

増感紙フィルム系の物理特性 —胸部用新システム—

後藤 佐知子 吉田 彰¹⁾ 中村 伸枝²⁾ 丸山 敏則 東 義晴
渋谷 光一 中桐 義忠 杉田 勝彦 本田 貢³⁾

要 約

胸部専用の新しい増感紙/フィルムシステムについて物理的画質特性を測定し、従来のシステムと比較を行った。測定した新システムは、日本コダックのインサイトシステムから HC/IT-1、富士メディカルシステムのADシステムから HG-M/UR-1、コニカのEXシステムから XG-S/ES-C である。従来のシステムとして富士メディカルシステムの HR-4/Super HR-S を使用した。その結果、新システムは 22~73% 感度は高く、特性曲線においては低濃度部を持ち上げ、最大コントラストは高濃度側にシフトしていた。空間周波数 2cycles/mm で相対鮮鋭度を比較すると、新システムが 10~30% 程度の低下となっていた。ノイズは、濃度 1.0 で新システムが 35~46% の減少となった。以上より、新システムは、縦隔部の濃度を持ち上げ、粒状性の改善を重視した設計となっていることが分かった。

キーワード：増感紙フィルム系，物理特性，感度，コントラスト，鮮鋭度，粒状性

はじめに

診療用 X 線撮影フィルムシステムにおいては、感光乳剤の金増感技術の応用、現像処理の自動化、さらには希土類蛍光体ガドリニウムオキシサルファイト $Gd_2O_3 : Tb$ を利用したオルソシステムの開発など、画像記録系の技術は飛躍的に向上した。特に 1980 年代に入ってからオルソシステムの開発は、それ以前のレギュラーシステムに比し、大幅な被曝線量の低減が可能となった。また最近では、高画質化、高速処理、処理の簡易化、経済性、地球環境保全などすべてを満足させることを考えた改良が課題となっている。その中で特に、高画質化においては鮮鋭度の改良を中心に検討され、アンチクロスオーバー技術の発達に伴いかなりの高鮮鋭度を達成してきた。が、その一方で鮮鋭度の向上に伴う粒状性の悪化（雑音の増加）の傾向が指摘されるようになった。この状況に対し非対

称増感紙・非対称フィルムの開発¹⁾や、低感度・極微粒子フィルム、およびそれと組み合わせる高感度・高鮮鋭度増感紙が開発されてきた。

本論文では、胸部専用システムとして開発された新しい増感紙/フィルムシステムについて、感度、コントラストなどを表す特性曲線を測定した。さらに、鮮鋭度の指標として MTF (modulation transfer function) や NCTF (normalized contrast transfer function) および粒状性の指標としてウィナーспекトルを測定し、従来のシステムとの比較を行った。

使用機器および試料

1. 使用機器

X 線発生装置：Toshiba KXO-15

X 線管：Toshiba DRX-190A, 191A, 190D

スリット像撮影装置：特製

岡山大学医療技術短期大学部診療放射線技術学科

1) 広島県立保健福祉短期大学部放射線技術科学科

2) 岡山大学歯学部附属病院歯科放射線科

3) 岡山大学医学部附属病院中央放射線部

X線センシトメータ：特製
 自動現像機：Konica KX-300
 現像液：Konica XD-90C(34℃)
 定着液：Konica XF-SR-C
 濃度計：Konica PDA-15
 マクロデンシトメータ：Konica PDM-5B
 コンピュータ：NEC PC-9801XL²
 Toshiba UX-300F

2. 試料

今回測定した増感紙／フィルム系は、日本コダックインサイトシステムより HC/IT-1、富士メディカルシステム AD システムより HG-M/UR-1、コニカ EX システムより XG-S/ES-C の3つの胸部専用システムである。また、比較のためにコンヴェンショナルな増感紙／フィルム系として富士メディカルシステム HR-4/Super HR-S を使用した。なお、HC/IT-1は、前面と後面の増感紙の感度が異なり、またフィルム乳剤の特性が異なる、いわゆる非対称増感紙／非対称フィルム系である。

測定方法

1. 特性曲線およびグラディエント曲線

各増感紙／フィルム系の測定試料を同条件で作成のため、各増感紙およびフィルムを短冊状に切り、真空カセットにセットし、距離によってフィルムへの露光量を変化させる距離逆2乗X線センシトメータを用いて同時X線曝射を行った^{2,3)}。X線管焦点—フィルム間距離は、最短35cm から最長350cm で、その間を相対露光量の対数値で0.1 刻みになるように距離を変化させ、21段の露光量

変化とした。X線曝射条件は、管電圧80kV、0.5 mmCu+4mmAl の付加フィルタを使用し、管電流20mA、曝射時間0.03秒、0.12秒で2本の濃度階段を得た。この2本の特性曲線をつなぎ合わせて、最大の露光量比を200倍まで拡張した。さらに、コンピュータにより特性曲線データの多項式近似⁴⁾を行いその微分からグラディエント曲線を求めた。
 2. MTFおよびNCTF

スリット法⁵⁾による MTF を求める流れ図を図1に示す。幅10 μ m、高さ32mm、厚さ2 mm のタングステン合金スリットを用い、増感紙／フィルム系に低露光スリット像と高露光スリット像の2本のスリット像を撮影した。また、有効露光量変換のためにスリットを写したフィルムにさらに特性曲線の作成のため階段露光を行った。次に、スリット像をマイクロデンシトメータで走査し、得られた濃度トレースを特性曲線により有効露光量変換を行い LSF (line spread function) を求めた。LSF を求める際、低露光スリット像と高露光のスリット像を結び合わせている。LSF をコンピュータによりデジタルフーリエ変換を行って MTF 値を得た。

HC/IT-1は、前面と後面の増感紙およびフィルム乳剤面の特性が異なるため以下に示す NCTF⁵⁾ を導入した。

NCTF は、空間周波数 u において前面の MTF を $MTF_F(u)$ 、後面を $MTF_B(u)$ 、露光量 Q において前面のグラディエントを $G_F(Q)$ 、後面を $G_B(Q)$ とすると、

$$NCTF(Q,u) = \frac{G_F(Q)}{G_T(Q)} MTF_F(u) + \frac{G_B(Q)}{G_T(Q)} MTF_B(u)$$

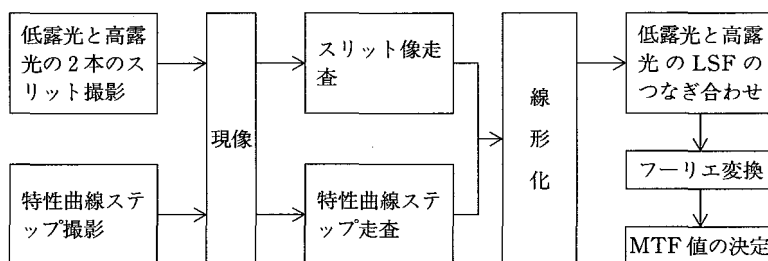


図1 スリット法による MTF 測定流れ図

$G_T(Q) = G_F(Q) + G_B(Q)$ Q : 露光量 u : 空間周波数
と表せる。

このことから、前面と後面のMTFおよび前・後面の特性曲線を求める必要がある。それらの特性曲線より前面と後面のグラディエントを計算し、グラディエントの寄与率をそれぞれのMTFに乗じた後、それらを加えてNCTFとする。なお、このHC/IT-1での前面または後面のみを測定する場合、それぞれ後面または前面の増感紙とフィルム間に黒紙をはさみ露光した。現像後、不要な乳剤面は次亜塩素酸ナトリウムで除去した。

MTFの曝射条件は表1に示す。

3. ウィナースペクトル

撮影条件はそれぞれ縦隔部から肺野部をシュミレーションした濃度 $D=0.50, 1.00, 1.80$ に ± 0.03以内になるよう、管電圧、管電流、曝射時間、距離を調整した。詳細は表1に示す。そしてマイクロデンシトメータのスリット幅 $10\mu\text{m}$ 、高さ 1mm で試料長 100mm を $10\mu\text{m}$ 毎にサンプリングし、10000点のデータを1ラインデータとした。1試料あたり40本すなわち40万点のデータ数から高

速フーリエ変換によりスペクトルを計算した^{6,7)}。このときの理論的標準誤差は5%⁸⁾となる。

結果と考察

1. 特性曲線とグラディエント曲線

図2に4つの増感紙/フィルム系の特性曲線を示す。新しいシステムは、従来のシステムHR-4/HR-Sに比較し低露光量域の濃度が高いことがわかる。新しいシステムの中でも、特にHC/IT-1はその傾向が顕著である。臨床写真上の効果としては、心臓、食道、気管、脊椎などが存在する縦隔部や肝臓などがある横隔膜下部の低濃度領域を持ち上げるため画像診断領域の視認性向上が期待できる。濃度1.0での相対感度の比較では、従来のシステムHR-4/HR-Sの感度を100とし、HC/IT-1が173とかなり高感度に、HG-M/UR-1, XG-S/ES-Cは共に122と若干、感度が高くなっている。

図3は図2の特性曲線から得られたグラディエント曲線である。従来のシステムHR-4/HR-Sの最大コントラストは濃度1.7付近にあるが、HC/IT-1では2.5、HG-M/UR-1では濃度2.0、

表1 特性曲線, MTF, ウィナースペクトル曝射条件

	増感紙/フィルム	管電圧 (kV)	管電流 (mA)		曝射時間 (sec)	備考						
			低露光	高露光								
特性曲線	全 て	80	20		0.03/0.12	フィルタ： 0.5mmCu+4mmAl 撮影距離：35~350cm						
MTF	HC/IT-1 特性曲線曝射時間： 0.06/0.12sec	80	前面低露光	100	0.10	0.14	0.20	フィルタ：2mmAl 使用スリット 幅×高さ：10 μm ×32mm 厚さ：2mm 材質：タングステン合金 撮影距離：80cm				
			前面高露光	400	0.14	0.16	0.20					
			後面低露光	100	0.08	0.10	0.14					
			後面高露光	400	0.10	0.14	0.18					
MTF	HG-M/UR-1 特性曲線曝射時間：0.06sec	80	低露光	100	0.05	0.06	0.10	撮影距離：80cm				
			高露光	400	0.06	0.08	0.12					
			XG-S/ES-C 特性曲線曝射時間：0.08sec	80	低露光	100	0.06		0.08	0.12		
					高露光	400	0.08		0.10	0.14		
MTF	HR-4/HR-S 特性曲線曝射時間：0.01sec	80	低露光	100	0.08	0.10	0.14	撮影距離：80cm				
			高露光	400	0.10	0.14	0.20					
			ウィナースペクトル	HC/IT-1 HG-M/UR-1 XG-S/ES-C HR-4/HR-S	80	100			0.04	0.10	0.40	フィルタ：20mmAl 撮影距離：300~330cm
									0.10	0.25	0.40	
0.10	0.20	0.60										
0.14	0.25	0.60										

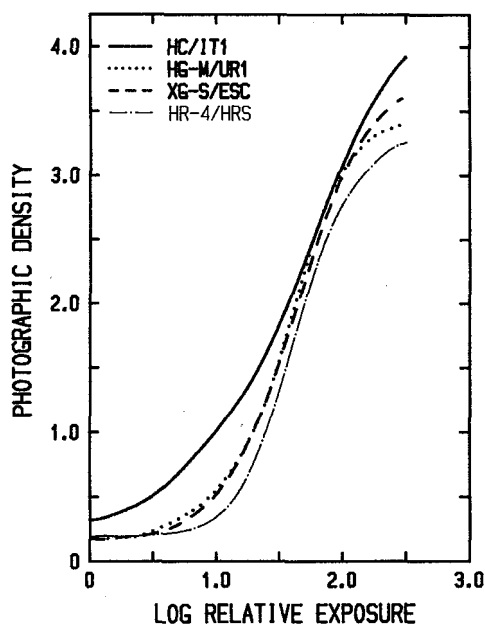


図2 特性曲線

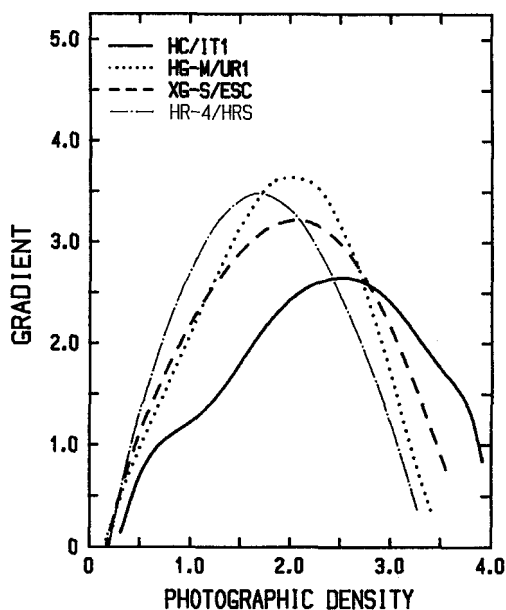


図3 グラディエント曲線

XG-S/ES-Cでは2.1付近にあり、高濃度側にシフトしている。これは、臨床写真上では、高濃度になる肺野部でのコントラストを高めることになる。ただし、通常シャーカステンで胸部X線像を観察する際は、濃度2以上はほとんど識別できない。したがって、新しいシステムのコントラスト特性をいかすには、シャーカステンの輝度を高めたり、部屋を暗くするなどの工夫が必要となろう。また、HC/IT-1は非対称増感紙／非対称フィルム系であり、システム全体では、前面で中～高濃度部（主に肺野部）の、後面で低濃度部（主に縦隔部）の写真濃度を維持するように設計されている。そのため、トータルの特性はこれらを加算したものになっている。⁹⁾

2. MTFおよびNCTF曲線

図4に各増感紙／フィルムのMTFおよびNCTFを示す。HC/IT-1は濃度1.0でのNCTF、その他はMTFで評価している。HG-M/UR-1は1.5cycles/mmあたりから従来のシステムHR-4/HR-Sに対してMTFの低下がみられる。また、XG-S/ES-C、濃度1.0のHC/IT-1の順にほぼ全空間周波数領域でMTFの低下がみられる。空間周波数2cycles/mmで相対鮮鋭度を求めてみる

と、従来のシステムHR-4/HR-Sを100として、濃度1.0のHC/IT-1が71、HG-M/UR-1が91、XG-S/ES-Cが84であった。

HC/IT-1では、非対称増感紙／非対称フィルム系のため、NCTFを導入していることから露光量により解像度特性が変化する。

図5にHC/IT-1の濃度0.5、1.0、1.8における解像度特性を、従来のシステムHR-4/HR-Sを加えて示す。濃度が1.8、1.0、0.5と低くなるにつれ鮮鋭度は低下していることがわかる。濃度1.8では約空間周波数2cycles/mmまでは、HC/IT-1は従来のシステムHR-4/HR-Sとほぼ同等の鮮鋭度を示し、さらに高い周波数になると向上している。空間周波数2cycles/mmで相対鮮鋭度を求めると、従来のシステムHR-4/HR-Sを100として、HC/IT-1では濃度0.5の場合57、濃度1.0では71、濃度1.8では102であった。濃度1.8はほぼ肺野部の濃度となりHC/IT-1は、この濃度で従来システムの鮮鋭性を持つことがわかる。

3. ウィナースペクトル

図6～8に濃度0.5、1.0、1.8におけるそれぞれのシステムのウィナースペクトル曲線を示す。特に問題となる低周波ノイズである空間周波数0.1

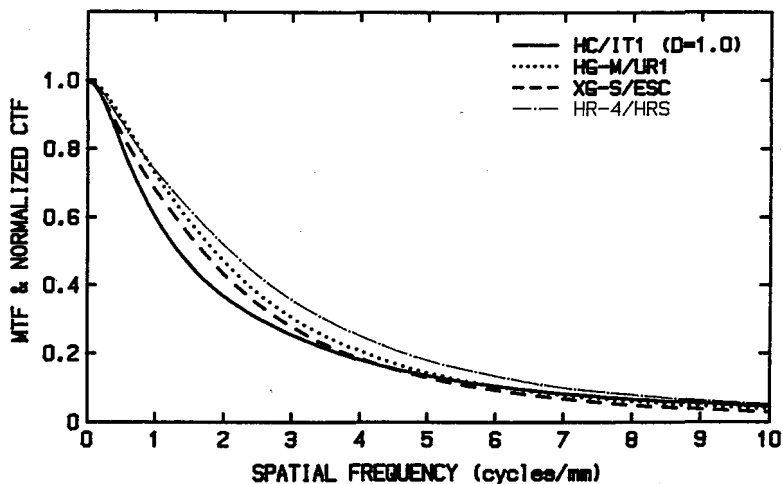


図4 MTFおよびNCTF

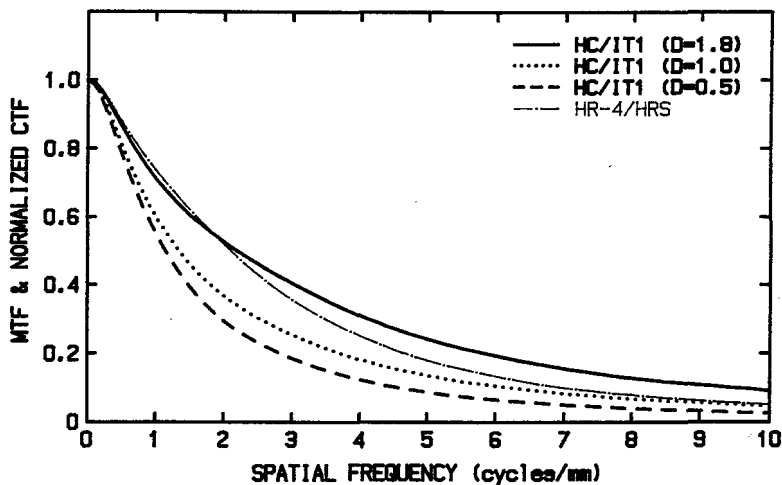


図5 NCTFおよびMTF

から0.5cycle/mmまでのスペクル値をみると、図6に示す濃度0.5における低周波ノイズは、従来のシステムHR-4/HR-Sに比較しHC/IT-1は同等、HG-M/UR-1とXG-S/ES-Cの値は低下しているといえる。0.1~0.5cycle/mmまでのスペクトル値を平均して、それを相対粒状性とする、HG-M/UR-1とXG-S/ES-Cの画像ノイズは約35%程低下し新システムは粒状性が向上していることがわかる。

図7に示す濃度1.0では、新しいシステムの低周波ノイズは、従来のシステムと比較して、HG-M/UR-1とXG-S/ES-Cは約35%、HC/IT-1では約

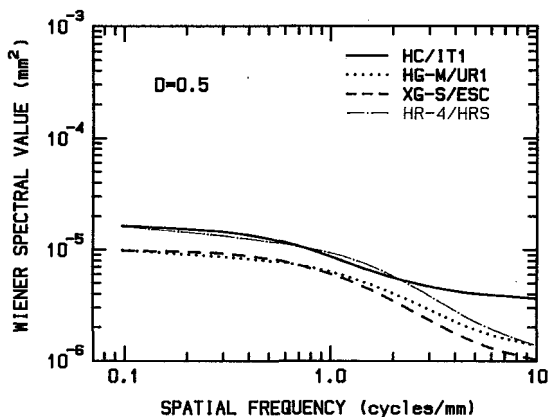


図6 ウィナースペクトル (濃度0.5)

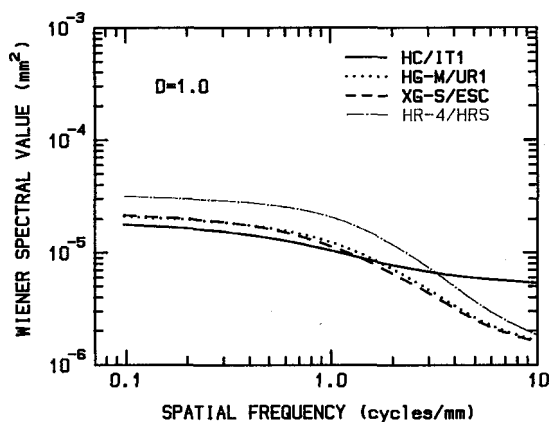


図7 ウィナースペクトル (濃度1.0)

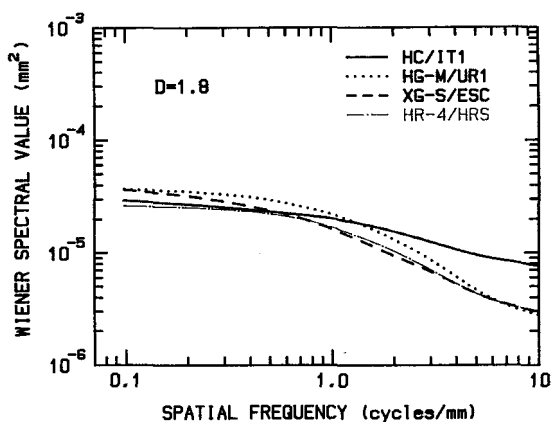


図8 ウィナースペクトル (濃度1.8)

表2 物理的画質特性

増感紙/フィルム		HC/IT-1	HG-M/UR-1	XG-S/ES-C	HR-4/H-RS
相対感度(濃度1.0)		173	122	122	100
平均階調度(濃度1.0)		1.22	2.07	2.17	2.76
相対鮮鋭度(2cycles/mm)		57(濃度0.5) 71(濃度1.0) 102(濃度1.8)	91	84	100
相対粒状度 (0.1~0.5cy/mm WS値 の平均値)	濃度0.5	同等	35%向上	35%向上	—
	濃度1.0	46%向上	35%向上	35%向上	—
	濃度1.8	同等	37%低下	21%低下	—

46%と画像ノイズはさらに低くなり粒状性の向上が顕著である。

図8に示す濃度1.8では、従来のシステムHR-4/HR-Sと比較してHG-M/UR-1は37%、XG-S/ES-Cは21%と逆に粒状性は悪くなっている。HC/IT-1では、従来のシステムと比較してほぼ同等であった。

表2に以上の物理的測定結果をまとめて示す。

ま と め

新しいシステム、インサイトシステムHC/IT-1, ADシステムHG-M/UR-1, EXシステムXG-S/ES-Cを従来のシステムHR-4/HR-Sと比較すると以下の結果が得られた。

1. 感度は、新システムが22~73%程高く、また最大コントラストは高濃度側にシフトした。
2. 鮮鋭度は、空間周波数2cycles/mmで、新システムが10~30%程度の低下となった。

3. 低周波ノイズである空間周波数0.1~0.5 cycle/mmのスペクトル値は、濃度0.5では、HC/IT-1はほぼ同等、HG-M/UR-1, XG-S/ES-Cは、約35%ノイズ減少となり、粒状性が向上した。

濃度1.0では、HC/IT-1, HG-M/UR-1, XG-S/ES-Cにおいて約35~46%のノイズ減少となった。

濃度1.8では、HC/IT-1は同等、HG-M/UR-1, XG-S/ES-Cは、約21~37%と逆にノイズ増加となった。

文 献

- 1) 黒瀬幸三郎：非相称フィルム/スクリーンシステムの開発。第19回秋期学術大会一般研究発表抄録。日放技学誌 48：271, 1992。
- 2) Haus AG and Rossmann K: X-ray sensitometer for screen-film combinations used in medical radiography. Radiology 94：673-678, 1970。

- 3) 吉田彰: Filter bootstrap 法と Modified stepwedge bootstrap 法による増感紙/フィルムシステムのX線センシトメトリー. 日放技学誌 44: 535-541, 1988.
- 4) 吉田彰, 小寺吉衛(編): 放射線受光系の特性曲線(多項式近似). 医療科学社, 東京. 164-174, 1994.
- 5) Metter RV: Describing the signal-transfer characteristics of asymmetrical radiographic screen-film systems. Med. Phys 19: 53-58, 1992.
- 6) 小寺吉衛, 大久敏弘, 田中勲, 岡田弘治, 近藤隆司, 藤村良夫, 升屋亮三: 放射線画像系の粒状性の測定法 (I). 日放技学誌 43: 1743-1768, 1987.
- 7) 小寺吉衛, 大久敏弘, 田中勲, 岡田弘治, 近藤隆司, 藤村良夫, 升屋亮三: 放射線画像系の粒状性の測定法 (II). 日放技学誌 44: 44-62, 1988.
- 8) Doi K, Holje G, Loo LN, Chan HP, Sandrik JM, Jennings RJ and Wagner RF: MTF's and Wiener Spectra of Radiographic Screen-Film Systems. HHS Publication FDA 82-8187: 1-77, 1982.
- 9) 中村伸枝: 低クロスオーバーシステムの画質特性. 日本放射線技術学会第51回総会学術大会発表抄録. 日放技学誌 51: 1346, 1995.

Physical Properties of Screen-Film Systems — New System for Chest Radiography —

Sachiko GOTO, Akira YOSHIDA¹⁾, Nobue NAKAMURA²⁾, Toshinori MARUYAMA, Yoshiharu AZUMA, Koichi SHIBUYA, Yoshitada NAKAGIRI, Katsuhiko SUGITA, Mitsugi HONDA³⁾

Abstract

The new three screen-film systems, Kodak INSIGHT system HC/IT-1, Fuji AD system HG-M/UR-1, and Konica EX system XG-S/ES-C for chest radiography were evaluated. In addition, the conventional system Fuji HR-4/superHR-S was measured for comparison with new systems. The evaluation method is as follows. The image quality characteristics, speed, contrast, resolution and granularity were measured. The sensitivity and contrast were determined by measuring the characteristic curves. The resolution is estimated by measuring the MTF (modulation transfer function) and NCTF (normalized contrast transfer function). The granularity was estimated by measuring the Wiener spectrum. The speed of the new systems were improved by 22% to 73%. The densities at the maximum gradient value were shifted to high density (2.0-2.7). However, they had 10% to 30% less resolution. The other hand, the granularities were improved by 21% to 37% at 1.0 density. These results suggested that the emphasis of new systems was put on improving the image quality of mediastinum region, maintaining performance of the conventional system.

Key words: screen-film system, physical properties, speed(film sensitivity), contrast, resolution, granularity

School of Health Sciences, Okayama University

1) Hiroshima Prefectural College of Health and Welfare

2) Department of Oral Radiology, Okayama University Hospital Attached to Dental School

3) Central Division of Radiology, Okayama University Hospital