テクニカルノート

クロスオーバー減少増感紙の画像特性

肥 合 康 弘・東 田 善 治*・勝 田 昇
高 橋 睦 正・小 寺 吉 衛**・藤 村 良 夫***

熊本大学医学部附属病院中央放射線部

*熊本大学医療技術短期大学部

**広島大学歯学部

***広島大学医学部附属病院放射線部

(論文受理 1988年10月20日)

(最終論文受理 1989年3月17日)

(Code No. 313, 334)

Key words : Screen-film system, Crossover effect, Imaging property, Image quality

IMAGING PROPERTIES AND VISUAL IMAGE QUALITIES OF
REDUCED CROSSOVER SCREENS

YASUHIRO HIAL, *YOSHIHARU HIGASHIDA, NOBORU KATSUDA
MUTSUMASA TAKAHASHI, **YOSHIE KODERA and ***YOSHIO FUJIMURA

Department of Radiology, Kumamoto University Hospital

*Department of Radiological Technology, College of Medical Science Kumamoto University.

**Department of Oral Radiology, Hiroshima University School of Dentistry

***Department of Radiology, Hiroshima University Hospital

(Article received ; Oct., 20, 1988)

Summary

Screen speeds, modulation transfer functions(MTFs), and Wiener Spectra of conventional and reduced crossover screens were measured in the evaluation of the physical properties of anti-crossover system. The relative speeds of reduced crossover screens were comparable to those of conventional screens. The reduced crossover screens improved resolution properties slightly. Noise properties of the reduced crossover screens were comparable to or slightly lower than those of the conventional screens. Radiographs of the hands indicated that reduced crossover screens could improve image quality factor over conventional screens.

1. はじめに

X線診断領域で使われる増感紙—フィルム系の組み合わせとしては、両面増感紙—両面乳剤フィルム（両面システム）が主として使用されている。この場合、最終的な系の MTF (Modulation transfer function) は、フロントおよびバック増感紙のそれぞれの MTF によって影響を受けるが、この他クロスオーバー効果¹⁻⁴⁾によっても劣化することが知られている。

クロスオーバー効果を除去する最も効果的な方法は、片面増感紙—片面乳剤フィルム（片面システム）の組み合わせを用いることである⁵⁾。片面システムを使用することによって、系の相対感度は両面システムに比較して減少するが、解像力が飛躍的に改善する。その結果、同一感度レベルで解像力を比較すると、片面システムがすぐれていることが報告されている⁵⁾。

両面システムで、クロスオーバー効果を減少させるためにとられる方法として、二つの方法が報告されている。一つは乳剤層（フロントおよびバック乳剤）と、フィルムベースの間に光を吸収する着色層を塗布する方法である^{3,4)}。他の一つは、乳剤中に含まれる銀粒子の形状ならびに塗布技術を改善することによってクロスオーバー効果を減少させる試みである。これら二つの方法はいずれもグリーンシステムで行われている。

これに対して、ブルーシステムでは増感紙の発光スペクトルを改善することによって、系の解像力を向上させる方法がとられている⁶⁾。すなわち、増感紙の蛍光体層にピンク色の着色剤を添加することで、増感紙の発光スペクトルの中でクロスオーバー効果の大きい長波長側の光を吸収させる方法である。

これらのブルーシステムの新しい増感紙—フィルム系はすでに臨床に広く利用されている。しかし、これらの系に対する物理特性および画像特性に関する論文はこれまでほとんど発表されていない。この論文では、クロスオーバー効果を減少した増感紙—フィルム系の感度、鮮鋭度、粒状性などの物理特性に加え、ファントム写真の比較から、従来の増感紙—フィルム系に対する比較検討を行う。

2. 実験方法

従来の系として 4 種類の増感紙 (LF-II, LT-II, LH-II, LX-II, kasei Optonix) を用いた。また、クロスオーバー効果を減少した系として、従来の系に相当する相対感度を持つ、4 種類の増感紙 (BF-III, BM-III, BH-

III, BX-III) を使用した。フィルムは RX (Fuji Film) を使用した。

相対感度は、80 kV, 20 mm Al フィルタを使用した線質で測定した⁷⁻⁹⁾。

解像特性は、各増感紙—フィルム系のスリット像から特性曲線¹⁰⁾を用いて線像強度を求め、これをフーリエ変換して MTF で比較した¹¹⁾。

粒状性の比較は Wiener spectrum で行った。Wiener spectrum の測定に使用したサンプルは、80 kV, 20 mm Al フィルタの線質で撮影した。また、test object, および人体ファントムの撮影を行い、視覚評価によって二つの系の画質を比較した。Test object は LF-II, LH-II, およびこれに対応する感度の BF-III, BH-III で撮影した。撮影電圧は 80 kV を使用し、20 mm のアルミニウムフィルタを使用した。Test object 像を 3 名の放射線技師で観察し鮮鋭度、粒状性の主観の評価を行った。

人体ファントムの撮影では、手骨 A-P 撮影を行い視覚評価用サンプルとした。撮影は、新しい系 4 種類と従来の系 4 種類のすべての増感紙を使用し、フィルムは RX を用いた。撮影電圧は 55 kV, 管電流は 50 mA で、撮影時間を調節してすべてのフィルムの写真濃度をほぼ同一に合わせた。また、幾何学的不鋭を除くため SID を 200 cm にした。8 種類の増感紙で撮影した手骨の中から、第 1, 3 指の中節骨、および手根骨（大菱形骨）の 3 カ所をランドマークとして選び、8 名の放射線技師で観察した。観察は従来の系に対応する新しい系の解像力が、『すぐれている（4 点）』、『ややすぐれている（2 点）』、『同等である（0 点）』、『やや悪い（-2 点）』、『悪い（-4 点）』の 5 段階評価とした。新しい系で得られた視覚評価の得点は三つのランドマークで平均し、さらに 8 名の観察者で平均した。最終的に得られた値は鮮鋭度の評価係数¹²⁾ (image quality factor) として視覚評価の判定に用いた。

3. 結 果

Table 1 に 8 種類の増感紙の相対感度の測定結果を示す。相対感度は LT-II/RX を 1.00 として求めた。LF-II, LT-II, に対応する BF-III, BM-III の感度はそれぞれ約 7% および 5% 高い値を示す。一方、BH-III, BX-III の相対感度は LH-II, LX-II と比較して約 7% および 9% 低い値を示すが、従来の系に対応する新しい系の感度差はいずれも小さい。

Fig. 1 に LF-II, LX-II と BF-III, BX-III の MTF の比較を示す。新しい系では、従来の系に対していずれも MTF が改善されているが、その差は少ない。

2 cycles/mm における MTF 値と、従来の系に対する新しい系の MTF の比を **Table 2** に示す。LT-II, BM-IIIを除いて、新しい系では従来の系に対して MTF が4%~10%改善されているが、MTF 値の差で比較すると0.013から0.034となり測定精度¹³⁾を考慮に入れると差は小さい。BM-IIIは、LT-IIにくらべて23% (MTF 値の差で0.08) 高い結果を示している。

Fig. 2 に相対感度と空間周波数 2 cycles/mm におけ

Table 1 Relative speeds of conventional and reduced crossover screen-film systems.

Screens	Relative speeds	Relative speeds to L screens
LF-II	0.59	1.07
BF-III	0.63	
LT-II	1.00	
BM-III	1.05	
LH-II	1.89	0.93
BH-III	1.76	
LX-II	2.21	0.91
BX-III	2.02

Fig. 1 MTFs of the conventional (LF-II, LX-II) and the reduced crossover screens (BF-III, BX-III).

Table 2 Modulation transfer factors of conventional and reduced crossover screen-film systems.

Screens	MTFs	Ratio of MTFs to L screens
LF-II	0.443	1.077
BF-III	0.477	
LT-II	0.345	1.232
BM-III	0.425	
LH-II	0.299	1.043
BH-III	0.312	
LX-II	0.248	1.097
BX-III	0.272	

る MTF 値の関係を示す。相対感度は LT-II を 1.0 として表わした。実線はこれまでの系を表わし、破線は新しい系を示す。増感紙を着色した新しい系は、従来の系に対して同一感度で比較すると、2 cycles/mm における MTF の値が高くなっている。図中で、従来の系の LT-II 増感紙の MTF の値がやや低い値を示しているが、この原因は、実験に使用した増感紙の特性によると考えられる。

Fig. 3 に LF-II, LH-II, と BF-III, BH-III の写真濃度 1.0 における Wiener Spectrum を示す。低周波数領域における新しい系の Wiener Spectrum の値は、従来の系に比較してやや低い同等レベルである。LF-II および BF-III の Wiener Spectrum の値は LH-II および

Fig. 2 Relationship between relative speeds and MTFs at 2 cycles/mm for the conventional and reduced crossover screens.

Fig. 3 Wiener spectra of the conventional (LF-II, LH-II) and reduced crossover screens (BF-III, BH-III).

BH-IIIより高周波領域で高い値を示す。この理由はLF-II, BF-III増感紙のMTFが高いことになる。

相対感度と周波数0.1 cycles/mmのWiener Spectrum値の関係をFig. 4に示す。従来の系に対して、クロスオーバー効果を減少させた新しい系のWiener Spectrum値はやや低い値を示す。しかし、Wiener Spectrumの測定誤差を考えると、両者の同一感度レベルにおける粒状性は差がないと考える。

Fig. 4 Relationship between relative speed and wiener spectral value at 0.1 cycles/mm for the conventional and reduced crossover screens.

Fig. 5 (A), (B)にLF-II(A)とBF-III(B)で撮影したtest objectの写真を示す。test objectの写真濃度は 1.00 ± 0.03 以内におさめた。test objectには、乾燥骨、針、スチールウール、ワイヤーメッシュおよび大きさの異なるビーズ玉などを含む。これらの写真の主観的な観察から、BF-IIIによるtest objectの鮮鋭度はLF-IIと比較してやや改善していることを確認した。また粒状性の差はほとんど認められなかった。

LH-IIとBH-IIIを用いて同様にtest objectの比較を試みた。しかし、両者の間には鮮鋭度および粒状性の差は認められなかった。Fig. 6 (A), (B)に視覚評価に使用した人体ファントムの手骨(第1指中節骨)のX線写真の1例を示す。使用した増感紙はLT-II(A), BM-III(B)である。視覚評価の結果をFig. 7に示す。Fig. 7の各点およびエラーバーはそれぞれ視覚評価の平均値と標準偏差を表わしている。また、点線は視覚評価が0、すなわち従来の系と同等の鮮鋭度を示している。新しい系では、BH-IIIを除いて視覚評価の平均値がプラスになっていて、鮮鋭度がすぐれていることを示している。LT-IIに対する

a)

b)

Fig. 5 Comparison of test object images obtained at 80 kV with 20 mm filtration at 200 cm SID.

a) Conventional screen-film system (LF-II).

b) Reduced crossover screen-film system (BF-III).

BM-IIIの視覚評価は他と比較してすぐれている。これは従来の系と新しい系のMTFの比較で、LT-IIとBM-IIIの差が最も大きいことによるものと考えられる。また

Fig. 6 Comparison of hand radiographs obtained with phantom with 55 kV, and 200 cm SID without a grid.

a) Conventional screen-film system (LT-II).

b) Reduced crossover screen-film system (BM-III).

LH-IIとBH-IIIの視覚評価はほとんど差がなかった。両者のMTFの差は他の系と比べて小さく、このため視覚評価の差がでなかったものとする。

4. 考 察

最近のX線フィルムは従来のフィルムと比較して、乳

剤中に含まれる銀量が減少していることが知られている⁵⁾。このため、クロスオーバー光による鮮鋭度の低下が無視できない。本研究では、クロスオーバー効果に寄与する蛍光波長を選択的に吸収する着色剤を増感紙の蛍光体層に添加した、新しい増感紙の物理特性および写真特性について検討した。

Fig. 7 Result of observer performance test of reduced crossover screens with hand radiographs.

実験に使用したクロスオーバー効果を減少した増感紙は、従来の系と比較してMTFがやや改善する。MTFの比較は2 cycles/mmで行ったが、この理由は、これより低い周波数領域では線像強度分布の外挿の影響で精度が悪くなること、およびMTFは通常交差しないので他の周波数領域でも同様の結果が得られることなどによる⁵⁾。改善の割合は、周波数2 cycles/mmで1種類を除き4%~10%程度であった。この値はこれまで報告されたもの⁶⁾と同程度である。しかし、1種類の系(LT-II, BM-III)の比較では23%の違いがあった。この実験で使用したすべての増感紙、フィルムはこの研究のために新しく購入したものである。購入に際して、各系を代表するサンプルを厳選するようにメーカーに依頼した。LT-IIとBH-IIIのMTF値の違いが、他の系に比較して大きくなったが、この原因は測定に使用したLT-II増感紙の製造上の変動によるものと考えられる。しかし、現在のところ明確な理由はわからない。

一方粒状性はこれまでの系に対して同等か低い値を示した。新、旧二つの系には同一の蛍光体(CaWO₄)が使用されており、X線吸収効率およびX線-光変換効率は同じである。しかし、新しい系では増感紙の発光が一部着色層によって吸収される。このため見かけ上の光変換効率が下がり、粒状の測定結果となったものとする。

ファントム写真による視覚評価では、1種類を除いて、新しい系はいずれも従来の系に対してすぐれた結果を示した。新しい系の中で、視覚評価が従来の系と差がなかった理由は、両者のMTFの差が約4%と小さかったからと考える。MTFの差が最も大きい系(LT-II VS BM-III, 23%)は、視覚評価も最もすぐれていて、物理的評

価と視覚評価の間には矛盾がなかった。しかし、今回の視覚評価に用いた手のX線像は被写体厚が2~3 cmと薄い所であり、他の部位への適用でも同様な結果が得るとは限らない。今後、物理特性と視覚評価、あるいは臨床における診断能との関係については、検討されるべき重要な問題である。

増感紙の蛍光体にクロスオーバー光を選択的吸収する新しい系の物理特性およびファントムによる視覚特性を検討した。これらの新しい系の物理特性は、従来の系に比較して同等か改善されていて、このことは視覚評価からも確認された。

本研究を行うにあたり、いろいろと討論いただきました熊大中放部、高田卓雄技師長にお礼を申し上げます。

文 献

- 1) Sanderson G, Cleare HM. MTF of screen-film systems: the influence of screens and crossover. *Photo Sci Eng*, 18, 251-253, (1974).
- 2) Lawrence DJ. Kodak X-Omatic and Lanex screens and Kodak films for medical radiography. *Med Radiog Photog*, 53, 2-10, (1977).
- 3) Rao GUV, Fatouros PP. Evaluation of a new x-ray film with reduced crossover. *Med Phys*, 6, 226-228, (1979).
- 4) Doi K, Loo L-N, Anderson TM Jr, et al. Effect of crossover exposure on radiographic image quality of screen-film systems. *Radiology*, 139, 707-714, (1981).
- 5) Higashida Y, Frank PL, Doi K. High-speed singlescreen/single-emulsion film systems: Basic imaging properties and preliminary clinical applications. *Radiology*, 149, 571-577, (1983).
- 6) 極光 X-ray, 24, 27-34, (1985).
- 7) Doi K, Kodera Y, Chan HP, et al. MTFs and Wiener spectra of radiographic screen-film systems, volume 2, "HHS publication (FDA)", (1985).
- 8) 東田善治, 勝田 昇, 洞田貫誠志, 他: 増感紙-フィルム系の感度の測定 1 絶対感度の測定, *日放技学誌*, 44, 425-434, (1988).
- 9) 東田善治, 勝田 昇, 洞田貫誠志, 他: 増感紙-フィルム系の感度の測定 2 相対感度および絶対感度の測定, *日放技学誌*, 44, 435-448, (1988).
- 10) 守部伸幸, 東田善治, 洞田貫誠志, 他: 増感紙-フィ

クロスオーバー減少増感紙の画像特性 (肥合・他)

- ルム系の Sensitometry における 2, 3 の改良と測定精度について, サクラ X レイ研究, **38**, 8-11, (1986).
- 11) 東田善治, 松本政典, 荒木不次男, 他: 増感紙-フィルム系の MTF 測定のためのスリット撮影装置の開発, 富士メディカルフォーラム, **154**, 31-36, (1987).
- 12) 小寺吉衛, 谷本啓二, 砂屋敷忠, 他: 頭部 X 線規格写真における増感紙-フィルム系の評価, 歯科放射線, **26**, 23, 30, (1986).
- 13) 東田善治, 守部伸幸, 肥合康弘, 他: 二つの施設における増感紙-フィルム系の MTF の測定精度の比較, 日放技学誌, **43**, 460-466, (1987).