

デジタルブレストトモシンセシスにおける撮影線量低減の試み

Trial of dose reduction of Digital Breast Tomosynthesis

早川 彩季^{1), 2)}, 篠原 範充^{1), 2)}

1) 岐阜医療科学大学 保健科学部 放射線技術学科
2) 岐阜医療科学大学大学院 保健医療学専攻

Key words: Digital Breast Tomosynthesis, Imaging Dose Reduction, Breast Cancer, Quality Control

【Abstract】

In recent years, mammography devices with digital breast tomosynthesis (DBT) technology have become widespread. In this study, focusing on the overall image quality characteristics of DBT, we examined the possibility of dose reduction in slice images of reconstructed data (proc data). Low contrast resolution and SDNR were measured based on EUREF (European Reference Organisation for Quality Assured Breast Screening and Diagnostic Services). The mAs value was based on 90 mAs close to the AEC auto mode. The SDNR limiting value was calculated by reducing the mAs value. The projection data did not achieve the SDNR due to the lower mAs value. Therefore, it was confirmed that the auto mode setting was good. The proc data can be set to 80 mAs and we suggested that dose reduction is possible. The proc data achieved the standard at 80 mAs, and it was considered possible to reduce the dose. It is necessary to confirm that the analysis software supports proc data.

【要旨】

近年、デジタルブレストトモシンセシス (DBT) 技術を搭載した乳房X線撮影装置が普及しつつある。本研究では、DBTのオーバーオール画質特性に着目し、再構成データのスライス画像 (procデータ) での線量の低減を試みた。基本的な方法はEUREFに基づき、低コントラスト分解能・SDNRを測定した。AECのオートモード設定に近い90mAsを基準とし、mAs値を低減させた場合のSDNR_{limiting value}を算出した。プロジェクションデータでは、mAs値を低減させるとSDNR_{limiting value}を満たさず、現在のオートモードの最適性が確認された。procデータでは、80mAsでSDNR_{limiting value}が同等となり、線量低減の可能性が示唆された。しかし、procデータに対する解析ソフトの算出結果について検証が必要である。

1. はじめに

近年、デジタルブレストトモシンセシス (以下、DBT) 技術を搭載した乳房X線撮影装置が普及しつつある。DBTは1回の撮影で乳房に異なる角度からX線を連続またはパルス照射し、撮影後に画像を再構成することで任意の複数断面が得られる¹⁾。

日本の乳がん検診では、乳房を圧迫し押し広げて撮影するマンモグラフィー検査が推奨されている。しかし、マンモグラフィー検査は石灰化などの微細な病変を高分解能で描出できる反面、病変が乳腺に隠されてしまう危険性がある²⁾。一方、DBTは任意の複数断面が得られるため、乳腺の重なりによる影響を少なくで

きる利点があり、診断に有用な技術として期待されている³⁾。しかし、DBTは現在、保険の収載や必須シーンの確立はなく、主にマンモグラフィーに加えて撮影される⁴⁾。

国際放射線防護委員会 (ICRP) の分類では乳腺の組織加重係数は0.12と最も高く、放射線感受性が高い臓器である⁵⁾。通常、マンモグラフィーの診断参考レベル (DRL: diagnostic reference level) は1方向撮影当たり2.4mGy以下⁶⁾と少なく、通常の線量や検査頻度であれば確定的影響を懸念する必要はないとされている⁷⁾。しかし、DBTには線量の基準値となるものがなく、メーカーや施設の判断に任されているため⁴⁾、性能評価基準と品質管理手順の確立は急務である⁸⁾。そこで本研究では、DBTのオーバーオール画質特性に着目し、撮影線量の低減を試みた。

HAYAKAWA Saki^{1), 2)}, SHINOHARA Norimitsu^{1), 2)}

1) Department of Radiological Technology, Faculty of Health Sciences, Gifu University of Medical Science

2) Master Course of Health and Medicine, Graduate School of Health and Medicine, Gifu University of Medical Science

Received October 21, 2019; accepted July 29, 2020

2. 方法

本研究では、DBT装置としてキャノンメディカルシステムズ株式会社製Pe・ru・ruTM La Plusを用いた。DBT装置の仕様と再構成方法をTable 1に示す。

Table 1 DBT装置の仕様と再構成方法

項目	仕様
変換方式・FPD	直接変換 a-Se/TFT
ターゲット/フィルター(DBT)	W/Ag, Al, Rh
出力画素サイズ (DBT)	85 μm
トモシンセシス振角	±7.5°
トモシンセシス撮影時間	—
再構成方法	逐次近似
X-Ray Tube Motion	Continuous
トモシンセシス撮影数	17ショット

ファントムの配置や計測位置など実験の基本的な部分については、European Reference Organisation for Quality Assured Breast Screening and Diagnostic Services (以下、EUREF) により公開されている Protocol for the Quality Control of the Physical and Technical Aspects of Digital Breast Tomosynthesis Systems ver 1.03⁹⁾ (以下、Protocol DBT) 手法に基づき実施する。解析に使用するデータは、Protocol DBT ではプロジェクションデータ (以下、prj データ) を用いて計測を行うが、本研究ではオーバーオール特性を計測するため、再構成データのスライス画像 (以下、proc データ) による計測を行う。ただし、prj データも計測の正確性を検証するため同時に測定を行った。

本実験は2つの実験で構成される。実験1は、前実験としてスライス面の違いによる Signal Difference to Noise Ratio (以下、SDNR) を測定した。これにより、Protocol DBT と本実験でのアルミの配置による測定値の影響が明らかになる。実験2は、本実験として CDMAM ファントムと SDNR を用いて線量低減を試みる。

2.1 前実験 スライス面の違いによる SDNR への影響

初めに撮影条件の決定を行う。厚さ 50mm の PMMA を乳房支持台の上に配置し、圧迫板の位置を 60mm に設定した。臨床で最も使用するオートモードを使用し、AEC を作動させ X 線を照射した。その時に得られた撮影条件は、ターゲット W (タングステン)、フィルター Ag (銀)、管電圧 29kV、mAs 値 87.7mAs であった。照射モードをマニュアルモードにし、ターゲット・フィルター・管電圧はオートモードと同様に設定した。mAs 値は、オートモードの条件を上回る最も近い mAs 値である 90mAs とした。本研究では線量低減を試みるため、オートモードの撮影条件を基準

Table 2 各スライス面での撮影条件

ターゲット/フィルター	管電圧 (kV)	mAs 値
W/Ag	29	63
W/Ag	29	71
W/Ag	29	80
W/Ag	29	90

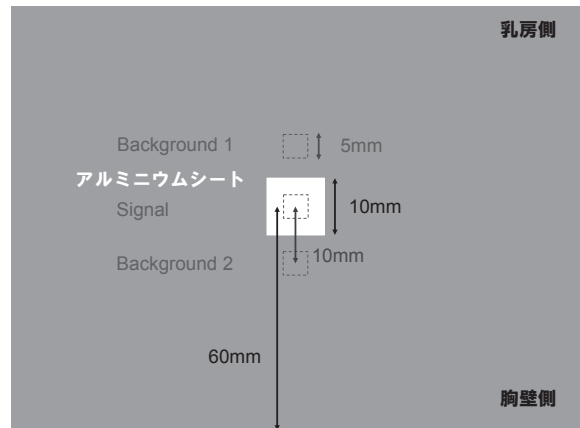


Fig.1 アルミニウムシートの配置と測定ROI

に mAs 値を 63mAs, 71mAs, 80mAs にして撮影を行った (Table 2)。

SDNR のアルミニウムシートの配置を Fig.1 に示す。PMMA 上に 10mm × 10mm のアルミニウムシートを左右中心で胸壁側より 60mm の位置に配置した。PMMA 厚は常に合計 50mm とし、アルミニウムシートの高さ (以下、スライス面) を乳房支持台から 5mm, 10mm, 15mm, 25mm, 35mm, 45mm の 6 段階に変化させた。圧迫板は 60mm の位置に配置し、各スライス面において Table 2 の条件で撮影した。

撮影された画像より、5mm × 5mm の ROI を設定し、ImageJ_1.52a を用いて測定した。式 1 より Pixel Value (以下、PV) と Standard Deviation (以下、SD) を求め、SDNR を算出した。PV (signal) はアルミニウムシート内の平均画素値、PV (background) · SD (background) は 2 つの ROI 内のバックグラウンドの平均画素値と標準偏差の平均である。

$$SDNR = \frac{PV(signal) - PV(background)}{SD(background)} \quad \dots \text{式 1}$$

$$SD(background) = \frac{\sum_1^2 SD(ROI_n)}{2}$$

$$PV(background) = \frac{\sum_1^2 PV(ROI_n)}{2}$$

解析する画像は、prj データと proc データを使用し、それぞれの画像から SDNR を算出した。

2.2.1 本実験 低コントラスト分解能の測定

低コントラスト分解能の測定にはCDMAM 3.4ファントムを用いた。これは、バーガーファントムのように基盤目状のマスキングに信号が添付されている。信号は、直径および厚さが対数的に変化した金のディスクであり、四角に区切られた領域の中央と四隅のいずれかに各1個配置されている (Fig.2)。CDMAMファントムは、Protocol DBTに従いPMMA厚40mmの中心に配置し (Fig.3)、圧迫板は60mmの位置に配置した。撮影条件はTable 2を使用し、各16回撮影を行った。

撮影後は、CDMAM 3.4 Analyser 2.3.3 (Artinis社)を使用し、画像処理前後それぞれの画像から値を算出した。

また式2より各mAs値におけるIQF_{inv}を求めた。IQF_{inv}は画質の向上に伴い増加するため、IQF_{inv}の値が大きいほど、低コントラスト分解能が良いといえる¹⁰⁾。

$$IQF_{inv} = \frac{n}{\sum_{i=1}^n C_i \times D_{i,min}} \quad \dots \text{式 2}$$

C_i: gold disk厚 (μm)

D_{i, min}: i番目の列の閾値gold disk径 (mm)

n: 識別可能なコントラスト欄の段数

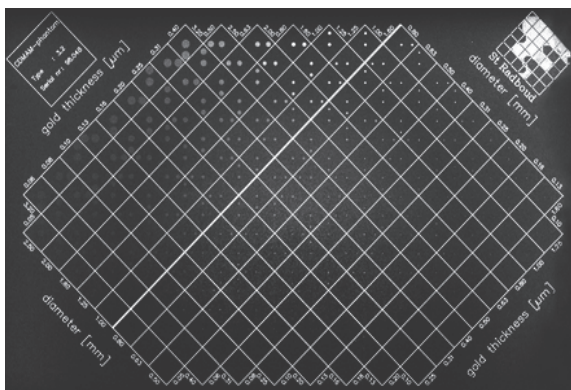


Fig.2 CDMAM3.4ファントム

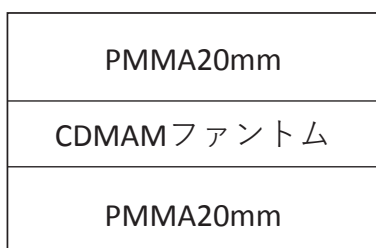


Fig.3 CDMAMの測定配置 (断面図)

2.2.2 本実験 SDNRの測定

SDNRは、2.1の前実験と同様にPMMA上に10mm×10mmのアルミニウムシートを左右中心で胸壁側より60mmの位置に配置した。Protocol DBTでは、乳房支持台から10mmの高さにアルミニウムシートを配置するが、本研究ではCDMAMファントムと同位置である25mmの高さに配置した。圧迫板は60mmの位置に配置した。撮影条件はTable 2を用い、それぞれ3回ずつ撮影し計測した値の平均値をSDNRとした。また解析はprjデータとprocデータそれぞれの画像で行った。

3. 結果

3.1 前実験 スライス面の違いによるSDNRへの影響

prjデータの各スライス面でのSDNRの測定結果をTable 3に示す。乳房支持台からスライス面が離れるほどSDNRは低下し、最大で5.9%の低下が見られた。しかし、SDやコントラストに大きな変化は見られなかった。

procデータの各スライス面におけるSDNRの測定結果をTable 4に示す。5mm、10mm、15mmでは乳房支持台から離れるほどSDNRがやや低下し、25mm、35mm、45mmではスライス面によるSDNRに大きな変化は見られなかった。SDは、乳房支持台から離れるほど高くなった。コントラストについては、

Table 3 prjデータの各スライス面でのSDNR (90mAs)

高さ (mm)	SD (bg)	コントラスト	SDNR	差 (%)
5	13.6	28.8	2.12	100.5
10	13.2	27.9	2.12	100.0
15	13.6	27.9	2.05	96.7
25	13.2	27.3	2.06	97.5
35	13.5	27.1	2.01	94.8
45	13.6	27.0	1.99	94.1

Table 4 procデータの各スライス面でのSDNR (90mAs)

高さ (mm)	SD (bg)	コントラスト	SDNR	差 (%)
5	189.3	653.5	3.45	108.9
10	193.1	608.6	3.17	100.0
15	197.0	568.9	2.89	91.1
25	200.3	498.8	2.49	78.5
35	200.3	514.9	2.57	81.1
45	200.9	532.7	2.65	83.6

06

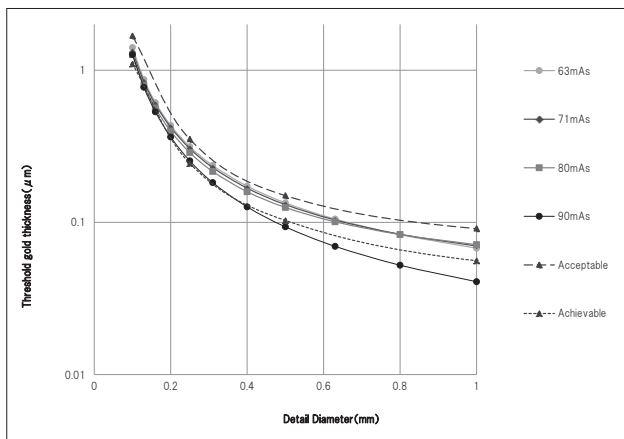


Fig.4 prjデータの低コントラスト分解能

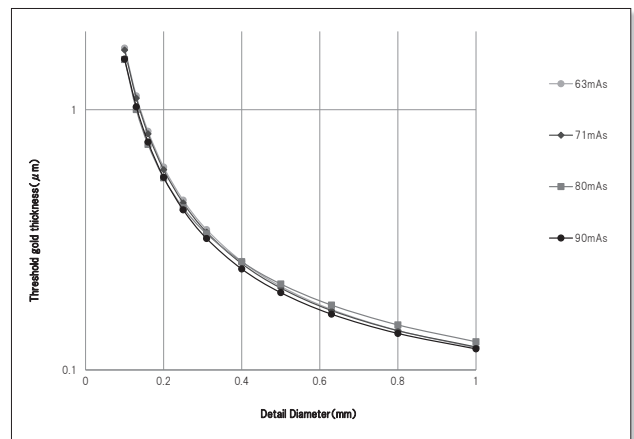


Fig.5 procデータの低コントラスト分解能

Table 5 prjデータのIQF_{inv}

mAs値	IQF _{inv}	IQF _{inv 0.16}
63	106.8	173.7
71	110.9	180.5
80	114.1	181.2
90	127.2	211.2

Table 6 procデータのIQF_{inv}

mAs値	IQF _{inv}	IQF _{inv 0.16}
63	74.33	85.40
71	75.60	86.71
80	77.42	88.04
90	79.81	91.20

5mm, 10mm, 15mmでは乳房支持台から離れるほどコントラストが低下し、25mm, 35mm, 45mmではコントラストに大きな差はなかった。

3.2.1 本実験 低コントラスト分解能

prjデータの低コントラスト分解能の結果をFig.4に示す。EUREFではデジタルマンモグラフィーのための精度管理マニュアルとしてEuropean guidelines for quality assurance in breast cancer screening and diagnosis Fourth edition (以下、guidelines MMG)を公開している¹¹⁾。guidelines MMGでは、デジタルマンモグラフィーが臨床で使用するために当たり達成すべき閾値としてAcceptable LevelとAchievable Levelが示されている。しかし、Protocol DBTにおいてDBTにおける閾値は示されていない。そのためFig.4のAcceptable Level, Achievable Levelはデジタルマンモグラフィーにおける閾値である。prjデータはデジタルマンモグラフィーと比較して1枚当たりの線量は少ないが、全てのmAs値でAcceptable Levelを満たしていた。90mAsでは、Achievable Levelと同等の低コントラスト分解能が得られた。

各mAs値におけるIQF_{inv}をTable 5に示す。今回使用したDBT装置の検出器のピクセルサイズは85 μm

であるため、1周期分の0.17mmに最も近いディスク径である0.16mmまでのIQF_{inv 0.16}についても算出した。prjデータでは、mAs値を上げるほどIQF_{inv}が増加した。

procデータの低コントラスト分解能の結果をFig.5に示す。procデータの低コントラスト分解能は、全てのmAs値でAchievable Levelを満たしていた。

各mAs値におけるIQF_{inv}をTable 6に示す。prjデータと同様に、mAs値を上げるほどIQF_{inv}は向上した。

IQF_{inv}とIQF_{inv 0.16}は同様の傾向を示した。そのためDBT装置の検出器のピクセルサイズを考慮し、以下のCDMAMの解析にはIQF_{inv 0.16}を用いる。

3.2.2 本実験 SDNR

SDNRの結果をTable 7に示す。prjデータとprocデータそれぞれのデータで、mAs値を上げるほどSDNRが向上した。

4. 考察

4.1 前実験 スライス面の違いによるSDNRへの影響
prjデータでは乳房支持台からスライス面が離れる

Table 7 各mAs値におけるSDNR

mAs値	SDNR	
	prjデータ	procデータ
63	1.68	2.14
71	1.78	2.20
80	1.89	2.29
90	2.06	2.49

ほどSDNRは低下したが、SDやコントラストに大きな変化は見られなかった。このことから、prjデータにおいてスライス面によるSDNRへの変化は少ないと考えられる。

procデータにおいて、スライス面の違いによるSDNRの変化はそれほど大きくないことが確認できた。このことから、procデータではprjデータと比較して、スライス面によるSDNRの変化があることを認識しておく必要がある。

4.2.1 本実験 低コントラスト分解能

prjデータでは、mAs値を上げるほどIQF_{inv}が増加していることから、低コントラスト分解能が向上したことが確認できた。

procデータではprjデータと同様に、mAs値を上げるほどIQF_{inv}は向上した。

4.2.2 本実験 SDNR

prjデータとprocデータそれぞれのデータで、mAs値を上げるほどSDNRが向上した。

4.3 総合判定

guidelines MMGでは、CDMAMによるThreshold contrast (Threshold contrast_{limiting value}) が示されている。デジタルマンモグラフィーを臨床で使用するためには、実測されたSDNR (SDNR_{measured}) が式3を用いて計算したSDNR_{limiting value}を超える必要がある。

$$\text{SDNR}_{\text{limiting value}} = (\text{Threshold contrast}_{\text{measured}} / \text{Threshold contrast}_{\text{limiting value}}) \times \text{SDNR}_{\text{measured}} \quad \dots \text{式3}$$

しかし、DBTにおけるThreshold contrast_{limiting value}が提示されていないため、線量低減による評価を行うことができない。そこで本研究では、90mAsを基準

Table 8 prjデータの算出結果

mAs値	CDMAM _{0.16}	SDNR _{measured}	SDNR _{limiting value}
63	0.61	1.68	1.93
71	0.60	1.78	1.99
80	0.56	1.89	2.00
90	0.53	2.05	

Table 9 procデータの算出結果

mAs値	CDMAM _{0.16}	SDNR _{measured}	SDNR _{limiting value}
63	0.83	2.14	2.37
71	0.81	2.20	2.38
80	0.74	2.29	2.26
90	0.75	2.49	

として式4により各mAs値におけるSDNR_{limiting value}を算出する。

$$\text{SDNR}_{\text{limiting value}} = (\text{Threshold contrast}_{\text{measured}} / \text{Threshold contrast}_{90\text{mAs}}) \times \text{SDNR}_{\text{measured}} \quad \dots \text{式4}$$

SDNR_{measured}: PMMA50mmにおけるSDNR測定値
Threshold contrast_{measured}: 直径0.16mmにおける検出可能ディスク厚

Threshold contrast_{90mAs}: 90mAsのときのディスク直径0.16mmにおけるディスク厚の制限値

prjデータの算出結果をTable 8に示す。prjデータでは、SDNR_{measured}が63mAsで1.68、71mAsで1.78、80mAsで1.89となり、SDNR_{limiting value}を満たすことができなかった。つまりprjデータでは、現在、オートモードの設定が最も良いことが確認された。

次に、procデータの算出結果をTable 9に示す。procデータでは、SDNR_{measured}が63mAsで2.14、71mAsで2.20、80mAsで2.29となり、60mAsと71mAsでは、SDNR_{limiting value}を満たすことができなかった。しかし、80mAsではSDNR_{limiting value}と同等となった。そのためprocデータでは、mAs値を80mAsまで低減させられる可能性が示唆された。撮影線量は90mAsで1.83mGy、80mAsで1.65mGyであるため、mAs値を90mAsから80mAsまで低減すると、撮影線量は0.18mGyの低減が可能となる。

5. 本研究の限界と今後の課題

本研究で使用した解析ソフトは、 IQF_{inv} にprojデータを用いる必要があり、procデータの解析結果の正確性については検証が必要である。さらに物理評価だけでなく、視覚評価との整合性について検討する必要がある。

またDBTは、装置により検出器・ターゲット/フィルター・振角・再構成方法・撮影数などが異なるが、本研究は固有の装置による結果である。そのため各装置で本手法により、画質を担保しながら線量低減について検討する必要がある。

6. 結語

本研究は、CDMAMファントムとSDNRを用いたオーバーオール画質特性について検討を行った。procデータの画像において、線量低減の可能性が示唆された。

参考文献

- 1) 塩見 剛：トモシンセシスの原理と応用～FPDが生み出した新技術～. 医用画像情報学会雑誌, 24 (2), 22-27, 2007.
- 2) 日本乳癌検診学会, 他：対策型乳がん検診における「高濃度乳房」問題の対応に関する提言, 2017.
- 3) N Uchiyama, et al.: Diagnostic Performance of combined Full Field Digital Mammography (FFDM) and Digital Breast Tomosynthesis (DBT) in Comparison with Full Field Digital Mammography (FFDM). RSNA 2010.
- 4) 植松孝悦：プレストトモシンセシスを使用したマンモグラフィ検診の期待と課題. 日本乳癌検診学会誌, 23(2), 270-278, 2014.
- 5) The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP publication 103. Ann ICRP, 37 (2-4), 182, 2007.
- 6) 医療被ばく研究情報ネットワーク, 他：最新の国内実態調査結果に基づく診断参考レベルの設定. 20, 2015.
- 7) 磯本一郎：放射線被曝がもたらすマンモグラフィ検診の不利益. 乳癌の臨床, 30 (1), 29-35, 2015.
- 8) 篠原範充：プレストトモシンセシスにおける品質管理の試み. 岐阜医療科学大学 紀要 第12号, 1-4, 2018.
- 9) European Reference Organisation for Quality Assured Breast Screening and Diagnostic Services: Protocol for the Quality Control of the Physical and Technical Aspects of Digital Breast Tomosynthesis Systems version 1.03.
- 10) 岡部哲夫, 他：新・医用放射線科学講座 医用画像工学. 208, 医歯薬出版株式会社, 2018.
- 11) European Reference Organisation for Quality Assured Breast Screening and Diagnostic Services: European guidelines for quality assurance in breast cancer screening and diagnosis Fourth edition-Supplements.