

胸部側面像におけるコンピューテッド・ラジオグラフィの臨床的意義に関する研究

| | |
|-------|---|
| メタデータ | 言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-04 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属: |
| URL | http://hdl.handle.net/2297/9124 |

胸部側面像におけるコンピューテッド・ラジオグラフィの 臨床的意義に関する研究

金沢大学医学部放射線医学講座 (主任: 高島 力教授)

木 船 孝 一

胸部側面撮影をデジタルラジオグラフィの一つである富士コンピューテッド・ラジオグラフィ (Fuji computed radiography, FCR) で行うことでの臨床的意義を明らかにするため、基礎的検討として物理的特性である鮮鋭度と粒状性を測定し、さらに正常ボランティアを用いた疑似結節の描出能を13名の観察者により主観的評価法で行った。また臨床的検討として臨床例50例を用いた正常構造の描出能を10名の観察者により検討し、結節陽性例30例、陰性例30例を用いた結節影の診断能の検討を8名の観察者により行った。結果は物理的特性は、従来報告されている如く鮮鋭度はFCRが劣り、粒状性は2分の1縮小画像で表示したFCRが良好な値をとった。疑似結節を用いた描出能の評価では、異なる撮影条件全体の評価においてFCRは肺尖部領域での結節の描出能が有意に劣り ($P < 0.05$)、他の領域の描出能は有意に優れていた ($P < 0.05$)。しかし撮影条件別にみると照射線量を多くした場合、肺尖部の描出能は改善された。臨床的検討において正常構造の描出能は、空間分解能が問題となる葉間裂の描出以外はFCRの方が同等もしくは優れていた。結節の診断能を比較した結果は、全体としては差がなく、特に腫瘍径、辺縁の性状でも差はでなかった。通常スクリーン・フィルム撮影 (conventional screen film, CSF) の撮影条件が非適正とされた症例群の比較でFCRは優れていた ($P < 0.05$)。また存在部位別の検討では肺尖部の診断能は低い傾向にあり、胸骨後領域では高かった ($P < 0.05$)。以上から側面像は、異常陰影の性質による描出能、診断能を論ずるよりは、臨床的に正面像を補うという目的からすれば、より有効な側面像であること、すなわち適正条件下での良質画像を得る事に重点が置かれるべきであるのでFCR側面像は特にその寛容性の点でCSFより優れ、有効な撮像法となり得ると結論した。

Key words digital radiography, Fuji computed radiography, lateral chest radiogram, image quality, diagnostic performance

胸部X線写真は肺組織という単純X線画像として非常にコントラストの高い組織がターゲットである。このため、古くから胸部領域はアナログX線像である通常スクリーン・フィルム撮影 (conventional screen film, CSF) が用いられ、胸部画像診断の出発点として重要な位置を占めている。その胸部X線写真において側面像は、左右の肺が重なって描出される、その解剖学的構造から1枚の側面像に非常に撮影条件の異なる肺野が存在するなど画像の評価が難しい。臨床的意義としては正面像で捉えられた所見の立体的把握、正面像で捉えたい所見の指摘、正面像で疑われた所見の存在確認などの補助的な役割が主たるものであると言われている¹⁾³⁾。

また医用画像のデジタル化が進む一方で、日常臨床における画像診断の約40%と主流を占める胸部単純撮影の分野は⁴⁾、アナログ画像であるCSFがその高い解像力と簡便さ、また古くから慣れ親しんだ画像であるが故に頻用され、デジタル化の流れに取り残されている感は否めない。この流れの中で、これら多種多様のデジタル画像を総合的に保守管理、運用する医療システム (picture archiving and communication system, PACS) の概念が打ち出され、将来的に胸部単純撮影において

もデジタル化の波は避けられない状況である。その中で富士コンピューテッド・ラジオグラフィ (Fuji computed radiography, FCR) は我が国で開発されたデジタルラジオグラフィの一種であり⁵⁾、従来の撮影装置で撮像可能な簡便さと比較的良好的な解像力、センサーの機能としてのイメージングプレートの高い性能で、単純撮影において従来のCSFに代わりうるものとして将来性が期待され、今後広く胸部撮影に利用されると考えられる。しかしFCRの臨床的な検討もこれまでに数多くなされてきたが⁷⁾¹¹⁾、胸部領域においては正面像における検討が主体であり、胸部側面像におけるFCRの意義を追及した研究はない。

したがって本研究ではFCRとCSFを比較し、胸部側面像の現状を考慮しつつ、胸部側面像におけるFCRの臨床的意義を考察した。

対象および方法

本研究ではFCRとCSF胸部側面像について基礎的検討として、物理的評価である鮮鋭度と粒状性、さらに正常ボランティアを用いた疑似結節の描出能の比較を行い検討した。また

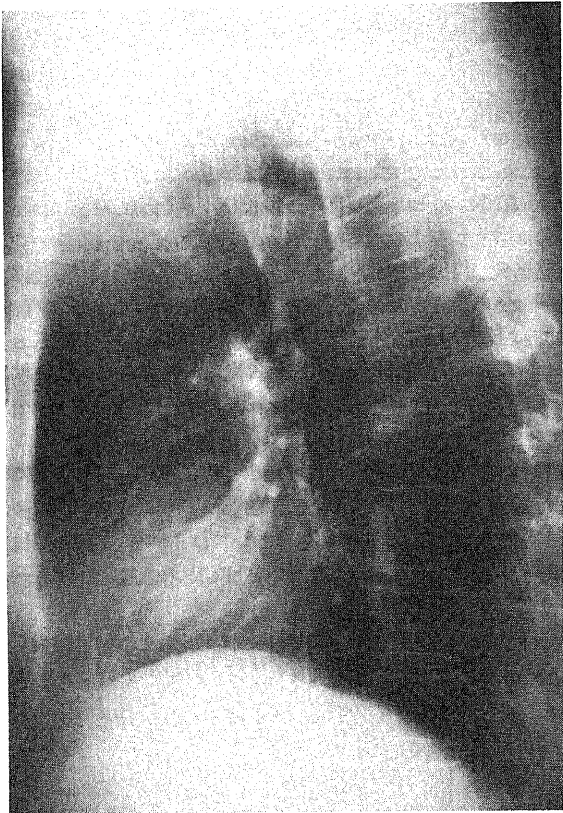
平成6年12月16日受付, 平成7年2月15日受理

Abbreviations: CSF, conventional screen film; CT, computed tomography; FCR, Fuji computed radiography; MTF, modulation transfer factor; PACS, picture archiving and communication system; ROC, receiver operating characteristic; WS, wiener spectrum

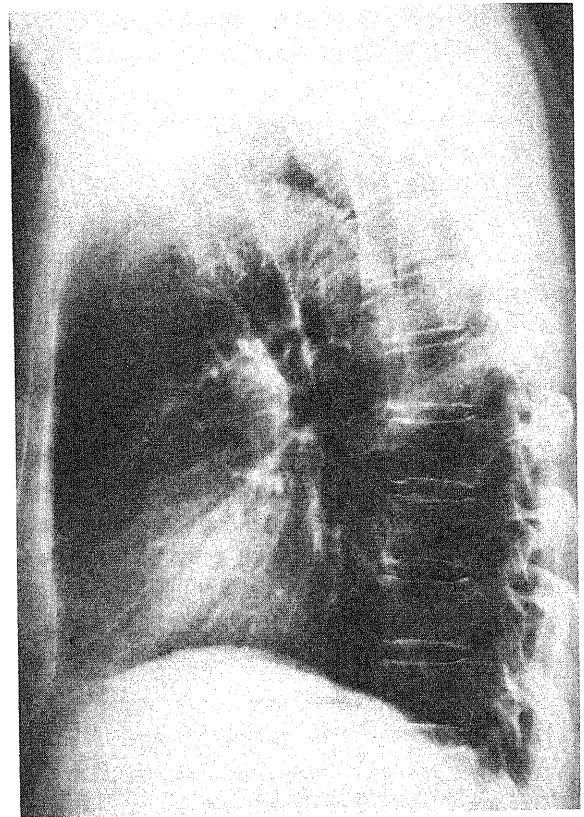
Table 1. Processing parameters of FCR images

| Processing parameters | Left image | | Right image |
|------------------------------|------------|--------|-------------|
| | | | |
| Gradation processing | GA | 1.0 | 0.9 |
| | GT | type E | type A |
| | GC | 1.6 | 1.6 |
| | GS | -0.25 | -0.25 |
| Spatial frequency processing | RN | 0 | 0 |
| | RT | type R | type R |
| | RE | 0.5 | 3.0 |

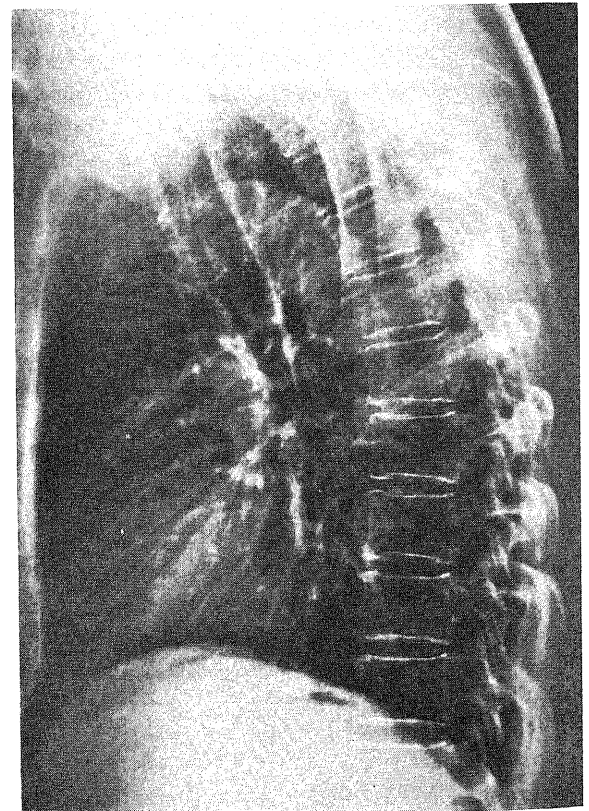
GA, Influence of rotation amount; GT, gradation type; GC, rotation center of gradation; GS, gradation shift; RN, frequency rank; RT, frequency type; RE, degree of enhancement. The left image is processed resembling CSF image with sigmoid curve (type E) gradation and mild (0.5) and wide (type R) enhancement of low (RN; 0) spatial frequency. The right image is processed to improve the visualization of the nodules with linear (type A) gradation and moderate (3.0) and wide enhancement of low spatial frequency.



A



B



C

Fig. 1. A lateral chest image display of FCR images and CSF images. (A), CSF image. (B), FCR left image. (C), FCR right image. On FCR, half-sized chest images are placed in parallel. FCR left images are processed resembling CSF images, and right images processed similar to the right images of FCR posteroanterior radiogram to improve the visualization of the nodules project over the mediastinum and diaphragm.

臨床的検討としては正常構造の描出能と症例を用いた結節影の診断能の比較を行った。

1. 基礎的検討

1. 物理的評価

1) 鮮鋭度

鮮鋭度の指標として、矩形波チャートを用いたX線写真のレスポンス関数を測定し、得られた矩形波レスポンス関数を

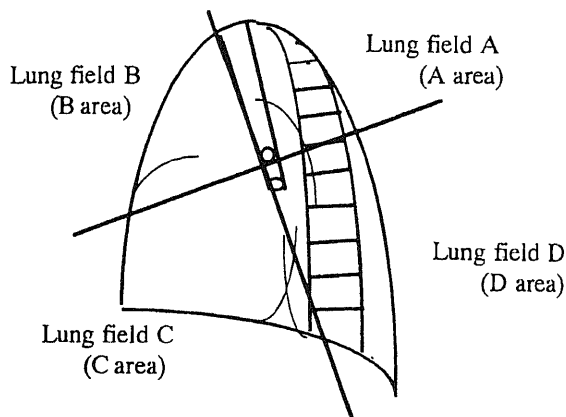


Fig. 2. The lateral lung field divided into four fields. The dividing lines are along the tracheal air column and its crossed line at the carina level. Lung field A (area A) contains pulmonary apex; lung field B (area B), retrosternal area; lung field C (area C), cardiac area; lung field D (area D), retrodiaphragmatic area.

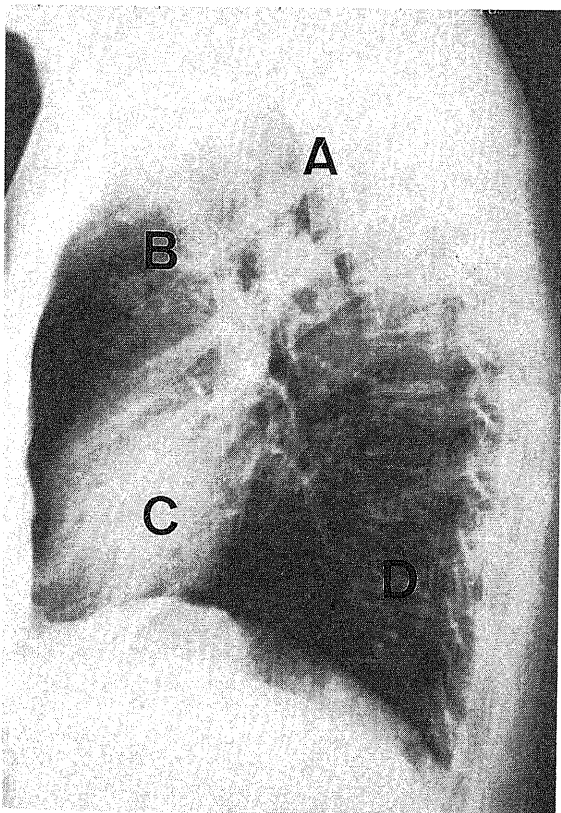


Fig. 3. The location of the simulated pulmonary nodules on FCR lateral chest images. Every nodules are projected in the divided lung fields. A-D, lung field (refer to the legends of Fig. 2)

Coltman の補正式を用いて正弦波レスポンス関数、すなわち変調伝達関数 (modulation transfer factor, MTF) に補正しこれを FCR と CSF とで比較した。矩形波チャートに X 線用 MTF 測定テストチャート M-1WD Type 100 μ mm 厚、タンダステン板 (ミクロメディカル, 川崎) を用いて試料を作成しマイクロデシメーター MTF-5 (コニカメディカル, 東京) で測定した。特性曲線は 80kVp の X 線を用いてタイムスケール法にて作成した。CSF のフィルムと増感紙は SRC-KM250 (コニカ, 東京), FCR は大角サイズ (35.4 \times 35.4cm) のイメージングプレート STIII-N (富士メディカルシステム, 小田原), 専用フィルム CR780Fuji (富士メディカルシステム) を用いた。FCR の画像処理装置は FCR-7000 (富士メディカルシステム) で、画像処理は表 1 に示すごとく、S 字型の特性曲線で 0.5 と軽度の低周波数処理を施した視覚的に CSF に近い画像を左画像とし、特性曲線を直線化した上でその傾き γ を 0.9 とややねかせて強めの 3.0 という低周波数処理をほどこした、正面像でいう縦隔や横隔膜後の肺野領域の画質改善を目的とした画像を右画像とした。表示は専用フィルムにて 2 分の 1 縮小画像、2 画面表示を行った。代表側面像を示す (図 1 a, b, c) が、FCR の MTF 測定はこのうち左画像を用いた。

2) 粒状性

粒状性の指標として、撮影管電圧 50kV を用い、両撮像法とも均一露光で濃度 1.0 となるよう撮影条件を調整し、マイクロデシメーターにてスペクトル密度 (wiener spectrum, WS) 値を求め比較した。これも鮮鋭度と同一のフィルム増感紙、イメージングプレート、画像処理条件を用い、FCR の WS 測定には鮮鋭度の評価と同じく左画像を用いた。

2. 疑似結節を用いた描出能の検討

1) 材料

疑似結節の材質はパラフィンを用いた。素材は脂質であり、そのコンピュータ断層撮影 (computed tomography, CT) 値はマイナスの値をとるが、今回のように体外に張り付けた場合、周囲の空気と疑似結節のコントラストが明瞭で、X 線写真上明瞭な実質影となって描出されるためこの素材を用いた。このパラフィンを加工し 1.5cm の球状の結節を 4 個作成した。胸部側面像には、中等度の体格の男性正常ボランティア 3 名を用いた。疑似結節の張り付けは透視下で行い、その位置は、胸部側

Table 2. Normal structures of the lateral chest radiogram

| |
|---|
| Right ventricular outflow tract |
| Aortic arch |
| Posterior margin of the left ventricle |
| Posterior margin of the inferior vena cava |
| Posterior tracheal stripe |
| Right upper lobe bronchus orifice |
| Left upper lobe bronchus orifice |
| Posterior wall of the bronchus intermedius |
| Lung field A area (containing pulmonary apex) |
| B area (containing retrosternal space) |
| C area (containing cardiac shadow) |
| D area (containing retrocardiac space) |
| Inter lobe fissure |
| Sternum |
| Thoracic vertebral bone |
| Right and left diaphragm |

画像を気管に沿って肋骨横隔膜角に向かって線をひき、気管分岐レベル付近で直交する線をひいて肺野を4分割し(図2), 肺尖を含む領域を領域Aとし、そこに置かれた疑似結節をA結節、同様に胸骨後領域を領域B(B結節)、心陰影に重なる領域を領域C(C結節)、心陰影後方で肺底区末梢の血管と胸椎を含む領域を領域D(D結節)として張り付けた。これは胸部側面像ではこれらの領域は1枚のフィルムの中で撮影条件が大きく異なるためである。張り付ける際には、側面像を撮る体位をとらせ、なるべく再現性が得られるように配慮した。

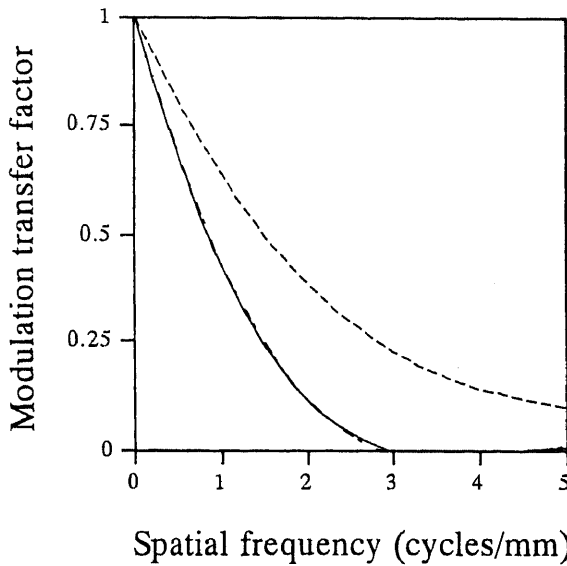


Fig. 4. MTFs of the FCR system with STIII plate and CSF system with SRC-KM250. MTFs of FCR are measured in the vertical direction and parallel direction relative to the laser beam scanning of the printer. —, FCR in the vertical direction; ---, FCR in the parallel direction; ···, CSF

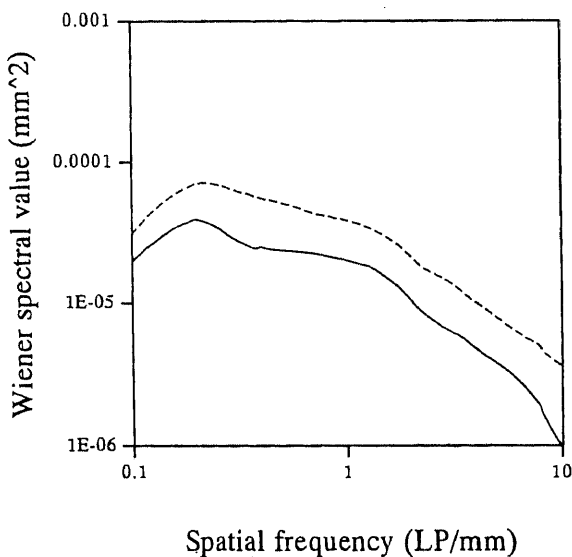


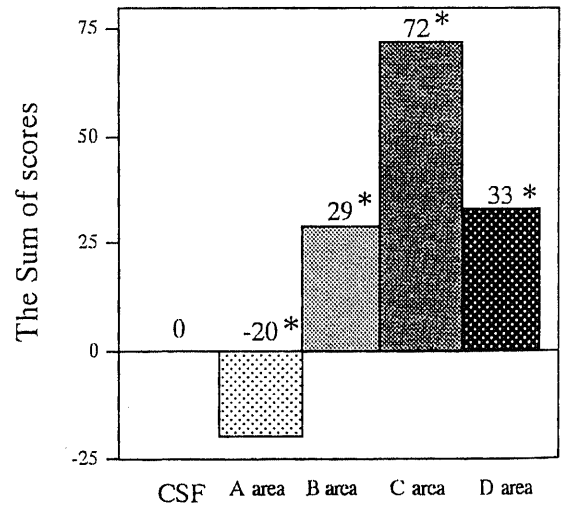
Fig. 5. Wiener spectra of the FCR system with STIII plate and CSF system with SRC-KM250. —, FCR; ···, CSF.

2) 撮影方法

撮影装置は FCR, CSF ともに HD-150B-30 型(島津, 京都)を用い、撮影条件はともに管電圧 120kVp, 管電流 100mA, グリッドは 12:1 (60本/cm)とした。FCR の画像処理装置, 画像処理条件は物理的特性の時と同じ条件を用いた。撮影時間は1名につき3段階に変化させたX線量での撮影を行った。まず適正と思われる条件でCSFを撮影しそのフィルムの濃度適正を確認後、その撮影時間を±0.03~0.05秒変化させる事により、いわゆるアンダー、オーバーのCSFを作成する。これらが撮影に耐えうる範囲内の濃度であることを確認後、各々同じ撮影時間で計3枚のFCR側面像を撮影した。この方法により1名あたり6枚の側面像を撮影し、合計9組18枚のFCRとCSFの側面像の組を作成した。1枚の胸部側面像には4個の疑似結節が存在している事になる(図3)。またFCRの表示は専用フィルムを用い、画像処理は物理的評価で用いた条件による2分の1縮小画像、2画面表示を行った。

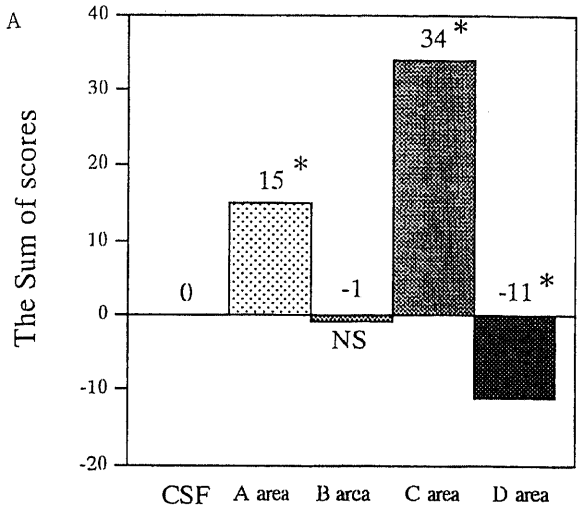
3) 評価方法

同一条件のFCRとCSFを同時比較し、同じ位置の疑似結節に対しその指摘のし易さを5段階で判定させた。結節の位置は随時指摘し、判定者の異所指摘による判定を防いだ。5段階評価の内訳は、FCRが優れる(CSFでは指摘に困難を感じる): +2点, FCRの方が見やすい(CSFでも見えるがFCRの方がよりはっきり指摘可能): +1点, 同じくらい(変わらない): 0点, CSFの方が見やすい(FCRでも見えるがCSFの方がよりはっきり指摘可能): -1点, CSFが優れる(FCRでは指摘に困難を感じる): -2点とした。判定は13名の放射線科医が行った。

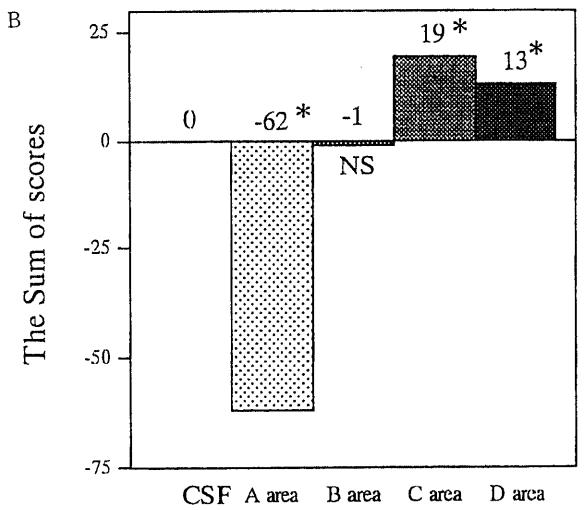


The Location of the simulated nodules

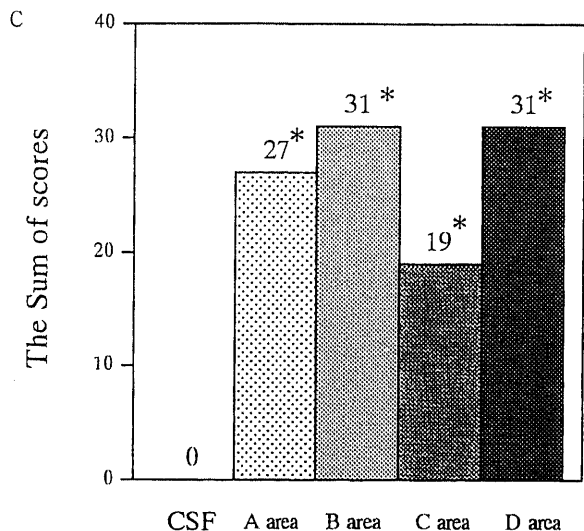
Fig. 6. The total of scores for CSF and FCR images by classifying the location of the simulated pulmonary nodules. Thirteen observers judged the visibility of the four simulated pulmonary nodules on CSF and FCR images. The number of above each histogram denotes the scores. The score of CSF was considered as zero for statistical analysis. The statistical procedure is Wilcoxon test. This statistical procedure was used in Fig. 7. *, P<0.05. □, nodule is in the A area; ▤, in the B area; ▨, in the C area; ■, in the D area.



The Location of the simulated nodules



The Location of the simulated nodules



The Location of the simulated nodules

4) 比較検討法

各結節の平均点を全体、撮影条件別に算出しこれを評価の対象とした。評価の基準はその5段階評価によりCSFを0点とすることが可能で、これによりCSFに対するFCRの描出能を比較した。有意差検定はウィルコクソン法を用いた。

II. 臨床的検討

1. 胸部側面像における正常構造の描出能

1) 対象症例

胸部側面像正常例は、主に悪性腫瘍の肺転移の有無を目的として胸部単純撮影が施行され、正常とされた50例を用いた。正

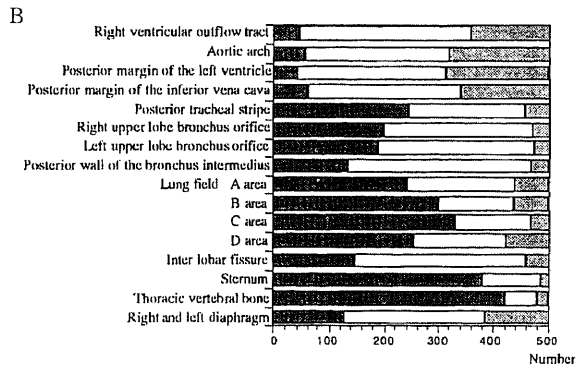
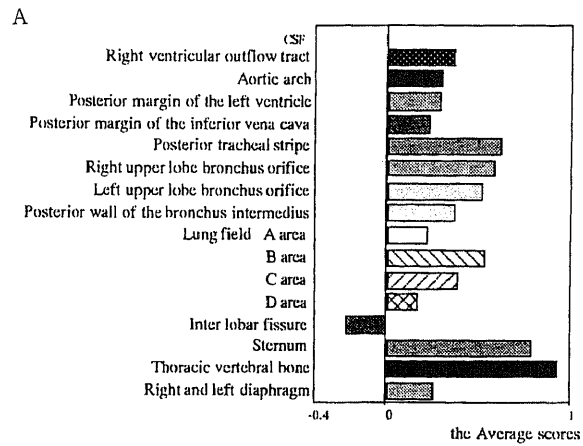


Fig. 8. (A) Average scores of normal structures. The categories of vertical axis are normal structures of chest lateral radiograph. The horizontal axis is the average scores each normal structures. The score of CSF was considered as zero for statistical analysis. The statistical procedure is Wilcoxon test. *, $P < 0.05$; NS, not significant. (B) Comparison of left sided image and right sided one in FCR images for evaluating of normal structures. The categories of vertical axis are same as Fig. 8. (A). The horizontal axis is the numbers of left or right or both images which is regarded as better image in FCR for evaluating of normal structures. ■, right image is better image; □, both image is comparable; ▨, left image is better image.

Fig. 7. The sum of scores for CSF and FCR images by classifying the location of the simulated pulmonary nodules. (A) These nodules projected on the films using under exposure condition. (B) using adequate exposure condition. (C) The legend is same as in Fig. 6. The statistical procedure is Wilcoxon test. *, $P < 0.05$; NS, not significant.

常とする基準は数人の放射線科医により正常と判定し、かつ臨床経過により異常なしと判定したものとした。男性36名、女性14名、年齢22～83歳、平均59.8歳であり、FCR、CSFは同日撮影を行った。

2) 撮影方法

胸部側面像の撮影機種はFCR、CSFともに疑似結節の評価の際に用いた機種を使い、撮影条件はCSF、FCRともに同一の条件で、管電圧130kVp、管電流100mA、フォトタイマーは使用せず、撮影時間0.05～0.13秒、グリッドは12:1(60本/cm)とした。CSFのフィルムと増感紙、FCRのイメージングプレートと専用フィルムは全て疑似結節の際に用いたものを使用し、FCRの表示も2分の1縮小画像、2画面表示で処理条件も同一とした。

3) 評価方法

表2の如く側面写真読影時における主なる正常構造13項目についてFCRとCSFの側面写真を同時に比較し、各項目についての優劣を5段階で主観的に判定した。またFCRでは2画面のうちどちらが見やすかったかまたは同等であったかを、各例、各項目について評価した。肺血管影については疑似結節の

描出能の評価に用いた4区分を別々に評価した。5段階評価の内訳は、FCRが明らかに優れる:2点、FCRの方が見やすい:1点、FCRとCSFは同等:0点、CSFの方が見やすい:-1点、CSFが明らかに優れる:-2点、とした。判定は10名の放射線科医が行った。

4) 比較検討法

各放射線科医の各項目別の平均点を算出しこれを評価の対象とした。評価の基準はその5段階評価によりCSFを0点とすることが可能で、これによりCSFに対するFCRの描出能を比較した。有意差検定はウィルコクソン法を用いた。またFCRの2画面表示についてどちらが見やすいかについては特に統計的手法を用いず、参考程度とした。その理由は普段我々はFCRの読影の際に2画面表示を同時に読影しており、その総合的評価をFCRの評価としているためである。

2. 臨床結節症例を用いた診断能の検討

1) 対象症例

結節陽性症例はX線CTにて結節影の存在が確認された症例、もしくは他の部位の悪性腫瘍を既往歴に持つ症例で経過中、明らかに胸部X線写真上、結節影が出現し、その存在が確

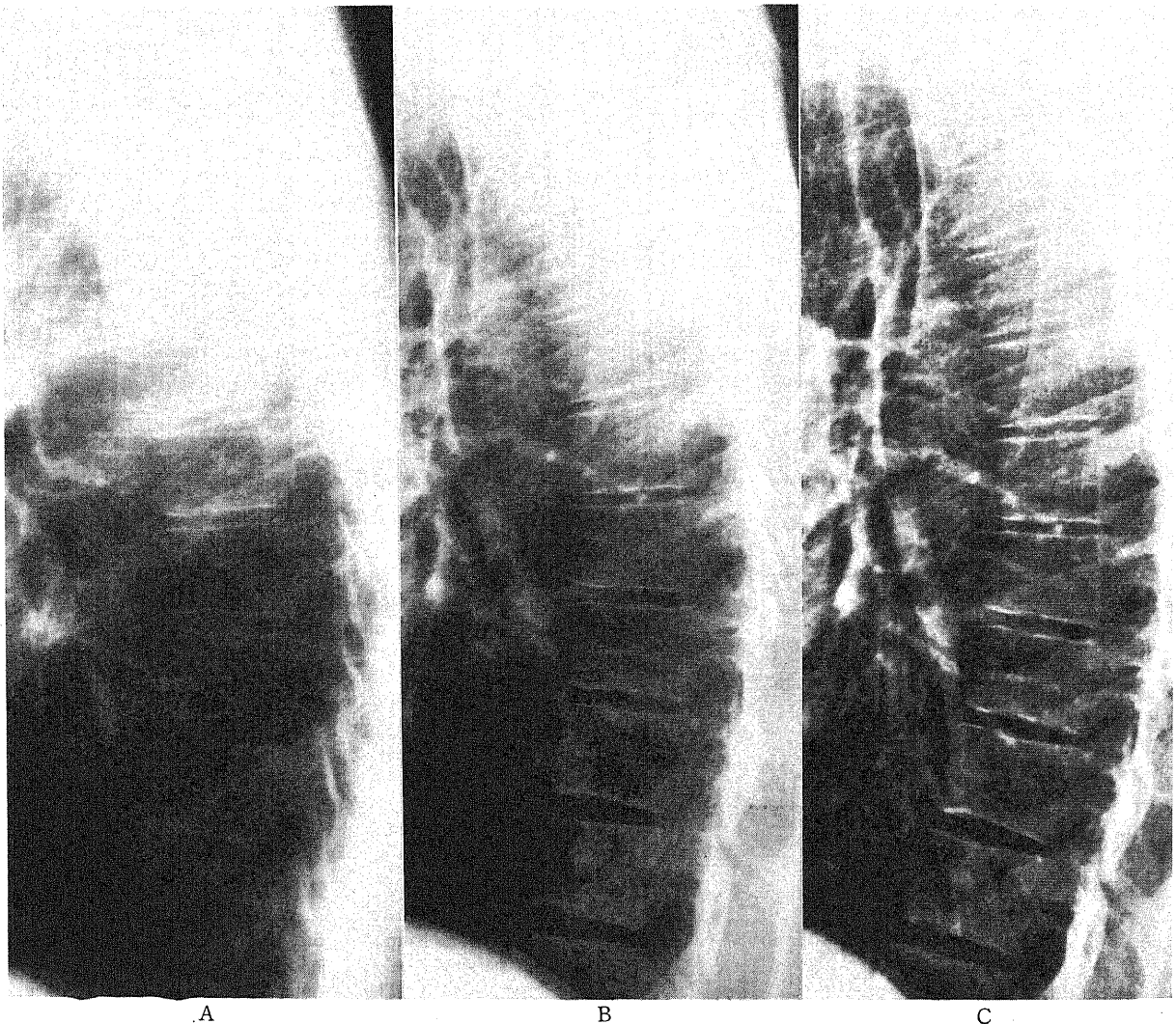
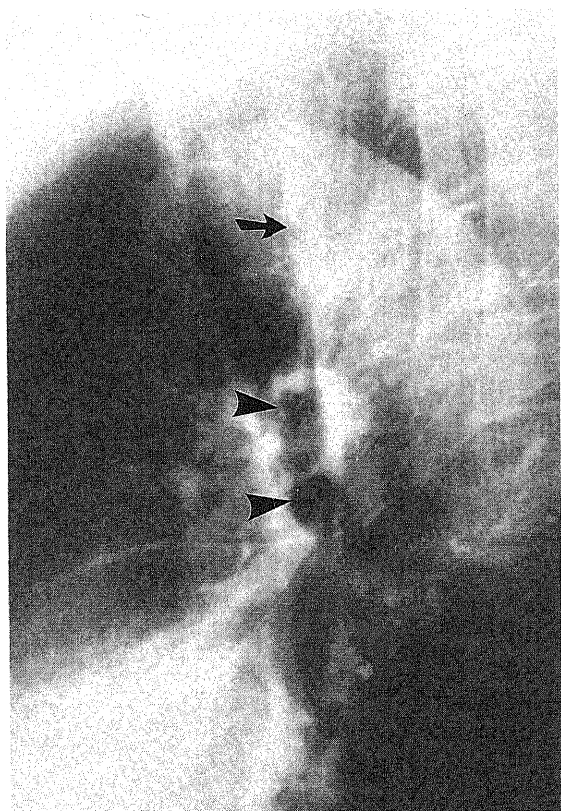
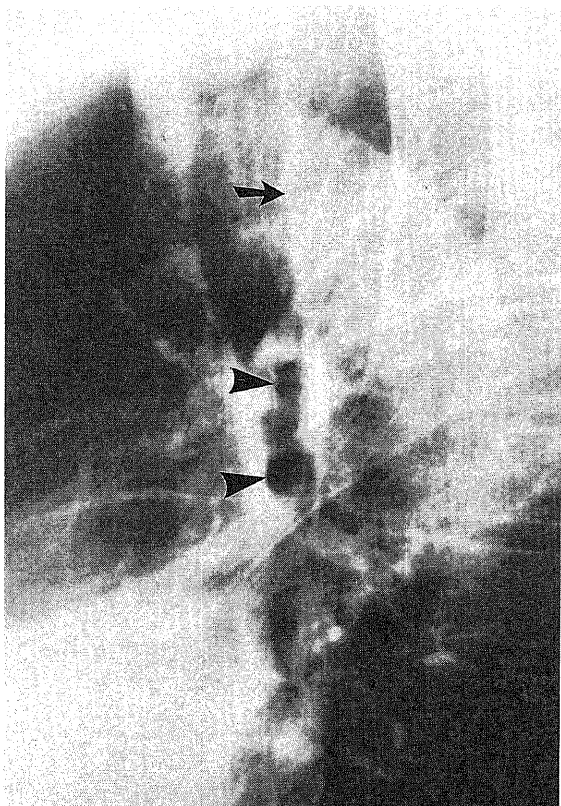


Fig. 9. A case of a 58-years-old-man with normal chest. (A), CSF image; (B), FCR left image; (C), FCR right image. The thoracic vertebra is hardly visible on CSF image exposed by under X-ray. On the contrary, the same structure is easily visible on FCR image, especially on right image.



A



B

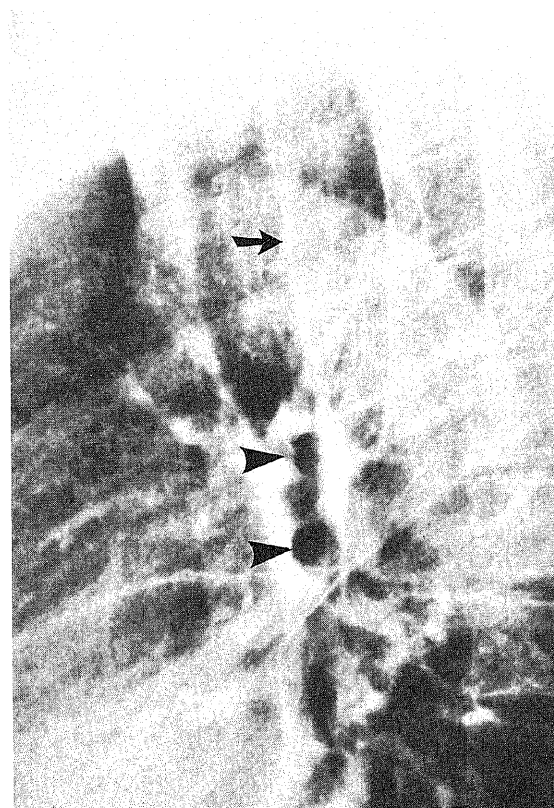
認された症例30例を用いた。男性15名、女性15名、年齢23~79歳、平均60.4歳である。結節陰性症例は正常構造の描出能で用いた50例の内30例を結節陽性例と男女比、年齢分布がほぼ同一となるよう選択した。

2) 撮影方法

結節陽性症例の側面像の撮影は、正常例と同様に CSF が撮影された後、FCR が撮影され撮像条件、画像処理条件は正常構造の検討で用いた条件に統一した。

3) 読影実験の方法

読影方法は医用画像の客観的評価法である受信者動作特性 (receiver operating characteristic, ROC) 解析の方法に従い¹²⁾、胸部側面像を読影し、肺野結節影を異常としてその異常の確信度を5段階評価した。確信度の度合いは、異常は確実に存在しない: 1, 異常は多分存在しないだろう: 2, 分からない: 3, 異常は多分存在するだろう: 4, 異常は確実に存在する: 5 とした。読影に際し胸部正面像の情報は与えず、読影時間に制限は加えなかった。また症例を記憶してしまうのを防ぐため、読影感覚は FCR, CSF で1週間以上あけて、かつフィルムの日付、氏名を隠した。また FCR と CSF で症例の順序を無作為に変えて読影させた。読影は8名の放射線科医が行った。その内訳は専門医4名、レジデント4名である。



C

Fig. 10. A case of a 62-years-old-man with normal chest. (A), CSF image; (B), FCR left image; (C), FCR right image. The posterior stripe of tracheal air column (arrow) and both upper bronchial orifice (arrow head) are easily recognized on FCR images.



A



B

4) 比較評価法
 読影実験で得られたデータの解析には Metz (シカゴ大学) のプログラム, "ROC FIT" を用い, これにより各読影者の FCR, CSF における ROC 曲線下面積 (A_c) を求めた¹²⁾. 8名の平均の ROC 曲線下面積の算出には, 同時に得られる変数 a, b (ROC 曲線を両正規率紙で直線化した場合の y 切片と傾き) を平均化し, これにより求めた. FCR と CSF の診断能の比較は個々の ROC 曲線下面積を比較する事により評価した¹³⁾. 有意差判定は一標本 t 検定を用いた. また全体の診断能の他, 結節の大きさ, 辺縁の性状, 存在部位, CSF の撮影条件の適正, 非適正によって分類した診断能の検討を行った. 適正, 非適正の判定は3名の胸部専門の放射線科医の判断に依った. 結節の存在部位は正常構造で区分した肺野の4区分を用いて検討した. また放射線科医の経験の差による比較も試みた.

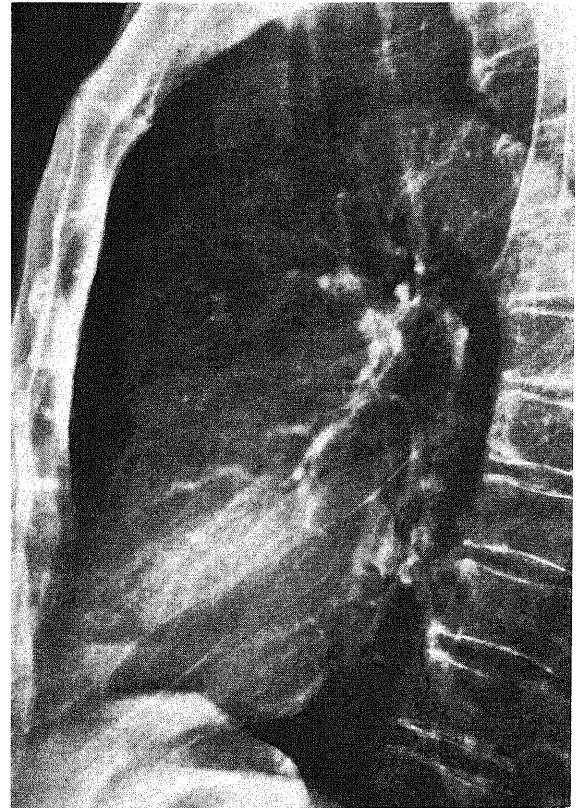
成 績

I. 基礎的検討

1. 物理的特性の評価

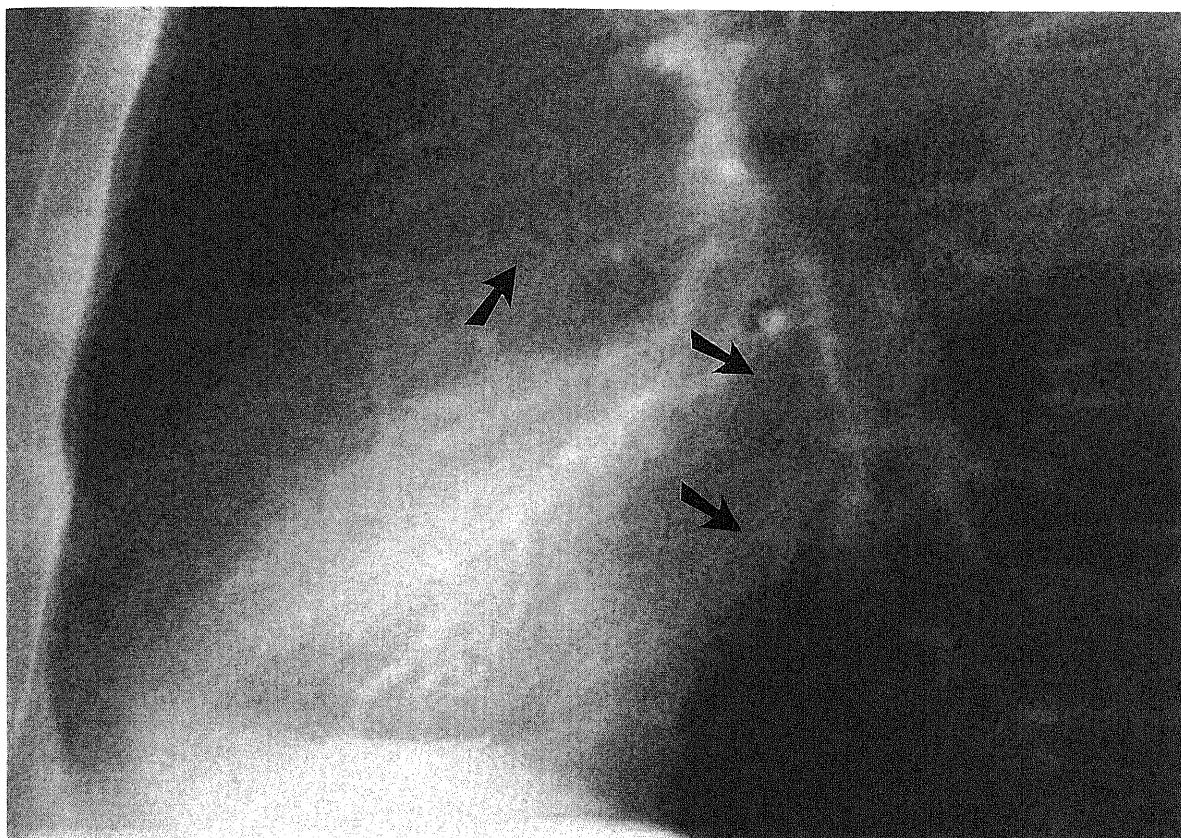
1) 鮮鋭度

図4に FCR と CSF の MTF を示した. CSF の MTF が FCR の MTF に比べ良好であった. FCR では周波数が 3LP (line pair)/mm のところで MTF が 0 となった. CSF では

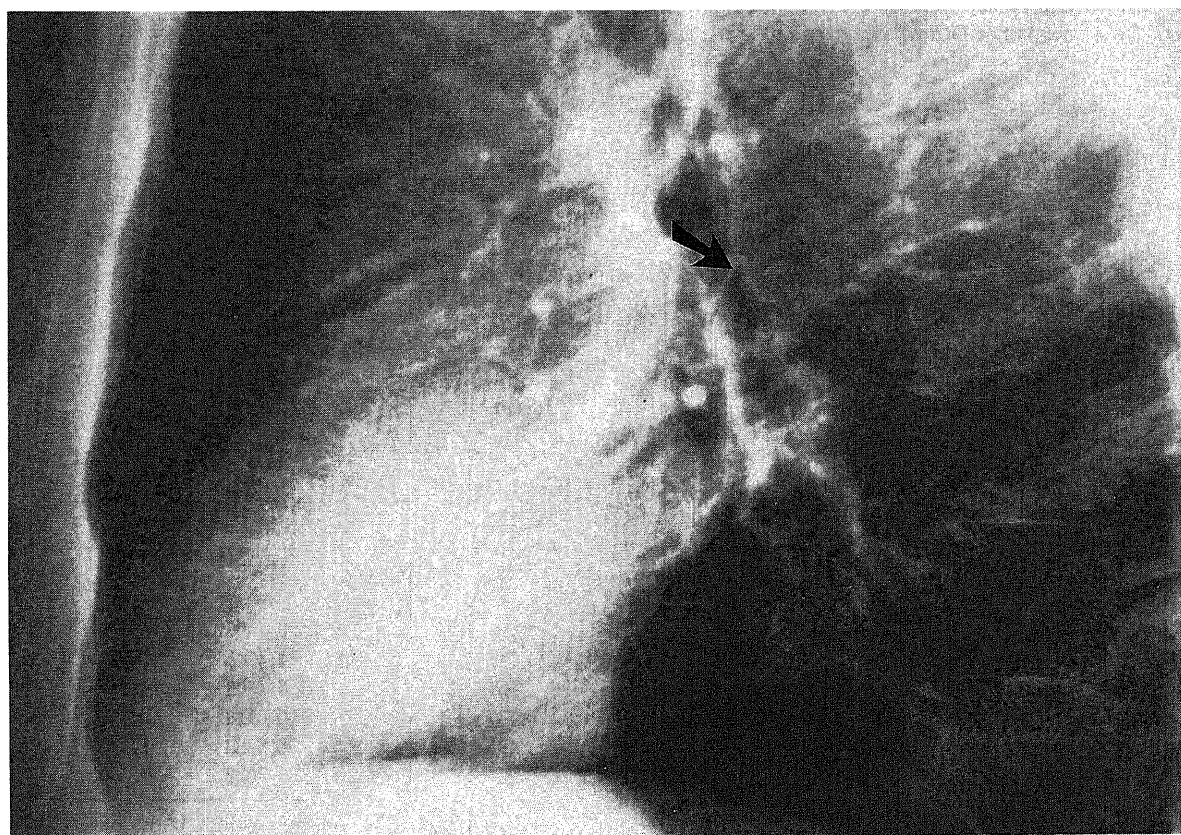


C

Fig. 11. A case of a 66-years-old-man with normal chest. (A), CSF image; (B), FCR left image; (C), FCR right image. The pulmonary vascular shadow of retrosternal area and cardiac area are more visible on FCR right image than that on its left image and CSF image. The more peripheral branches of pulmonary artery and vein are recognized on FCR, especially right image.

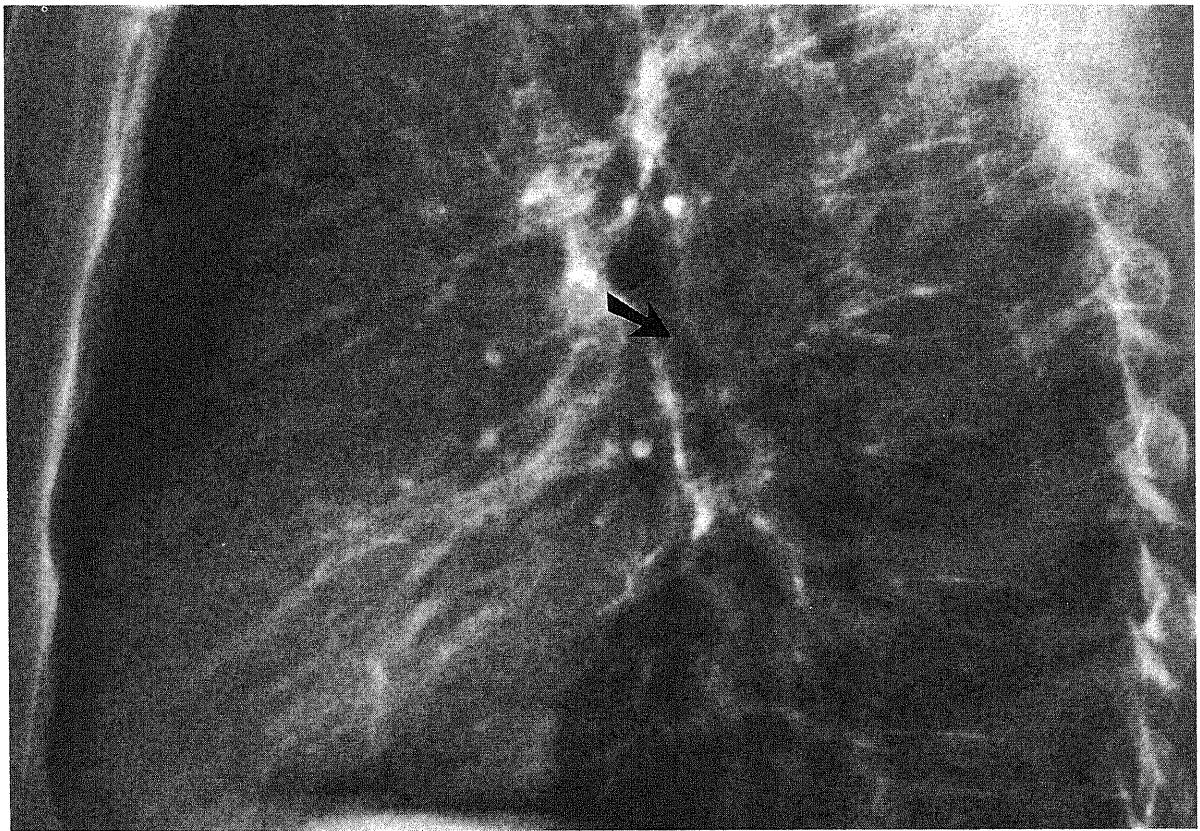


A



B

Fig. 12.



C

Fig. 12. A case of a 49-years-old-man with normal chest. (A), CSF image; (B), FCR left image; (C), FCR right image. The inter lobar fissure is recognized as smooth line on CSF image (arrows). On the contrary, on FCR image, that is recognized as rough line or not visible (arrow).

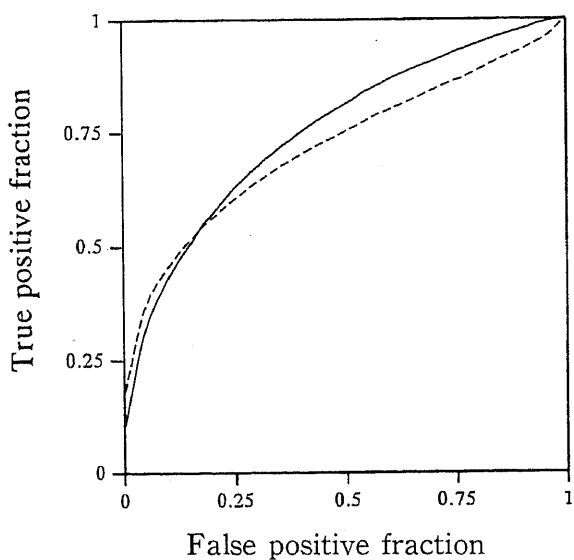
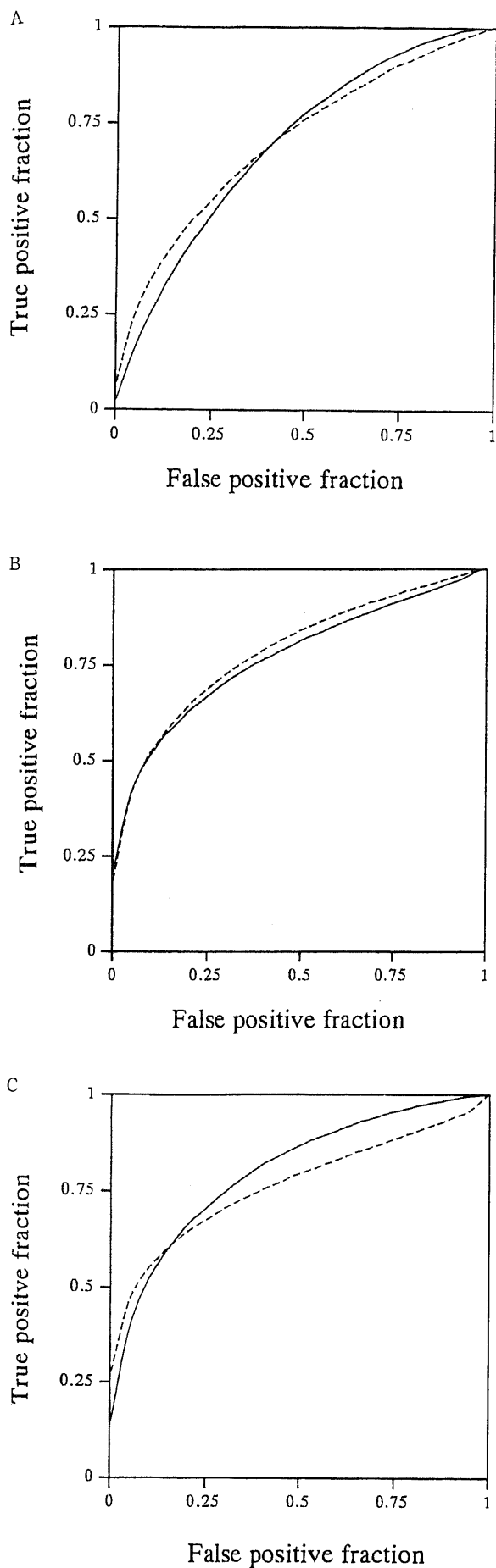


Fig. 13. Average ROC curves for the overall detectability of pulmonary nodules on FCR and CSF system. —, FCR; ----, CSF. The statistical procedure is one sample t test. These areas under the two curves are not significant.

Table 3. Areas under ROC curves of eight observers on CSF and FCR images

| Observer | CSF | FCR |
|----------|--------|--------|
| A | 0.7053 | 0.7961 |
| B | 0.9091 | 0.8575 |
| C | 0.7405 | 0.7611 |
| D | 0.4745 | 0.7602 |
| E | 0.7403 | 0.6336 |
| F | 0.6718 | 0.7220 |
| G | 0.5669 | 0.7226 |
| H | 0.7022 | 0.6982 |

Areas under ROC curves of eight (A-H) observers for the detectability of pulmonary nodules on CSF and FCR images. A-D observers are experienced of Radiology and E-H observers are resident.



5LP/mm でも MTF は 0 とならなかった。

2) 粒状性

図 5 に FCR と CSF の WS を示した。FCR の WS 値は CSF の WS 値に比べ常に低く、FCR の方が粒状性が良好であることが示された。

2. 疑似結節を用いた描出能の検討

3つの撮影条件全体の比較では肺野領域 A の領域の結節影 (A 結節) のスコアは有意に低く、他の領域の結節影のスコアは

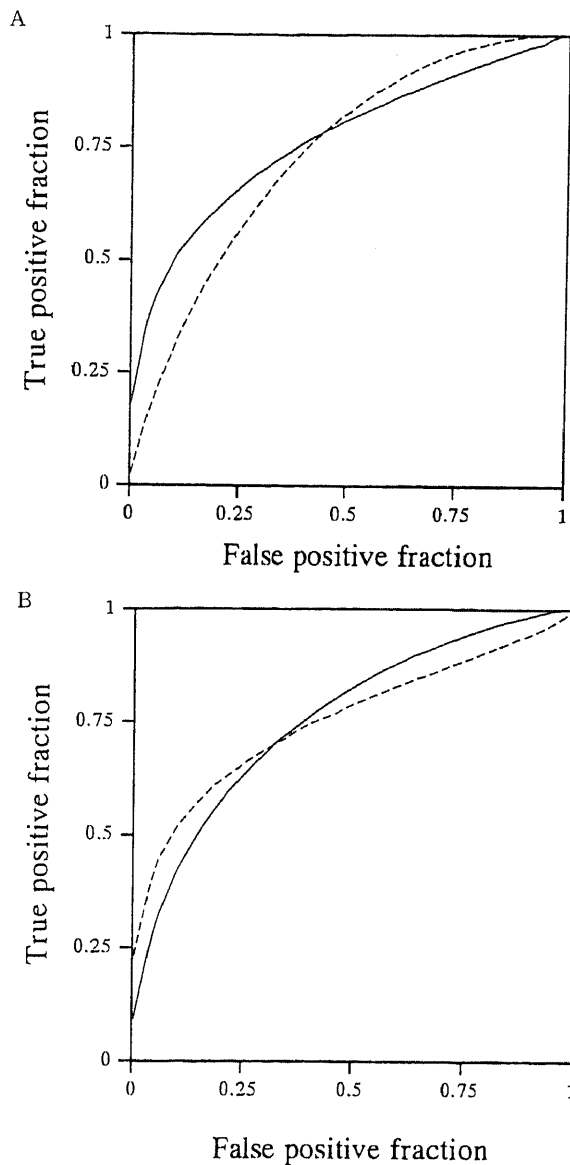


Fig. 15. Average ROC curves for the detectability of pulmonary nodules on FCR and CSF system by classifying the margin of nodules. (A) is the detectability of nodules with clear margin. (B) is with unclear margin. The legends are same as in Fig. 13. Statistically, these areas under the two curves are not significant.

Fig. 14. Average ROC curves for the detectability of pulmonary nodules on FCR and CSF system by classifying the diameters. The diameters are (A), 1.5 cm or less; (B), between 1.5 cm and 2 cm; (C), 2 cm or more. The legends are same as in Fig. 13. Statistically, these areas under the two curves are not significant.

有意に高かった (図 6). 条件別では CSF がアンダーとなる線量で撮影された場合 (図 7 a), A 結節と C 結節のスコアは有意に高く, D 結節は有意にスコアが低かった. B 結節には有意差はなかった. CSF が適正となる線量の場合 (図 7 b), A 結節のスコアは有意に低く C 結節, D 結節は有意にスコアが高かった. これも B 結節には有意差はなかった. また線量が多い場合 (図 7 c), 全ての結節でスコアが高かった.

II. 臨床的検討

1. 正常構造の描出能の検討

各項目のスコアの平均を図 8 a に示した. 殆どの項目において FCR のスコアが高かった. 特に骨性陰影のスコアが高く (図 9 a, b, c), 次いで気管後帯, 右上葉枝口, 左上葉枝口のスコア

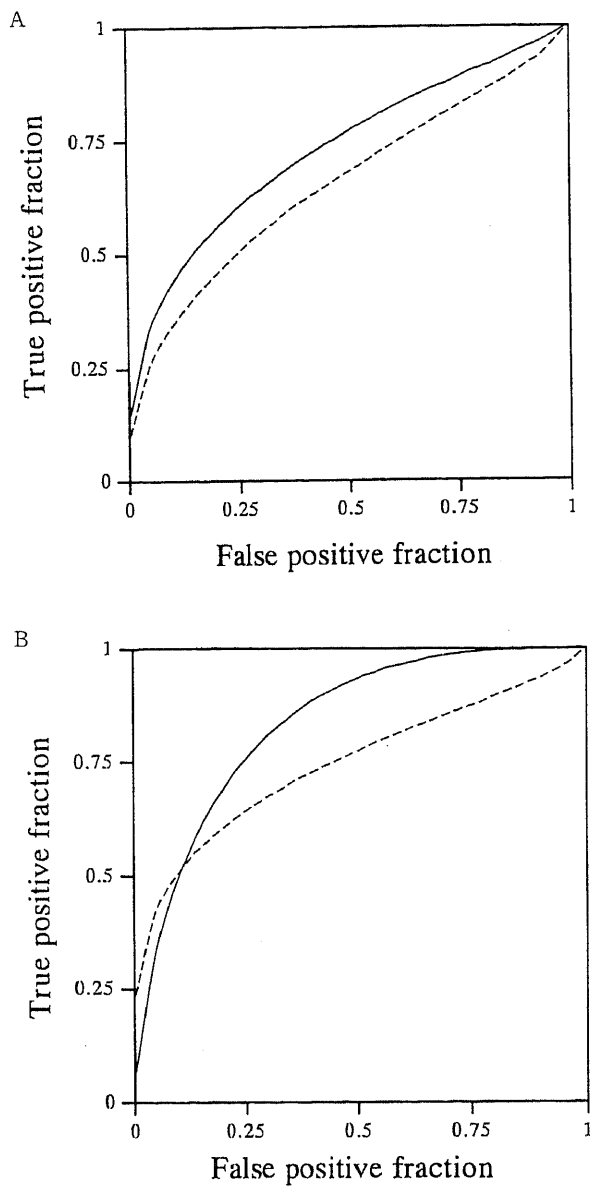
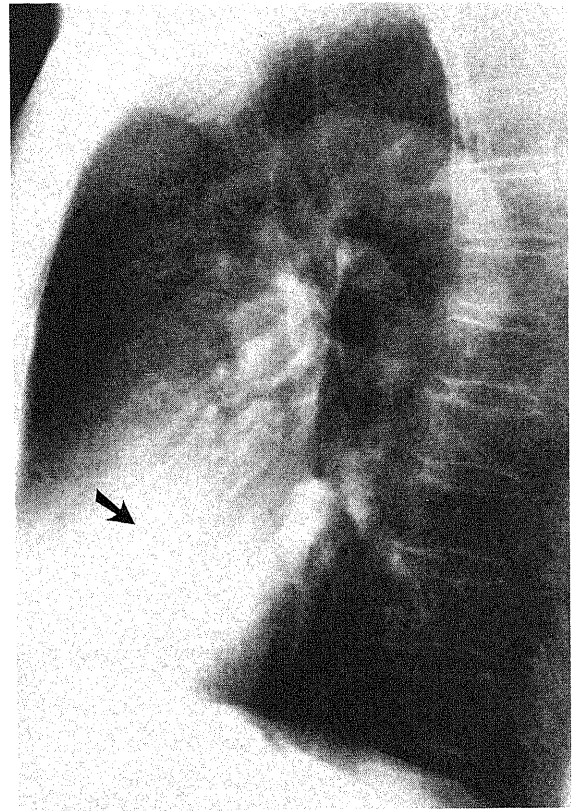
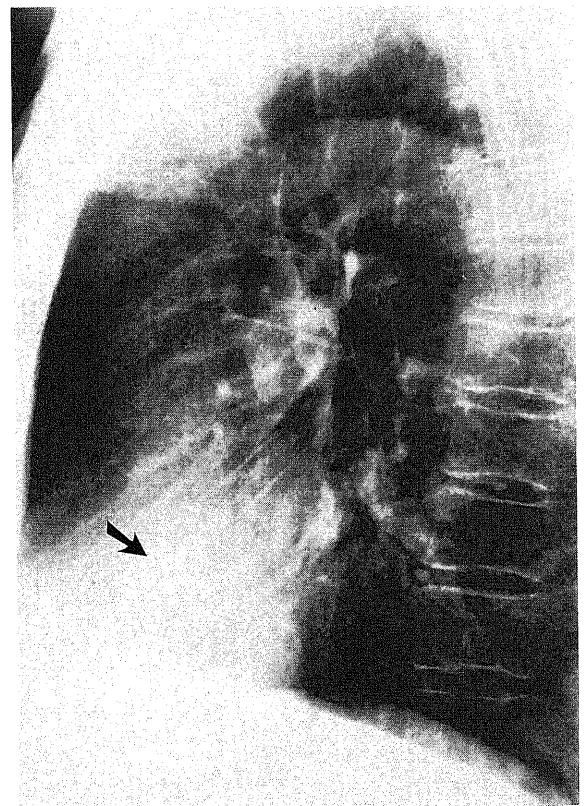


Fig.16. Average ROC curves for the detectability of pulmonary nodules on FCR and CSF system by classifying the exposure condition. (A), projected using appropriate exposure condition; (B), inappropriate exposure condition. The legends are same as in Fig.13. A, these areas under the two curves are not significant. B, Statistically significant ($P < 0.05$).

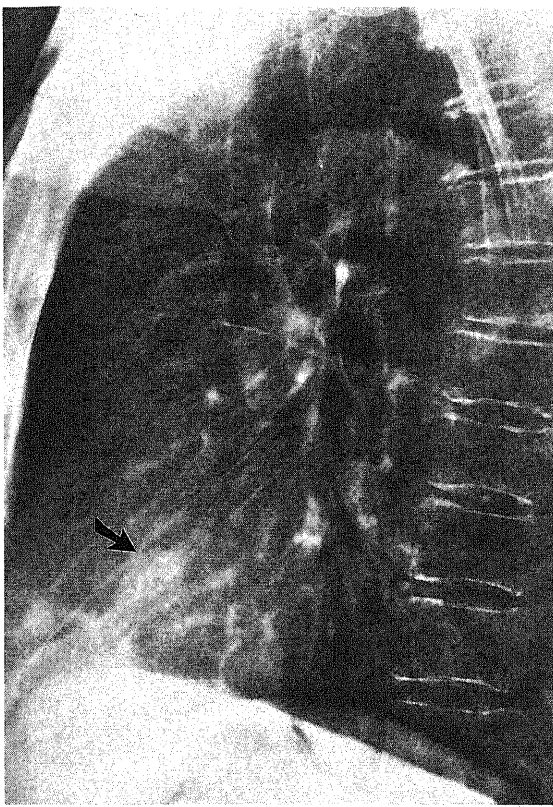


A



B

Fig. 17.



C

Fig. 17. A case of a 67-years-old-woman with primary pulmonary plasmacytoma in the ligula. (A), CSF image; (B), FCR left image; (C), FCR right image. The nodule is projected in the C area (arrow). The shadow is difficult to recognize on CSF image. On the contrary, it is easily visible on FCR image especially on the right image.

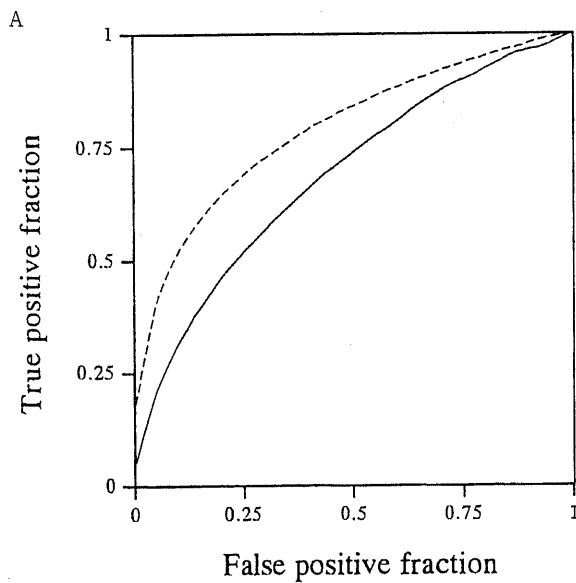
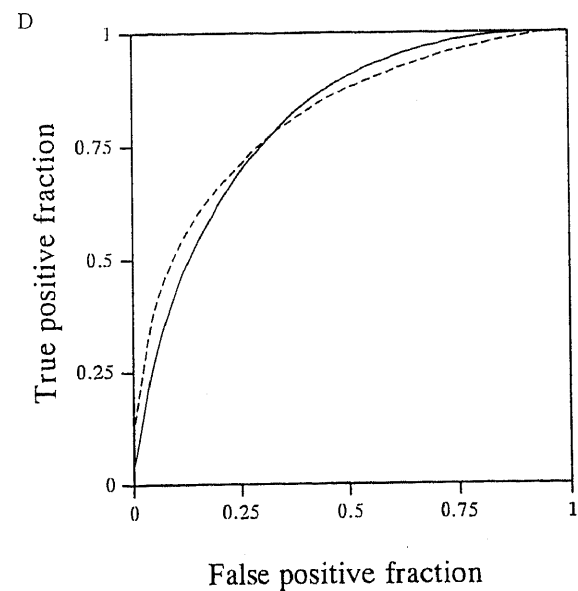
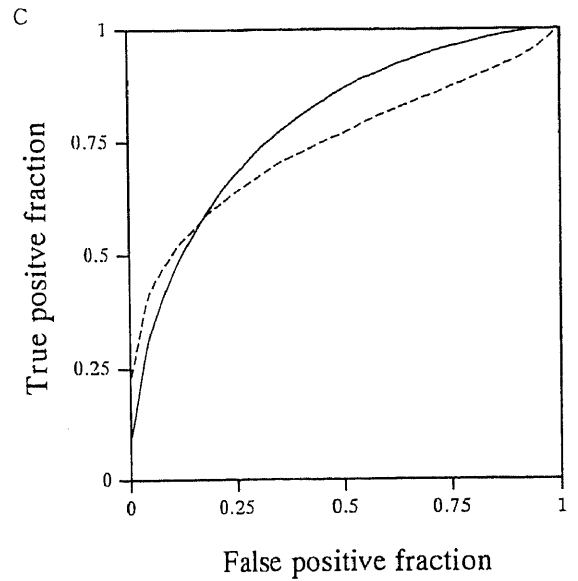
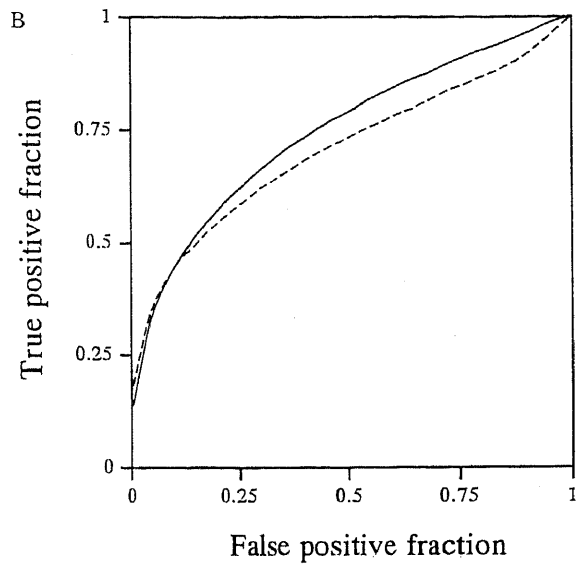
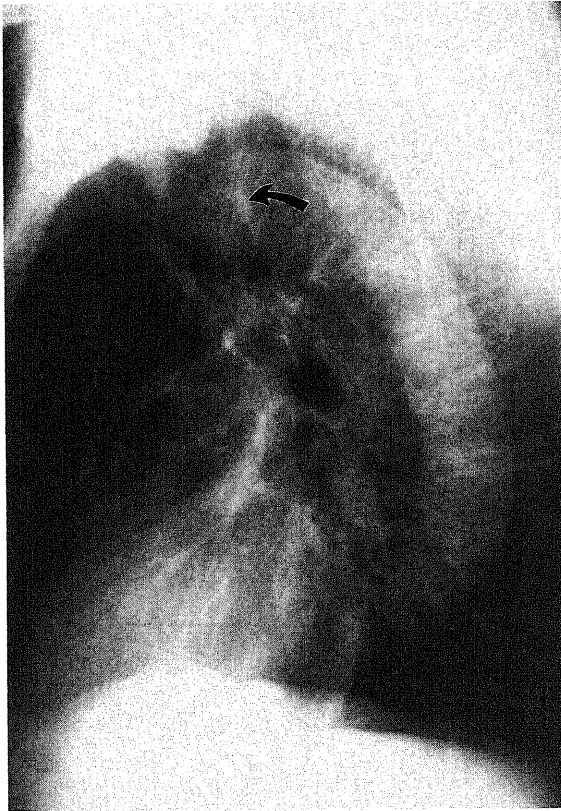
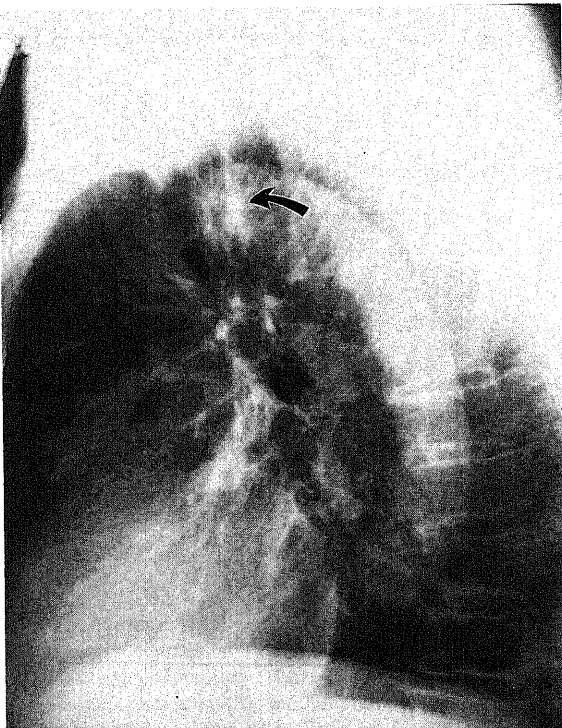


Fig. 18. Average ROC curves for the detectability of pulmonary nodules on FCR and CSF system by classifying the location of nodules. (A), located in the A area; (B), in the B area; (C), in the C area (D), in the D area. The legends are same as in Fig. 13. B, these areas under the two curves are statistically significant ($P < 0.05$). A, C, D, not significant.



A

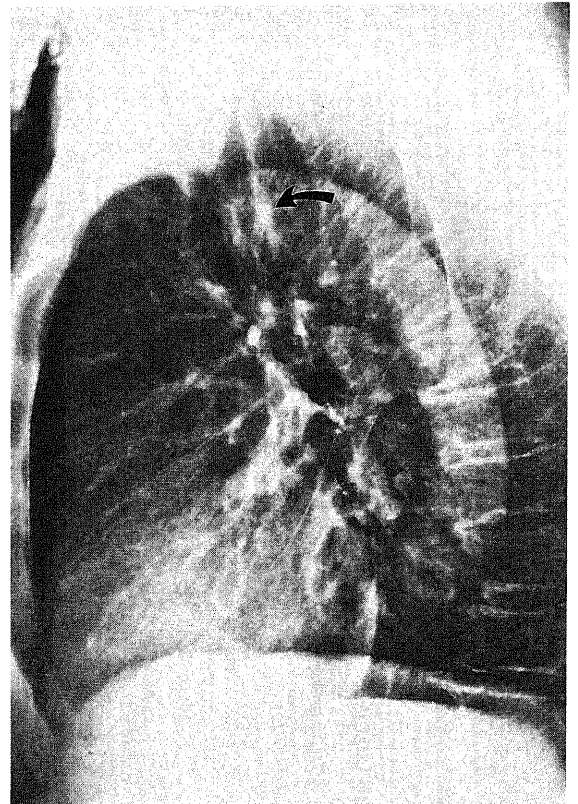


B

が高かった(図10a, b, c). 肺血管影ではBとCの領域のスコアが高かった(図11a, b, c). また葉間裂のみ FCR のスコアが有意に低かった(図12a, b, c). 下大静脈後縁, 肺血管影のAとD領域では統計的には差はなかった. さらに FCR では2画面のうちどちらが見やすかったかまたは同等であったかを各例, 各項目について答えさせたが, 図8bに示す如く, 殆どの項目は右画像もしくは同等とした回答が多かった. しかし, 右室流出路, 大動脈弓, 左心室後縁, 下大静脈後縁においては, むしろ左画像が見やすいとした回答が右画像と回答した数より多かった.

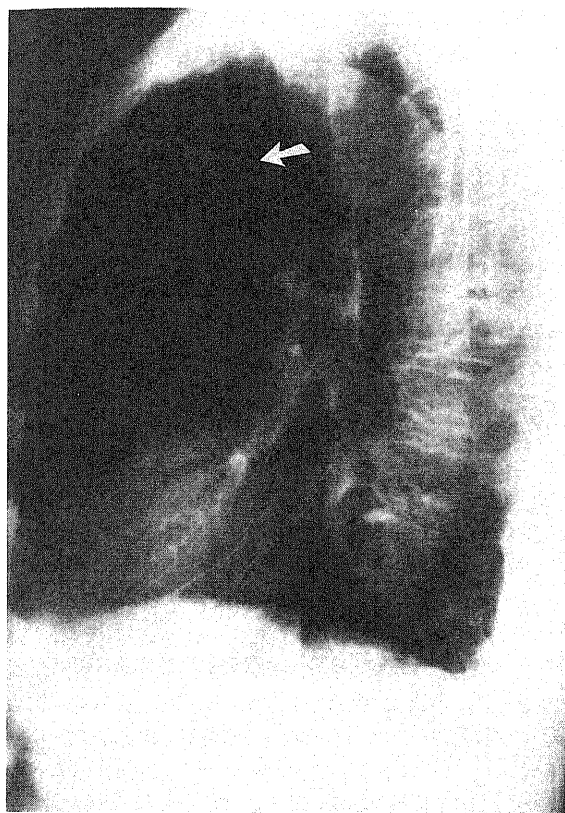
2. 臨床結節例を用いた診断能の検討

結節全体の結果を図13, 表3に示した. 全体の診断能は FCR と CSF とで差がなかった (FCR $A_z=0.7439$, CSF $A_z=0.6889$). 結節のサイズによる分類では, 図14a, b, cの如く同じ腫瘍径で FCR と CSF を比較してみた場合, いずれの腫瘍径でも差はなかった. 辺縁の性状を明瞭なものと不明瞭なものとで分類したが(図15a, b), 差は見られなかった. CSF の撮影条件別の分類において CSF 側面像が非適正とされた症例群において FCR の診断能が有意に優れていた (FCR $A_z=0.8072$, CSF $A_z=0.6986$, $P<0.05$) (図16a, b). その代表的な例を図17a, b, cに示した. また腫瘍の存在部位を疑似結節の描出能で用

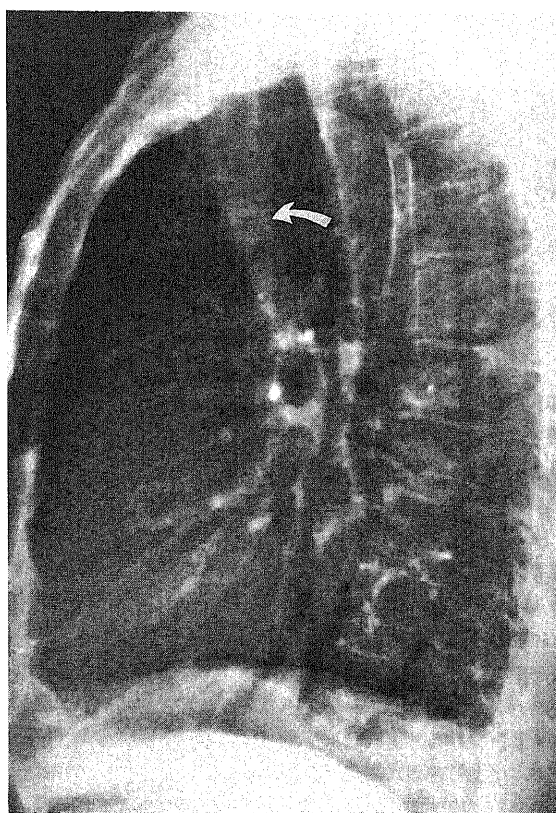


C

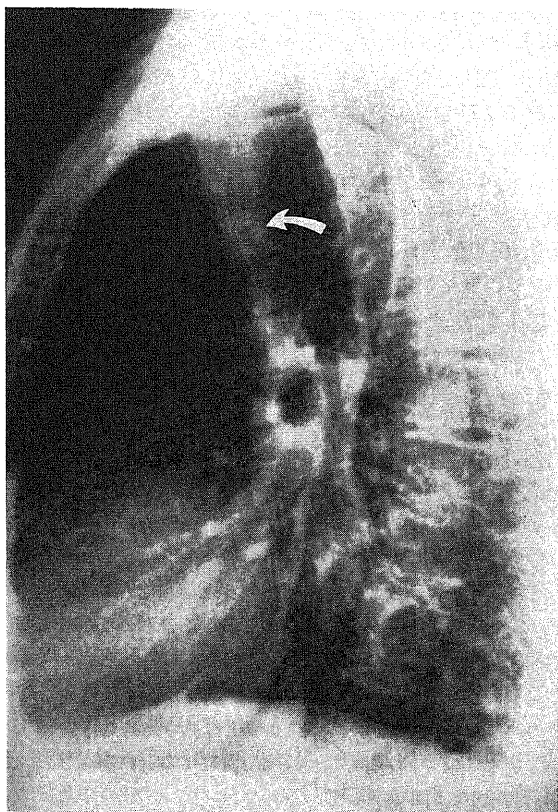
Fig. 19. A case of a 80-years-old-man with primary adenocarcinoma in the right upper lobe. (A), CSF image; (B), FCR left image; (C), FCR right image. The nodule is projected in the A area (curved arrow). The marginal findings of the shadow is unclear. The shadow is clearly recognized on CSF. On the contrary, it is difficult to recognize the shadow on FCR, especially on the right image.



A



C



B

Fig. 20. A case of a 78-years-old-man with small cell carcinoma in the right upper lobe. (A), CSF image; (B), FCR left image; (C), FCR right image. The nodule is projected in the B area. The shadow is very difficult to recognize on CSF image. On the contrary, it is easily visible on FCR, especially on right image, because of improving the visibility of retrosternal area.

いた肺野の区分別にみた場合 (図18 a, b, c, d), 肺野領域 A の領域に存在する結節影の診断能は FCR と CSF で差はなかったが FCR の方がやや低い傾向にあった。その代表例を図19 a, b, c に示した。肺野領域 B では FCR は有意に診断能が優れていた (FCR $A_1=0.7176$, CSF $A_1=0.6407$, $P<0.05$)。その代表例を図20 a, b, c に示す。肺野領域 C と D では差はなかった。また放射線科医の経験年数別にみると FCR で専門医の方がレジデントに比べ診断能が高かったが、CSF では専門医の方が高い傾向にあるものの統計学的な差はなかった (表3)。またいずれの群においても FCR と CSF には差はなかった。

考 察

胸部X線写真は肺という単純X線画像として非常にコントラストの高い組織がターゲットである。このため、古くから胸部領域にはアナログ画像の CSF が用いられており、胸部画像診断の出発点として重要である。胸部側面像は正面像に関する研究が盛んに行われてきた一方で、左右の肺が重なって描出される、胸廓内の解剖学的構造により1枚の画像で非常に条件の異なる肺野が存在するなど臨床的評価や撮影技術が難しく、正面像ほど研究は進んでいない。しかし、解剖学的な諸構造の検討は Heitzman や Proto らの死体解剖所見や血管造影所見、食道

造影所見などの詳細な対比によって飛躍的に発展した¹²⁽¹⁴⁾。またX線CTの登場により、これを使用した胸部側面像の諸構造の解析も行われ¹⁵⁾、正常像の解析はほぼ一応の結論を得ている。胸部側面像の臨床的意義については、撮像目的としては正面像で指摘できない所見の指摘、正面像でその存在が疑われる所見の確定、正面像で捕えられた所見の3次元的把握に要約できるが、Sagelらの10,597例の胸部X線写真正側撮影に基づいた報告によると³⁾、胸部側面像でのみ認識できる異常所見は1~3%しかない。正面像の立体的把握に関しても同様でX線-CTの普及した現在では側面像の果たす役割はより精密な診断の場面では胸部断層とともに制限されていく方向にある¹⁶⁾。しかし、検診や病院の受診者すべてを対象とした場合、X線CTをいきなり全例に施行するわけには行かない。したがって側面写真はその簡便さと正面像で指摘しがたい所見が描出できる以上、その存在価値はあるものと思われる。

FCRは我が国で開発されたデジタルラジオグラフィの一種で従来のアナログ法のフィルムと増感紙の代わりにセンサーとして輝光蛍光体イメージングプレートを使用している⁵⁽⁹⁾。これに蓄積されたX線エネルギーはその蛍光作用を利用して光電子倍增管で電気信号に換えさらにデジタル信号に変換し画像処理が行われ、画像化される。その利点としては、1) フィルムスクリーン系より優れたセンサーが使用できる、2) 情報がデジタルであるため診断目的に適した画像処理、表示が可能である、3) 画像情報をデジタルで半永久的に保管可能である、などが挙げられる。FCRは従来の撮影装置で撮像可能な簡便さと比較的良好な解像力、センサーの機能としてのイメージングプレートの高い性能で一般撮影に置いて従来のアナログ画像であるフィルム増感紙系に代わりうるものとして将来性が期待され¹⁷⁽⁸⁾、臨床的な検討もこれまでに数多くなされてきたが⁷⁽¹¹⁾、胸部領域では正面像における検討が主体であり胸部側面像におけるFCRの意義ははまだ論じられていない。正面像のFCR化なくしてFCR側面像は語れないが、胸部X線写真は将来的にはPACSを基本としたデジタル画像化の方向に進んでいくと考えられ、胸部正側2方向撮影が臨床的にその価値が認められている以上、FCRでの側面像の臨床的意義を明らかにする事は重要と考えられる。

本研究における基礎的検討において、物理特性では鮮鋭度はFCRがCSFにくらべ明らかに劣っていた。これは従来より報告されている事であり¹⁸⁾、視覚的にも一致している。これはFCRのイメージングプレート上に記録されているアナログデータを読取装置により電気信号に記録する際の読みとりピッチ、ピクセルサイズが今回用いたイメージングプレートのサイズでは0.2mmであることに起因すると考えられる。粒状性はFCRの方がCSFに比べ良好な結果となった。これは臨床的にはFCRは視覚的な粒状性が多い画像として認識されている事に反するような結果であるが、これはFCRのWS値の測定は2分の1縮小画像上で行われており、この縮小効果により物理的な粒状性は低い値をとり¹⁹⁾、視覚的にはノイズと被写体との関係は変化がないことも一因であると考えた。さらに現段階のFCRではピクセルサイズは0.2mmから0.15mmであるが、そのサイズが大きいほど粒状性は良好な値をとる事が証明されており、この原因としてピクセルサイズが大きいほどMTFが低い値となるため、つまり解像度が劣るためとされている²⁰⁾。このことから空間分解能がCSFに劣るFCRは、粒状性の主因た

るX線の量子モトルを同一条件下ではCSF程に表現できずピクセル内で平均化されるため、物理的には縮小画像の効果も加わって粒状性が良くなり、臨床的にはいわゆる粒子の粗い画像、視覚的には粒状性の悪い画像になるのではないかと考えた。

基礎的検討における疑似結節を用いた描出能の評価目的は、胸部側面像では肺野領域によって撮影条件が大幅に異なっており、その影響が結節の描出能に関与するかどうかを検証し考察する事である。正常ボランティアを用いて行ったのは、正常人を用いた場合の再現性という問題はあるが、胸部ファントムを用いた側面像では上腕がなく肺尖部に重なる軟部陰影の厚みを再現できない、肺血管が末梢まで存在せず障害陰影が少ないという欠点を解消できる点で側面像の基礎的検討として意義深いと考えたからである。また用いたパラフィン結節は1.5cmの球状の結節で、X線像は辺縁明瞭な均一な濃度となるが、この結節影を代表として選んだのはもともと胸部側面像は胸廓が厚く重なりが多いため、淡い辺縁不明瞭な結節は描出されにくく、評価の上で困難を伴うと考えたからである。結果は3種類すべての撮影条件を総合した比較で肺野領域A(A結節)の結節影のFCRのスコアは有意に低く、他の領域の結節影のスコアは有意に高かった。撮影条件別にみると、線量不足で撮影されたFCRとCSFを比較すると、A結節とC結節のスコアは有意に高かった。これらの結節は述べてきたように、いわゆるアンダーになりやすい領域に存在しCSFではその濃度差が描出されにくいのに対し、FCRでは濃度補正により適正な濃度となっているためと考えた。D結節は有意にスコアが低かった。この事はこの領域はFCRではバックグラウンドとして存在する胸椎の強調と下肺動静脈の微妙な濃度差の重なりが多く、線量不足に起因する粒状性の劣化が問題となるためと考えられた。CSFが適正となる線量の場合、A結節のスコアは有意に低かった。これはCSFが適正な濃度で撮影されているためにCSFとFCRの視覚的な粒状性の差が現れていると考えた。C結節、D結節はスコアが高かったがその差はあまりなかった。B結節にも有意差はなかった。また線量が多い場合、A結節を含め全ての結節でスコアが高かった。これはFCRの濃度補正と粒状性の改善が関与していると考えた。これらから、疑似結節を用いた描出能では、FCRは肺尖部の描出能に問題があると考えた。その原因はCSFとFCRの視覚的な粒状性の差によると考えられた。またFCRでは線量不足という条件下ではイメージングプレートの特性である広いラチチュードに起因する撮影条件の寛容性が有効ではあるが、粒状性の劣化が起こり、異常の指摘に問題が生じる可能性があることが示唆された。

臨床的検討において、胸部側面像の正常構造の描出能は、殆どの項目においてFCRのスコアが高かった。これはこれらの構造物やラインがある程度の幅を持った線すなわち「ストライプ」で描出されていることや、ある異なる濃度の面と面が接する事、すなわち「エッジ」により構成されているため、FCRがCSFに比べ劣る空間分解能がさほど問題とはなり得ず、むしろFCRがCSFより優れる濃度補正の点や画像処理の効果が有効であったためと考えた。詳細に検討すると、気管後帯、右上葉枝口、左上葉枝口ではFCRのスコアが高かった。またFCRでは右画像もしくは同等が見やすいとした回答が多かった。その原因としてFCRでは階調処理による濃度補正と周波

数処理において低周波数領域を強調する事によるエッジ強調効果のためと考えた。右室流出路は FCR のスコアが高かったがその差は少なかった。これはもともと右室流出路は胸部側面像において描出頻度が他の構造物に比べ低く、FCR と CSF の差がないとされた事に起因すると思われた。逆に大動脈弓や右心室後縁、下大静脈後縁、中間気管支幹後縁、横隔膜などは FCR が見やすいとしながらその差がわずか、もしくは FCR と CSF には差がないとされた。原因としては、これらが胸部側面像においてはほぼ恒常的に見られる構造物であるためと考えた。また右室流出路、大動脈弓、左心室後縁、下大静脈後縁においては左画像が見やすいとした回答が多かったが、これら構造物はある濃度を持った面と面、すなわち「エッジ」でラインが構成され、また左画像では特性曲線の傾きが右画像より大きく、面と面の濃度差が右画像に比べ明瞭に現れるためと考えた。骨性陰影は FCR のスコアが高かった。FCR では右画像が見やすいとした回答が多かった。これは縦隔の軟部組織内に存在する胸椎や胸骨の皮質は、他の軟部組織に比べ X 線吸収値が極めて高く、かつ構成するラインはある程度幅を持った線、「ストライプ」であるために FCR では周波数処理におけるエッジ強調効果が有効であったと考えた。それと同時に、胸椎における横隔膜下領域や上肺野の肩の軟部陰影が存在する比較的 X 線吸収の多い領域での、右画像における階調処理の効果があると思われた。すなわち CSF では X 線吸収が多く、その他の軟部陰影との差がつかなくなる傾向があるのに対し、FCR 特に右画像では階調処理により特性曲線の傾きを小さくする事で、X 線吸収の多い領域で濃度分解能が高くなることが有効と考えた²⁰。さらに CSF 側面像では、胸廓の厚みにより撮影条件が難しく、いわゆるアンダーな写真やオーバーな写真になりやすいが、FCR ではこれをイメージング・プレートのもの特性、すなわち 4 桁にわたって直線的な特性をもつ広いラチチュードと、それを利用した画像読取の段階での適正濃度へ補正する機構により、CSF の側面像に比べ写真の濃度が常に適正となる事も大きな要因と思われた。

肺血管影では胸骨後領域を含む領域 B と、心陰影に重なる領域 C で FCR のスコアが高かった。これも FCR では右画像が見やすいとした回答が多かった。この原因として、この 2 つの領域の肺血管影は、X 線の透過する軟部組織の厚みが大幅に異なり、一方ではオーバー、一方ではアンダーになりやすく、この濃度補正の点で FCR は撮影条件に寛容であり、CSF より優れているためと思われた。さらに左画像に比べ画像処理を施した右画像では、肺血管の分枝がより末梢まで良好に描出されることから、階調処理と周波数処理による濃度分解能の向上やエッジ強調によりオーバー領域、アンダー領域での肺血管影がより見やすくなるものと思われた。胸椎に重なる領域 A、領域 D においては FCR と CSF とでは差がなかった。ここでも他の肺血管領域と同様、右画像が見やすいとした回答が多かった。これは他の肺血管領域と同様な画像処理をうけてはいるが、その背景として存在する胸椎の描出能の強調が顕著である事により、肺血管影が相対的に目立たなくなる影響があるためと考えられた。葉間裂については FCR は CSF に比べ唯一有意にスコアが低かった。これは葉間裂のラインがきわめて細く、FCR のピクセルサイズが 0.2mm で、空間分解能が CSF に劣ることに起因すると思われた。実際の例をみると、葉間裂は FCR でも見えてはいるがその空間分解能の低さからくる視覚

的に粒状の多い画像のために、特に肺野の中程の領域で CSF ではなくめらかな細いラインとして認めるものが、粗いラインとして認められる、あるいは全く見えない事に起因していると考えられた。しかし FCR では、細いラインの代表である気胸のラインが周波数処理において高周波数領域を強調することにより、その描出能の改善ができる事が報告されている²⁰。葉間裂も同様な処理により描出能の改善が期待されるが、今回用いた画像処理条件では高周波数領域の処理は行ってはおらず、この点の詳細な検討は行っていない。しかし基本的には空間分解能の更なる向上が望ましいと考えている。以上から正常構造の描出に関して FCR は、空間分解能の問題はあるが、X 線のセンサーとしてのイメージングプレートの特性（広いラチチュード）と、階調処理による濃度補正、周波数処理によるエッジ強調効果の点で優れた撮像法といえる。

結節影の診断能を検討する読影実験において、正面像の情報を与えなかったのは、正面像の情報により側面像の読影にバイアスがかかるのを防ぐためである。全体の結果としては、FCR と CSF の診断能には差がなかった。結節のサイズによる分類では、同じ腫瘍径で FCR と CSF を比較してみた場合、いずれの腫瘍径でも差はなかった。辺縁の性状を、明瞭なものと不明瞭なものとで分類した場合でも差は見られなかった。しかし CSF の撮影条件別の分類において、CSF 側面像が非適正とされた症例群において FCR の診断能が有意に優れていた。このことから胸部側面像における結節影の診断能は、結節自身の問題よりもむしろ撮影された側面像が良好な画質の側面像かどうか、すなわち撮影条件の適正化に問題があると考えた。

腫瘍の存在位置別による分類では、正常構造において肺血管が FCR で見やすいとされた、肺野領域 B に存在する結節では FCR は有意に診断能が高かった。これは正常構造と同様、イメージング・プレートの特性と階調処理を生かした濃度補正が診断能に寄与していることが考えられた。すなわち胸骨後領域を含む肺野領域 B に存在する結節は、CSF では撮影条件がいわゆるオーバーである場合、結節の存在が指摘し難いものと思われた。次に心陰影に重なる肺野領域 C では、有意差はないものの FCR の診断能が高い傾向にあった。これは相対的に線量不足になりやすいこの領域では、FCR の濃度補正に加え、階調処理による特性曲線の傾きを小さくする事による濃度分解能の向上が有効と考えた。また肺尖部を含む肺野領域 A の結節では、有意差はないものの FCR の診断能が低い傾向となり、疑似結節を用いた描出能の評価に準ずる結果となった。この領域は X 線が肩などの厚い軟部陰影を通過することによるコントラストの低下があると同時に、撮影によって線量不足になりやすい部位である。さらにこの領域には肺血管の他に、肩甲骨や胸椎、気管、気管後帯などのいわゆる障害陰影が多いため、Kundel ら²⁰が云うところの病変の検出の容易度が、心陰影のみの肺野領域 C に比べ低い事が考えられる。FCR ではイメージングプレートや階調処理によりこの領域を適正条件に補正可能ではあるが、相対的線量不足による粒状性の劣化により、この領域における微妙なレベルの濃度差によって作られる結節影のライン、つまり「エッジ」を描出するのが難しい例も存在するのではないかと考えた。

各観察者別に診断能をみると CSF では診断能を示す ROC 下面積にやや個人差がみられ、FCR ではほぼ一様な値となっている。このことは FCR により濃度条件を統一させることが

可能なため、診断に個人差が出なくなる傾向になったと考えられた。また放射線科医の経験年数で分類した診断能の比較では経験の浅い放射線科医と専門医との比較において FCR では専門医の方が診断能が高く、CSF でも高い傾向にあった事は、小田の報告に準ずるが¹¹⁾、両者とも CSF と FCR の診断能には差がなかった。以上から、胸部側面像における結節影の診断能に関して FCR は、特にイメージングプレートによる撮影条件の寛容性と階調処理による濃度補正が有効に働いていると考えた。

現在、臨床の場において側面像に要求される所見は、間質影や葉間裂などの空間分解能が問題となる陰影の有無よりは、正面像でみえる肺炎や結節影の立体的把握、正面像で見えないこれら実質影の指摘が主なものといえる。さらに臨床的に正面像を補うという立場からしても側面像に求められるものは、診断に有効な側面像か否かということ、すなわち良好画質であるかどうかが重要である。とすれば、FCR には空間分解能の問題点や線量不足の際の粒状性の劣化という問題点はあるが、特にイメージング・プレートの特性と読取段階の濃度補正によって得られる撮影条件の寛容度の点で、明らかに CSF に優れ、また周波数処理や階調処理による画像処理の点で CSF より有効な撮像法であり、PACS を念頭においた一般単純画像のデジタル化に際して支障無く、その利点も充分ありとして差し支えないと結論した。

結 論

FCR 胸部側面像の臨床的意義を明らかにするため、FCR と CSF 胸部側面像について基礎的、臨床的に比較検討して以下の結果を得た。

1. 物理的画像特性は、従来報告されている如く鮮鋭度は FCR が劣り、粒状性は2分の1縮小画像である FCR の方が良好な値となった。しかし視覚的には FCR は粒状性の多い画像である。

2. 疑似結節を用いた描出能で、FCR は異なる撮影条件での全体的評価で肺尖部は有意に劣り、他の領域では有意に優れていた。撮影条件別にみると線量を多くした場合、肺尖部の描出能は改善された。

3. 正常構造の描出能は、空間分解能が問題となる葉間裂の描出以外は FCR の方が同等もしくは優れていた。

4. 臨床例を用いた結節影の診断能は、全体、腫瘍径、辺縁の性状別では差がなく、CSF の撮影条件が非適正とされた症例群の比較で FCR は優れていた。また存在部位別の検討で FCR は肺尖部の診断能は低い傾向にあり、一方胸骨後領域では診断能が高かった。

以上から最適撮影条件を恒常的に得ることの難しい側面像において FCR は、その寛容性の点で CSF より優れ有効な撮像法と成り得ると結論した。

謝 辞

稿を終えるにあたり、本研究の機会と御指導と御校閲を賜りました恩師高島 力教授に深甚なる謝意を表します。また終始御指導、御助力を賜りました金沢大学放射線医学教室上村良一講師に深く感謝致します。さらに読影実験に御協力戴きました金沢大学放射線医学教室の諸先生方ならびに基礎的検討に御協力戴きました金沢大学医療技術短期大学部診療放射線技術学科真田 茂先生をはじめ金沢大学医学部附属病院放射線部の諸兄に深謝致します。

文 献

- 1) Proto, A. V. & Speckman, J. M.: The left lateral radiograph of the chest. Part one. Med. Radiog. Photog., 55, 29-74 (1979).
- 2) Proto, A. V. & Speckman, J. M.: The left lateral radiograph of the chest. Part two. Med. Radiog. Photog., 56, 37-64 (1980).
- 3) Sagel, S. S., Evens, R. G., Forrest, J. V. & Bramson, R. T.: Efficacy of routine screening and lateral chest radiographs in a hospital-based population. N. Engl. J. Med., 291, 1001-1004 (1974).
- 4) 高島 力, 小林 健: 胸部単純X線検査—現況とデジタル化。別冊・医学のあゆみ—呼吸器疾患—, 2-2, 131-135 (1991).
- 5) 高野正雄: 輝尽蛍光体を使った新しい Computed radiography. 日本臨床, 41, 1395-1403 (1983).
- 6) Sonoda, M., Takano, M., Miyahara, J. & Kato, H.: Computed radiography utilizing scanning laser stimulated luminescence. Radiology, 148, 833-838 (1983).
- 7) 野島浩司: 肺野結節影に対する胸部X線写真の診断能に関する基礎的および臨床的研究—フィルム/スクリーン法, Computed radiography, X線エネルギー差分法軟部画像での比較—。十全医会誌, 100, 1211-1231 (1991).
- 8) Fraser, R. G., Breatnach, E. & Barnes, G. T.: Digital radiography of the chest: clinical experience with a prototype unit. Radiology, 148, 1-5 (1983).
- 9) Chakraborty, D. P., Breatnach, E. S., Yester, M. V., Soto, B., Barnes, G. T. & Fraser, R. G.: Digital and conventional chest imaging: A modified ROC study of observer performance using simulated nodules. Radiology, 158, 35-39 (1986).
- 10) 鬼塚英雄: 輝尽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。日本医放会誌, 49, 177-190 (1989).
- 11) 小田純一: 胸部単純 X線撮影における FCR (Fuji Computed Radiography) の画像評価—基礎的および臨床的検討—。日本医放会誌, 50, 1485-1498 (1990).
- 12) Metz, C. E.: ROC methodology in radiologic imaging. Invest. Radiol., 21, 720-733 (1986).
- 13) Hanley, J. A. & McNeil, B. J.: The meaning and use of the area under a receiver operating characteristic (ROC) curve. Radiology, 143, 29-36 (1982).
- 14) Heitzman, E. R.: The Mediastinum. Radiologic Correlations with Anatomy and Pathology, 2nd ed., Mosby, Saint Louis, 1977.
- 15) 小西啓子: 正常胸部側面像の X線解剖学的検討—CT による解析と統計学的分析—。十全医会誌, 94, 874-897 (1985).
- 16) 上村良一, 高島 力, 小林 健, 木船孝一: CT スキャンと比較した胸部断層撮影の意義。臨床放射線, 39, 165-172 (1994).
- 17) 高野正雄: CR システムの原理と技術。臨床画像, 5, 8-22 (1989).
- 18) 土井邦雄: デジタルラジオグラフィの基礎と可能性。日本医放会誌, 49, 1-14 (1989).

