原 著

散乱線, 管電圧, 被写体厚が増感紙—フィルム系の粒状性におよぼす影響

畑 川 政 勝・岸 本 健 治・渡 辺 晋 一・小 堺 和 久

大阪市立大学医学部付属病院中央放射線部

(論文受理 1987年 1 月16日)

(最終論文受理 1987年 8 月21日)

(Code No. 313, 333, 334)

Key words : Radiographic mottle, Scattered radiation, X-ray energy, Screen-film system Granularity

EFFECTS OF SCATTERED RADIATION, TUBE VOLTAGE AND THICKNESS
OF OBJECT ON RADIOGRAPHIC MOTTLE OF THE SCREEN-FILM SYSTEMMASAKATSU HATAGAWA, KENJI KISHIMOTO,
SHINICHI WATANABE and KAZUHISA KOSAKAI

Department of Radiology, Osaka City University Hospital

(Article received ; Jan., 16, 1987)

Summary

A radiographic mottle is usually evaluated under a given X-ray condition such as a tube voltage of 80 kV with 20 mm aluminum filtration.

However, it is thought that radiographic mottles of the screen-film system may be influenced by the energy of X-rays or the content of scattered radiation.

We obtained Wiener spectra under various conditions in which the content of scattered X-rays, the X-ray tube voltage and the thickness of patient were changed.

Several conclusions were able to be drawn from this study : (1) radiographic mottle was slightly improved under the presense of scattered X-rays : (2) the magnitude of radiographic mottle decreased as tube voltage increased : (3) the radiographic mottle was almost same even when the thickness of a patient increased.

1. はじめに

X線写真において粒状性は鮮鋭度, コントラストとともに重要な因子である。増感紙—フィルム系においても粒状性は大きな問題であり, 撮影部位によってはその影響がさまざまな形で現われる。例えば比較的高圧で撮影

する肥満体の腹部撮影においては肝臓部付近で粒状性が目立つ。一方, 手指骨等比較的被写体厚が薄い部位においては余り粒状性は目立たない。この両者で異なるものは管電圧, 被写体厚そして散乱線含有率等である。はたしてこのような因子で粒状性は変化するのか, または視覚上粒状性が変化したように感じられるのかを検討する

必要がある。

粒状性の物理的な評価尺度はRMS (root-mean square) 粒状度や自己相関関数等があるが、最近ではウィナースペクトルによって、より解析的に評価できるようになり^{1,2)} 増感紙—フィルム系についても多くの測定報告がある^{3,4,5)}。

増感紙—フィルム系の粒状性は一般にある特定の条件下 (例えば80 kV, 20 mmAl 付加⁴⁾ 等) で測定される。しかし前記のような因子で粒状性が変化するのであれば、このような特定条件下での測定値だけでは十分ではない。だが、上記のような条件下での粒状性の変化を定量的に測定した報告はあまり見受けられない⁶⁾。

この論文では散乱線の有無による粒状性の変化、管電圧の高低による粒状性の变化および被写体厚が変わった場合における粒状性の变化をウィナースペクトルおよび視覚観察の両面から評価する。なお実験は2箇所の施設で行った。

2. 実験および結果

2.1 散乱線が粒状性におよぼす影響

2.1.1 方法

実験はすべてシカゴ大学 (UC) で行った。増感紙はコダック X-Omatic Regular ($\text{BaSO}_4 : \text{SrEu}$), フィルムはコダック XRP を用いた。X線装置はシーメンス Tridors 150G, X線管はシーメンス Bil25/3/50RG を用い、現像はコダック M8 自動現像機 (RP X-Omatic developer 35.7°C, 90sec) で行った。

散乱体は水20 cm とし、アクリル製の水槽 (照射野20×30 cm) に入れて増感紙—フィルム系の上に配置した。散乱体がない場合は散乱体がある場合とほぼ同等の線質を得るために20 mm 厚のアルミ板をコリメータに附加した^{7,8)}。撮影距離 (FFD) は200 cm である。それぞれの状態で撮影して濃度が $D = 1.0 \pm 0.02$ のウィナースペクトル測定用の試料を各2枚ずつ、計4枚作製した。撮影条件は散乱体がある場合は80 kV, 170 mA, 0.12 sec, ない場合は80 kV, 90 mA, 0.1 sec である。

ウィナースペクトルはアナログ方式の測定器を用いて測定した⁴⁾。測定は一つの試料ごとに場所をかえて4回ずつスキャンして平均値を求めた。さらに散乱体あり、散乱体なしの各2枚の値を平均して3次式で近似してそれぞれの最終値とした。結果を Fig. 1 に示す。

次に視覚による評価を行った。ウィナースペクトルを測定したものと同じ散乱体ありと、散乱体なしの試料を対にして2組とし、それぞれ1対比較で視覚観察を行い、

Fig. 1 Wiener spectra obtained from a sample radiographed with and without X-ray scattering. Radiographic mottle is improved by the addition of scattered radiation.

Table 1 Visual evaluation of radiographic mottle due to scattered radiation by eight observers ×: noisy △: same ○: not noisy
Sample 1

	With Scatter	Without Scatter
A	×	○
B	△	△
C	○	×
D	×	○
E	×	○
F	△	△
G	×	○
H	△	△

粒状性が悪いと感じられる方を選択させた。観察者は放射線物理学者3名、放射線レジデント4名、放射線技師1名、計8名であった。1組の結果を Table 1 に示す。

2.1.2 結果

ウィナースペクトルは散乱線を含んだ方が低周波 (0.3 cycle/mm 以下) において15%低い値となった。視覚評価

においても散乱線を含んだ方が粒状性が良いという答えが 9 例あった。しかしどちらも変わらないと答えたものも 6 例あった。

2.2 X線管電圧が粒状性におよぼす影響

2.2.1 方法

測定はすべて大阪市立大学 (OCU) で行った。増感紙はデュポン Quanta Fast Detail (YT₂O₃:Nb), フィルムはデュポン Cronex-7 を用いた。この増感紙の X 線吸収特性は CaWO₄ のものと非常によく似たものである⁹⁾。X 線装置は東芝 KXO-850, X 線管は DRX-2924HD を

Fig. 2 Wiener spectra obtained with 3-phase 12-peak generator at a tube voltage of 60 kV, 80 kV and 120 kV with 20 mm thick aluminium filtration.

Fig. 3 Wiener spectra at 0.2 cycle/mm as a function of X-ray tube voltage. The values of the Wiener spectra increase as the X-ray energy is increased.

用いた。現像機はデュポン T5A (HSD/M 34.2°C, 90 sec) を使用した。吸収体は 20 mm 厚のアルミニウム板をコリメータに取り付けた。

撮影条件は 60 kV (5.5 mm Al HVL), 200 mA, 0.064 sec; 80 kV (0.6 mm Cu HVL), 100 mA, 0.032 sec および 120 kV (2.1 mm Cu HVL), 20 mA, 0.02 sec で計 3 枚の $D=1.0 \pm 0.02$ の試料を作製した。FFD は 145~155 cm である。

ウィナースペクトルは O.C.U. のデジタル方式で測定した (Appendix 参照)。結果を Fig. 2 に示す。また Fig. 3 に 0.2 cycle/mm におけるウィナースペクトルの値と管電圧の関係を示す。

また増感紙-フィルム系に入射した線量を Victor-660 で試料作成時に同時に測定した。結果を Fig. 4 に示す。次に 60 kV と 120 kV の試料を 6 名の放射線技師により視覚観察した。結果を Table 2 に示す。

2.2.2 結果

Fig. 3 からわかるようにウィナースペクトルは管電圧が高くなるとともに少しずつ高い値となった。60 kV と 120 kV のウィナースペクトルの差は 10% であった。視覚観察の結果は 120 kV の方が粒状性が目立つと答えた者がほとんどであったが、詳細に観察してはじめて差があると答えたものである。一方、一定濃度を得るために増感紙-フィルム系に到達した線量はほとんど一定で管電圧による変化はあまりなかった。

Fig. 4 Relationship between tube voltage and exposure dose to obtain a photographic density of 1.0. Exposure doses at each tube voltage are almost constant.

散乱線, 管電圧, 被写体厚が増感紙-フィルム系の粒状性におよぼす影響 (畑川・他)

Table 2 Visual evaluation of radiographic mottle by six observers. Samples were obtained at 60 kV and 120 kV

	60 kV	120 kV
A	○	×
B	○	×
C	○	×
D	○	×
E	△	△
F	○	×

2.3 被写体の厚さによる粒状性の変化

2.3.1 方法

増感紙, フィルム, X線装置, 現像およびウィナースペクトルの測定は, すべて2.2と同じものを使用した. アクリル板を被写体として0~20 cm まで5 cm ずつ厚さを変化させて計4枚のウィナースペクトル測定用試料を作製した. また散乱線の影響を除くためアクリル板はコリメータに密着させた.

撮影条件はアクリル板なしのとき80 kV, 100 mA, 0.016 sec, 5 cm のとき80 kV, 100 mA, 0.032 sec, 10 cm のとき80 kV, 100 mA, 0.064 sec, および20 cm のとき80 kV, 200 mA, 0.064 sec, とした. FFDは155~165 cm である. 結果を Fig. 5 に示す. またアクリル板厚と0.2 cycle/mm におけるウィナースペクトル値の関係を

Fig. 5 Wiener spectra obtained from samples radiographed with a acrylic board having a thickness of from 5 to 20 cm thick and without an acrylic board. **Fig. 6** Wiener spectral value at 0.2 cycle/mm as a function of the thickness of an acrylic board.

As regards practical application, there is no effect due to the thickness of an acrylic board on a radiographic mottle.

Fig. 6 に示す.

次に6名の放射線技師によりアクリル厚5 cm と20 cm の試料について視覚観察した. 結果を Table 3 に示す.

Table 3 Visual evaluation of radiographic mottle by six observers. Samples were obtained by 5 cm and 20 cm thick acrylic boards

	5 cm	20 cm
A	○	×
B	△	△
C	△	△
D	○	×
E	△	△
F	△	△

2.3.2 結果

ウィナースペクトルはアクリル板5 cm, 10 cm, 20 cm ではほぼ同じ値となったが, アクリルなしは少し低い値となった. しかし Fig. 6 ではこれらを直線で近似した. これはビームハードニングによるウィナースペクトルの変化は, X線エネルギーが変化した場合と同様に, 使用

した増感紙の蛍光体の K 吸収端以外ではほぼ線形が保たれていると判断したためである¹⁰⁾。この近似の結果、アクリルなしとアクリル板 20 cm の 0.2 cycle/mm におけるウィナースペクトルの差は 3 % となった。

視覚観察の結果は差がないと答えた者が 4 名あり、この程度のウィナースペクトルの差では写真上ではほとんど見分けがつかなかった。

3. 考 察

散乱線を含んだウィナースペクトルは散乱線のない場合に比べて 0.3 cycle/mm 以下の低周波領域では 15% 低い値となった。また視覚評価でも散乱線を含んだ方が粒状性が良いという答えが多かった。しかしどちらも変わらないと答えたものもあり、その差はわずかである。この結果は CaWO_4 の増感紙を用いた吉田等の報告⁶⁾とほぼ一致する。

一般に散乱線は画質を低下させる因子と考えられている。しかし粒状性に関しては以上より、ほとんど影響しないか、もしくはわずかではあるが粒状性を良くするように働くと結論づけられる。ここで粒状性が良くなった理由のひとつに放射線の入射方向が考えられる。直接線は一定の方向で増感紙—フィルム系に入射するが、散乱線は多方向から入射する。したがって両面システムの場合にはフロントとバックでは異なった位置で発光する。このことは多くの位置で発光することに相当するため量子モトルの減少を導き、低周波での粒状性が改善されたものと考えられる。

次に管電圧が変化した場合の粒状性は X 線量子のエネルギーが関係する。Vyborny 等は各種の単一エネルギーの放射線についてウィナースペクトルの変化を測定している¹⁰⁾。それによるとエネルギーが高くなると粒状性が悪くなる傾向を示している。これは X 線のエネルギーが高くなると少ない X 線量子で同じ濃度が得られるためである。しかし現実には連続スペクトルをもつためにそれほど大きい影響はなく、われわれの行った実験でも 60 kV~120 kV まで差は少なかった。

一方、一定濃度を与えるのに必要な X 線の量は増感紙の X 線吸収効率に関係し、 CaWO_4 の場合エネルギーが高くなると吸収効率は低下し、より多くのフォトンフルエンスを必要とする (Vyborny¹⁰⁾)。これをレントゲン単位の照射線量に換算した場合、X 線エネルギーが高くなると、より少ない照射量 (レントゲン) で一定濃度が得られる¹¹⁾。これらはいずれも単一スペクトルの X 線であり、連続スペクトルで行ったわれわれの実験では、一定

濃度を得るのに必要な線量 (レントゲン) は、どの管電圧でもほとんど変化しなかった。以上より連続 X 線では単一スペクトルで示されるようなエネルギー依存性はほとんどないことがわかった。これらは蛍光体にもよるが、すくなくとも YTbO_4 : Nb の増感紙については実用上では管電圧による粒状性の変化はわずかであると言える。また特性のほとんど同じ CaWO_4 の増感紙についても同様な結果が得られると推察できる。

この研究では被写体厚を変えた場合のウィナースペクトルを散乱線を含まない状態で検討した。これは散乱線除去法によって散乱線含有率が異なり、散乱線のウィナースペクトルとは別に考えたほうが良いと判断したためと、ビームハードニングによるウィナースペクトルの変化と散乱線によるウィナースペクトルの変化を区別しなかったためである。それ故に、ここで現われているのは、ビームハードニングを受けて、X 線スペクトルが高エネルギー側に片寄ったことによるウィナースペクトルの変化である。しかしウィナースペクトルは被写体厚によってほとんど変化しなかった。これは被写体によるビームハードニングでは、X 線スペクトルの変化が管電圧を変化させたときほど大きくないためである⁸⁾。実際の撮影では被写体厚が増すと散乱線が増加し、それによってウィナースペクトル値はむしろ低くなるものと考えられる。

一方前述のように被写体が厚い場合、画質が大きく低下して粒状性も悪く感じる。一般にこのような被写体の場合管電圧を高くして撮影することや、被写体厚そのものの影響で X 線コントラストが低下する。また散乱線も多く発生しているために、さらに X 線コントラストが低下して、最終的な写真コントラストは極度に低下する。しかし今回ウィナースペクトルを測定した結果では、粒状性の変化は少なかった。したがってこのような低コントラストの写真においては、像のコントラストが低く、ノイズの大きさと差がなくなり視覚的に粒状性が目立つものと推測される。

4. 結 び

画質に大きな影響を与える要因である散乱線、管電圧および被写体厚が変化した場合、増感紙—フィルム系の粒状性がどのように変化するのかを調べた。その結果より以下のことが結論づけられる。

- 1) 散乱線によって粒状性はわずかに改善される傾向がある。
- 2) 管電圧が高くなると粒状性は少し悪くなる。しかしその程度はわずかである。

散乱線, 管電圧, 被写体厚が増感紙—フィルム系の粒状性におよぼす影響 (畑川・他)

- 3) 被写体厚が厚くなった場合, ビームハードニングによる粒状性の変化はほとんどない。
- 4) 以上の要因によるウィナースペクトルの変化はいずれも少なかった。したがって臨床における増感紙—フィルム系の粒状性はほとんどそのシステム固有のものであり, ある特定条件(たとえば80 kV, 20 mm アルミニウム附加のハードビーム)で測定したウィナースペクトルで代表することができる。

謝 辞

この論文の2.1はすべてシカゴ大学において実験した。実験器具, 装置, 施設を使わせていただくとともに, ご指導して下さったシカゴ大学の土井邦雄教授に深く感謝します。また視覚観察をしていただいたシカゴ大学および当大学のスタッフの方々に御礼申し上げます。

Appendix

大阪市立大学でのウィナースペクトル測定法の検討・測定法はBRHレポートの方法にほぼ準ずるものである⁴⁾。マイクロデンシトメータはサクラ PDS-15 を用いアパーチャは $20 \times 1000 \mu\text{m}^2$ とした。A-D コンバータはカノーブス CAD-12-4 を用いサンプリング間隔は $10 \mu\text{m}$, サンプル数は約10000点である。データは2点スムージングの後512点ずつ19セグメントに分け, さらに256点データをずらして18セグメント, 計37セグメントの512点のデータを高速フーリエ変換 (FFT) した。次に37のFFT結果をアンサンブル平均して1回スキンの測定値とした。コンピュータはシャープMZ-2000を用いた。トレンド修正は行っていない。最後に平行光濃度を拡散光濃度に変換するためにマイクロデンシトメータのQ値(装置特性)を求め $\dot{Q}_1$ の補正を行った。上記のスキン〜計算をフィルムの場所を変えて10回行い, その平均を4次式で近似して最終値とした。

測定の正確度を検討するために, シカゴ大学で作製した試料, コダック Xomatic Ragular/XRP (80 kV, 90 mA, 0.1 sec, Filter A120 mm, FFD-200 cm) をシカゴ大学の装置と大阪市立大学の装置で測定した。結果をFig. 7に示す。ここでシカゴ大学の値は平行光濃度であるため直接比較はむづかしいが, 両測定値の差は6%以内であり, 大阪市立大学の測定値はほぼ信頼できると結論した。

文 献

- 1) 内田 勝, 山下一也, 稲津 博: 画像工学, 通商産

Fig. 7 Wiener spectra measured at the University of Chicago and Osaka City University for the same film sample. (X-omatic Regular/XRP)

業研究社, 東京, (1978)

- 2) Robert F. Wagner: Fast Fourier digital quantum mottle analysis with application to rare earth intensifying screen systems. Med. Phys., 4, No. 2, 1, 57-162, (1977).
- 3) Suguru Uchida, Masakatsu Hatagawa, Hiromu Abe, et al.: Evaluation of the Wiener Spectrum of Radiographic Screen-Film Systems by Entropy. J.J.A.P., 21, (2), Feb. 315-318, (1982).
- 4) Kunio Doi, Gunnilla Holje, John M. Sandrik, et al.: MTF's and Wiener Spectra of Radiographic Screen-Film Systems. HHS publication, FDA 82-8187, 1, (1982).
- 5) Kunio Doi, Yoshie Kodera, Leh-Nien Loo, et al.: MTF's and Wiener Spectra of Radiographic Screen-Film Systems Volume II, HHS publication, FDA 86-8257, (1986).
- 6) 吉田日出輝, 内田 勝, 川崎雅明: 散乱X線含有率による粒状性の変化. 医用画像情報学会雑誌, 2(2), 63-69, (1985).
- 7) T R Fewell and K E Weaver; The Measurement of Diagnostic X-ray Spectra with a High Purity Germanium Spectrometer. MEDICAL X-RAY Photo-Optical Systems Evaluation, SPIE, 56, (1975).

-
- 8) R Birch, et al.: Catalogue of Spectral Data for Diagnostic X-rays, The Hospital Physicists Association (1979).
- 9) L Brixner, R S Holland, et al.: Low Print-Through Technology With Rare Earth Tantalate Phosphors. Dupont Imaging Products Product Information, E.I. duPont de Nemours & Co., Wilmington, DE 19898.
- 10) Carl J. Vyborny, Leh-Nien Loo, Kunio Doi: The Energy-Dependent Behavior of Noise Wiener Spectra in Their Low-Frequency Limits: Comparison with Simple Theory. Radiology, **144**(3), 619-622, (1982).
- 11) C E Dick and J W Morts; Image information transfer properties of x-ray fluorescent screen. Med. Phys., **8**(3), May/June (1981).