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

後藤佐知子・東 義晴・丸山敏則・中桐義忠・杉田勝彦

論文受付
1999年4月5日

論文受理
1999年8月18日

Code No. 521

岡山大学医学部保健学科

1. 緒 言

増感紙/フィルムシステムにおけるX線写真の粒状度は、一般撮影における両面増感紙/両面乳剤フィルムシステムを対象に基礎的な説明がされることが多い。この場合、増感紙の構造モトルは量子モトルと比較して小さいことからしばしば省略され、X線写真の粒状度は量子モトルとフィルム粒状度で大別される。ここでX線写真モトル、量子モトル、フィルム粒状度のWiener spectrum(以下、WS)をそれぞれ WS_q 、

WS_r とすると、空間周波数 ω では、

$$WS(\omega)_r = WS(\omega)_q + WS(\omega)_f \quad \dots\dots\dots (1)$$

の関係がRossmannにより示されている¹⁾。量子モトルのWSは、おもに増感紙の変調伝達関数、modulation transfer function(以下、MTF)に影響され、その値が0になれば量子モトルの値は消去できる。したがって、フィルム粒状度は、増感紙とフィルム間に空隙を作り露光した試料のWSを求めることにより評価できる¹⁾。

Measurement of Film Graininess on Mammographic Films

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

Faculty of Health Sciences, Okayama University Medical School

Received April 5, 1999; Revision accepted Aug. 18, 1999; Code No.521

Summary

Film graininess can be measured by providing air spaces between the screen and film in the screen-film system. In this study, the necessary air spaces were investigated to measure mammographic film graininess by using a mammography unit at the low tube voltage of 28 kV. Wiener spectra were measured with the screen held 1, 3, 6, 9, 15, 21, and 30 mm from the film at densities of 0.8 and 1.3. Konica New CM film with a Konica M-150 screen was employed in this investigation. Results showed that Wiener spectral values were almost constant at densities of 0.8 and 1.3 when the air spaces were 9 mm or more. That is, it was considered that film graininess was evaluated independently by blurring quantum mottle, and 15 mm air spaces were used to provide a safety margin. Furthermore, film graininess of three mammographic films, Fuji UM-MA HC (with a Fuji UM MAMMO Fine screen), Kodak Min-R 2000 (with a Kodak Min-R 2000 screen), and Kodak Min-R M (with a Kodak Min-R Medium screen) were measured with 15 mm air spaces. Min-R 2000 film had the lowest Wiener spectral values for film graininess at low spatial frequencies.

Key words: Mammographic film, Film graininess, Wiener spectrum, Air space, Dedicated unit

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 後藤佐知子 宛

すなわち、この空隙(以下、文献1に従いair spaceとする)を十分大きくとると、増感紙からの蛍光(点像分布関数)の広がりは大きくなる。その結果、システムのMTFはほとんど空間周波数=0のみの状態となり、フィルム粒状だけが記録されることになる。ただし、マンモグラフィでは、低エネルギーのX線を使用し、鮮鋭度が極めて高いシステムを用いることから、増感紙の構造モトルを無視することはできない。しかし、量子モトルと同様にair spaceを設けることにより、増感紙の構造モトルもばかされ除去が可能になる。そのair spaceは、13mm程度が必要である^{1, 2)}とされ、20mmのair spaceにて80kVの線質を用いた研究報告³⁻⁵⁾がある。しかし、マンモグラフィに用いられるような片面増感紙/片面乳剤フィルムシステムに対して、モリブデンなどの特性X線を利用したエネルギー分布の狭い低エネルギー領域の線質を用いた場合の適切なair spaceに触れた報告は見当たらない。

本研究では、実際にマンモグラフィ用撮影装置(以下、マンモ装置)、増感紙/フィルムシステムを用いた場合、air spaceがどの程度必要かM-150/New CMシステム(コニカ株式会社製:以下、コニカ社)を用いて検討した。また、一般撮影装置(以下、一般装置)を用いても同様の実験を行った。この場合、マンモ装置に比較してエネルギーは高く、広い幅のエネルギー領域をもつX線を使用するという違いが生ずる。この線質の違いから、わずかなair spaceでは量子モトルが異なることがおもな要因になり、一般装置のWS値はマンモ装置と一致しない。しかし、air spaceをさらに大きくしていくとフィルム粒状度のみが記録され、WS値は一定になる。したがって、フィルム粒状度は線質に依存しないため装置が異なった場合でもWS値は同じ結果になるはずである。このように、一般装置を追加することでフィルム粒状度の測定の信頼性が補強できる

と思われる。また、本研究のような物理的な画質評価をする際、一般装置はマンモ装置に比較して撮影距離を容易に変えられるなど柔軟な取り扱いができる。ここで、一般装置についても、必要とされるair spaceを確認しておけば今後の実験にも有益と思われる。

以上のフィルム粒状度の測定に必要なair spaceの検討結果を基に、コニカ社以外の2社3種類の増感紙/マンモグラフィ用フィルム(以下、マンモ用フィルム)システムを対象に、フィルム粒状度を測定した。その際、X線写真モトルに対するフィルム粒状度の割合、すなわち寄与率を算出するため、対象としたシステムのX線写真モトルのWS(この場合、air space=0mmに相当)の測定も行った。そして、フィルム粒状度およびその寄与率における装置およびシステム間の違いについて考察した。なお、本論文の主旨とは外れるが、X線写真モトルについて若干の考察を加えた。

2. 方法

2-1 使用機器・器材

X線撮影装置	: MGU-01 (Mo target / Mo filter), DC-15K (東芝・東芝メディカル株式会社製)
自動現像機	: KX-170B
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)

2-2 実験方法

2-2-1 air space

試料を作成するにあたり、air spaceを確保するために制作したペーパーカセットの概略寸法をFig.1の図中上部に示す。ペーパーカセット内に入れるスペーサーは、air spaceを確保すると同時に、フィルムが後方に湾曲しないよう保持する役割を持つ。したがって適当な幅が必要であり、直接露光されるフィルム面積は14×22cm²となった。焦点-フィルム間距離は、複数のシステム間で同一濃度を得るために、一般装置

Fig. 1 Air space cassette and geometry of exposing film with the general-purpose unit and dedicated unit.

(DC-15K)で約200cm, マンモ装置(MGU-01)では約250cmとした。さらにマンモ装置の場合では、ヒール効果を避け均一な濃度試料を得るために試行錯誤の結果, Fig.1のように管球の長軸に対しやや角度(約5度)をつけた状態でカセットを保持した。線質は、マンモ装置の場合28kV(半価層:0.31mmAl), 一般装置では80kV(20mm厚のアルミフィルタ付加)とした。なお、マンモ装置の焦点から250cmの位置の線質は0.41mmAlであった。これは、X線スペクトルアナライザ(東洋メディック株式会社製, RAMTEC413)で測定すると、本装置の場合10mm厚の亚克力樹脂製のフィルタを付加して、焦点から50cmの距離で測定したX線スペクトルとほぼ一致する。air spaceは0, 1, 3, 6, 9, 15, 21, 30mmの8種類を設定し、試料をそれぞれ両撮影装置により露光後、処理時間90s, 現像温度34°Cにて現像した。また、試料の濃度は 0.80 ± 0.02 および 1.30 ± 0.02 の2種類とした。これらの濃度は、American College of Radiology (ACR)プログラムによる画質管理や、Tannerらの報告⁶⁾を参考に決定したものであり、濃度0.8は乳腺組織内の構造が認識できる最低濃度、1.3はマンモグラフィにおける平均濃度である。なお、air spaceが0mmの場合、すなわちX線写真モトルの試料は、真空カセットを用いて作成した。

以上のように、撮影装置、air space、および濃度の違いからなる32種類の試料をマイクロデンシトメータにより走査し、1試料当たり40万点の濃度データから高速フーリエ変換法によりWSを計算した。その際、マイクロデンシトメータのスリット幅は $10\mu\text{m}$ 、高さは1mmとし、トレンド処理(移動平均トレンド除去法:1000)およびQファクタ補正処理を行った。また、セグメントデータ数は1,024であり、測定値の標準誤差は5.0%となる^{7, 8)}。以上のair spaceを変えて得られたデータより、WS値がほぼ一定の値になるような、すなわち量子モトルが無視できるであろうair spaceを決定した。

2-2-2 フィルム粒状度およびX線写真モトル

2社3種類のマンモ用増感紙/フィルムシステム、UM MAMMO Fine/UM-MA HC, Min-R 2000/Min-R 2000, Min-R Medium/Min-R Mに対し、決定したair spaceにおけるフィルム粒状度、およびX線写真モトルを測定した。なお、測定方法は前項のNew CMの場合と同様であり、一般装置およびマンモ装置を用いて行い、試料濃度は0.8および1.3とした。なお、air spaceを15mmとした濃度1.3の各フィルムのマンモ装置による露光条件は28kV(一定)、40~60mAs, グリッド(+)であり、これはRMI 165(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)ファントムを使用して撮影する条件にほぼ相当する。

3. 結果

3-1 air space

増感紙/フィルム間のair spaceを0(intimate contact), 1, 3, 6, 9, 15, 21, 30mmと増加させたときの、一般装置およびマンモ装置によるWSの変化をそれぞれFig.2, 3に示す。これらの結果から、両装置とも空間周波数1cycle/mm以上における濃度0.8および1.3のWS値は、3mmのair spaceからほぼ一定になることが分かる。さらに、それらのデータから各air spaceごとに0.1~1.0cycle/mmのWS値を取り出し、平均した値を縦軸とし、横軸をair spaceとしてFig.4, 5に示した。各装置、濃度とも低空間周波領域のWS値が安定するためには、air spaceが9mm程度必要であることが分かる。本研究では、余裕を持たせて15mmのair spaceを採用した。

3-2 フィルム粒状度およびX線写真モトル

air spaceを15mmとした各フィルムの濃度0.8および1.3のWS値をフィルム粒状度としてFig.6に示す。今回対象とした全フィルムにおける一般装置およびマンモ装置によるもので、各フィルムとも両装置のWS値はほぼ一致している。そこで、量子モトル、増感紙の構造モトルがほかされているかどうか、つまり $MTF(\omega) = 0 (\omega > 0)$ の状態であることを簡易的に調べるために、air space 15mmで一般装置を用いて矩形波チャート(Type 1, 化成オプトニクス株式会社製)を撮影し、チャート像が記録されていないことを確認した。

次に、Fig.7に全システムでのX線写真モトルのWSを示す。一般装置によるWS値は全システムを通してマンモ装置より高く、装置による違いが明らかに出ている。しかし、濃度0.8と1.3におけるWS値の濃度依存性の傾向に、装置の違いはほとんど認められない。

4. 考察

4-1 air space

フィルム粒状度のWS測定において、必要とされるair spaceは、Fig.2~5に示したように9mm以上確保すればよいことになる。ただし、air spaceを大きくすると、たとえば30mmではスパーサ付近、すなわちフィルムの辺縁にいくほど濃度不足が顕著になる。このようにair spaceを十分に確保した上で、均一な濃度面積をいかに広く取るかについても考慮が必要である。また、air spaceを設けることによるシステム感度の低下から装置の負荷の増加が問題となる。本論文で示したair space 30mmまでは、増感紙からの蛍光の拡散に

Fig. 2 Variations in Wiener spectral curves with increasing air space between screen and film. The noise film samples were obtained with an M-150 screen and New CM film. The films were exposed to gross diffuse densities of 0.8 and 1.3 with the general-purpose unit (DC-15K).

Fig. 3 Variations in Wiener spectral curves with increasing air space between screen and film. The noise film samples were obtained with an M-150 screen and New CM film. The films were exposed to gross diffuse densities of 0.8 and 1.3 with the dedicated unit (MGU-01).

Fig. 4 Variations in mean Wiener spectral values from 0.1 to 1.0 cycle/mm with increasing air spaces as in Fig. 2.

Fig. 5 Variations in mean Wiener spectral values from 0.1 to 1.0 cycle/mm with increasing air spaces as in Fig. 3.

より、air spaceを設けてもほとんど照射線量を増加させる必要がなかったが、さらにair spaceを大きくとる場合はこの点も配慮が必要である。さらに、マンモ用フィルムにおいては、直接X線による黒化を念頭に入れておく必要がある。この直接X線の量子モトル成分

はair spaceではほかすことはできない。本実験の条件では観察されなかったが、本論文に用いたシステムにおいては距離法による特性曲線の作成経験から推定すると、濃度1.7より高い粒状度試料を作成する場合その黒化の問題が予想される。

Fig. 6 Wiener spectral curves of film graininess of New CM, UM-MA HC, Min-R 2000, and Min-R M film with the general-purpose unit and dedicated unit.

The films were exposed to gross diffuse densities of 0.8 and 1.3 with the film held 15 mm from the screen.

Fig. 7 Wiener spectral curves of radiographic mottle obtained with the general-purpose unit and dedicated unit at densities of 0.8 and 1.3.

Table 1 Percentages of Wiener spectral values of film graininess to radiographic mottle from 0.1 to 0.5 cycle/mm. Wiener spectral values are from Figs. 6 and 7.

System	DC-15K		MGU-01	
	D=0.8	D=1.3	D=0.8	D=1.3
M-150/New CM	7.82	14.7	13.1	19.7
UM MAMMO Fine/UM-MA HC	8.00	12.7	13.9	20.3
Min-R 2000/Min-R 2000	5.02	6.10	11.7	14.0
Min-R Medium/Min-R M	10.2	20.9	18.5	36.8

unit: %

Table 2 Mean Wiener spectral values of film graininess from 0.1 to 0.5 cycle/mm. Wiener spectral values are from Fig. 6.

Film	MGU-01	
	D=0.8	D=1.3
New CM	1.63	2.19
UM-MA HC	1.33	2.45
Min-R 2000	1.01	1.86
Min-R M	1.69	2.57

unit: $\times 10^{-6} \text{ mm}^2$

4-2 装置間の比較

フィルム粒状度の測定は、結果の項で述べたように適切なair spaceを選択すれば、一般装置やマンモ装置のどちらを使用しても問題はないと考えられる。つまり、線質に依存する量子モトルを除去できるならば、どのような線質を用いても差し支えないことになる。一方、X線写真モトルにおいては、装置間の違いがある。マンモ装置で用いられるような低エネルギー領域のX線は、一般装置に比較し増感紙での吸収率が高い。その結果、量子モトルは一般装置より小さくなり、そのWS値は低くなる⁹⁾。本研究で得られたX線写真モトルのデータも、一般装置に比較してマンモ装置の値が低くなった。さらにFig.6に示すようにフィルム粒状度のWSは装置に依存しないことから、X線写真モトルの装置の違いによる差は、おもに量子モトルに起因することが裏づけられる。なお、本論文で扱ったシステムにおいては、一般装置でX線写真モトルを評価する場合、各システム間の相対比較は可能であるが、データとしては高めの値をみていることになる。さらに低空間周波数領域0.1~0.5cycle/mmのWS値を平均した値を用いて、両装置でのX線写真モトルに対するフィルム粒状度の割合、つまり寄与率を比較すると、Table 1に示すような違いがある。この場合、X線写真モトルのWSは最大値付近にあたるため、フィルム粒状度の寄与率のほぼ最低値を求めたことになる。両装置間でフィルム粒状度の値は変化しないにもかかわらず、量子モトルが大きく変化するため、マンモ装置におけるフィルム粒状度の寄与率が大きくなっている。したがって、マンモ装置の場合、一般装置に比較してフィルム粒状度の影響をより強く受けることが分かる。

4-3 フィルム間の比較

Table 2に0.1~0.5cycle/mmにおけるフィルム粒状度の平均値を示す。発売が比較的新しいフィルムであるUM-MA HCやMin-R 2000は、濃度0.8において低い値

を示した。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¹⁰⁾。これらのことを参考にすると、UM-MA HCやMin-R 2000は、濃度0.8のWS値から黒化銀粒子の大きさがやや小さいことがうかがえる。また、濃度1.3になるといずれのフィルムもフィルム粒状度のWS値は増加するが、その中でUM-MA HCは顕著である。参考までに、製造会社からの技術情報によれば、UM-MA HC(1994年から発売)のフィルム乳剤は、cubic粒子と平板粒子の二重構造(上層に微粒子乳剤、下層に高感度乳剤)であり、Min-R 2000(1996年より発売)は乳剤に均一な粒子径を持った monodispersed-cubic粒子を採用となっている。一方、比較的古いフィルムでは、New CM(1987年から発売、現在CM-Hがこれに変わっている)やMin-R M(1990年から発売)はcubic粒子である。

最後に、Table 1に示したようなデータにおいて各システム間を比較すると、X線写真モトルに対するフィルム粒状度の寄与率が最も低いシステムは、Min-R 2000/Min-R 2000であることが分かる。

5. 結 語

マンモ用フィルムにおいて、マンモ装置を用いてフィルム粒状度を測定するため、増感紙、フィルム間のair spaceを検討した。濃度0.8, 1.3では9mm以上のair spaceをとればよいことが分かった。また、フィルム粒状度の測定結果ではMin-R 2000が最も低い値を示し、測定した他のフィルムNew CM, UM-MA HC, Min-R Mよりフィルム粒状性が優れていた。

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 彰氏はじめ医用画像情報研究会の皆様に深謝いたします。

参考文献

- 1) Rossmann K: Spatial fluctuations of x-ray quanta and the recording of radiographic mottle. Am J Roentgenol, 90(4), 863-869, (1963).
- 2) Christensen EE, Curry III TS and Dowdey JE: The Radiographic Image. An Introduction to the Physics of Diagnostic Radiology 2nd Edition. pp.161-184, Lea & Febiger, Philadelphia, (1978).
- 3) Doi K, Holje G, Loo L-N, et al.: MTF's and Wiener spectra of radiographic screen-film systems. HHS Publication FDA 82-8187, Rockville Maryland, (1982).
- 4) Higashida Y, Frank PH and Doi K: High-speed, single-screen/single emulsion film system: Basic imaging properties and preliminary clinical applications. Radiology, 149(2), 571-577, (1983).
- 5) 東田善治, 吉田 彰, 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), 20-25, (1996)。
- 6) 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).
- 7) 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)。
- 8) 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)。
- 9) 鈴木尚生, 鈴木優二郎: 乳房撮影システムの技術動向。極光X-Ray, 29, 26-31, (1992)。
- 10) 内田 勝監修: 空間周波数解析。基礎放射線画像工学。pp.122-151, オーム社, 東京, (1998)。

図表の説明

- Fig. 1 air spaceカセットおよび一般装置と専用装置によるフィルム露光の幾何学的配置。
- Fig. 2 増感紙とフィルムの間のair spaceを増加させることによるウィナースペクトル曲線の変化。
ノイズフィルム試料は、M-150の増感紙とNew CMのフィルムで作成された。そのフィルムは、一般装置(DC-15K)を用いて拡散グロス濃度0.8と1.3に露光された。
- Fig. 3 増感紙とフィルムの間のair spaceを増加させることによるウィナースペクトル曲線の変化。
ノイズフィルム試料は、M-150の増感紙とNew CMのフィルムで作成された。そのフィルムは、専用装置(MGU-01)を用いて拡散グロス濃度0.8と1.3に露光された。
- Fig. 4 Fig. 2のair spaceの増加に伴う0.1から1.0cycle/mmまでのウィナースペクトル値の平均値の変化。
- Fig. 5 Fig. 3のair spaceの増加に伴う0.1から1.0cycle/mmまでのウィナースペクトル値の平均値の変化。
- Fig. 6 一般装置および専用装置を用いたNew CM, UM-MA HC, Min-R 2000およびMin-R Mのフィルム粒状度のウィナースペクトル曲線。
増感紙からフィルムを15mmを離して保持し、フィルムは0.8と1.3の拡散グロス濃度に露光された。
- Fig. 7 0.8と1.3の濃度で、一般装置および専用装置を用いて得られたX線写真モトルのウィナースペクトル曲線。
(a) M-150/New CM
(b) UM MAMMO Fine/UM-MA HC
(c) Min-R 2000/Min-R 2000
(d) Min-R Medium/Min-R M
- Table 1 0.1～0.5cycle/mmまでのX線写真モトルに対するフィルム粒状度のウィナースペクトル値の百分率。
ウィナースペクトル値は、Fig. 6, 7からのものである。
- Table 2 0.1～0.5cycle/mmまでのフィルム粒状度のウィナースペクトル値の平均値。
ウィナースペクトル値は、Fig. 6からのものである。