ノート

マンモグラフィ用増感紙/フィルムシステムにおける
extended-cycle processの基礎的研究—粒状度—

東 義晴・後藤佐知子・丸山敏則・中桐義忠・杉田勝彦

論文受付
1999年10月25日論文受理
2000年3月2日

Code No. 521

岡山大学医学部保健学科

緒言

一般にマンモグラフィ用フィルム(以下, マンモ用フィルム)は片面乳剤であるため両面乳剤フィルムに比べ, コントラストや感度などの諸特性を現像条件により変化させやすい。そのため, 欧米においては現像時間を延長させるextended-cycle processの研究が行わ

れた¹⁻⁶⁾。一方, わが国ではextended-cycle processに関する詳細な研究報告が見当たらない。そこで, 文献7)において日本で使用されている標準処理用のマンモ用フィルムにextended-cycle processを適用し, その特性曲線の変化について報告した。本論文では引き続き, X線写真のノイズ特性を取り上げた。

Basic Study of the Effect of the Extended-cycle Process on Mammographic Screen/Film Systems: Granularity

YOSHIHARU AZUMA, SACHIKO GOTO, TOSHINORI MARUYAMA, YOSHITADA NAKAGIRI, and KATSUHIKO SUGITA

Faculty of Health Sciences, Okayama University Medical School

Received Oct. 25, 1999; Revision accepted March 2, 2000; Code No. 521

Summary

With single-emulsion films like those used in screen/film mammography, if the developing temperature is higher and/or the processing time is longer than recommended (i.e., extended-cycle process), film speed and/or film contrast are effectively increased. However, it can also be expected that radiographic noise will be increased by the extended-cycle process. Therefore, film graininess and radiographic mottle were investigated with standard and extended-cycle processes in four single-screen/single-emulsion film systems for mammography, the Konica M-150/New CM, Fuji UM MAMMO Fine/UM-MA HC, Kodak Min-R 2000/Min-R 2000, and Kodak Min-R Medium/Min-R M. Investigation was carried out by measurement of the Wiener spectrum (WS). Results showed that the WS of film graininess increased in all films. The increase was greatest in Min-R M, and the rate of increase at 2.0 cycles/mm was 1.67 or more. The film showing the smallest increase was UM-MA HC, for which the rate of increase was 1.03-1.21. There were cases in which the spatial frequency at a 50 percent contribution rate of film graininess to radiographic mottle changed to a low spatial frequency. When only the increase in WS of radiographic mottle was examined, the increase was greatest in Min-R Medium/Min-R M, and the rate of increase at 2.0 cycles/mm was 1.65 or more. Min-R 2000/Min-R 2000 showed the least increase, and the rate of increase was 1.12-1.24. Increases in WS values were larger at 0.1-0.5 cycle/mm than at 2.0 cycles/mm when investigating the influence of trend using film graininess, and roller marks and so on could not be specified as a cause.

Key words: Mammography, Screen/film system, Extended-cycle process, Granularity, Wiener spectrum別刷資料請求先: 〒700-8558 岡山市鹿田町 2-5-1
岡山大学医学部保健学科 東 義晴 宛

よく知られているように、RossmannはX線写真の粒状度(以下、X線写真モトル)はスクリーンモトル(量子モトル+増感紙の構造モトル)およびフィルム粒状度から構成されることを示した⁸⁾。それに基づく、コントラストや感度が上昇するextended-cycle processの場合、modulation transfer function(MTF)が高い低空間周波数域では、おもに量子モトルの増加によりX線写真モトルが増加することは容易に推察できる。また、処理時間を標準より延長することにより、現像銀の成長過程などが影響を受け、フィルム粒状度が変化する可能性が考えられる。特にMTFの低下する高空間周波数域では、相対的にフィルム粒状度の占める割合が高くなるためその変化を調べてみる必要がある。欧米の研究報告ではroot mean square(RMS)粒状度による評価のみであるが、extended-cycle processによりX線写真の粒状性が多少悪化する報告がされている²⁾。

また実験を行うにあたり、どのようなextended-cycle processの条件を選択するかが問題になるが、その結論を得るためには物理的画質特性だけでなく、視覚評価も必要になる。その前段階である基礎的なデータ収集を目的としてextended-cycle processの条件を、低温長時間、高温長時間、さらにそれらと標準処理のほぼ中間になるような温度、処理時間の3種類に設定した。そして、extended-cycle processがX線写真のノイズ特性に与える影響についてWiener spectrum(以下、WS)の測定により調べたので報告する。

1. 使用機材および方法

1-1 使用機材

マンモ用X線撮影装置：

Model MGU-01 (Mo target / Mo filter)
(東芝・東芝メディカル株式会社製)

自動現像機 : KX-170B
温度調節 : 25～45°C
処理時間 : 45～210s(無段階可変)
現像タンク容量 : 7l
現像液 : XD-90C
定着液 : XF-SR・C
濃度計 : PDA-15
マイクロデンシトメータ : PDM-5B

(以上、コニカ株式会社製)

増感紙/フィルム：

M-150/New CM(コニカ株式会社製)、UM MAMMO Fine/UM-MA HC(富士メディカルシステム株式会社製)、Min-R 2000/Min-R 2000, Min-R Medium/Min-R M(日本コダック株式会社製)

1-2 実験方法

まず、フィルム粒状度は、増感紙とフィルム間に空隙を設けて露光することにより、量子モトルや増感紙の構造モトルを量かし除去した試料から求めることができる⁸⁾。そこで、3社4種類のマンモ用フィルムに対し、フィルムと増感紙を15mm離して保持できるペーパーカセットを用いてフィルム粒状度用の試料を作成した⁹⁾。さらに、スクリーンモトルおよびフィルム粒状度を含むX線写真モトルを測定するため、真空カセットを用いてフィルムと増感紙を密着させ試料を作成した。また、American College of Radiology (ACR)のプログラムによる画質管理やTannerらの報告¹⁰⁾によると、構造が認識できる最低濃度は0.8、マンモグラフィの平均濃度は1.3であることから、試料濃度をそれらに合わせ、誤差が ± 0.02 となるよう撮影条件を調整した。その際、ヒール効果の影響を少なくして、できるだけ均一な試料濃度の面積を広く得るため、焦点-フィルム間の距離を約250cmに設定するとともに、カセットを管球の長軸に対して角度(約5度)をつけて保持した。管電圧は28 kVとし、使用した装置の通常の撮影距離(60cm)では、線質(第一半価層)は0.31mmAlである。試料作成においては、焦点-フィルム間の距離を約250cmに設定したため線質は0.41mmAlとなった。extended-cycle processの条件、すなわち現像温度-処理時間は、まず低温長時間を想定して30°C-210sとした。また、温度、処理時間の上限値として34°C-210s、さらにそれらと標準処理の中間の温度、処理時間になる32°C-150sをextended-cycle processの条件に選んだ。使用した自動現像機の現像のみの時間、すなわちフィルムが現像タンクに入り始めてから、出始めるまでの時間は、処理時間90, 150, 210sに対し、実測値でそれぞれ21, 32, 48sである。なお、標準処理条件34°C-90sにおける濃度1.3の各フィルムの露光条件は、40～60mAsであり、これはRMI 165 ファントム(GAMMEX RMI社、圧迫乳房厚5cm相当で、脂肪組織50%、乳腺組織50%をシミュレートしている)を使用して、グリッド(+)で撮影する条件にほぼ相当する。また、extended-cycle processの露光条件を標準処理を基準に相対値としてTable 1に示す。

以上の試料濃度、現像条件の異なるフィルム粒状度およびX線写真モトル用の各試料を、マイクロデンシトメータによりスリット幅10 μ m、高さ1mmで走査して、40万点の濃度データをサンプリングした。さらに、高速フーリエ変換を行いWSを計算したが、その際、Qファクタ補正処理およびトレンド処理(移動平均トレンド除去法：1000)を行った^{11, 12)}。

2. 結果

2-1 フィルム粒状度

Fig. 1～4に標準処理およびextended-cycle processによるフィルム粒状度の WS_r (以下, WS_r)を, 後述するX線写真モトルの結果も合わせて, フィルム(システム)ごとに示す. さらに, 空間周波数2.0cycles/mmにおいて, 標準処理の値を基準にしてextended-cycle processの WS_r 値を増加率で表すデータ整理を行いFig. 5に示した. その際, 試料濃度(以下, “D=”と表示)別に分け, グラフの横軸を処理時間, 縦軸を現像温度として, ●で表したマーカの直径に増加率を対応させた. なお, 増加傾向が分かりやすいように, extended-cycle processではない30°C-90sの増加率を○で表示するとともに, 標準処理の WS_r 値(mm^2)を付け加えた. まず, Fig. 1に示したNew CMでは, 最も大きな影響が考えられる34°C-210sにおいて WS_r は最大になり, Fig. 5に示した増加率は, 1.60(D=0.8), 1.76(D=1.3)になった. 次にUM-MA HCでは, Fig. 2に示したように増加は少なく, Fig. 5に示した増加率は, 最大1.16(D=0.8, 34°C-210s), 1.21(D=1.3, 32°C-150s)に留まった. また, Fig. 3のMin-R 2000では, extended-cycle processの各値は接近し, Fig. 5に示した増加率は, 1.39～1.62(D=0.8), 1.25～1.38(D=1.3)の範囲であった. Fig. 4のMin-R Mでは, 4種類のフィルムの中で最も増加が著しくFig. 5に示すように1.67(D=1.3, 32°C-150s)以上の増加率になった. なお, 以上のように増加率すなわち相対値で評価してきたが, 絶対値はいずれのフィルムにおいてもD=0.8よりD=1.3の場合が大きくなっている.

2-2 X線写真モトル

X線写真モトル(以下, WS_r)の変化は, おもにスクリーンモトル(以下, WS_s)の増加と考えられる. そこで, WS_r から WS_s の値を減算して WS_s を求めた. 前述のフィルム粒状度と同様に, 2.0cycles/mmの WS_s 値において, 標準処理を基

Table 1 Relative exposure with the extended-cycle process on the basis of exposure with the standard-cycle process (34°C-90 s).

Screen/film	Density	30°C-210 s	32°C-150 s	34°C-210 s
M-150/New CM	0.8	0.80	1.04	0.64
	1.3	0.80	1.04	0.63
UM MAMMO Fine/UM-MA HC	0.8	0.80	1.00	0.63
	1.3	0.78	1.00	0.63
Min R 2000/Min R 2000	0.8	1.00	0.80	0.80
	1.3	1.00	0.78	0.78
Min-R Medium/Min-R M	0.8	0.80	1.00	0.80
	1.3	0.64	0.80	0.50

Fig. 1 Wiener spectra of film graininess and radiographic mottle of M-150/New CM.

Fig. 2 Wiener spectra of film graininess and radiographic mottle of UM MAMMO Fine/UM-MA HC.

準にしたextended-cycle processの増加率をFig. 6に示した. Fig. 5と同様に処理時間, 現像温度をそれぞれグラフの横軸, 縦軸として, マーカの直径に増加率を

Fig. 3 Wiener spectra of film graininess and radiographic mottle of Min-R 2000/Min-R 2000.

Fig. 4 Wiener spectra of film graininess and radiographic mottle of Min-R Medium/Min-R M.

対応させた。この場合も30°C-90sの増加率のマークや標準処理の WS_r 値を参考に付け加えた。まず、M-150/New CMでは両濃度とも34°C-210sの増加率が最大値を示した。ただしこのシステムの場合、 $D=0.8$, 1.3 の、32°C-150sでは、増加率は0.95, 0.89になり標準処理より WS_r 値は下がる。これは、Table 1に示したように露光条件を増加させた影響が現れていると考えられる。UM MAMMO Fine/UM-MA HCでは、34°C-210sの増加率が最大値を示すが、30°C-210sの場合も比較的近い値を示した。Min-R 2000/Min-R 2000の増加率は、 $D=1.3$, 32°C-150sで最大値1.24を示す。この値は、各システムの持つ最大増加率の中で最も低い値である。一方、最も WS_r 値の増加が大きく現れたシステムはMin-R Medium/Min-R Mであり、増加率は1.59以上になった。特に、 $D=1.3$, 34°C-210sのex-

tended-cycle processにおける増加は著しい。

以上の結果、X線写真モトルは、上記のスクリーンモトルと前述のフィルム粒状度の増加により、10cycles/mmまでの WS_r 変化はFig. 1~4のようになる。ここでTable 2に2.0cycles/mmにおけるX線写真モトルの増加分に対するスクリーンモトルとフィルム粒状度の増加分が占める割合、すなわち増加内訳を示す。Min-R 2000/Min-R 2000の $D=1.3$, 30°C-210sにおいては、フィルム粒状度の増加分がX線写真モトルの増加分の40%を占めるに至っているが、いずれのシステムにおいてもスクリーンモトルの増加分が占める割合は大きい。さらに、Fig. 5, 6と同様に2.0cycles/mmにおける WS_r 値を、標準処理に対する増加率でFig. 7に示した。Table 2で示したように、スクリーンモトルが増加内訳においても支配的であることから、Fig. 7はFig. 6に類似した増加傾向を示す。

3. 考 察

3-1 フィルム粒状度

extended-cycle processはいずれのフィルムに対してもフィルム粒状度、 WS_r を増加させた。New CMのスクリーンモトル、 WS_s が減少する32°C-150sの場合にも WS_r は増加した。extended-cycle processの影響を WS_r の増加率でみると、対象にしたフィルムの中でUM-MA HCが最も影響が少なく、Min-R Mが最も大きな影響を受けた。また、Min-R 2000では、Fig. 5に示した WS_r の増加率は $D=1.3$ より $D=0.8$ の場合が明らかに大きく、他のフィルムの傾向と異なった。ただし、標準処理における $D=0.8$ の WS_r が他のフィルムより小さいことが増加率を高くしており、extended-cycle processの WS_r は、標準処理のUM-MA HCとほぼ同等のレベルになる。以上のようにextended-cycle processにおいては、フィルム粒状性の悪化は避けられないといえる。また、フィルム粒状度において濃度ゆらぎの WS の断面は、低濃度領域では理論的に導出できることが知られており、その値は、ほぼ平均濃度、粒子の面積に比例する^{13, 14)}。このことを参考にすれば、現像銀粒子の大きさはextended-cycle processにより増大しているこ

Fig. 5 Changes in Wiener spectral values of film graininess at 2.0 cycles/mm with processing time and developing temperature. These Wiener spectral values are shown as rates of increase on the basis of values with the standard-cycle process (34°C—90 s). Each diameter of the marker corresponds to the rate of increase in the Wiener spectral value added to the graph. The value in parentheses in the graph is the Wiener spectral value (mm^2) with the standard-cycle process.

とが推測される。

次に、X線写真モトルに対するフィルム粒状度の割合、つまり寄与率をFig. 1～4のWS値より算出した。さらに、extended-cycle processがフィルム粒状度に与える増加の評価指標として、寄与率が50%、すなわちフィルム粒状度がスクリーンモトルと同等にX線写真のノイズ特性に影響を及ぼす空間周波数を調べTable 3に示す。UM MAMMO Fine/UM-MA HCでは、スクリーンモトルの増加が大きいため、寄与率50%の空間周波数は高周波数側に移動したがM-150/New CM, Min-R 2000/Min-R 2000, Min-R Medium/Min-R Mでは低周波数側に移動する場合がある。特にD=1.3, Min-R Medium/Min-R Mにおいては、標準処理の寄与率50%の空間周波数は3.9cycles/mmと比較的低周波数であるが、extended-cycle processの寄与率50%の空間周波数は、さらに低い値を示し32°C—150sにおいては2.9cycles/mmになった。extended-cycle processの寄与率50%が低周波数側に移動しても5.0cycles/mm以上の高周波域である他のシステムに比較して、D=1.3, 32°C—150sのMin-R Medium/Min-R Mでは、フィルム粒状度の影響が顕著に現れると考えられる。

Fig. 6 Changes in Wiener spectral values of screen mottle at 2.0 cycles/mm with processing time and developing temperature. These Wiener spectral values are shown as rates of increase on the basis of the value with the standard-cycle process (34°C—90 s). Each diameter of the marker corresponds to the rate of increase in the Wiener spectral value added to the graph. The value in parentheses in the graph is the Wiener spectral value (mm^2) with the standard-cycle process.

3-2 X線写真モトル

extended-cycle processによるX線写真モトル、WS値の増加が小さいシステムは、M-150/New CMで32°C—150sとなる。しかし、システム感度が標準処理より低くなり、Table 1に示したように露光量を増加させている。さらにこれは、患者被曝線量の増加につながるから、比較の対象から除外すると、Min-R 2000/Min-R 2000が最も影響の少ないシステムといえる。このシステムはTable 1に示したように、露光条件は最大で20%程度の減少に留まっている。さらに、Min-R 2000のグラディエントはextended-cycle processを行っても上昇しないことが、この結果のおもな要因になっていると考えられる。参考に、センチメータを用いたデータであるが、本論文の各フィルムに該当するグラディエントを文献7)から抜粋してFig. 8に示す。一方、extended-cycle processのWS値の増加が最も大きいMin-R Mは、Fig. 8のようにグラディエントの増加が大きく、さらにTable 1に示した露光条件は最大で50%程度まで減少する。

ここで、量子モトルとともにスクリーンモトルのもう一つの構成要素である増感紙の構造モトルは、だいたい蛍光体粒子径にだけ依存する¹⁵⁾とすれば、Fig. 6

Table 2 Rates for which increments in screen mottle and film graininess account for the increment in radiographic mottle at 2.0 cycles/mm.

Screen/film	Density	Dev.Temp.- Proc.Time	Film graininess	Screen mottle
M-150/New CM	0.8	30°C—210s	31.9	68.1
		32°C—150s	—	—
		34°C—210s	12.4	87.6
	1.3	30°C—210s	34.0	66.0
		32°C—150s	—	—
		34°C—210s	16.0	84.0
UM MAMMO Fine / UM- MA HC	0.8	30°C—210s	0.9	99.1
		32°C—150s	6.5	93.5
		34°C—210s	3.8	96.2
	1.3	30°C—210s	1.9	98.1
		32°C—150s	14.1	85.9
		34°C—210s	5.2	94.8
Min R 2000/ Min R 2000	0.8	30°C—210s	34.9	65.1
		32°C—150s	21.3	78.7
		34°C—210s	30.8	69.2
	1.3	30°C—210s	40.4	59.6
		32°C—150s	13.0	87.0
		34°C—210s	21.1	78.9
Min-R Medium/ Min-R M	0.8	30°C—210s	16.3	83.7
		32°C—150s	29.5	70.5
		34°C—210s	12.6	87.4
	1.3	30°C—210s	21.9	78.1
		32°C—150s	27.1	72.9
		34°C—210s	18.7	81.3

unit: %

Table 3 Spatial frequencies at a 50% contribution rate of film graininess to radiographic mottle.

Screen/film	Density	34°C—90s	30°C—210s	32°C—150s	34°C—210s
M-150/New CM	0.8	>10	9.7	8.1	9.9
	1.3	9.3	7.5	6.0	8.9
UM MAMMO Fine /UM-MA HC	0.8	8.6	>10	9.2	>10
	1.3	8.3	10.0	9.3	>10
Min R 2000 /Min R 2000	0.8	>10	10.0	>10	9.1
	1.3	>10	>10	>10	9.6
Min-R Medium /Min-R M	0.8	6.3	5.9	4.8	7.4
	1.3	3.9	7.0	2.9	6.4

unit: cycles/mm

またはFig. 7の増加傾向は、extended-cycle processによるシステムのコントラスト、感度などの変化の組み合わせ結果をおもにみているにほかならない。なお、正確には、MTFもかかわっており、extended-cycle processを行うと多少MTFの低下があると思われる¹⁶⁾。

3-3 トレンド

現像の温度、時間の影響とは別に、extended-cycle processはフィルムがローラと接触する時間が長くなることから、トレンドの原因となる現像むらやローラマ

Fig. 7 Changes in Wiener spectral values of radiographic mottle at 2.0 cycles/mm with processing time and developing temperature. These Wiener spectral values are shown as rates of increase on the basis of values with the standard-cycle process (34°C—90 s). Each diameter of the marker corresponds to the rate of increase in the Wiener spectral value added to the graph. The value in parentheses in the graph is the Wiener spectral value (mm²) with the standard-cycle process.

ークなどが大きくなる可能性が考えられる。そして、これらの影響は低空間周波数域で現れる。そこで、まず標準処理およびextended-cycle processのWS_rより0.1～0.5cycle/mmの平均値を求め、低空間周波数の値とした。さらに、標準処理に対するextended-cycle processの低空間周波数および2.0cycles/mmにおけるWS_rの増加量を算出した。その結果をTable 4に示すとともに低空間周波数および

2.0cycles/mmのWS_rの増加量を比較した。これは、3-1項でも触れたが、WS_rは、理論的に導出でき、0～数十cycles/mmでは一定の値とみなせる、すなわち空間周波数により変化しないことに基づいたものである。実際のフィルムでは、厳密にはWS_rは一定にならず¹⁷⁾、また実際の黒化銀の分布は、三次元的に広がり、完全にランダムに分布していないなど、理論モデルとの差異があるとされている^{13,14)}。なお、トレンド処理は、extended-cycle processによる試料に対しても標準処理と同じ条件で行っている。

その結果、いずれのフィルムにおいても2.0cycles/mmより低空間周波数において、extended-cycle processの WS_r の増加量が大きくなる傾向が認められた。また、34°C-210sの場合に、その傾向が大きいといえるが、すべてのフィルムにあてはまらない。自動現像機のローラの状態は非常に微妙な問題であり、その影響は必ずしも明瞭に出てこないと思われる。ただし、トレンド処理によりローラマークや濃度むらなどが適切に除去されているとすれば、 WS_r の増加傾向の原因は、以下のような現象との関連が考えられる。extended-cycle processによる黒化銀粒子の大きさの増大に加え、その分布が三次元的に拡がり、完全にランダムに分布していないこと。また、extended-cycle processでは処理時間の延長から、これらの現像銀粒子の大きさ・構造や分布が、その後の過程での乳剤膜の膨張や収縮に伴って変化することなども挙げられる¹⁸⁾。

さらに、これらのことはスクリーンモトルを低空間周波数域で算出する場合、別々に作成するX線写真モトル、フィルム粒状度用の試料に同等のトレンドなどの影響がないと誤差を生むことになる。ただ、Table 4から分かるように低空間周波数と高空間周波数の違いは、Min-R Medium/Min-R M(D=0.8, 34°C-210s)を除くとX線写真モトルやスクリーンモトルの WS 値より一桁少ない場合がほとんどであり、10%程度の誤差に留まると考えられる。以上、さらに詳細な検討は必

Fig. 8 Gradients at densities of 0.8 and 1.3 plotted versus processing time at each developing temperature. The gradients were obtained from characteristic curves of films exposed by a sensitometer.⁷⁾

要であるが、少なくともextended-cycle processにより2.0cycles/mmに比較して低空間周波数の WS_r 値の増加が大きくなる傾向が認められた。

なお、すでにNew CMは、CM-Hに替わっている。CM-Hに対する予備実験では、UM-MA HCとNew CMの中間程度にextended-cycle processの影響が現れると

Table 4 Comparison between 0.1-0.5 and 2.0 cycles/mm in the increment in the Wiener spectral value of film graininess by extended-cycle process. The values in this table were obtained by subtracting the Wiener spectral values for the standard-cycle process from those for the extended-cycle process, at 0.1-0.5 and 2.0 cycles/mm. The Wiener spectral values of 0.1-0.5 cycles/mm were obtained by averaging the Wiener spectral values from 0.1 to 0.5 cycles/mm.

Screen/film	Density	cycles/mm	30°C-210s	32°C-150s	34°C-210s
M-150/New CM	0.8	0.1-0.5	6.67	5.89	12.1
		2.0	2.63	1.11	7.73
	1.3	0.1-0.5	3.86	8.65	14.0
		2.0	3.33	6.13	10.4
UM MAMMO Fine /UM-MA HC	0.8	0.1-0.5	4.28	3.55	7.33
		2.0	0.30	1.46	1.72
	1.3	0.1-0.5	1.17	4.44	5.26
		2.0	0.96	3.39	2.98
Min R 2000 /Min R 2000	0.8	0.1-0.5	7.79	7.71	8.18
		2.0	4.41	2.76	3.75
	1.3	0.1-0.5	8.52	7.13	10.5
		2.0	5.07	3.33	3.40
Min-R Medium /Min-R M	0.8	0.1-0.5	16.4	17.6	41.1
		2.0	10.8	10.6	19.6
	1.3	0.1-0.5	29.3	13.4	140
		2.0	22.4	12.3	89.2

unit: $\times 10^{-7} \text{mm}^2$

予測している。

4. 結 語

マンモ用片面増感紙/片面乳剤フィルムシステム、M-150/New CM, UM MAMMO Fine/UM-MA HC, Min-R 2000/Min-R 2000, Min-R Medium/Min-R Mにおいてextended-cycle processがX線写真のノイズ特性に及ぼす影響をWSの測定より調べた。以下に得られた標準処理との比較結果を要約する。

4-1 フィルム粒状度

いずれのフィルムもWS値は増加した。Min-R Mに最も大きく影響が現れ、2.0cycles/mmの増加率は1.67以上になった。また、影響が最も小さく出たフィルムはUM-MA HCであり、その増加率は1.03~1.21であった。また、フィルム粒状度の寄与率50%の空間周波数は、標準処理より低周波数になる場合があった。

4-2 X線写真モトル

WS値の増加結果のみ取り上げると、Min-R Mに最も大きく影響が現れ、2.0cycles/mmの増加率は1.65以上になった。また、影響が最も小さく出たシステムは

Min-R 2000/Min-R 2000であり、その増加率は1.12~1.24であった。

4-3 トレンド

標準現像およびextended-cycle processにおける共通のトレンド処理を行ったフィルム粒状度の測定結果を用いて調べた。その結果、WS値の増加は2.0cycles/mmに比較して低空間周波数域(0.1~0.5cycle/mm)で大きくなる傾向が認められた。現像むらやローラマークなどの影響の増加とともに黒化銀の大きさ・構造や分布の変化が原因として考えられる。

謝 辞

今回の研究にあたり貴重な助言をいただいた広島県立保健福祉短期大学 吉田 彰氏をはじめ医用画像情報研究会の皆様へ深謝いたします。

なお、本論文は、日本放射線技術学会第53回総会学術大会(平成9年4月、横浜)で発表した内容の一部に、追加実験の結果を加えまとめたものである。

参考文献

- 1) Kimme-Smith C, Rothschild PA, Bassett LW, et al.: Mammographic film-processor temperature, development time, and chemistry: Effect on dose, contrast, and noise. Am J Roentgenol, 152, 35-40, (1989).
- 2) Tabar L and Haus AG: Processing of mammographic films: Technical and clinical considerations. Radiology, 173, 65-69, (1989).
- 3) Haus AG: State of the art screen-film mammography: A technical overview. Screen Film Mammography, Imaging Considerations and Medical Physics Responsibilities. pp.1-46, Medical Physics Publishing, Madison Wisconsin, (1991).
- 4) Kimme-Smith C: Mammography screen-film selection, film exposure and processing. Screen Film Mammography, Imaging Considerations and Medical Physics Responsibilities. pp.135-158, Medical Physics Publishing, Madison Wisconsin, (1991).
- 5) Brink C, JFK de Villiers, Lötter MG, et al.: The influence of film processing temperature and time on mammographic image quality. Br J Radiol, 66(788), 685-690, (1993).
- 6) Haus AG: Screen-film image receptors and film processing. Syllabus: A Categorical Course in Physics Technical Aspects of Breast Imaging, Third Edition. pp.85-101, RSNA Publications, Oak Brook Illinois, (1994).
- 7) 丸山敏則, 後藤佐知子, 東 義晴, 他: マンモグラフィ用フィルムにおけるextended-cycle processの基礎的研究—コントラスト, 相対感度—. 日放技学誌, 53(11), 1697-1704, (1997).
- 8) Rossmann K: Spatial fluctuations of x-ray quanta and the recording of radiographic mottle. Am J Roentgenol, 90(4), 863-869, (1963).
- 9) 後藤佐知子, 東 義晴, 丸山敏則, 他: マンモグラフィ用フィルムにおけるフィルム粒状度の測定. 日放技学誌, 55(11), 1115-1121, (1999).
- 10) Tanner RL and Hendrick ER: Current status of the American college of radiology mammography screening accreditation program. Screen Film Mammography, Imaging Considerations and Medical Physics Responsibilities. pp.221-242, Medical Physics Publishing, Madison Wisconsin, (1991).
- 11) 小寺吉衛, 大久敏弘, 田中 勲, 他: 放射線画像系の粒状性の測定法(I). 日放技学誌, 43(12), 1743-1768, (1987).
- 12) 小寺吉衛, 大久敏弘, 田中 勲, 他: 放射線画像系の粒状性の測定法(II). 日放技学誌, 44(1), 44-62, (1988).
- 13) 内田 勝, 金森仁志, 稲津 博: ゆらぎの理論. 放射線画像情報工学(II), pp.182-202, 通商産業研究社, 東京, (1982).
- 14) Dainty JC and Shaw R: Input/output relationships for conventional photographic processes: Experimental observables. Image Science, pp.53-67, Academic Press, New York, (1974).
- 15) 内田 勝, 金森仁志, 稲津 博: 放射線領域への適用(I). 放射線画像情報工学(I). pp.282-293, 通商産業研究社, 東京, (1988).
- 16) 丸山敏則, 後藤佐知子, 東 義晴, 他: マンモグラフィにおけるExtended-cycle Processと低感度システム—描出能向上と被曝低減への試み—. 日本放射線技術学会第54回総会学術大会一般研究発表後抄録, 85, (1998).
- 17) 東田善治, 吉田 章, 勝田 昇, 他: 胸部撮影のための新しい増感紙—フィルム系の画像特性. 日放技学誌, 52(4), 524-529, (1996).
- 18) 山田 稔: 現像の化学. 新しい放射線写真学, pp.99-131, 富士メディカルシステム株式会社, 東京, (1998).

図表の説明

- Fig. 1 M-150/New CMのフィルム粒状度およびX線写真モトルのウィナースペクトル.
- Fig. 2 UM MAMMO Fine/UM-MA HCのフィルム粒状度およびX線写真モトルのウィナースペクトル.
- Fig. 3 Min-R 2000/Min-R 2000のフィルム粒状度およびX線写真モトルのウィナースペクトル.
- Fig. 4 Min-R Medium/Min-R Mのフィルム粒状度およびX線写真モトルのウィナースペクトル.
- Fig. 5 2.0cycles/mmにおけるフィルム粒状度のウィナースペクトル値の処理時間および現像温度による変化. これらのウィナースペクトル値は, 標準処理(34°C-90s)の値を基準に増加率として示されている. マーカの各直径は, グラフに追加されたウィナースペクトルの増加率に対応する. グラフ中の括弧の値は標準処理のウィナースペクトルの値(mm²)である.
- Fig. 6 2.0cycles/mmにおけるスクリーンモトルのウィナースペクトル値の処理時間および現像温度による変化. これらのウィナースペクトル値は, 標準処理(34°C-90s)の値を基準に増加率として示されている. マーカの各直径は, グラフに追加されたウィナースペクトルの増加率に対応する. グラフ中の括弧の値は標準処理のウィナースペクトルの値(mm²)である.
- Fig. 7 2.0cycles/mmにおけるX線写真モトルのウィナースペクトル値の処理時間および現像温度による変化. これらのウィナースペクトル値は, 標準処理(34°C-90s)の値を基準に増加率として示されている. マーカの各直径は, グラフに追加されたウィナースペクトルの増加率に対応する. グラフ中の括弧の値は標準処理のウィナースペクトルの値(mm²)である.
- Fig. 8 各現像温度での濃度0.8と1.3のグラディエント対処理時間. グラディエントは, 感光計によって露光されたフィルムの特性曲線から求められた⁷⁾.
- Table 1 標準処理(34°C-90s)の露光量を基準にしたextended-cycle processの相対露光量.
- Table 2 2.0cycles/mmにおけるX線写真モトルの増加分に対するスクリーンモトルとフィルム粒状度の増加分が占める割合.
- Table 3 X線写真モトルへのフィルム粒状度の寄与率50パーセントの空間周波数.
- Table 4 extended-cycle processによるフィルム粒状度のウィナースペクトル値の増加量に関する0.1~0.5と2.0cycles/mmの比較. この表の値は0.1~0.5と2.0cycles/mmでextended-cycle processのウィナースペクトル値から標準処理のそれらを引き算することにより得られた. 0.1~0.5cycle/mmウィナースペクトル値は, 0.1~0.5cycle/mmまでのウィナースペクトル値の平均より求めた.