



Title	胸部デジタル写真における選択的画像強調処理法の画像評価(ROC解析)
Author(s)	阿部, 克己; 桂川, 茂彦; 佐々木, 康夫
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1992, 52(2), p. 164-171
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/18366
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

胸部デジタル写真における選択的画像強調処理法の 画像評価（ROC 解析）

岩手医科大学放射線医学講座

阿部 克己 桂川 茂彦 佐々木康夫

（平成 3 年 5 月 8 日受付）

（平成 3 年 6 月 12 日最終原稿受付）

Evaluation of an Automated Adaptive Unsharp Masking Technique in Digital Chest Radiographs

Katsumi Abe, Shigehiko Katsuragawa and Yasuo Sasaki

Department of Radiology, Iwate Medical University

Research Code No. : 207.1, 208.1, 506.9

Key Words : Digital radiography, Image processing,
Chest radiography, ROC curve

We are developing a fully automated adaptive unsharp masking technique with parameters that depend on the regional image features of digital chest radiographs. Regions such as the lung fields, retrocardiac area, and spine have extremely different texture patterns and optical densities on chest radiographs. Therefore, it is necessary to enhance the image contrast of each region by an optimum parameter for the regional image. In this study, a chest radiograph was automatically divided into three segments (lung field, retrocardiac area, and spine) by histogram analysis of pixel values. Then, the lung field and retrocardiac area were selectively enhanced with a small mask size and mild weighting factors that had been previously determined as optimum parameters. The spine was enhanced with a large mask size and adequate weighting factors. An observer performance test indicated that this technique provides excellent diagnostic accuracy for simulated nodules over the mediastinum and diaphragm without sacrificing diagnostic accuracy for nodules over the lung field. We believe that this adaptive processing technique may have the potential to be a useful aid for the diagnosis of chest radiographs.

1. 緒 言

胸部単純写真は胸部疾患の画像診断において最初に施行される重要な検査法であるが、同時にいくつかの問題点も有している。その一つは X 線フィルムのダイナミックレンジが限られていることである¹⁾。したがって、縦隔や心臓による X 線減弱が肺野よりも大きいために 1 回の X 線曝射で肺野と縦隔、横隔膜と重なる部位をそれぞれの最適のコントラストで描出する事がしばしば困難で

ある。すなわち肺野の濃度を適度にした胸部写真では縦隔の濃度が不十分なことが多く、逆に縦隔の濃度を適度にすると肺野の濃度が過剰になってしまう。このことは縦隔や横隔膜に重なる部位のコントラストを減少させ、肺疾患の診断能を低下させる原因の一つになっている。

コンピュータラジオグラフィにおける代表的な画像処理法であるボケマスク処理^{2)~4)}はこの問題の一つの解決法と言える^{5)~10)}が、胸部全体に

同一の条件で処理を行うグローバルなボケマスク処理は肺紋理などの正常構造が過大な画像強調によって異常所見と誤って診断される可能性があるために有効でないという評価も多い^{11)~13)}。そこで胸部の局所構造に応じて選択的に画像強調のパラメータを変化させる方法が考えられる。Mc-Adams らは階調処理と周波数処理を用いた選択的画像強調処理^{14)~16)}を報告しているが、彼らは手で定めた肺野と縦隔の関心領域内のヒストグラムから肺野と縦隔を分離し、縦隔のみの画像強調を試みた。しかしこの方法の定量的画像評価は行っていない。

我々は胸部デジタル像のヒストグラム解析により胸部を症例ごとに椎骨および横隔膜、心臓の裏側、肺野を中心とした領域に自動的に分離し、それぞれの領域の画像パターンに応じたパラメータを用いてボケマスク処理を行う選択的画像強調処理法を開発し、その方法の詳細についてはすでに報告した¹⁷⁾。今回はROC解析を用いて本法の定量的な画像評価を行い、臨床的有用性について検討した。

2. 方 法

A. 概要

本法の概略は、胸部像をFCR-101¹⁸⁾（富士メディカルシステム社製）によりデジタル化し、画像データをワークステーション（日立2050G）へ転送して胸部諸構造の分離、選択的ボケマスク処理を行った後、FCR-101のレーザープリンタにより画像を記録するものである。

胸部諸構造の分離はピクセル値のヒストグラム解析により行った。すなわちFCRによりデジタル化された全胸部像のピクセル値のヒストグラムはほとんどの場合3つの大きなピークを有することに着目し、その間の閾値を自動的に求めることにより胸部を椎骨および横隔膜、心臓の裏側、肺野を中心とする3つの領域に分離した¹⁷⁾。Fig. 1はこの方法により胸部像を分離し色分けをした図である。

さらに、この分離した領域に対して、肺紋理が小粒状に見えない程度に強調され、縦隔構造が適度に強調されることを基準に決定したボケマスク



Fig. 1 Illustration of a divided chest image with four gray levels determined from the histogram analysis. The chest radiograph is divided into three anatomical regions: one for a "lung field", one for a "retrocardiac area", and one for a "spine and diaphragm".

処理におけるパラメータ（重み係数とマスクサイズ）を用いて別々のボケマスク処理を行った。すなわち重み係数は、椎骨および横隔膜、心臓の裏側に対してはピクセル値0の点を8.0としピクセル値の増加と共に減少する直線関数とすることで肺野との移行をなめらかにした。肺野に対しては0.7の一定の値とした。マスクサイズは低周波成分を主体とする椎骨および横隔膜に対しては比較的大きな値（ $6.2 \times 6.2\text{mm}$ ）とし、高周波成分を主体とする心臓の裏側や肺野に対しては比較的小きな値（ $4.2 \times 4.2\text{mm}$ ）を用いた。

B. 臨床評価（ROC解析）

われわれの開発した選択的画像強調処理法の画像評価を行うために、コンピュータによりシミュレーションした肺結節影を正常胸部像に重ねたデジタル画像を用いてROC解析¹⁹⁾²⁰⁾を行った。Fig. 2はROCテストに用いた肺結節の非処理像の1例である。結節の直径および中心部の濃度コントラストはそれぞれ6~10mm、6~20ピクセル値とし、辺縁部の濃度を徐々に減少させた。これらの結節影はROCテストに参加していない2人の放

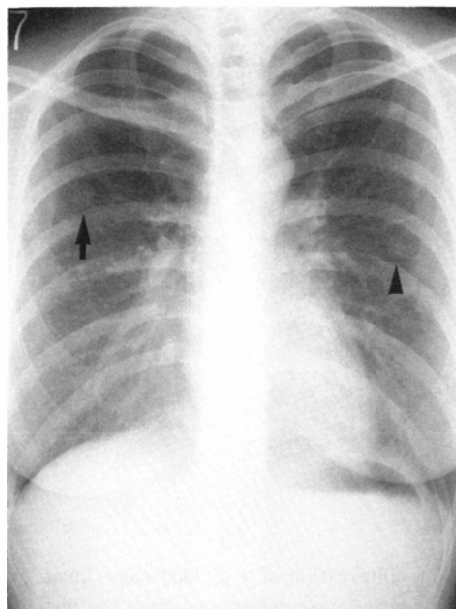


Fig. 2 An example of an unprocessed image with simulated nodules for the observer performance test. The diameter and the contrast of the nodule simulated over the right lung field (arrow) are 10 mm and 8 pixel values, respectively and those over the left lung field (arrowhead) are 9mm and 9 pixel values, respectively.

射線科医による予備実験で10～80%の検出率が得られることを前もって確認した。

ROCテストに用いた画像は、肺結節の存在しないもの20例、椎骨と横隔膜部を主体とした縦隔に結節の存在するもの20例、および肺野に結節の存在するもの20例、合計60例に対し非処理、選択的およびグローバルな処理を行った合計180の胸部デジタル像である。グローバルなボケマスク処理の周波数処理条件はFCRを用いた通常の検査に使用されている周波数強調画像と同様のものである(RT=R, RN=4, RE=5.0)。また、階調処理条件は周波数処理の影響を明らかにするためにすべての画像で同一とした(GA=1.1, GT=A, GC=1.6, GS=-0.2)。次にこれらの胸部像に対し、6人の放射線科医により縦隔および肺野に対して結節の有無を5段階の確信度で、非処理像、選択的処理像、グローバルな処理像、および2枚画像(通常のFCRの読影で用いられているよう

な非処理像とグローバルな処理像の組み合わせ)の合計4種の画像グループに対する読影を行った。読影時間は各部位ごとに10秒で、学習効果を避けるために読影の順序はランダムにし、さらに各画像グループの読影の間隔は1週間以上とした。

その結果得られた確信度データを用いて、2つの正規分布に対する最大尤度比を計算するプログラム²¹⁾により、各読影者による各画像グループごとのROC曲線を作成した。各画像グループにおける肺結節影の検出能評価にはそれぞれのROC曲線下の面積(Az)を用い、t検定²²⁾により $p < 0.05$ を検出能に統計的有意差ありとした。さらに各画像グループごとにROC曲線のパラメータを平均することにより6人の読影者の平均のROC曲線²³⁾を作成した。

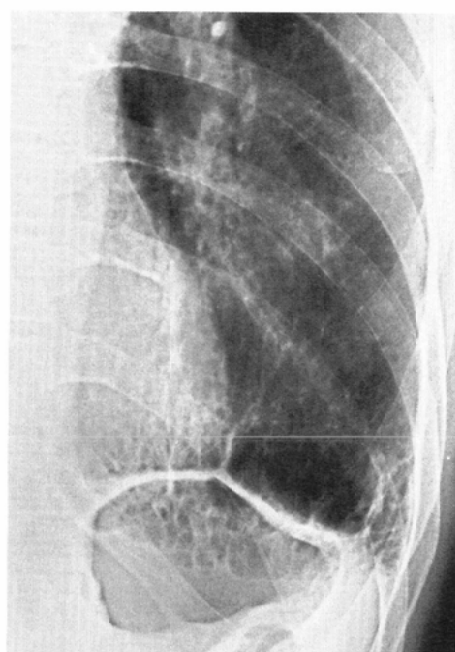
3. 結 果

われわれの開発した選択的画像強調処理をいくつかの実際の症例に対して行い、非処理像およびグローバルな処理像と比較した。非処理像および選択的画像強調処理像の階調処理条件はGA=1.1, GT=A, GC=1.6, GS=-0.2であり、グローバルな処理像の階調処理および周波数処理条件はGA=0.9, GT=A, GC=1.6, GS=-0.2, RT=R, RN=4, RE=5.0である。Fig. 3は肺線維症の症例で、非処理像(Fig. 3A)では心臓の裏側や横隔膜に重なった部分の線維症の描出が不十分である。グローバルな処理像(Fig. 3C)では心臓の裏側や横隔膜に重なった部分の線維症の描出は良好だが、肺血管が強調されすぎ肺野の線維症はかえって識別し難い。これに対して選択的な処理像(Fig. 3B)では、心臓の裏側や横隔膜に重なった部分の線維症が明瞭に描出されていると同時に、肺野の線維症も良好に描出されている。

Fig. 4は多発性肺腫瘍であるが、非処理像(Fig. 4A)では肺野の腫瘍は明瞭に描出されているが、心臓の裏側や横隔膜に重なった部分の腫瘍が不明瞭である。また、グローバルな処理像(Fig. 4C)では心臓の裏側や横隔膜に重なった部分の腫瘍の描出は良好だが肺野の腫瘍はこれと重なる正常構造が同時に強調を受けているために不鮮明になっ



A



B



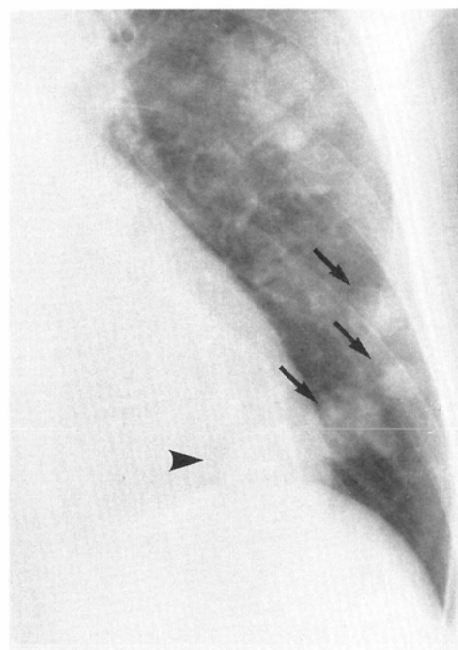
C

Fig. 3 Chest radiographs with lung fibrosis. (A) an unprocessed image, (B) a processed image using the adaptive unsharp masking technique and (C) a processed image using the global unsharp masking technique.

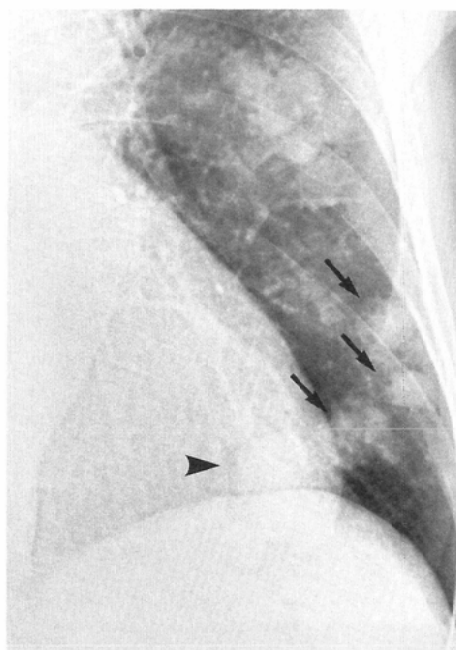
ている。これに対して選択的な処理像 (Fig. 4B) では、肺野の腫瘍が明瞭に描出されていると同時に心臓の裏側や横隔膜に重なった部分の腫瘍も明

瞭に描出されている。

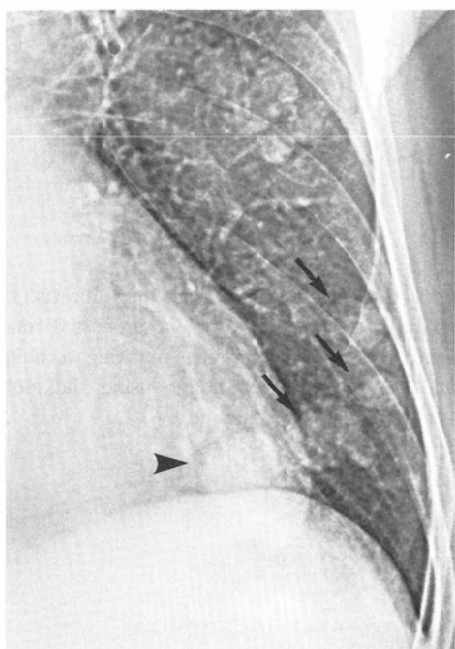
肺野および縦隔にシミュレーションした結節影の6人の読影者の平均のROC曲線を Fig. 5に示



A



B



C

Fig. 4 Chest radiographs with multiple lung nodules. (A) an unprocessed image, (B) a processed image using the adaptive unsharp masking technique and (C) a processed image using the global unsharp masking technique. Arrows and arrowheads indicate nodules in the lung field and in the retrocardiac area overlapped the diaphragm, respectively.

す。肺野の結節の Az は選択的処理像で0.828, 非処理像で0.804と両者の間に有意差は認められず ($p < 0.20$), 2 枚画像 ($Az = 0.828$) と比較しても

有意差は認められなかった ($p < 0.50$) が, グローバルな処理像 ($Az = 0.706$) は選択的処理像と比較して有意に劣っていた ($p < 0.002$) (Fig. 5A). 縦

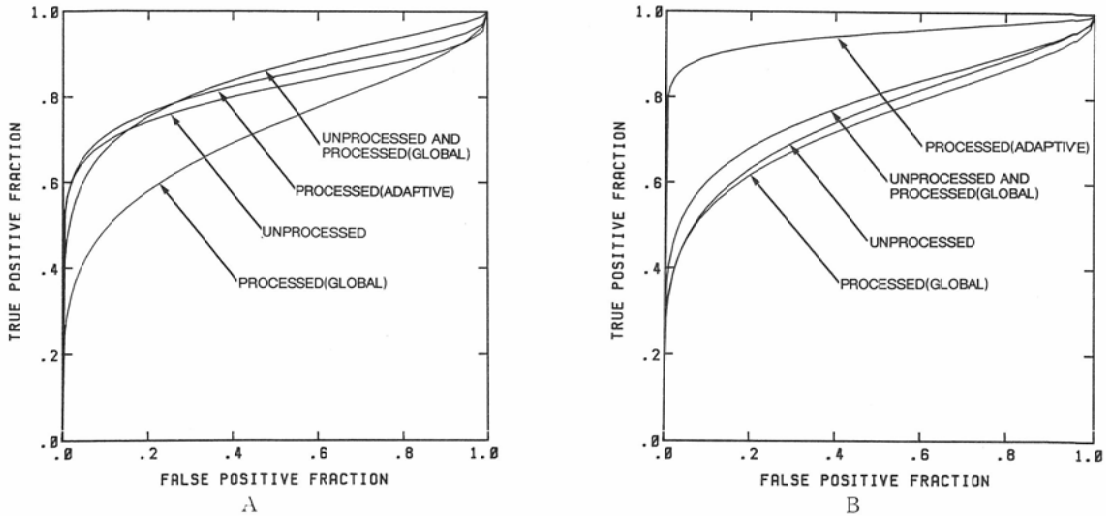


Fig. 5 Comparison of averaged ROC curves for detection of the simulated nodules with unprocessed images, processed images by the adaptive unsharp masking technique and processed images by the global unsharp masking technique as well as with two-image format of unprocessed and processed images by the global unsharp masking technique, which is a usual format of FCR. The simulated nodules were superimposed over (A) the lung field, and (B) the mediastinum and/or the diaphragm.

隔の結節の選択的処理像の A_z は0.935で、非処理像 ($A_z=0.752$)、グローバルな処理像 ($A_z=0.735$)、2枚画像 ($A_z=0.780$)と比較して有意にすぐれていた(それぞれ $p<0.002$, $p<0.0001$, $p<0.001$) (Fig. 5B)。これらの結果から、選択的処理像と2枚画像の間では、肺野にシミュレーションした結節影の検出能には有意差がなく、縦隔にシミュレーションした結節影の検出能では選択的処理像が明らかにすぐれていたことも示された。

4. 考 察

我々は胸部デジタル像のピクセル値のヒストグラム解析により胸部を3つの領域に分離したが、我々の経験した正常胸部像40例では、約90%のヒストグラムは3つのピークから構成されていた。しかしながらヒストグラムは常に3つのピークをもつとは限らず、高度の肺線維症などの肺野の濃度が減少する疾患の場合はヒストグラムは1つないしは2つのピークしか示さないことがある。このような場合にはヒストグラム上の変曲点をそれぞれの領域の閾値とし、さらに得られた閾値が40

例の正常胸部像からなるデータベースをもとに得られた標準的な閾値から明らかにはずれる場合には、強制的にこの標準値とするようなアルゴリズムを構築した。データベースから得られた標準閾値は肺野と心臓の裏側の境界では121ピクセル値、心臓の裏側と横隔膜および椎骨の境界では62ピクセル値であった。

MacMahonらは気胸、間質性肺疾患を対象にグローバルなボケマスク処理の画像評価をROC解析を用いて行い、気胸に対してはボケマスク処理は有効であるが、間質性肺疾患に対しては無病誤診率が増加するために有効ではないと結論している¹¹⁾¹²⁾。さらに、Goodmanらは気胸、縦隔腫瘍、肺水腫、間質性肺疾患、肺腫瘍、肺気腫を対象にグローバルなボケマスクの処理の評価を行っているが、気胸、縦隔腫瘍以外では処理像が著明に劣っていたと報告している¹³⁾。これら2つの報告は胸部の画像処理を行う場合、肺野に対しては画像処理の効果は少ないことを示唆している。我々の選択的画像処理において肺野および心臓の裏側対

しては高周波領域を比較的弱く処理し、横隔膜、椎骨に対しては低周波領域を比較的強く処理を行った理由がここにある。それは我々のROC解析の結果、すなわち肺野の結節のAzにおいて選択的処理像と非処理像の間に有意差が認められず、グローバルな処理像が有意に劣っていた(Fig. 5A)こと、縦隔の結節のAzにおいて選択的処理像が非処理像と比較して有意にすぐれていた(Fig. 5B)ことから示唆される。

Fig. 3, 4に示した実際の症例ではグローバルな処理像は非処理像に比べ縦隔病変の描出に優れているのに、ROC解析の結果では縦隔の結節に対して非処理像と同程度のAzになっている。この理由はROCテストでは周波数処理の影響のみを明らかにするため、各画像グループの階調処理条件を同一(GA=1.1, GT=A, GC=1.6, GS=-0.2)にしたことが考えられる。デジタル像においては周波数処理と同時に階調処理も処理画像を左右する大きな要素であり、グローバルな処理像の階調処理を変えることで縦隔の結節に対するAzの昇が予測される。Fig. 4に示した実際の症例では、グローバルな処理像(Fig. 4C)に対しては階調処理を変えており(GA=0.9, GT=A, GC=1.6, GS=-0.2)、コントラストの低い横隔膜に重なった部分の腫瘍は選択的処理を行った像(Fig. 4B)と同様に明瞭に描出されている。しかしもともとコントラストのよい肺野の腫瘍は腫瘍と重なる肋骨や肺紋理などの胸部の正常構造が腫瘍よりも強調されているためにかえって見づらくなっている。すなわちこの事実は胸部の局所構造に応じたマスクサイズと重み係数を用いた選択的なボケマスク処理の必要性を裏付けるものである。

一方、デジタル画像処理においては一般に強く強調された部位はそれだけノイズも増加する傾向があり、それはピクセル値が低い部位において著明となる²⁴⁾。我々の選択的処理像においてもピクセル値の低い縦隔部の重み係数を大きくしたためにこの領域のノイズが必然的に上昇した。ノイズの診断に与える影響を分析すると同時に、ノイズの除去法に対する工夫を今後さらに行う必要があると思われる。

5. 結 論

1. 胸部の局所構造に応じた選択的画像強調処理法を開発し、画像評価を行った。

2. 本法は肺野の結節影の診断の検出能を低下させることなく縦隔部に重なる肺結節影の検出能を著明に向上させることがROC解析の結果示された。

3. 本法は肺野と心臓の裏側の肺、椎骨が適度に強調され、胸部X線診断に有用であると思われる。

稿を終えるにあたり、御指導、御校閲を賜りました柳澤融教授に深謝致します。またROCテストに多大な御協力を頂いた教室の後藤英雄、高橋邦尚、阿部知博、石川一郎、広瀬敦男、吉岡邦浩、小原東也の諸兄に感謝の意を表します。

なお、本研究の要旨は第50回日本医学放射線学会総会(平成3年4月、京都)において発表した。

文 献

- 1) Dick CE, Soares CG, Motz JW: X-ray scatter data for diagnostic radiology. *Phys Med Biol* 6: 1076-1085, 1978
- 2) Sorenson JA, Niklason LT, Nelson JA: Photographic unsharp masking in chest radiography. *Invest Radiol* 16: 281-288, 1981
- 3) Schreiber WF: Wirephoto quality improvement by unsharp masking. *J Patt Recog* 2: 117-121, 1970
- 4) Malin DF, Zealey WJ: Astrophotography with unsharp masking. *Sky and Telescope* 57: 355-359, 1979
- 5) Fraser RG, Sanders C, Barnes GT, et al: Digital imaging of the chest. *Radiology* 171: 297-307, 1989
- 6) Loo LN, Doi K, Metz CE: Investigation of basic imaging properties in digital radiography. 4. Effect of unsharp masking on the detectability of simple patterns. *Med Phys* 12: 209-214, 1985
- 7) Oestmann JW, Rubens JR, Bourgouin PM, et al: Impact of postprocessing on the detection of simulated pulmonary nodules with digital radiography. *Invest Radiol* 24: 467-471, 1989
- 8) 鬼塚英雄: 輝光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, 日本医放会誌, 49: 177-190, 1989
- 9) 孫田誠三: CRT画像における胸部ファントム腫瘍影の存在診断能について—フィルムスクリーン画像・FCRハードコピー像との比較—, 日本医放

- 会誌, 49: 1038—1046, 1989
- 10) 山田和彦, 藤原卓哉, 猪狩秀則, 他: ICUにおける胸部ポータブル撮影に対する FCR の応用, 日本医放会誌, 49: 993—998, 1989
 - 11) MacMahon H, Vyborny CJ, Sabeti V, et al: The effect of digital unsharp masking on the detectability of interstitial infiltrates and pneumothoraces. *Proc SPIE* 555: 246—252, 1985
 - 12) MacMahon H, Metz CE, Doi K, et al: Digital chest radiography: Effect on diagnostic accuracy of hard copy, conventional video, and reversed gray scale video display formats. *Radiology* 168: 669—673, 1988
 - 13) Goodman LR, Foley WD, Wilson CR, et al: Pneumothorax and other lung diseases: Effect of altered resolution and edge enhancement on diagnosis with digitized radiographs. *Radiology* 167: 83—88, 1988
 - 14) McAdams HP, Johnson GA, Suddarth SA, et al: Implementation of adaptive filtration for digital chest imaging. *Opt Eng* 26: 669—674, 1987
 - 15) Sherrier RH, Johnson GA: Regionally adaptive histogram equalization of the chest. *IEEE Trans Med Imag* MI-6: 1—7, 1987
 - 16) McAdams HP, Johnson GA, Suddarth SA, et al: Histogram-directed processing of digital chest images. *Invest Radiol* 21: 253—259, 1986
 - 17) 阿部克己, 桂川茂彦, 佐々木康夫: 胸部デジタル画像における選択的画像強調処理の試み, *Med Imag Tech* 9: 52—62, 1991
 - 18) Sonoda M, Takano M, Miyahara J, et al: Computed radiography utilizing scanning laser stimulated luminescence. *Radiology* 148: 833—838, 1983
 - 19) Metz CE: ROC methodology in radiologic imaging. *Invest Radiol* 21: 720—733, 1986
 - 20) Goodenough DJ, Rossman K, Lusted LB: Radiographic applications of receiver operating characteristics (ROC) curves. *Radiology* 110: 89—95, 1974
 - 21) 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
 - 22) Hanley JA: Receiver operating characteristic (ROC) methodology: The state of the art. *Crit Rev Diag Imag* 29: 307—335, 1989
 - 23) Swets JA: ROC analysis applied to the evaluation of medical imaging techniques. *Invest Radiol* 14: 109—121, 1979
 - 24) Ishida M, Kato H, Doi K, et al: Development of a new digital radiographic image processing system. *SPIE* 347: 42—48, 1982