の疑似陰影のフィルムを19名の放射線科医に何らの情報も与えず、かつ独立にどのような陰影か答えてもらい、

Table 1 Numbers of alteration, and of improvement or deterioration of various simulated lung densities.

	Total	Unchanged	Changed	
			Improved	Deteriorated
Nodular pattern	39	10	6	23
Alveolar pattern	30	7	5	18
Interstitial pattern	31	4	7	20

疑似陰影としての評価を試みた。

(5) 疑似陰影による経時的変化の検出能

スポンジの量の違う2つのファントムをそれぞれ従来の方とFCRで撮影し、程度の異なる1組の疑似陰影画像を得た。左右に並べた2枚の画像(以下ペアと称す)を比較して、左から右にその差の有無を「変化あり」、「変化無し」として判定させ、「変化あり」であれば「悪化」あるいは「改善」のいずれであるかを、「確実(definite)」、「疑い(probable)」の確信度とともに評価させた。

Table 2 Average scores (±S.D.) of conventional radiograph and FCR for normal structures of the frontal chest

	Conventional radiograph	FCR (normal image)	FCR (processed image)	FCR (combined)
Aterior pleural reflexion	1.63±0.481 ★	1.52±0.518 ◇●	1.77±0.537 ◇	1.91±0.542 ★●
Azygosophageal recess	1.39±0.341 ▲★	1.30±0.339 ●●	2.61±0.693 ▲◆	2.65±0.666 ★●
Tracheal air column	3.02±0.486 ▲★	2.94±0.432 ●●	3.61±0.145 ▲◆	3.61±0.140 ★●
Right main bronchus	2.47±0.520 ▲★	2.42±0.417 ●●	3.03±0.422 ▲◆	3.08±0.413 ★●
Left main bronchus	2.21±0.446 ▲★	2.28±0.376 ●●	3.11±0.405 ▲◆	3.12±0.401 ★●
Carina	2.17±0.408 ▲★	2.19±0.365 ●●	2.90±0.417 ▲◆	2.93±0.415 ★●
Intermediate bronchus	2.54±0.510 ▲★	2.46±0.469 ●●	2.79±0.439 ▲◆	2.89±0.421 ★●
Right hilar vasculature	3.49±0.309 ■★	3.23±0.225 ■●●	3.48±0.185 ◆▽	3.63±0.180 ★●▽
Left hilar vasculature	3.11±0.386 ■▲★	2.94±0.306 ■◆●	3.47±0.233 ▲◆▽	3.57±0.220 ★●▽
Right posterior sulcus	1.88±0.441 ▲★	1.83±0.383 ●●	3.08±0.377 ▲◆	3.09±0.376 ★●
Left posterior sulcus	1.62±0.373 ▲★	1.57±0.322 ●●	2.13±0.447 ▲◆	2.19±0.435 ★●
Paraspinal line	1.34±0.383 ▲★	1.40±0.447 ●●	2.05±0.573 ▲◆	2.16±0.524 ★●
Vertebral disc spaces	1.73±0.546 ▲★	1.87±0.483 ●●	3.16±0.428 ▲◆	3.17±0.430 ★●
Minor fissure	2.54±0.966 ■△	1.92±0.747 ■●	2.13±0.818 △	2.32±0.810 ●

Variis marks represent statistical significance between linked columns.

△, ☆, □, ◇, ○, ▽ : significant (p<0.01),

▲, ★, ■, ◆, ●, ▼ : significant (p<0.001),

これをFCRと従来法の画像につき別々に行い、各々の診断能を比較した。なお、この方法では、日常の読影の場合と同じように、FCR画像はライブ像、処理画像を同時に呈示し、両者を総合して判断の材料となるようにした。

同様の検討をへちま繊維の量および小麦粉球の大きさ、数を変化させることにより行った。

これらのペアを各疑似陰影につき複数組作製して比較検討したが、その内訳はTable 1の通りである。

解析は、それぞれの陰影について、変化の有無の診断能を(2×2)表によりchi²乗分布を用いて検定を行った。また、確信度を考慮してROC曲線を作製し、その曲線下の面積を求めて、曲線の有意差を検定した^{7)~9)}。さらに、変化を示すペアにつ

いては「悪化」あるいは「改善」における一致率を評価した。なお、「変化無し」としたものは、その確信度に関わらず1つのグループとし、「悪化疑い」、「改善疑い」の中間に位置するものとみなしてROCカーブを作製した。

3. 結果

1) 正常構造の描出能

結果をTable 2およびFig. 5に示す。検討した14項目の縦隔ならび肺野の正常構造の描出能については、minor fissureを除くすべてにおいて、FCRの方が従来法よりも明らかに優れていた。FCRのライブ像と処理画像を比べると、処理画像の方が、ライブ像よりも極めて高い描出能を示した。統計学的有意差はないものの、ライブ像は肺野血管影や minor fissure など肺野構造の描出能

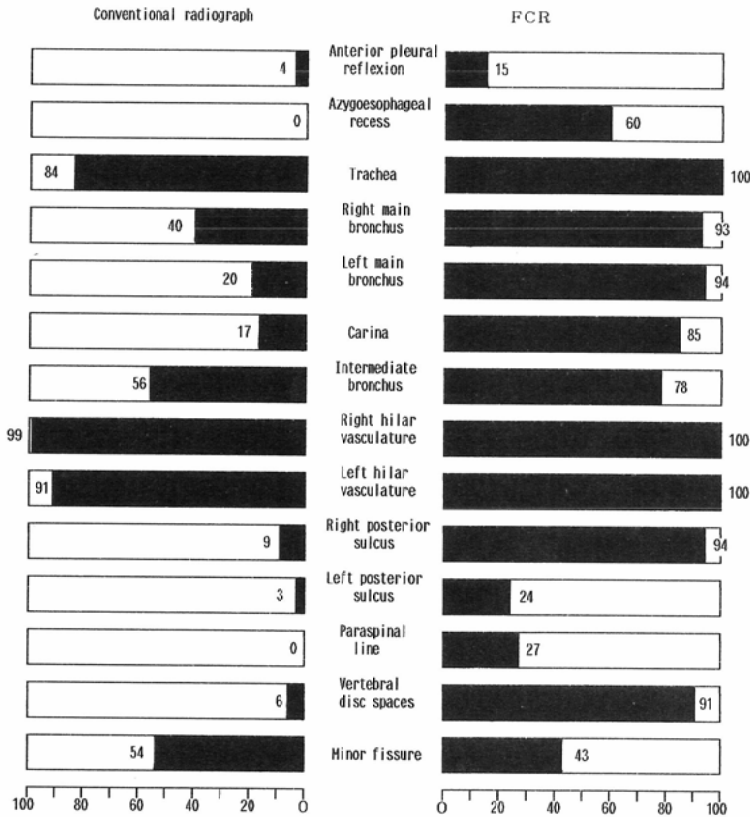


Fig. 5 Bar diagram comparing visibility of 14 normal anatomic structures (listed in the center column) on conventional radiographs and FCR. A maximum of 100 observations was possible for each anatomic structure. Scores above 2.5 are regarded as "visible" (closed areas).

についてはむしろ従来法の画像よりやや劣る傾向にあった (Fig. 6). さらに, ライブ像と処理画像の組み合わせ, すなわち FCR 総合では, 全項目で処

理画像単独よりわずかに高い検出率を示したが, 統計学的有意差が見られたのは左右の肺門血管影の描出についてのみであり, 他の項目では処理画像と FCR 総合の間に統計学的差はなかった.

2) 肺野疑似陰影による経時的变化の検出能

(1) 胸部疑似陰影としての評価

作製した胸部疑似陰影のうち, 腫瘤影, 間質影の各モデルについては19名全員がそれぞれ腫瘤影, 間質影と正しく判定した. 肺胞性陰影モデルでは FCR で19名中2名, 従来像で1名がいずれも間質影と判定した.

(2) 疑似陰影による経時的变化の検出能

19名の放射線科医による腫瘤影, 肺胞性陰影, 間質影モデルの経時的变化の診断能を Table 3, 4 に示す. Table 3 はそれぞれのペアにおける「変化の有無」についてであり, Table 4 は実際に変化があるものだけに対する「悪化」あるいは「改善」の評価の一致率である.

また, それぞれの判定の確信度に基づき作製し

Table 3 Accuracies of conventional radiograph and FCR according to interval alteration of simulated densities on the chest phantom.

	Nodular pattern		Alveolar pattern		Interstitial pattern	
	Conv. rad.	FCR	Conv. rad.	FCR	Conv. rad.	FCR
Sensitivity	0.762	0.742	0.632 >>	0.451	0.776	0.747
Specificity	0.811 <<	0.916	0.820 >	0.707	0.789	0.816
Accuracy	0.775	0.787	0.675 >>	0.511	0.778	0.756

<, > =significant (p<0.05)

<<, >>=significant (p<0.01)

Table 4 Accuracies of conventional radiograph and FCR according to interval improvement or deterioration of simulated densities on the chest phantom.

	Nodular pattern		Alveolar pattern		Interstitial pattern	
	Conv. rad.	FCR	Conv. rad.	FCR	Conv. rad.	FCR
Sensitivity	0.787	0.760	0.599 >>	0.439	0.745	0.732
Specificity	0.588	0.605	0.516 >>	0.242	0.609	0.632
Accuracy	0.746	0.728	0.581 >>	0.396	0.710	0.706

<, > =significant (p<0.05)

<<, >>=significant (p<0.01)

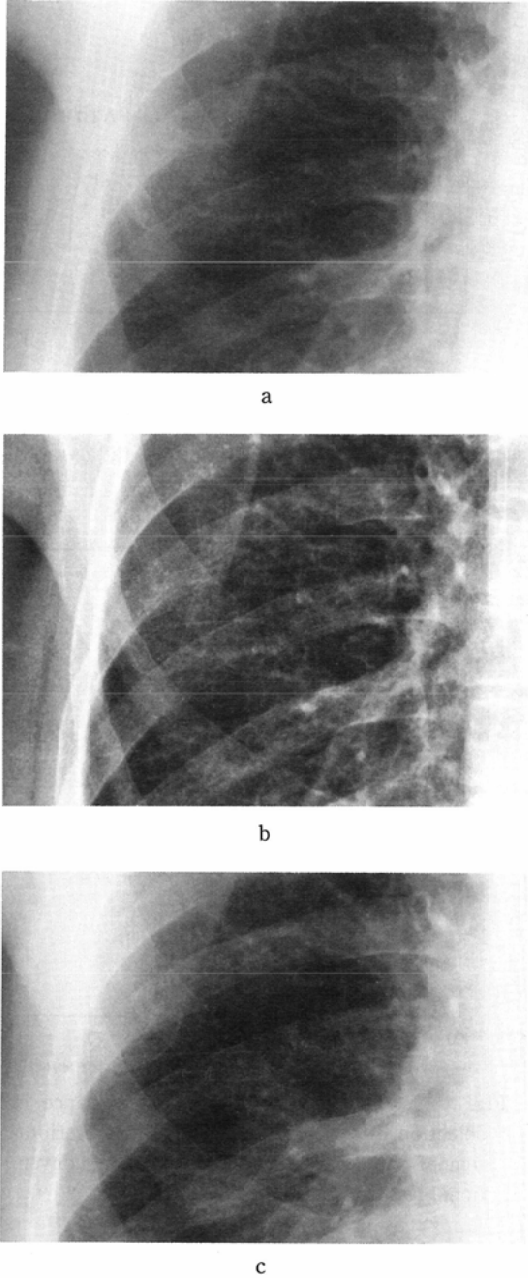


Fig. 6 An example of poor visibility of the minor fissure on normal (a) and processed (b) images of FCR compared to that on conventional radiograph (c).

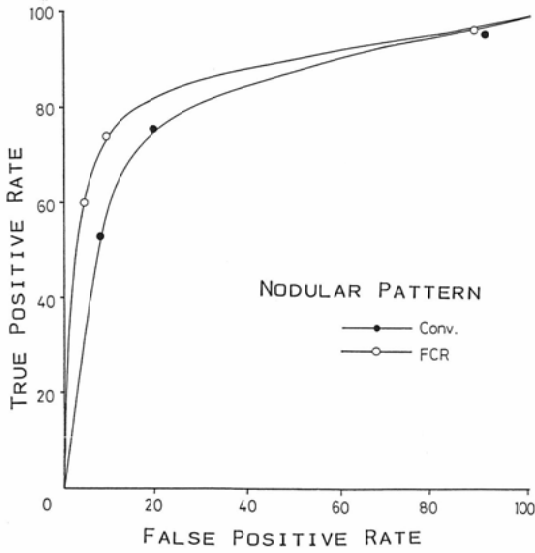


Fig. 7 ROC curve of observer performance in detection of interval alteration of simulated nodular densities on conventional radiographs and FCR.

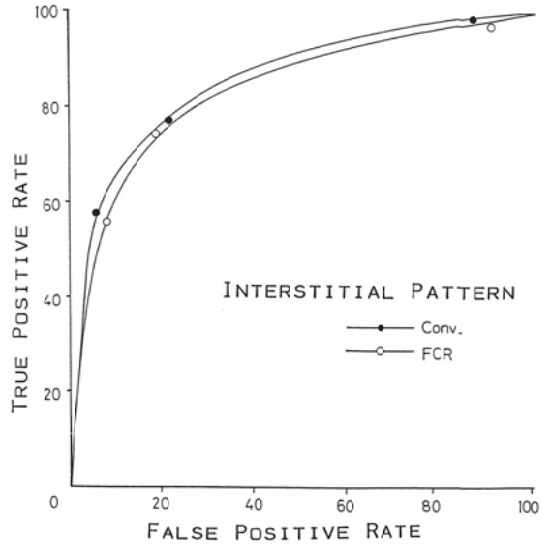


Fig. 9 ROC curve of observer performance in detection of interval alteration of simulated interstitial densities on conventional radiographs and FCR.

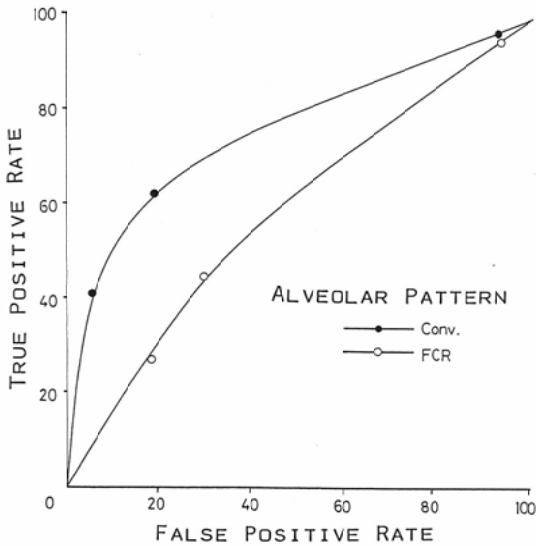


Fig. 8 ROC curve of observer performance in detection of interval alteration of simulated alveolar densities on conventional radiographs and FCR.

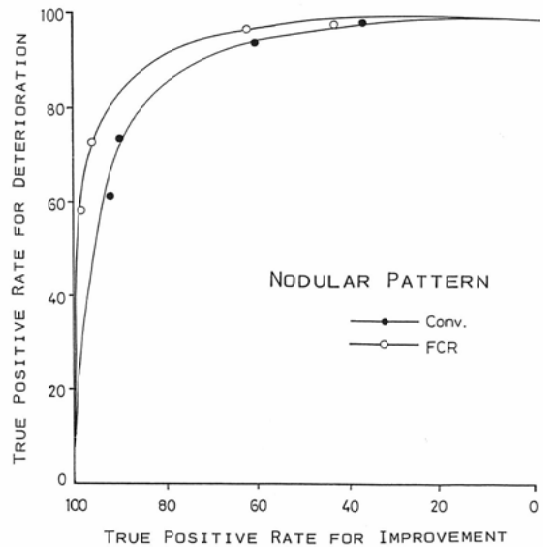


Fig. 10 ROC curve of observer performance in detection of interval improvement or deterioration of simulated nodular densities on conventional radiographs and FCR.

た ROC カーブを Fig. 7~12 に示す。Fig. 7~9 が「変化の有無」についてのものであり、Fig. 10~12 が「改善」あるいは「悪化」の判定に対するものである。それぞれ、腫瘤影、肺胞性陰影、間

質影の 3 種の陰影につき、その総合評価によるカーブを示している。また、そのカーブ下の面積より求めた統計学的有意差についても検定した (Table 5, 6)。Table 5, 6 には、19名の放射線科

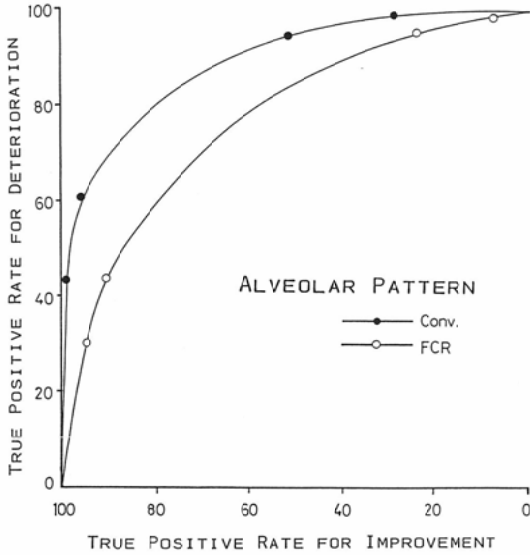


Fig. 11 ROC curve of observer performance in detection of interval improvement or deterioration of simulated alveolar densities on conventional radiographs and FCR.

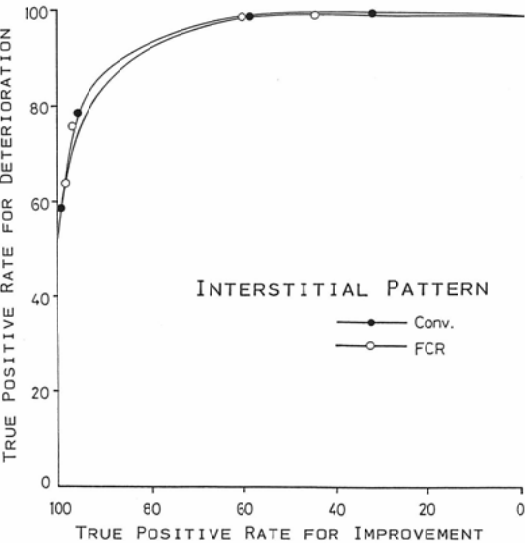


Fig. 12 ROC curve of observer performance in detection of interval improvement or deterioration of simulated interstitial densities on conventional radiographs and FCR.

医を経験年数別に分けた3グループについて求めた各ROCカーブ下の面積をも示している。

腫瘍影の「変化の有無」に対するFCRの specificity が従来法に比べ有意に高かったが、他

Table 5 Area under ROC curves for detection of alteration of simulated lung-densities on conventional radiograph and FCR of the chest phantom.

	Area under ROC curves					
	Nodular pattern		Alveolar pattern		Interstitial pattern	
	Conv. rad.	FCR	Conv. rad.	FCR	Conv. rad.	FCR
G-1	0.79	0.84	0.81*	>>>0.61	0.81	0.78
G-2	0.80	0.86	0.67*	0.56	0.82	0.80
G-3	0.83	0.81	0.74	>>0.57	0.88	0.84
Total	0.80	0.84	0.75	>>>0.58	0.84	0.81

G-1, 2, 3 : group 1, 2, 3, respectively
>, >>, >>> : significant (p<0.05, 0.01, 0.001, respectively)

* : significant between G-1 and G-2 (p<0.05)

Table 6 Area under ROC curves for detection of interval improvement or deterioration of simulated lung densities on conventional radiograph and FCR of the chest phantom.

	Area under ROC curves					
	Nodular pattern		Alveolar pattern		Interstitial pattern	
	Conv. rad.	FCR	Conv. rad.	FCR	Conv. rad.	FCR
G-1	0.91*	0.92	0.90>>>	0.74	0.88	0.93
G-2	0.94	0.95	0.85	0.75	0.84	0.91
G-3	0.97*	0.95	0.84	>0.69	0.92	0.93
Total	0.94	0.94	0.87>>>	0.72	0.89	0.92

G-1, 2, 3 : group 1, 2, 3, respectively
>, >>, >>> : significant (p<0.05, 0.01, 0.001, respectively)

* : significant between G-1 and G-3 (p<0.05)

では腫瘍影と間質影に対する診断能について FCR と従来の画像の間に明らかな統計学的有意差は認められなかった (Table 3, 4)。肺胞性陰影の診断能においては、明らかな統計学的有意差で従来の画像が優れていた。また、ROCカーブに基づく検定においても、明らかな有意差をもって従来の画像が FCR より優れていた。

(3) 経験年数による診断能の差

各グループ毎の診断能を Table 5, 6 に示している。FCR ではグループの間に差は認められなかった。従来法における読影では部分的にはグループ間の差があった。すなわち、肺胞性陰影の

「変化の有無」に対する診断能ではグループ1がグループ2より有意に優れた値を示した。また、腫瘍影に関する「悪化」あるいは「改善」の判定については、グループ3がグループ1に比べ有意に優れていた。

4. 考 案

1) 正常構造の描出能

優れた胸部X線写真を得るための課題は、縦隔と肺野部の大きなコントラストの差をいかに1枚のフィルムの中に納めることができるかである。肺病変の多くは胸部X線写真上、低コントラストを示すために、その検出能を上げるには、フィルム・増感紙系を始めとする記録系を高コントラストにする必要がある。しかし、肺野を高コントラストにすると通常のX線写真では縦隔や横隔膜部が特性曲線の足の部分に入ってしまう、コントラストを失うこととなる。

この肺野と縦隔の大きなコントラストの差による問題を解決するために、いろいろな方法が提唱され試用されてきた。ひとつは最も簡単に、2回撮影を行うことである。先ず肺野に条件を合せて撮影を行い(その結果、縦隔は *underexposure* となるが)、次いで縦隔に適した条件で撮影(結果として肺野は *overexposure* となる)する。しかし、この方法は患者への被曝量が増えるという理由で、一般には用いられていない¹⁰⁾。二つには、肺野、縦隔を1回の曝射で描出するために、ラチチュードの広いフィルムを使用する方法である。しかしこれは、肺野病変のコントラストが低下して、その検出が困難となりやすい。三つには、肺野部分にフィルターを使用して肺野と縦隔の黒化度を近付ける方法である^{11)~13)}。しかし、多くの症例に普遍的なフィルターの形状を作製することが困難であり、また、フィルターの使用により透過X線の実効電圧が上昇し、病変の描出が不均一となるなどの欠点があり、病変の検出能に関連して疑問がある¹⁰⁾。

FCRでは、その広いラチチュードとデジタル画像処理によってこの問題を解決しようとしている。デジタル画像の表示法には種々の方法があげられるが¹⁴⁾¹⁵⁾、FCRは他の多くの装置と異なり、

その情報をCRT画面でなくフィルムに表示している。ダイナミック・レンジの極めて広いデジタル情報をフィルム上にできるだけ多く表示するためには、ラチチュードを広くとる必要があるが、それに伴うコントラストの低下は周波数強調をはじめとする画像処理によって補おうとしている(処理画像)。さらにFCRでは、見慣れた画像として、従来法のX線写真に似た特性曲線を有する画像(ライブ像)を併せて1枚のフィルムに表示し、肺野の描出能の向上を図っている。

胸部X線写真における正常構造の描出能については、FCRの処理画像の方が従来法の画像に比べ縦隔構造ならびに心陰影あるいは横隔膜に重なる肺野において明らかに優れていた。これらの部位は従来の方法による胸部X線写真では *underexposure* となり描出し難いところであり、ラチチュードの広いFCRの方が観察しやすいと言う結果は至極、当然のことであろうし、これがFCRを始めとするデジタル画像の大きな長所となっている。しかしながら、この長所は縦隔の正常構造に関する限り、FCRの処理画像に因るところがほとんどであり、ライブ像単独が従来法より優れていた点はみられなかった。むしろ、肺野血管影や *minor fissure* など肺野構造の描出能においては、従来法に比べ劣っていた(Fig. 6)。ライブ像を処理画像と組合わせてみると肺門血管影に対する評価は従来法より優れたスコアを得てはいるが、ライブ像が主に肺野の描出を目的としているとはいえ、まだ従来法の肺野描出能にまでは至っていないのではないだろうか。

デジタル画像と従来法での画像との比較についてみると、Fraserら¹⁶⁾¹⁷⁾は、CRT画面上のデジタルによる胸部X線写真と、通常の胸部X線写真を比較し、縦隔の正常構造の描出能に関してわれわれと全く同様の結果を報告している。また、Chakrabortyら¹⁸⁾は胸部X線デジタル画像による肺内結節影の検出能を従来の方法と比較し、結節影が肺野にある時は従来法がわずかに優れ、縦隔に重なる時はデジタル画像が優れていたと報告した。ただ、彼らの方法はわれわれの装置とは大きく異なり、撮影にCTの *scannogram* のように

良く絞り込まれた扇形の X 線束を用いている。そして、優れた縦隔構造の描出能の最大の理由として、ラチチュードの広さだけでなく扇形の X 線束を用いることによる散乱線除去を挙げている。ところが、今回の研究では、FCR は従来法と同様、錐形 X 線束の 1 回曝射であり、13:1 のグリッドを使用して同一条件下でなされているために、FCR の優位性の根拠はラチチュードの広さだけであり、彼らの言う従来法との間の散乱線の影響の差はないと考えられる。

この、縦隔構造ならびに心陰影あるいは横隔膜に重なる肺野における FCR の優れた描出能が、これらの部位における病変の検出率向上に繋がっている。

2) 胸部陰影の経時的変化の検出能

(1) 胸部疑似陰影としての評価

陰影の描出能を画質の異なった写真上で比較する場合に問題となるのは、その陰影の絶対性である。それが不明確では、いずれの診断法がより真の姿を忠実に表現しているか判定することはできない。今回われわれは、種々の数、大きさ、程度の異なる腫瘍影、間質影ならびに肺胞性陰影を作製し実験に供することにより絶対性を保とうとした。本研究における疑似陰影の鑑別度は、19名の放射線科医によると、腫瘍影ならびに間質影では FCR、従来法ともに100%、肺胞性陰影では FCR、従来法それぞれ17/19(89.5%)、18/19(94.7%)であり、疑似陰影としての役割に関しては、ほぼ、満足すべきものと考えられる。

(2) 疑似陰影による経時的変化の検出能

3種類の胸部疑似陰影のうち腫瘍影や間質影は統計学的有意差はなかったが、いくつかのグループではむしろ FCR の方がややその変化の有無をより敏感にとらえる傾向にあった (Table 5, 6)。他方、淡い肺胞性陰影に関しては FCR の方が従来の方法による画像に比べ有意に劣っていた。

この理由として、FCR の広いラチチュードによるコントラストの低下が考えられる。腫瘍影や間質影は、FCR でのコントラストの低下は周波数強調をはじめとする画像処理により補われ、低コントラストにもかかわらず、間質影の特徴である線

状あるいは小粒状の要素や腫瘍影の輪郭がかなり増強され、従来画像との間に大きな差が生じない。

それに対し肺胞性陰影は、明らかな辺縁を有しない、無構造の淡い陰影として描出されるために、周波数強調によっても影響を受けにくい。また、FCR の広いラチチュードにより正常の肺組織との間に十分なコントラストが得られないために検出が困難であり、且つ各検査間の変化をとらえるについても、従来方法に比べ、その感度が低いのではないかとと思われる。

浸潤影の経時的変化の検出率は、FCR 処理画像だけでなく従来法に似た画質のライブ像を加えた検討でも従来法より劣っていた。この理由は不明であるが、(1) 縮小画像であること、(2) ライブ像とは言え、やはり画像処理が加えてあり、デジタル画像自体が淡い陰影の描出において劣ること、(3) 通常のフィルム・増感紙系の X 線写真と比較してその特性曲線になんらかの違いがあることなどがあげられる。

Fig. 1 に示されるように、FCR のライブ像の特性曲線は従来画像の特性曲線に比べ、わずかになだらかなガンマ、すなわち低いコントラストを有している。その差はわずかだが、これが FCR の低い浸潤影検出率の原因の一つになっている可能性も否定はできない。他の2つの要因、すなわち縮小画像であることとデジタル処理であることに限っては、幾何学的な単純縮小、デジタル情報を FCR フィルムに表示する際の濃淡階調の制限 (情報採取 8 ビット、表示 10 ビット)、さらには走査線幅あるいはピクセルサイズなどが複雑に絡み合っており、いずれが原因か一概に判定することは困難である。

ピクセルサイズについては、すでに Kushner¹⁹⁾が論及している。彼らは beam scanning を用いた胸部デジタル画像を従来方法と比較検討し、縦隔や肺門構造を捕えるには従来法より優っていたが瘢痕性病変など肺実質の変化を捕えるには従来法より劣っていたとしている。肺実質の診断能においてデジタル画像が劣る原因として彼らは一つには空間分解能の悪さ (512×512 matrix)

を挙げ、ピクセルサイズもデジタル画像において重要な要素としている。デジタル画像における至適ピクセルサイズについては多くの検討がなされているが^{14)19)~28)}、いまだ明快な解答は得られておらず、またこの非常に基本的な情報に寄与するような強力な説も見あたらない²⁶⁾。

ピクセルサイズと肺内病変の検出率との関係についてはいくつかの報告がすでにある。結節影あるいは粟粒影に関しては0.8~1mm以下のピクセルであれば検出率に統計学的差はないが²²⁾²⁷⁾、septal-lineについては0.4mmが必要とされ²⁷⁾、気胸の診断には0.1mm以上のピクセルでは診断能は有意に低下する²⁸⁾。しかし、空間分解能の向上が必ずしも診断の確信度の向上をもたらさず、数mm以上の病変には、むしろ良いコントラスト分解能が優れた検出能をもたらすともされている²³⁾。

FCRのピクセルサイズをみると、FCRは1画面に2,000×2,000のマトリックスであり、胸部X線検査の場合用いられるイメージングプレートは約35.6×35.6cmの大きさであるので、そのピクセルサイズは0.178mmとなり、他の各種システムによるデジタル画像と比べ遜色はない。また、表示の濃淡階調も1,024であり、デジタルイメージングとしてFCRは、現在において極めて優れたシステムの1つと言える。それにもかかわらず、浸潤影の検出能が従来法に比較して低いということは事実であり、この問題の克服が残された課題ではないかと思われる。

ピクセルサイズをさらに小さくし、濃淡階調をさらに広げることによりこの問題は解決するかもしれない。典型的なフィルム・増感紙系のX線写真を、その空間分解能に基づいて忠実に表わそうとすれば、0.1mmよりやや小さいピクセルが必要とされており²⁶⁾、この実現のためには1,600万バイトのメモリーと4,000本の走査線が要求され、現時点では困難であるが、将来可能になることも十分予想される。また、肺内の肺胞性陰影などの淡い陰影に対する最適の特性曲線を見出すよう努力することも大切であろう。

35.6×35.6cmのイメージングプレートの場

合、FCRの胸部X線画像が約1/2の縮小画像として表示されることによる影響については、単に幾何学的な縮小として論じることはできない。走査線の数を変化させずに画像の縮小あるいは拡大を行っても、ピクセルサイズも同時に縮小あるいは拡大され、解像力の向上には繋がらない。

画像の拡大に伴い、ピクセルサイズはそのまま走査線数が増えれば、解像力の向上に繋り診断能が上がることは明らかであるが、これは上述したように、コンピュータ・メモリーの問題がある。1画面あたり2,000×2,000の限られたマトリックスのFCR画像を拡大あるいは縮小させることによって診断能にどのような影響を及ぼすのか、今まで十分な検討がなされておらず、今後、解決すべき問題が数多く残されている。デジタル画像の発達に伴い、その画像のサイズをCRT画面上あるいはフィルムに自由に描出することが可能となった現在、限られた走査線あるいはピクセルサイズとそれに伴う限られた解像力に応じて、最も高い診断能を導くための至適な画像サイズを求める必要に迫られている。

(3) 経験年数による診断能の差

放射線科医の経験年数に基づくFCRならびに従来法による診断能の差はTable 5, 6に見るように、従来法においてのみグループの間に差が認められた。特に、肺胞性陰影の「変化の有無」の検出率において、経験の少ないグループ1が、経験の多いグループ2より優れた値を示しているが、この原因は明らかでない。一つには、肺胞性陰影の評価は従来法でも比較的困難で(Table 5, 6で、肺胞性陰影のROCカーブ下の面積が、他の陰影のものよりやや低い)、経験の多いグループではわずかな変化でも変化無しとする(すなわちunderreadingとする)傾向にあり、経験の少ないグループでは逆に、かなり敏感にそれを捕えたとも考えられる。また、「改善」あるいは「悪化」の判定においてはグループ3がグループ1より、従来法による結節影の経時的変化の検出において優れていたが、これは経験年数の差があらわれているのかも知れない。

このようなグループ間の診断能の差はFCRで

は認められていない。数が少ないので明らかではないが、このことより、各グループの診断能がばらつきを示した従来法に比べ、FCR ではそれが比較的安定しており、医師の経験年数に左右されない診断能が得られる可能性がある。しかし、安定しているとは言え、肺胞性陰影におけるFCRの診断能はばらついた従来法によるそれよりいずれも劣っていることも事実であり、安定し、しかも高い診断能を得るべく努力する必要がある。いずれにせよ、FCRの診断能においては、経験年数による各グループ間の差は認められず、デジタル画像への「慣れ」と言うものは無いと思われた。

5. まとめ

1) FCR および従来のフィルム・増感紙系により同一条件で撮影された胸部X線写真のうち、正常と診断された100組を無作為に選び、14項目の縦隔ならびに肺の構造の描出能を検討した。minor fissure だけは、有意の差はないものの、従来の画像が良いスコアを示した。残り13項目についてはFCRが有意に優れていた。この差の原因はFCRの処理画像によるものであった。ライブ像は肺野血管影などに対し従来の画像よりむしろ劣る傾向にあり、肺野の診断にはあまり貢献していないと考えられた。

2) 胸部異常影(腫瘤影、肺胞性陰影、間質影)の疑似陰影を作製し、胸部用ファントムを用いて従来法とFCRによる診断能を検討した。また、読影者の経験年数別にも同様の検討を行った。

(1) 腫瘤影、間質影においてはFCRと従来法の間には差は無かったが、肺胞性陰影においては従来法がFCRに比べ、明らかに優れていた。

(2) 経験年数による検出能の違いは従来法で見られた。FCRでは経験年数に左右されない安定した診断能が得られた。

FCRは、縦隔や横隔膜後部など従来の画像では観察が不十分であった部位あるいは構造を鮮明に描出し、かつ肺の腫瘤性、間質性病変の観察にも従来法に劣らぬ有用性を示した。しかし、肺胞性陰影の変化に対する低い検出能が、胸部X線検査におけるFCRの唯一の欠点であった。その原因解明ならびに解決が今後に残された課題である。

稿を終えるにあたり、本研究の御指導、御校閲をいただいた九州大学医学部放射線科学教室増田康治教授に深謝いたします。また、御助言をいただいた西谷 弘先生、調査に御協力いただいた平田展章、田中 功君を始めとする多くの放射線科の諸兄、撮影に多大な努力を傾けていただいた西水誠治、古閑省二両技師、ならびに原稿作成にお手伝いただいた有吉佳代子さんに厚く御礼申し上げます。

本研究の一部は第47回日本医学放射線学会(1988, 東京)において発表した。なお、本研究の一部は厚生省がん研究助成金(西谷班)の援助を受けた。

文 献

- 1) 高野正雄：輝尽性蛍光体を使った新しいComputed Radiography, 日本臨床, 41:1395-1403, 1983
- 2) Sonoda M, Takano M, Miyahara J, et al: Computed radiography utilizing scanning laser stimulated luminescence. Radiology 148: 833-838, 1983
- 3) 上村良一, 高島 力, 鈴木正行, 他: 肺癌の画像診断 update 肺癌の質的診断 A. computed radiography (CR) による診断. 画像診断, 画像診断, 7: 988-993, 1987
- 4) 伊藤 広, 高島 力, 上村良一, 他: 肺癌の画像診断 update 肺癌の存在診断 (集検を含めて) A. digital radiography (FCR) を用いた集検, 画像診断, 7: 974-981, 1987
- 5) Merritt CRB, Matthews CC, Tutton RH, et al: Clinical application of digital radiography: Computed radiographic imaging. Radiographics 5: 397-414, 1985
- 6) 上村良一, 高島 力, 伊東 広, 他: 肺癌と Computed Radiography, 内科 59: 465-469, 1987
- 7) Hanley JA, McNeil BJ: The meaning and use of the area under a receiver operating characteristic (ROC) curve. Radiology 143: 29-36, 1982
- 8) McNeil BJ, Hanley JA, Funkenstein HH, et al: Paired receiver operating characteristic curves and effects of history on radiographic interpretation. Radiology 149: 75-77, 1983
- 9) Hanley JA, McNeil BJ: A method of comparing the areas under receiver operating characteristic curves derived from the same cases. Radiology 148: 839-843, 1983
- 10) Kelsey CA, Lane RG, Moseley RD, et al: Chest radiographs obtained with shaped filters: Evaluation by observer performance test. Radiology 159: 653-655, 1986
- 11) Gray JE, Stears JF, Frank ED: Shaped lead

- loaded acrylic filters for patient exposure reductin and image quality improvement. Radiology 146: 824-828, 1983
- 12) Wieder S, Adams PL: Improved routine chest radiography with a trough filter. AJR 137: 695-698, 1981
 - 13) Vyborny C, MacMahon H: Foil filters for equalized chest radiography. Radiology 151: 154, 1984
 - 14) 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
 - 15) Johnson GA, Ravin CE: A survey of digital chest radiography. Rad Clin North Amer 21: 655-665, 1983
 - 16) Fraser RG, Breatnach E, Barnes GT: Digital radiography of the chest: Clinical experience with a prototype unit. Radiology 148: 1-5, 1983
 - 17) Fraser RG, Breatnach E, Barnes GT: Digital radiography of the chest: Clinical experience with a prototype unit. Radiographics 5: 415-428, 1985
 - 18) Chakraborty DP, 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
 - 19) Kushner DC, Cleveland RH, Herman TE, et al: Low-dose flying spot digital radiography of the chest: Sensitivity studies. Radiology 163: 685-688, 1987
 - 20) Katragadda CS, Fogel SR, Cohen G, et al: Digital radiography using a computed tomographic instrument. Radiology 133: 83-87, 1979
 - 21) Foley WD, Lawson TL, Scanlon GT, et al: Digital radiography of the chest using a computed tomography instrument. Radiology 133: 231-234, 1979
 - 22) Foley WD, Wilson CR, Keyes GS, et al: The effect of varying spatial resolution on the detectability of diffuse pulmonary nodules. Radiology 141: 25-31, 1981
 - 23) Huebener K-H: Scanned projection radiography of the chest versus standard film radiography: A comparison of 250 cases. Radiology 148: 363-368, 1983
 - 24) 川平幸三郎, 西谷 弘, 松尾博基, 他: フィルムからデジタル画像として入力する場合の空間分解能に関する検討—CRT出力画像について—, 日本医放会誌, 44: 854-856, 1984
 - 25) 西谷 弘, 本田 浩, 松浦啓一: X線フィルムの空間周波数圧縮による画像の視覚評価に関する検討—フォトプリンター出力画像について—, 日本医放会誌, 44: 1294-1297, 1984
 - 26) Kundel H: Digital projection radiography of the chest. Radiology 158: 274-276, 1986
 - 27) Lams PM, Cocklin MI: Spatial resolution requirements for digital chest radiographs: An ROC study of observer performance in selected cases. Radiology 158: 11-19, 1986
 - 28) 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: 21-36, 1986