原 著

肺腺癌ファントムを用いたソフトコピー(LCD)と
ハードコピー(Film)の病変検出能の比較望月安雄¹⁾・阿部慎司²⁾・門間正彦²⁾・山口弘次郎³⁾・安達登志樹⁴⁾論文受付
2010年7月9日論文受理
2011年1月17日Code Nos. 254
522

1) 日本医療科学大学

2) 茨城県立医療大学

3) 藤田保健衛生大学

4) 福井大学医学部附属病院

緒 言

画像検査に用いられる各種モダリティのデジタル化やネットワークの進展に伴い、画像診断のディスプレイは、著しい技術の進歩によってブラウン管ディスプレイ(cathode ray tube: CRT)と液晶ディスプレイ(liquid crystal display: LCD)の視覚評価で検出能に差^{1,2)}がないことから、観察環境や省スペース化に優れている LCD に置き代わりつつある。

これまで臨床画像をハードコピーとソフトコピーで観察し、両者の性能を receiver operating characteris-

tic(ROC)解析で評価し、Film から CRT への読影に移行できるとの報告^{3,4)}がある。

しかし、これらの報告で行われている統計的有意差検定では観察者の変動を評価する両側 paired t-検定を用いており、観察者間や試料間で生じる変動を評価できるリサンプル法の一つである Jackknife 法⁵⁾での統計的有意差検定はみられない。よって、これまでの ROC 解析により得られている結果は、観察者間での比較評価に基づいたものであるため、比較するモダリティの試料間で生じる変動についての評価

Comparison of Detectability of Liquid Crystal Displays (LCDs) and Film Using
Phantoms of Small Adenocarcinomas as AbnormalitiesYasuo Mochizuki,¹⁾ Shinji Abe,²⁾ Masahiko Monma,²⁾ Kojiro Yamaguchi,³⁾ and
Toshiki Adachi⁴⁾

1) Nihon Institute of Medical Science

2) Ibaraki Prefectural University of Health Sciences

3) Fujita Health University of Health Sciences

4) University of Fukui Hospital

Received July 9, 2010; Revision accepted January 17, 2011; Code Nos. 254, 522

Summary

Following the trend of the digitalization of the modalities used for diagnostic imaging, the devices for such imaging have increasingly included monitors. The present study was undertaken to evaluate the usefulness of soft-copy (liquid crystal display; LCD) images of phantoms of small adenocarcinomas using receiver operating characteristic (ROC) analysis of two different display systems: LCD and hard copy (film). A two-tailed paired *t*-test and the jackknife method (parametric methods) were performed, and no significant differences were found in the area under the ROC curve (AUC) for the pulmonary fields, lungs, ribs, or mediastinum between the film and LCD display systems, and the detectability did not differ between the film and LCD monitors. A Mann-Whitney *U* test, which is a non-parametric method that applies to the analysis of a small sample, also showed no significant differences in the AUC. The results of this study suggest that LCDs can replace hard-copy film as a display system if the signals.

Key words: liquid crystal display (LCD), small adenocarcinoma, jackknife method, Mann-Whitney *U* test, receiver operating characteristic (ROC) analysis

別刷資料請求先: 〒355-0435 埼玉県入間郡毛呂山町下川原 1276
日本医療科学大学保健医療学部診療放射線学科 望月安雄 宛

はなされていなかった。

本研究では、肺野部・肋骨部および縦隔部とX線吸収が同等なアクリル板で作成した胸部模擬ブロックファントム(以下、胸部模擬ファントム)に小野⁶⁾が開発した京都科学社製の肺腺癌ファントムを置いて観察試料を作成した。このファントムは、タイプ別に肺腺癌のX線吸収(CT値)をもとに形状を変えて作成されているので、胸部肺腺癌の探索等の基礎的な観察実験に適している。

そのX線画像をレーザーイメージャ(ドライ方式)でハードコピーした画像(以下、Film画像)とdigital imaging and communication in medicine(DICOM)Viewerを用いLCDで観察するソフトコピー(以下、LCD画像)とでROC曲線下面積(area under the ROC curve: AUC)によって検出能を求め、LCDの病変検出の有用性について統計的有意差検定を行い、LCDの有用性について検討した。

AUC平均値の有意差検定は、正規分布を仮定するパラメトリック法の両側paired t-検定とJackknife法で行った。平均値検定は分布の正規性や分散について厳しい条件があるため、ROC解析の評定実験で得られたすべての連続確信度について正規性を調べた。さらに、信号に用いた肺腺癌ファントム画像の試料数が少なかったため、補足的にデータ群の分布が分からないときに用いるノンパラメトリック法のMann-WhitneyのU検定⁷⁾でも有意差の判定を行った。

1. 実験方法

1-1 観察試料の作成

1-1-1 肺腺癌ファントムの選定

ROC解析の観察試料に用いた肺腺癌ファントムの材質は、均一密度で人体軟組織に近いタフウォータ(密度: 1.01 g/cm^3)で作成されている。そのX線吸収が径や形状によって異なる13種類(20 mmを除く)の肺腺癌ファントムを用いた。

評定は、視覚評価実験の経験がある8名の学生で、無作為に1)病変がある、2)病変があると思う、3)判らない、4)病変はないと思う、5)病変はないの5段階評価法で行った。観察試料は、病変があると評価した割合⁶⁾が35~70%程度の難易度の異なる5種類を選定した(Fig. 1)。選ばれた肺腺癌ファントム径は、7.0 mmが3個、10.0 mmと15.0 mmが各1個であった。

1-1-2 胸部模擬ファントムの作成

増感紙-フィルム系(SPO250/SR G: コニカミノルタ社製)で胸部ファントムPBU-X 21(京都科学社製)を用いて撮影した画像上で、肺野部・肋骨部・縦隔部の写真濃度^{8,9)}が適切になるように撮影条件を決め

Fig. 1 Phantoms of small adenocarcinomas⁶⁾ used for observation experiment.

Phantom No. 1; diameter: 7 mm, area of core: 15%, CT value of core: -50 HU, CT value on the circle with radius fR: -300 HU, CT value on the circle with radius R: -750 HU (type B).

Phantom No. 2; diameter: 7 mm, area of core: 15%, CT value of core: 50 HU, CT value on the circle with radius fR: -300 HU, CT value on the circle with radius R: -750 HU (type B).

Phantom No. 4; diameter: 7 mm, area of core: 40%, CT value of core: -50 HU, CT value on the circle with radius fR: -300 HU, CT value on the circle with radius R: -750 HU (type C).

Phantom No. 5; diameter: 10 mm, CT value on the circle with radius fR: -300 HU, CT value on the circle with radius R: -750 HU (type A).

Phantom No. 11; diameter: 15 mm, CT value on the circle with radius fR: -300 HU, CT value on the circle with radius R: -750 HU (type A).

た。その結果、焦点-カセット間距離 200 cm、管電圧 120 kV、管電流 200 mA、撮影時間 0.04 秒であった。なお、散乱X線の除去は、移動型のアルミグリッド(格子比 10:1、グリッド密度 40 本/cm)を使用した。自動現像機は、コニカミノルタ製のSRX-503を用い、臨床で一般的に使用している現像時間を90秒、現像温度を33.5℃に設定して処理を行った。

胸部模擬ファントムは、前述の撮影条件で、増感紙-フィルム系の画像上での写真濃度と同じになるようにアクリルファントム厚を変化させて、胸部X線写真における肺野部と肋骨部および縦隔部を模擬して作成した。

胸部を模擬したアクリルファントム厚は、肺野部で4.0 cm(濃度約1.75)、縦隔部で10 cm(濃度約0.45)、肋骨部では厚さ4.0 cmのアクリルファントムにアルミニウム板2.0 cm¹⁰⁾を加えることで同等な濃度(濃度約1.15)が得られた。

1-2 ROC解析の試料と観察実験

Film画像とLCD画像の観察試料は、輝尽性蛍光体プレートを用い、増感紙-フィルム系での胸部ファントム撮影と同じ幾何学条件で、胸部模擬ファントムと肺腺癌ファントムを撮影して取得した。

CR装置(Regius Model 170)の階調曲線は、look up tableから胸部用モードとしてメーカーが推奨している

Fig. 2 The 16 divisions used for observation. An adenocarcinoma is shown in the circle.

THX-01(G 値: 1.81)を選択し、周波数処理などを行わずに標準画素サイズ(ST: 0.175 mm)の画像を出力した。

ROC 解析の試料は、厚み 0.1 mm の 4 切サイズの銅版に 60×90 mm の格子を 16 個穿孔して 1 枚の画像を 16 等分に分割¹¹⁾した。

観察試料は、分割した 16 孔の任意の箇所に難易度の異なる 5 種の肺腺癌ファントムをおのおの 3 回ランダムに使用し、胸部模擬ファントム + 肺腺癌ファントムを信号像とする 15 画像、胸部模擬ファントムのみによる雑音像の 15 画像の計 30 画像で 1 セットとした。

観察実験は、肺野部・肋骨部・縦隔部で各 1 セット作成した総計で 90 画像を用いた。Fig. 2 に観察に用いた画像の 1 例を示す。

画像の読影は、十分にトレーニングした学生 8 名で行った。観察者には事前の注意として、正面視で上下や左右など周囲の 16 孔との比較をしないことを依頼した。観察距離と観察時間は各観察者で任意とし、特に制限をしないで順番通り観察を進めた。また、学習効果の影響を考慮し、試料の観察は観察者ごとに順番を換えた。さらに、Film 画像と LCD 画像の観察は 10 日程度の間隔を空け、観察者の半数 4 名で交互に観察を行い、読み取り順序効果の影響にも配慮した。確信度は 50 点満点の連続確信度法でレーティングを行った。

1-3 観察の条件

Film 画像の読影環境は、通常業務下の明室状態を照度計(コニカミノルタ社製: T-1)で計り約 200 lx,

Fig. 3 Grayscale standard display function (GSDF) and measured characteristic curve for liquid crystal display (LCD).

シャウカステン(森山 X 線用品社製: CH5K)の照度は、パネル前面から 20 cm の位置で約 4800 lx であった。

LCD の観察条件は、LCD 表面への外光の影響がない角度に配置し、一般的に臨床現場の読影環境で影響がないといわれている^{2, 12)}、LCD 表面で約 50 lx に室内光を調整した。

LCD は、EIZO 社製の 3 M pixels のモノクロ液晶モニタ(Radi-Force G31-S: 画素ピッチ 0.207×0.207 mm, コントラスト比 900:1, 最大輝度 700 cd/m²)を用いた。実際の LCD の輝度範囲は、最小輝度は 0.73 cd/m², 最大輝度はメーカー推奨の 450 cd/m²で行った。

CR 装置の画素サイズ(ST)で取得した DICOM 画像は、バイオアーツ社製の Bio DC-Viewer を使い、Viewer ソフトでウインドウ幅を 2047, ウインドウレベルを 4096 の CR 装置のデフォルト値に固定し、LCD 画面(318×424 mm)へ最大に表示した。

LCD の表示階調特性は、American Association Physicists Medicine Task Group 18(AAPM-TG18)の 18 パターンの濃度を TOPCON 社製の輝度計(BM-8)で計り、DICOM Part14 に準拠する Grayscale standard display function(GSDF)¹³⁾とコントラスト応答¹⁴⁾を表計算ソフト(Microsoft Excel 2003)で求めた(Fig. 3, 4)。

コントラスト応答は、平均値 ±1% の誤差範囲でキャリブレーションされている。また、実験を開始する前に JESRA X - 0093 医用画像表示用モニタの品質管理に関するガイドラインに対応した受入試験を実施し、読影モニタが基準を満たしていることを確認した。

1-4 AUC の有意差検定

Film 画像と LCD 画像の平均値検定は、ROC 解析で検出能の指標である AUC を用いて、観察者間や

試料間で生じる変動の影響を除いて検定ができる Jackknife 法と観察者間変動で評価する両側 paired t-検定で行った。

Jackknife 法による統計的有意差検定は連続確信度法による LABMRMC⁵⁾(DBM 法: D. D. Dorfman, K. S. Berbaum, アイオワ大学, C. E. Metz, シカゴ大学)を用いて行った。なお、観察者は評価に使用したソフトウェア(LABMRMC)の制約内の 8 名で行った。

今回は観察試料が少なかったため、ノンパラメトリック法の Mann-Whitney の U 検定でも有意差の判定を行った。独立した 2 標本で検定できる Mann-Whitney は、対応するデータのときに用いられる Wilcoxon signed-rank 検定よりも汎用性が広く結果も同じになるために、Mann-Whitney-Wilcoxon 検定として広くノンパラメトリックの検定に用いられている。

以上の各検定の統計的有意差は、 $P < 0.05$ で有意差ありと判定した。

2. 測定結果

2-1 連続確信度の正規性について

肺野部・肋骨部・縦隔部の雑音像と信号像から得られた連続確信度(96 個)を用い、階級等を一律で計算した度数分布は、単峰性が約 88.5%，一様性が約 11.5%で、 χ^2 の正規性の適合度検定ではすべて不適合だった。

次に、正規性の検定としてデータ数が 20 以下のときに用いる素分布検定の結果は、Film 画像は雑音で 7 と信号で 2、LCD 画像は雑音と信号がともに 2 の全体で約 15%において正規性が棄却された。棄却されたデータは、雑音像の連続確信度での度数のピーク値が約 11 以下、信号像の連続確信度でのピーク値が約 39 以上とともに、信号なし側と信号あり側へと偏りがみられた。

正規分布の適合度検定で不適合とされた単峰性(88.5%)と素分布検定で棄却されず正規性が保留された 85%でよい対応がみられた。よって、観察者ごとの雑音像と信号像の連続確信度が各 15 と少なかったため、観察試料の正規性は脆弱であった。

2-2 ROC 曲線の AUC と検定結果

観察者 8 名によるアベレージ法で求めた Film 画像と LCD 画像に関する ROC 曲線を Fig. 5 に示す。

肺野部での ROC 曲線下面積の AUC の差は、約 0.05 とわずかに LCD 画像の検出能が高い値を示した(Fig. 5a)。肋骨部での AUC の差は、Film 画像と LCD 画像で約 0.001 と拮抗し、観察者の支持も半数ずつに分かれた。縦隔部での AUC の差は、Film 画像と LCD 画像で約 0.008 と肋骨部と同様に差は微小

Fig. 4 Relationship between contrast response of measured characteristic curve and GSDF.

だった。

肺野部・肋骨部・縦隔部の Film 画像と LCD 画像の両側 paired t-検定で、有意水準 0.05 で検定した結果を示す(Table 1)。両者で有意差は認められなかった。

Jackknife 法による肺野部・肋骨部・縦隔部の統計的有意差検定で、有意水準 0.05 で検定した結果を示す(Table 2)。

Table 2 は分散分析表で、列方向に変動成分、偏差平方和、自由度、平均平方、F 分布の比、P 値、判定(95%信頼区間推定で統計的有意差が認められた場合、SIG と表示)の計算項目が示されている。行方向は、順次全体(TOT)、モダリティ間(T)、試料間(C)、観察者間(R)、モダリティ-試料間(TC)、観察者-試料間(RC)、モダリティ-観察者-試料間(TRC)において、観察者と試料によって起こる変動成分の結果が示されている。

表から、Film 画像と LCD 画像のモダリティ(T)間では両側 paired t-検定と同様に統計的有意差は認められなかった。しかし、試料間(C)とモダリティ-試料間(TC)で有意差が認められた。なお、ダブルアスタリスク(**)で示されているとおり、肺野部と肋骨部では試料間の分散が大きいために観察者-試料間(RC)での検定は行われていない。

Mann-Whitney の U 検定の結果を示す(Table 3)。肺野部・肋骨部・縦隔部で求めた U 値は、標本数(観察者 8 名)が少なく表から得られた $P < 0.05$ の限界値 13 に比し、いずれも統計的有意差は認められなかった。

3. 考察

胸部模擬ファントムと肺腺癌ファントムを CR 装置で撮影し、異なる表示系の Film 画像と LCD 画像

Fig. 5 ROC curves obtained using the average method for the detection of phantoms of small adenocarcinomas using a Regius Model 170 (ST).
 (a) Pulmonary.
 (b) Lungs Rib.
 (c) Mediastinum.

a	b
c	

で、検出能の単一指標である AUC で比較評価した。

3-1 ROC 曲線下面積 (AUC)

今回、肋骨部での AUC は、Film 画像と LCD 画像ともに約 96% と高い検出能を示した。これはアクリルファントム 4.0 cm とアルミニウム 2.0 cm で作成した観察試料の濃度が約 1.15 と一様な分布で、臨床画像の肋骨陰影と異なり読影が容易であったためと考えられる。

また、管電圧を胸部 X 線撮影に準じた 120 kV で試料を作成したため、アルミニウムによる X 線減弱に起因する線質硬化の影響が非常に小さかったと推定できる。

肋骨部と縦隔部の AUC は、Film 画像と LCD 画像との差が 0.01 以下と僅差であった。肺野部での AUC の差は、約 0.05 とわずかに LCD 画像の検出能が高い値を示した (Fig. 5)。

LCD 画像の AUC は、濃度域と検出能についての関係は明らかではないが肋骨部と肺野部では同等

Table 1 Results of two-tailed paired t-test of the AUC for film and LCD

	P value
Pulmonary	0.136
Lungs Rib	0.585
Mediastinum	0.867

$\alpha=0.05$, T value 2.145

だった。Film 画像では増感紙-フィルム系における胸部 X 線画像の濃度域と detective quantum efficiency (DQE)¹⁵⁾ の報告と同様に、肋骨部に対して濃度が高い肺野部での検出能が低かった。よって、肺野部で Film 画像と LCD 画像とで AUC に差が生じた。また、観察試料数が雑音 15、信号 15 の 30 画像と少ないために、観察試料の難易度が異なる 5 種類の肺腺癌ファントムで生じる変動誤差も関与した可能性が考えられる。

ROC 曲線の形状は、負の対角線に対して左に傾い

Table 2 Test of statistical significance (SIG) of area under the ROC curves (AUC) using the jackknife method. The asterisk shows no examination of the pulmonary fields, lungs, and ribs because the variance between samples is large.

	Source	Sums of squares	Degree of freedom	Mean squares	F ratios	Prob	Decision
Pulmonary	TOT	43.5013	479				
	T	0.0996	1	0.0996	1.6039	0.2154	
	C	13.7626	29	0.4746	6.4232	0.0000	SIG
	R	0.5935	7	0.0848	1.1476	0.3348	
	TC	1.8015	29	0.0621	1.0512	0.4018	
	TR	0.2490	7	0.0356	0.6019	0.7540	
	RC	14.9985	203	0.0739	**	**	
	TRC	11.9966	203	0.0591			
Lungs rib	TOT	35.2798	479				
	T	0.0330	1	0.0330	0.4408	0.5120	
	C	14.2382	29	0.4910	9.8267	0.0000	SIG
	R	0.5638	7	0.0805	1.6121	0.1336	
	TC	2.1709	29	0.0749	1.9229	0.0049	SIG
	TR	0.2283	7	0.0326	0.8378	0.5571	
	RC	10.1425	203	0.0500	**	**	
	TRC	7.9030	203	0.0389			
Mediastinum	TOT	76.3154	479				
	T	0.0190	1	0.0190	0.1373	0.7113	
	C	18.9501	29	0.6535	5.1844	0.0000	SIG
	R	1.5804	7	0.2258	1.7913	0.0907	
	TC	1.6716	29	0.0576	0.4161	0.9968	
	TR	0.3850	7	0.0550	0.3970	0.9034	
	RC	25.5863	203	0.1260	0.9098	0.7493	
	TRC	28.1229	203	0.1385			

Table 3 Verification of AUC using the *Mann-Whitney U* test

	Sample size		U value
	LCD	Film	
Pulmonary	8	8	17
Lungs rib	8	8	23
Mediastinum	8	8	29

$\alpha=0.05$, Significance point : 13

ている。これは、濃度分布が一様な雑音画像に対し、観察試料に用いた難易度が異なる5種類の肺腺癌ファントムの検出が難しく、信号画像で判断基準のバラツキが大きくなり、ROC曲線を両正規確率紙に転記した直線の傾き(σ_n/σ_p)が1.0より小さいためと断定できる (Table 4)。ここで、 σ_n は雑音画像の分散、 σ_p は信号画像の分散である。

これは、胸部X線画像に比し、胸部模擬ファントムに構造物(肺紋理)がないため、診断結果を母数として正しく診断した割合を表す指標(正診率)の陽性予測度(positive predictive value: PPV)が強調された

Table 4 Gradient of AUC by variance ratio of noise and signal

	Pulmonary	Lungs rib	Mediastinum
LCD	0.46	0.50	0.51
Film	0.46	0.55	0.63

ためと考えられる。したがって、本実験の結果を臨床の胸部X線画像へ適用することはできないが、参考データとして有用と考えられる。

3-2 統計的有意差検定

両側 paired t-検定, Jackknife 法, *Mann-Whitney* の *U* 検定を用いて統計的有意差検定を行った。肺野部・肋骨部・縦隔部においてすべての検定法で *P* 値は 0.05 よりも大きい値を示し (Table 1~3), 観察試料間の変動, データの分布型を考慮しても肺腺癌ファントムの検出能に統計的有意差を認められなかった。したがって、肺腺癌ファントムのように病変の信号が低周波域であるときは、画像表示システムとして Film 画像の読影から LCD 画像の読影に移行が可能であ

ることが示唆された。

Jackknife 法では肺野部・肋骨部・縦隔部の試料間 (C) において統計的有意差が認められた。この試料間の有意差は、検出が比較的容易な試料から困難な試料までの難易度が異なる 5 種類の肺腺癌ファントムを混在¹⁶⁾させて用いたためである。

肋骨部ではモダリティ-試料間 (TC) でも有意差を認めた。これは試料が少数で難易度が異なる 5 種類の肺腺癌ファントムによる変動誤差が AUC の高い肋骨部でより影響を受けた結果で、観察者-試料間 (RC) の変動誤差と同様¹⁶⁾、この有意差は問題にならないと考えられる。

ROC 解析では、観観察者数は 5~10 名、観察試料数は少なくとも 30 画像で行うことが求められている。しかし、統計的誤差を 2~3% にするためにはさらに画像数を増やす必要があり 150~250 画像¹⁷⁾で実験を行うことが推奨されている。よって、ROC 解析における統計的な取り扱いでは、確信度のデータ分布の型を考慮し、確信度の分布を安定させるために必要なサンプルサイズについての検証が重要で、課題として残った。しかし、本検定では観察者間 (R) で統計的有意差が認められなかった。よって、観察者 8 名の読影能力に差がなく検定結果に問題はない。

写真濃度値が低い縦隔部は、AUC が小さくなる傾向がみられた (Fig. 5)。P 値は、写真濃度別に比較すると濃度が低くなるにしたがって増加し、有意差がより起こりにくくなったと考えられる。

今回はデータが少なかったので確信度の分布の型に関わらず検定できる Mann-Whitney の U 検定でも検証した結果、データの分布型の影響を受けずに統計的有意差は認められなかった。Mann-Whitney の U 検定は、母代表値の中央値で比較し、独立した 2 標

本のどちらかが大きければ判定できる。よって、雑音の確信度と信号の確信度で差があるために統計的有意差は認められなかったと考えられる。

以上、ROC 解析で観察者と観察試料数が十分に多いときは、正規分布を背景にしたパラメトリック検定法で観察者間変動や観察試料間変動も評価できる Jackknife 法が正確な検定を行えると報告¹⁶⁾されている。Jackknife 法で検定できる DBM 法は、本研究のような確信度の正規性が弱い観察試料を用いたモダリティの比較においてもその有用性が確認でき、頑健なソフトであることが分かった。しかし、連続確信度のデータ分布型が分からない場合は、平均値検定と同じ結果が得られる⁷⁾ノンパラメトリック法の Mann-Whitney の U 検定も有用な方法と考えられる。

4. 結 語

肺腺癌ファントムと胸部模擬ファントムで作成した画像を、ハードコピー (Film) とソフトコピー (LCD) の異なる画像表示系で ROC 解析を行い、AUC により検出能について比較検討した。

肺野部・肋骨部・縦隔部での Film 画像と LCD 画像の AUC は、パラメトリック法の両側 paired t-検定と Jackknife 法で統計的有意差を認められず、Film 画像と LCD 画像の検出能は同等であった。よって、低周波域に信号成分を有する肺腺癌等の撮影系では、画像表示システムとして LCD が Film に代わることが示唆された。

謝 辞

実験に使用した肺腺癌ファントムの資料とファントム作成に助言いただきました大分県立病院の小野孝二先生に感謝致します。

参考文献

- 1) Hwang SA, Seo JB, Choi BK, et al. Liquid crystal display monitors and cathode ray tube monitors: a comparison of observer performance in the detection of small solitary pulmonary nodules. *Korean J Radiol* 2003; 4(3): 153-156.
- 2) 池田龍二, 桂川茂彦, 下之坊俊明, 他. 胸部結節状陰影と間質性肺病変の検出に関する LCD と CRT モニタの比較. *日放技学誌* 2006; 62(5): 734-740.
- 3) MacMahon H, Metz CE, Doi K, et al. Digital chest radiography: effect on diagnostic accuracy of hardcopy, conventional video, and reversed gray scale video display formats. *Radiology* 1988; 168(3): 669-673.
- 4) 伊藤善治, 石垣武男, 佐久間貞行. CRT 表示におけるデジタル X 線像の評価—基礎的及び臨床的検討—. *日医放会誌* 1988; 48: 1024-1031.
- 5) Dorfman DD, Berbaum KS, Metz CE. Receiver operating characteristic rating analysis: Generalization to the population of readers and patients with the Jackknife method. *Invest Radiol* 1992; 27(9): 723-731.
- 6) 小野孝二, 赤羽恵一, 羽田道彦, 他. 視覚評価のための肺腺癌模擬病変ファントムの開発. *日放技学誌* 2004; 60(9): 1301-1307.
- 7) 渡邊宗孝, 寺見春恵. ビギナーのための統計学. 東京: 共立出版, 1992.
- 8) 竹吉千市. 胸部撮影法の基礎的研究. *日放技学誌* 1975; 31(3): 249-285.
- 9) エックス線写真専門委員会. 診断に適した胸部単純 X 線写真の諸条件. エックス線写真精度管理調査結果報告書 2009. 2. 全国労働衛生団体連合会, 2009: 32-34.
- 10) 奥山武雄. 骨 X 線像の定量的観察についての研究 (鉍物質含有量の X 線学的測定). *日医放会誌* 1965; 25(7): 775-790.
- 11) 白石順二, 山下一也. ROC 評定における察距離と観察時間—単純な信号の場合—. *日放技学誌* 1991; 47(11): 1937-1942.
- 12) 祐延良治. LCD モニタの性能評価. *日放技学近畿部会誌* 2005; 11(2): 26-29.
- 13) National Electrical Manufacturers Association 1300 N 17th Street: Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM) Part 14: Grayscale Standard Display Function.
- 14) 門間正彦, 佐藤 齊, 阿部慎司, 他. 医用画像モニタにおける階調特性の簡易測定法. *茨城県立医療大学紀要* 2007; 12: 59-65.
- 15) 岡田弘治, 宇佐美公男, 倉又雄一, 他. 胸部 X 線写真における総合的画像解析 I—濃度域にわたる解析—. *日放技学誌* 1988; 44(1): 10-17.
- 16) 白石順二, 宇都宮あかね. ROC 解析における画像システム間の統計的有意差の検定方法—Jackknife 法とその適用—. *日放技学誌* 1997; 53(6): 691-698.
- 17) 山下一也. 画像評価法 [III] 5. 信号検出理論による画質評価. *日放技学誌* 1992; 48(12): 2081-2092.

図表の説明

- Fig 1 観察実験に用いた肺腺癌ファントム⁶⁾
- Fig 2 観察に用いた 16 分割の画像
円内に肺腺癌ファントムが描写されている。
- Fig 3 液晶モニタの GSDF と測定した階調曲線
- Fig 4 測定した階調特性と GSDF のコントラスト応答
- Fig 5 肺腺癌ファントムの X 線画像を用いたアベレージ法による ROC 曲線
(a) 肺野部
(b) 肋骨部
(c) 縦隔部

Table 1 フィルムと LCD の AUC による両側 5% の paired t-検定の結果

Table 2 Jackknife 法を用いた AUC の統計的有意差検定
アスタリスクは肺野部と肋骨部では試料間の分散が大きいために検定をしなかったことを示す。

Table 3 AUC による Mann-Whitney U 検定の結果

Table 4 雑音と信号の分散比による AUC の傾き