反転X線写真の空間周波数特性

宮崎県立宮崎病院放射線科
稲 津 博

(論文受付 昭和50年10月4日)

(Code No. 23390)

SPATIAL FREQUENCY CHARACTERISTICS OF REVERSAL RADIOGRAPH

By HIROSHI INATSU

Department of Radiology, Miyazaki Prefectural Hospital.

(Article received; Oct. 4, 1975)

Summary

To improve the film graininess, we have tried the reversal development method.

As the larger silver grains, which are more sensitive than smaller ones, are removed more than smaller ones from the emulsion of film in the process of bleaching, the graininess of the reversally developed film is much better than that of the original negative film. Film graininess is improved especially at the part of higher density of negative X-ray film.

We investigated the modulation transfer function, autocorrelation function and Wiener spectra as to reversal and negative films. The results show that MTF of reversal and negative X-ray films are almost same and so depend only on the sensitivity of intensifying screens.

1. 結 言

X線写真の画質に影響を与える因子の中で、鮮鋭度と粒状性は特に重要である。

鮮鋭度についてはフーリエ解析の手法が導入され多くの研究がなされ解明されている。

一方粒状性についてはその成因が互に依存し複雑であること、成因の83~92%が量子モトルにもとづくものである¹⁾。などの理由であまり研究されていない。しかし最近の研究では、量子モトルがX線写真粒状性の成分に対して占める割合は60~70%といわれている²⁾。したがって量子モトル以外の因子でX線写真の粒状性を改善す

ることが可能と考えられる。

一般にフィルムの感度は乳剤中の臭化銀粒子のサイズと関係がある。フィルム粒状性の良いフィルムは感度が低く、感度の高いフィルムは粒状性が悪い。感度が変わらずに粒状性が良くなることを期待して反転処理を試みた。

本論文は反転処理したX線写真の空間周波数特性を示したものである。

2. X線写真モトルの構成

X線写真の粒状性はX線写真モトルといわれ、Fig. 1に示すようにいくつかの成分が組合さって構成されてい

る³⁾。量子モトルはX線の統計的ゆらぎで起り、構造モトルは増感紙の構造の不規則性で生じる。

両者の組合せはスクリーンモトルとよばれフィルムに記録される以前の露光量分布である。フィルムの粒状性は現像銀粒子の大きさで起り、スクリーンモトルとは独立である。

Fig. 1. The components of radiographic mottle.

3. 反転現像処理法と特性曲線

反転現像は定着を行う前の現像したネガティブ画像から、漂白剤によって黒化銀粒子を取り除く。つぎに残った乳剤に再び露光して現像し、いわゆる陽画として像を出現させる。本研究に用いた反転現像の処方第1現像、第2現像ともにX線用指定現像液を使用し、指定温度と指定時間で処理した。漂白剤、清浄液はTable 1に示すような処方を用いた。このとき漂白終了後からは暗室

Tab. 1. Amount of solute in bleach and clean-up.

Bleach:	Potassium Dichromate	5 g
Clean-up:	Sulfuric Acid	10 ml
	Sodium Sulfite Anhydrous (Dissolve in water of 1l)	100 g

Fig. 2. The film characteristic curves of negative X-ray film and reversal one.

不用である。また定着は第2現像を充分行えば不要とされているが、今回は定着まで行った。再露光は40 Wの蛍光灯2本で充分に露光した。

フィルム特性曲線はTime scale法で作成し60 kVp, 10 mAのX線で露光した。フィルム焦点間距離は200 cm, 増感紙は中感度用, フィルムは高感度用を使用した。

Fig. 2にネガティブ処理をしたX線用フィルムと反転処理をしたX線用フィルムの特性曲線を示す。このようにフィルム特性曲線が両特性曲線の交点にとった濃度軸に関してほぼ対称となるのは、処理過程から考えて当然予想できる結果である。

4. 顕微鏡写真による比較

ネガティブ処理をしたフィルムと反転処理をしたフィルムの銀粒子を顕微鏡で観察し比較した。Fig. 3にその写真を示す。

(a)~(c)の写真は濃度0.5, 1.0, 1.5のネガティブ処理をしたフィルムの顕微鏡写真である。

低濃度では大きい粒子だけが観察され、濃度が高くなるにつれて大きい粒子の増加と共に小さい粒子も徐々に増加している。

(g)~(i)の写真は濃度1~3のネガティブ処理したフィルムを反転処理したフィルムの銀粒子を示す。銀粒子はネガティブ処理をしたフィルムの高濃度部ほど小さくなっているのがわかる。

反転処理したフィルムの濃度0.5, 1.0, 1.5の銀粒子を(d)~(f)に示す。低濃度における銀粒子が非常に小さく、銀粒子の重なりも少なく1個1個の銀粒子が全体に分散している。また高濃度部においてもネガティブ処理をした銀粒子より反転処理をした銀粒子の方が小さい。このように反転処理したフィルムは小さな銀粒子で構成され、その傾向は低濃度部ほどよく現われる。

5. 空間周波数特性

5.1 MTF

増感紙—フィルム系におけるネガティブ処理と反転処理のMTFをFig. 4に示す。

両手法のMTFはほとんど同一特性を示す。これはネガティブ処理でMTFは決定され、その後の処理では変化しないことを示している。増感紙—フィルム系のMTFは増感紙によって支配され、Fig. 4に示すような空間周波数ではフィルムのMTFはほぼ1であるなら、フィルムによってはほとんど変化がない。MTFの測定は矩形

反転X線写真の空間周波数特性 (稲津)

Fig. 3. Microphotographs of blackened silver grains of respective densities of negative and reversal X-ray films.

(a): Negative, Density 0.50.	(f): Reversal, Density 1.50.
(b): Negative, Density 1.00.	(g): Reversal of (a), Density 2.05.
(c): Negative, Density 1.50.	(h): Reversal of (b), Density 1.50.
(d): Reversal, Density 0.52.	(i): Reversal of (c), Density 1.04.
(e): Reversal, Density 1.00.	

波チャート法で行い、濃度分布は有効露光量に変換した。

5.2 自己相関関数とウィナースペクトル

一様に露光されたフィルムを走査アパーチャーを小さくして測定すると濃度はある値を中心に変動する。このある値は平均濃度である。自己相関関数は変動の統計的性質を示すもので、自己相関関数 $R(\tau)$ はつぎのように定義される。

$$R(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} [D(x) - \bar{D}][D(x+\tau) - \bar{D}] dx$$

ここで $\bar{D}$ は平均濃度、 $D(x)$ は x 点における濃度、 τ は移動距離である。

$\tau=0$ のとき上式は2乗平均を示し、分散を表わしている。

自己相関関数 $R(\tau)$ のフーリエ変換はウィナースペクトルである。

ウィナースペクトル $S(\omega)$ はつぎのように示される。

$$S(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} R(\tau) e^{-2\pi i \omega \tau} d\tau$$

ここで ω は空間周波数である。

Fig. 4. MTFs of screen film system of negative and reversal developments. N: Negative, R: Reversal.

Fig. 5. Autocorrelation functions of negative X-ray film and reversal one in each densities. (Densities 0.5, 1.0 and 1.5).

Fig. 6. Wiener spectra of negative and reversal X-ray films in each densities. (This wiener spectra is obtained from fourier transformation of autocorrelation of figure 6.)

ウィナースペクトルは粒子を構成している周波数成分を表わす。

Fig. 5 に中感度増感紙, 高感度フィルム組合せの濃度 0.5, 1.0, 1.5 におけるネガティブ処理したフィルム, 反転処理したフィルムの自己相関関数, Fig. 6 にウィナースペクトルを示す. 自己相関関数の測定は 60 kVp, 10 mA で露光されたフィルムをマイクロデンシトメーターのアーチャーサイズを $25 \times 25 \mu$ とし $50 \mu/\text{sec}$ で走査し, $\tau = 1.818 \mu$ で 3,000 点測定し電子計算機で数値計算した。

Fig. 7. Autocorrelation functions of negative and reversal X-ray films in two screen-film systems. One screen-film system (HS-Q) consists of normal-speed film, SAKURA Q medical X-ray film, and fast intensifying screen (KYOKKO HS); the other (LT-II-QS) consists of fast-speed SAKURA QS medical X-ray film and medium-speed intensifying screen (KYOKKO LT-II).

Fig. 8. Wiener spectra of negative and reversal X-ray films in two combinations of screen-film system. (This wiener spectra is obtained from fourier transformation of autocorrelation function of figure 7.)

反転X線写真の空間周波数特性 (稲津)

ウィナースペクトルは自己相関関数 $\tau=0$ の値の5%値で切断してフーリエ変換した。

Fig. 7 に濃度1.0で増感紙, フィルムの組合せを変えたときの自己相関関数, Fig. 8 にウィナースペクトルを示す。

6. 考 察

一般に量子モトルの影響はX線量の多い程少ない。反転処理したフィルムの粒状性は低濃度で特に勝れているから、反転処理したX線写真の低濃度部はX線写真モトルの良い写真が得られる。また濃度が低いので観察が容易である。したがって、ディテールの良いX線写真が得られ、臨床的に新知見の発見にもつながる。

増感紙—フィルムの組合せを変えたときのX線写真モトルは、高感度増感紙, 中感度フィルムの組合せが、中感度増感紙, 高感度フィルムの組合せと比較して良い結果を示す。

しかし鮮鋭度は増感紙の特性に依存するから上記の組合せでは、X線写真モトルは良くなるが鮮鋭度は他の組合せより悪くなる。

このことは、X線写真モトルと鮮鋭度を含めた総合的な画質評価が必要であることを示している。

反転処理したフィルムは黒化銀粒子のサイズが小さいので粒子が重なる確率が小さい。

濃度0.5における顕微鏡写真がこの状態を良く現わし

ている。

本論文では、反転処理したX線写真の空間周波数特性について述べたが、これらの結果から、量子モトルがX線写真モトルの83~92%を占めるという結果には疑問がある。

また臨床的な応用は、前述の特性から軟部組織、骨部の写真において勝れた効果が期待できる。特に骨膜反応の観察に効果がある。その他にも多くの種類の臨床写真に適していると考えられ、X線写真モトルの構成成分の分離、割合と共に今後に残された問題である。

謝 辞

本研究にあたり終始御指導をいただいた宮崎大学工学部教授、内田勝博士に深く感謝致します。また自己相関関数、ウィナースペクトルは小西六感材技術研究所、田本裕作にお願いし、同研究所の方々に測定していただいたことに深く感謝致します。

文 献

- 1) 土井邦雄, 大頭 仁: ラジオグラフィーにおける粒状性の解析. 応用物理, 35, 11, 1966.
- 2) 高野正雄: X線写真像の画質評価法と要因の解析 (2). 富士X-レイ研究, 102, 1974.
- 3) K. Rossmann: Spatial fluctuations of X-ray quanta and the recording of radiographic mottle. Am. J. Roentgenology, 90, 1963.