

直接変換型デジタルマンモグラフィにおける 高線質画像の画質特性

要旨

富士フィルム社製直接変換型デジタルマンモグラフィ、Amuletにおいて、W/Rh（ターゲット/フィルタ）の画質を散乱線と被写体コントラストを考慮しつつ Mo/Mo と比較評価した。Mo/Mo では 28kV、W/Rh では 29k～35kV の管電圧にて、ステップファントムによる階調測定を行い、また RMI156 ファントム上に模擬骨プレートを置き、同条件にて平均乳腺線量（AGD）を 0.8～2.0mGy に変化させて撮影した。画像から、模擬腫瘍及び骨プレートのコントラスト、解像特性（MTF）、粒状性（NNPS）をそれぞれ測定し、これらの測定結果を用いてコントラストを考慮した信号対雑音比（SNR_{c2}）を算出し、比較した。ステップファントムのコントラスト変化はすべて一次関数的であった。模擬腫瘍及び骨プレートのコントラスト変化はほぼ同一であった。Mo/Mo の 2.0mGy に対して同等の SNR_{c2} を示す条件は、W/Rh の 29kV では 1.47mGy、31kV では 1.67mGy、33kV では 1.78mGy、35kV では 1.85mGy であった。W/Rh を選択することで、40mm 厚において、29kV～35kV の範囲で、画質を保ちつつ、被ばくを低減する（9%：35kV～29%：29kV）ことが可能であることが示唆された。

I. 緒言

マンモグラフィ装置のターゲット/フィルタは、乳房厚が厚くない場合に Mo/Mo が選択されることが多い。これに対して、W/Rh を積極的に使用して、被ばく低減と画質維持が可能であるという報告がなされ[1]、W/Rh のみを装備する装置も存在する。

遠藤らは、切除標本の観察において、W/Rh の鮮鋭度が劣り、厚くなるに従い W/Rh を選択するのが望ましいとしており、線量低減の可能性に触れていない[2]。そこで富士フィルム社製直接変換型デジタルマンモグラフィ、Amulet において、W/Rh（ターゲット/フィルタ）の画質を散乱線と被写体コントラストを考慮しつつ Mo/Mo と比較検討を行った。

II. 使用機器

- ・従来型直接変換型マンモグラフィ装置：MAMMOMAT Novation DR（以下 DR）、SIEMENS 社製
- ・ステップファントム
- ・RMI156 ファントム（40mm 厚）
- ・アクリルファントム 2 枚（10mm 厚）
- ・線量計：8201011-C Xi Base unit Platlnum, unfors 社製（MDM 測定用）
model 04-0427, Radcal 社製（DR 測定用）
- ・鉛プレート
- ・内骨、緻密骨模擬骨プレート（石灰化組織の代替え）
- ・画像解析ソフト：ImageJ

III. 方法

1. ステップファントムによる階調測定

2 つのステップファントムを撮影台の上に配置し、各ステップのデジタル値から露光量を算出した。

2. 定量的画質評価

Mo/Mo28kV、W/Rh29, 31, 33, 35kV の条件で、40mm 厚（RMI156 ファントム）と 25mm 厚（RMI156 ファントムろう部分+アクリルファントム 2 枚）について、

1) 模擬腫瘍及び模擬骨プレートのデジタル値計測によるコントラスト測定

図 1 のように模擬腫瘍、内骨、緻密骨プレート上の region of interest (ROI) の平均値 M とそれらの近傍のバックグラウンドの ROI の平均値 B を測定し、下式によりコントラスト C を算出した。

$$C = \frac{B - M}{B + M} \dots (1)$$

2) エッジ法による解像特性である MTF (modulation transfer function) を測定(1mm厚, タングステン板使用)

「日本放射線技術学会監修 標準デジタル X 線画像計測」に準拠

3) 2次元フーリエ変換法により粒状性を表す NNPS(normalized noise power spectrum) を測定

RMI156 ファントムの平坦部分の 512×512 ピクセル内にて, 256×256 ピクセルの 4 領域を測定し, 平均

「日本放射線技術学会監修 標準デジタル X 線画像計測」に準拠

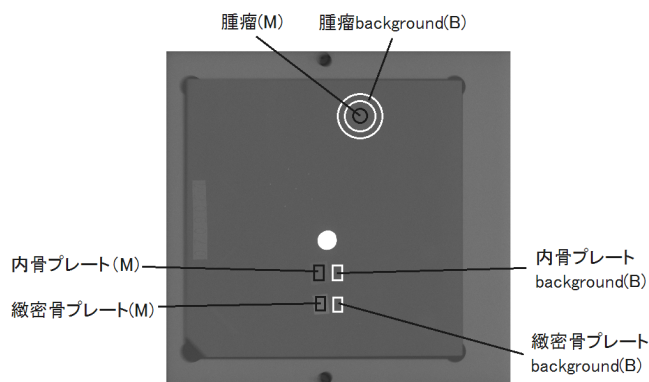


図1 コントラスト測定における ROI 設定

4) 散乱線とコントラストを考慮した SNR の算出

臨床画像の画質に密接に関わる被写体側因子であるコントラストと散乱線を考慮した画像指標 SNR_c^2 を次式(2)より算出した.

$$SNR_{c2} = \frac{MTF_2 \times C_2}{NNPS} \dots (2)$$

IV. 結果

1. ステップファントムによる階調測定

図2にステップファントムによる階調測定の結果を示す. それぞれの条件で比較すると中間部の階調の変化はなく, 全体的なコントラストが変化するのが結果となった.

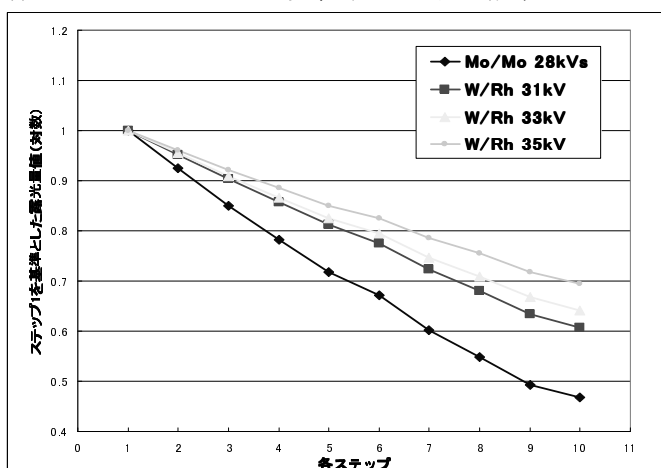


図2 ステップファントムによる階調測定

2. 定量的画質評価

表1にコントラスト測定の結果を示す. Mo/Mo28kVを1として作成したグラフを図3に示す. 腫瘍・内骨・緻密骨間の違いはわずかであるため, 各条件ごとに平均し, その値をコントラストの値として計算に使用した.

表1 コントラスト測定結果

管電圧(kV)	腫瘍	内骨	緻密骨	平均
28kV[Mo/Mo]	1	1	1	1
29kV[W/Rh]	0.80549	0.79498	0.80361	0.80136
31kV[W/Rh]	0.75365	0.75111	0.75002	0.75159
33kV[W/Rh]	0.72114	0.70697	0.70972	0.71261
35kV[W/Rh]	0.66751	0.64699	0.64087	0.65149

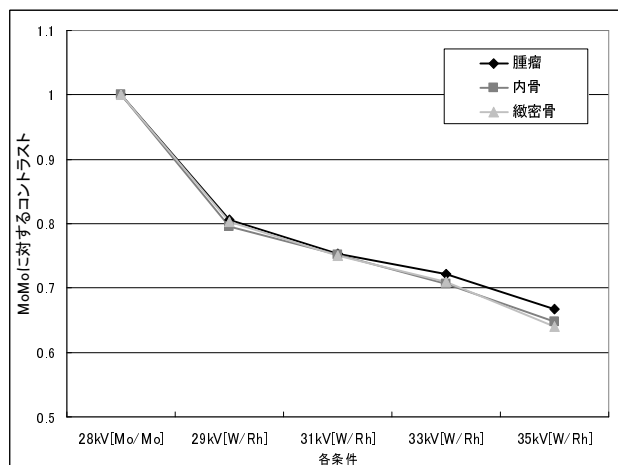


図3 コントラスト測定結果

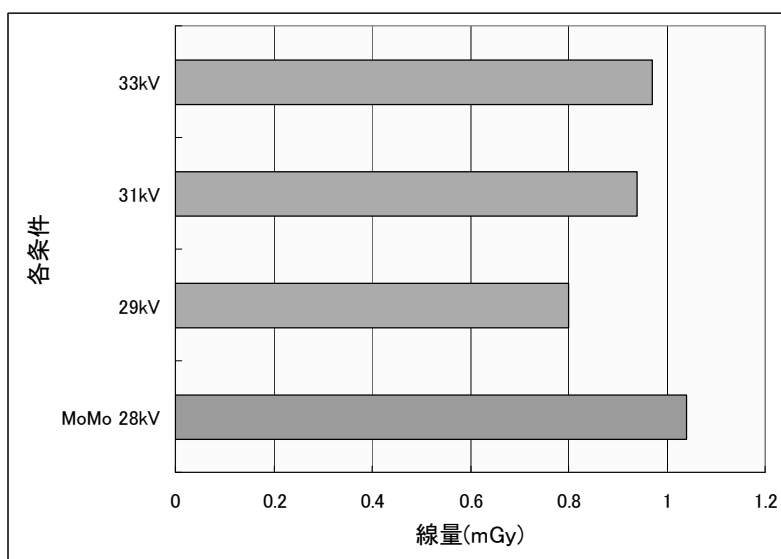


図4 40mm厚におけるSNR_c²の結果

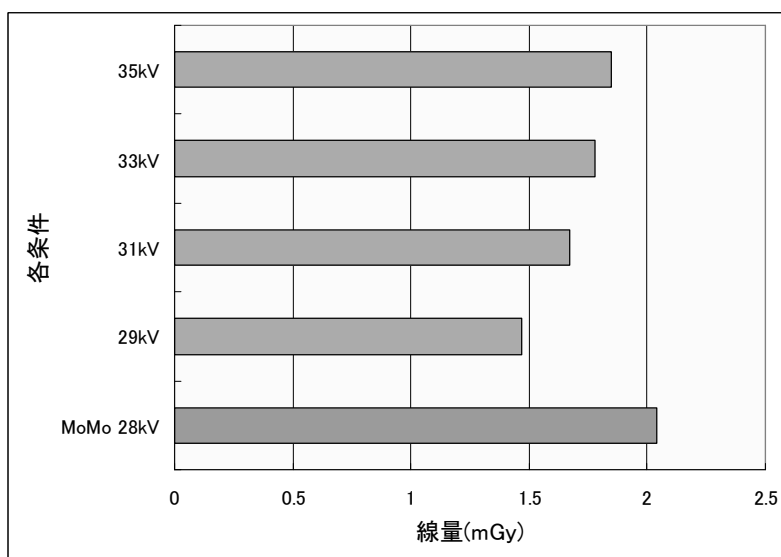


図5 25mm厚におけるSNR_c²の結果

図 4 に 40mm 厚における Mo/Mo28keV 2.04mGy と SNR_c^2 をほぼ同一にする W/Rh の各管電圧における AGD を示す. 図 5 に 25mm 厚における Mo/Mo28keV 1.04mGy と SNR_c^2 をほぼ同一にする W/Rh の各管電圧における AGD を示す. 表 2 は, 40mm 厚, Mo/Mo28keV 2.04mGy と SNR_c^2 をほぼ同一にする AGD と Mo/Mo に対する被曝低減率である. 表 3 は, 25mm 厚, Mo/Mo28keV 1.04mGy と SNR_c^2 をほぼ同一にする AGD と Mo/Mo に対する被曝低減率である.

表 2 40mm 厚における SNR_c^2 の結果

管電圧(kV)	線(mGy)	被ばく低減率(%)
29	1.47	28
31	1.67	18
33	1.78	13
35	1.85	9

表 3 25mm 厚における SNR_c^2 の結果

管電圧(kV)	線(mGy)	被ばく低減率(%)
29	0.80	23
31	0.94	10
33	0.97	7

V. 考察

ステップファントムのコントラスト変化がすべて一次関数的であったため, 一様なコントラスト変化であることが判明した. よって, 単純にガンマ値を変更することによって W/Rh を Mo/Mo に近似できると考えられた. また模擬腫瘍, 骨プレートのコントラスト変化はほぼ同一であったことから, 石灰化だけの補正といった処理は不必要であることが確認された.

40mm 厚において Mo/Mo 28kV 2.04mGy とほぼ等しい画質は, W/Rh の 29kV では 1.47mGy(被ばく低減:28%), 31kV では 1.67mGy(被ばく低減:18%), 33kV では 1.78mGy(被ばく低減:13%), 35kV 1.85mGy(被ばく低減:9%)で得られた.

25mm 厚において Mo/Mo 28kV 1.04mGy とほぼ等しい画質は, W/Rh の 29kV では 0.80mGy(被ばく低減:23%), 31kV では 0.94mGy(被ばく低減:10%), 33kV では 0.97mGy(被ばく低減:7%)で得られた.

よって, 40mm より薄い乳房では Mo/Mo と被曝を低減しつつ等画質であり, 40mm より厚い乳房ではこれまでどおり W/Rh が優位である. これらのファントム実験の結果から, すべて W/Rh でまかなうことができ, 20~30%の被ばく低減が可能であることが示唆された.

VI. 結語

富士フィルム社製直接変換型デジタルマンモグラフィ, Amulet において, W/Rh の高線質画像を散乱線とコントラストを考慮して Mo/Mo と比較した.

W/Rh を選択することで, いずれの乳房厚においても W/Rh を用いることによって, 画質を保ちつつ, 被ばくを低減することが可能であることが示唆された.

VII. 参考文献

- 1] Bernhardt P, Mertelmeier T, Hoheisel M. X-ray spectrum optimization of full-field digital mammography: simulation and phantom study. Med Phys. 2006 Nov;33(11):4337-49.
- 2] 遠藤 登喜子, 白岩 美咲, 大岩 幹直, 他, 新規開発直接変換型デジタルマンモグラフィ装置の最適な撮影条件の検討. 日本放射線技術学会雑誌, Vol. 67 (2011) No. 9, 1151-1163