

令和 6 年 6 月 13 日現在

機関番号：32666

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2023

課題番号：17K10375

研究課題名（和文）デジタル乳房トモシンセシス画像の最適化・品質管理の研究

研究課題名（英文）Quality assessment and quality control of digital breast tomosynthesis

研究代表者

村上 隆介（Murakami, Ryusuke）

日本医科大学・医学部・准教授

研究者番号：30267215

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,300,000円

研究成果の概要（和文）：本邦で臨床使用されている乳房トモシンセシスシステム用い、臨床的な観点からみた性能の特徴づけ、画像の最適化・品質管理の研究を検証した。各種DBTシステムには違いがあり、画像再構成法がフィルタ補正逆投影法から逐次近似法へと変更により、被曝線量の低減とCNRの改善とアーチファクト評価における逐次近似法の有用性が認められた。DBT機種や画像再構成法の違いは、病変描出に変化が生じさせる可能性があることから、画像描出能の特徴を把握して臨床使用する必要性があることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

乳房トモシンセシス（DBT）は普及傾向にある一方でその品質管理が確立されていない現状があった。乳房トモシンセシスの複雑化したシステムの性能維持を保障する試験方法は簡便で定量的な画質評価が望まれている。DBTは従来のデジタルマンモグラフィと比較して被曝量が増加するために被ばく線量を最小にすることも重要であり、性能評価手順と品質管理手順の確立が急務である。DBTの品質管理方法が確立されていない現状で、臨床現場で実践可能な品質管理について検証を行う点は先駆的な取り組みである。

研究成果の概要（英文）：From a clinical perspective, we examined the performance, image optimization, and quality control of various breast tomosynthesis systems used clinically in Japan. We observed a reduction in radiation dose and improvement in CNR by changing the image reconstruction method from filtered back projection to iterative approximation, as well as the usefulness of iterative approximation in artifact evaluation. Because differences in DBT models and image reconstruction methods may cause changes in lesion visualization, it was suggested that it is necessary to understand the characteristics of image visualization ability.

研究分野：放射線医学

キーワード：乳癌 マンモグラフィ トモシンセシス 品質管理 画質評価 被ばく

1. 研究開始当初の背景

現在、わが国では乳がんの罹患率が増加傾向にある。乳がんの生存率は比較的高く、早期に適切な治療を行えば良好な経過が期待できる。そのため、検診などにより早期に乳がんを発見することが必要である。従来のデジタルマンモグラフィ (digital mammography: DM) は、乳房の1方向投影画像であり、乳腺と病変が重なり描出されてしまう。そのため、これらの問題点を解消するための装置としてトモシンセシス技術を搭載した乳房 X 線撮影装置が普及している。トモシンセシスは、1回の撮影で乳房に異なる角度で 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、任意の複数断層画像を得ることができる技術である。乳房デジタルトモシンセシス (digital breast tomosynthesis: DBT) は、従来の DM と比較して有意に乳癌検出率を上昇させ、偽陽性を減少させると報告されている。しかしながら、DBT は DM と比較して被曝量が増加するため、性能評価と品質管理手順の確立された手法が少ないのが現状である。

2. 研究の目的

本研究では、乳房デジタルトモシンセシス (digital breast tomosynthesis: DBT) の被ばくと基本的性能・精度を検証し、その性能を維持するための品質管理方法について検討した。

国内で導入されている DBT は X 線管振り角・断層撮影線量・画像再構成法・画像処理など各機種におけるシステムコンセプトが異なっており、各々の画質に差異が生じ、病変検出の差異にも反映されている可能性がある。そこで、各機種を比較して、臨床的な観点からみた性能の特徴づけ、画質の特徴・違いを検証する。DBT 装置の複雑化したシステムの性能維持を保証し、定量的な画質評価が可能な試験方法を検証する。品質管理試験方法の一部にさらなる考察を加えて、実際の臨床現場で実践可能な精度管理の方法を検証する。を目的とした。

また、近年、DBT 撮像にて得られた 3 次元画像データから合成 2D マンモグラフィ (synthetic mammography: SM) を再構成する技術も開発され、これまで利用されてきた DM に代わる画像として期待されている。併せて、被ばく低減を目的として、DBT および合成 2D マンモグラフィ (synthetic mammography: SM) の画像特性・診断精度を基礎・臨床の両側面から検証した。

3. 研究の方法

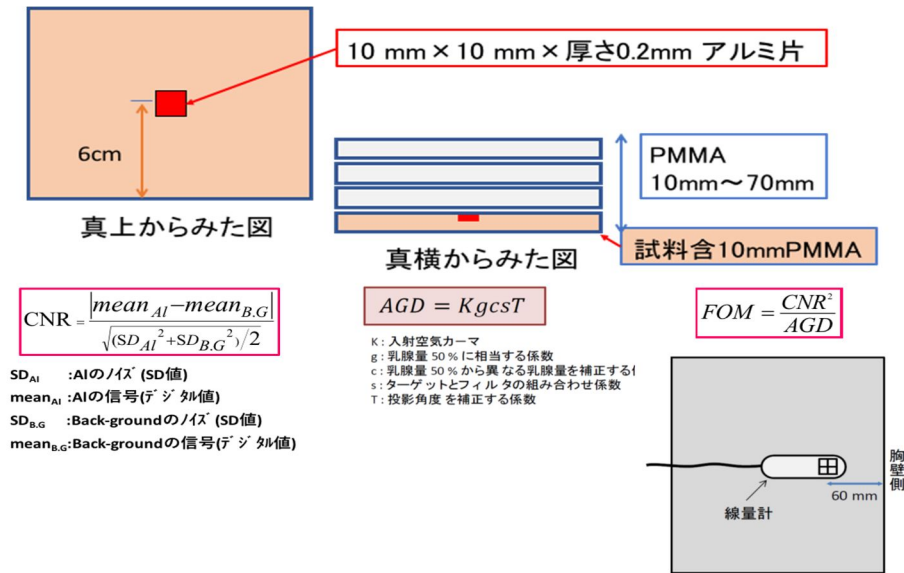
(1) デジタル乳房トモシンセシス画像の最適化・品質管理の研究

臨床使用しているデジタル乳房トモシンセシス装置 4 機種 (HOLOGIC 社製、富士フィルムメディカル社製、Siemens 社製、GE 社製) を用い、DM 画像と DBT 画像の画質評価を行った。

撮影線量と画質評価

AEC (Auto Exposure Control) 条件下で、polymethyl methacrylate (PMMA) ファントムに内蔵した 0.2mm のアルミ片を模擬信号として、PMMA ファントム厚を 20mm ~ 70mm に変化させ、撮像した。得られた各種 DBT 画像について、画質評価としてコントラスト・ノイズ比 (CNR: Contrast-Noise-Ratio) と、線量評価として平均乳腺線量 (AGD: average glandular dose) を求め、さらに、画質と線量との関係を調べるため、Figure of Merit (FOM) を以下に示す式か

ら算出し、臨床環境における DBT の基本的性能を物理的に評価した。



幾何学的歪み及び深さ方向の分解能

PMMA 厚を 60 mm を使用し、撮影台から 10 mm、30 mm、50 mm の高さにファントムを挟み、AEC 条件下で撮影。3 軸（胸壁に対して垂直方向を X、平行方向を Y、厚さ方向を Z）方向の歪みを半値幅（FWHM）として計測した。アーチファクト(ASF)の評価には、テフロン 5mm球を用いた Z-resolution ファントムを使用。ROI は Al 球、テフロン球のアーチファクトを含まないように設定し、各スライス面で PV と SD を計測し、ASF を算出した。

$$ASF(z) = \frac{PV_{AI}(z) - PV_{B.G.}(z)}{PV_{AI}(z_0) - PV_{B.G.}(z_0)}$$

画像再構成法の違いによる画質評価

画像再構成法は、アーチファクト抑制やノイズ低減の観点からフィルタ補正逆投影法(FBP)から逐次近似法(IR)に推移する傾向がある。ここでは画像再構成法の違いにおける画質への影響の評価を行った。検討項目は 3-1-1、3-1-2、併せて Contrast detail mammography (CD-MAM)ファントムを用いて視覚評価を行った。撮影条件は、standard mode with Automatic Optimisation of Parameters (AOP)における平均乳腺線量を基準とし、管電圧を変化させた画像を比較評価する。観察実験モニタは、専用の高輝度・高精細液晶ディスプレイを使用、併せて CDMAM 付属の自動解析ソフトにより解析を行った。

(2) 2D マンモグラフィ (synthetic mammography: SM) の画像特性の検証

SIEMENS 社製 MAMMOMAT Inspiration を用いた基礎的なファントム実験を行い、DBT から得られた合成 2D 画像 (synthetic mammography: SM) を解像度・コントラスト・ノイズなどの画質評価による従来の DM と比較した。

Polymethyl methacrylate (PMMA)ファントムに内蔵した 0.2mm のアルミ片を模擬信号とし、PMMA ファントム厚を 20mm~70mm に変化させ、撮像した。得られた DM と SM 画像それぞれにつき画質評価として CNR 値と、線量評価として AGD を求めた。SM 画像撮影時のフィルタ/ターゲット、管電圧は DM と同一設定であり、また DBT 撮影では、撮影線量は各 PMMA 厚における DM の 1.5 倍であった。

4 . 研究成果

《撮影線量と画質評価》

撮影線量は DM とほぼ同じ条件で撮影できる装置や DM の 1.5 倍の線量が必要となる装置などがあつた。DM および DBT 画像ともにファントム厚が増すほど CNR 値は下がる傾向にあり、DBT においては機種によっては CNR が下がらずほぼ一定な装置があつた。

《幾何学的歪み及び深さ方向の分解能評価》

X, Y, Z 軸方向の歪み (FWHM) の評価では、X, Z 軸方向に関しては DBT の振り角が大きいほど小さくなる傾向にあつたが、Y 軸方向は装置によつての差がほとんどなかつた。

《画像再構成法の違いによる画質評価》

逐次近似法(IR)はフィルタ補正逆投影法(FBP)に比べ標準偏差 (SD)の上昇がみられたが、コントラストの改善により、CNR 値は 1.7 ~ 1.8 倍高い値を示した。FWHM の評価では、位置依存性に関して、FBP、IR はほぼ同様の傾向であり、X、Y、Z 軸方向すべての FWHM で FBP に比べ IR の方が大きくなつた。アーチファクト評価 (ASF・SD_{rel})、そして CD-MAM ファントムを用いた視覚評価でも IR は FBP に比較して、良好な結果が得られた。

《2D マンモグラフィ (SM) の画像特性評価》

DM 撮影において、CNR 値は PMMA 厚 20mm 時の 1.33 を最大として PMMA 厚の増加に従つて低下傾向を示し、PMMA 厚 70mm 時に最小の 0.58 となつた。SM 撮影でも同様の傾向を示し、PMMA 厚 20mm 時に最大の 1.36、PMMA 厚 70mm 時に最小の 0.59 となつた。また、AGD は DM 撮影では PMMA 厚 20mm 時に最小の 0.65mGy となり PMMA 厚の増加に伴い正の相関を示し、PMMA 厚 70mm 時に 2.08mGy であつた。本機器では DBT 撮影の際、振り角 0 度連続照射での曝射ができず、SM 画像撮影時の AGD は実測不可能であつたが、2D 時の表示値と実測値の割合を DBT 時の表示値に乘じ、補正をした値から推定される DM+DBT 撮影時の AGD は DM 撮影時同様に PMMA 厚と正の相関を示した。

《まとめ》

本邦で臨床使用されている DBT システム 4 機種を用いた研究より、X,Y,Z の 3 軸方向の歪みやアーチファクト出現に各種 DBT システムでの違いがみられた。そして画像再構成法が FBP 法から IR 法へと変更により、被曝線量の低減と CNR の改善とアーチファクト評価における IR 法の有用性が認められた。

DBT 機種や画像再構成法の違いにより、病変描出に変化が生じる可能性があることから、画像描出能の特徴を把握して臨床使用する必要があることが示唆された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Murakami R, Tani H, Kumita S, Uchiyama N.	4. 巻 10
2. 論文標題 Diagnostic performance of digital breast tomosynthesis for predicting response to neoadjuvant systemic therapy in breast cancer patients: A comparison with magnetic resonance imaging, ultrasound, and full-field digital mammography.	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Acta Radiol Open.	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1177/205846012111063746	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Murakami R, Uchiyama N, Tani H, Yoshida T, Kumita S.	4. 巻 28
2. 論文標題 Comparative analysis between synthetic mammography reconstructed from digital breast tomosynthesis and full-field digital mammography for breast cancer detection and visibility.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 European Journal of Radiology Open.	6. 最初と最後の頁 100207 1-7
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.ejro.2019.12.001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Murakami R, Tani H, Miki I, Yoshida T, Kumita S, Uchiyama N.	4. 巻 10
2. 論文標題 Comparison between Visualization of Microcalcifications by Digital Breast Tomosynthesis and Full-Field Digital Mammography.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Open Journal of Radiology	6. 最初と最後の頁 90-100
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.4236/ojrad.2020.102010	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 谷 瞳, 村上 隆介, 汲田 伸一郎	4. 巻 34
2. 論文標題 Precision Medicine時代におけるライフステージと乳がん画像診断】画像診断技術の動向と臨床応用 トモシンセシスによる乳がん画像診断の現状と将来展望	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 INNERVISION	6. 最初と最後の頁 36-39
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Murakami Ryusuke, N. Uchiyama, H.Tani, S.Kumita1, T. Ito.
2. 発表標題 Clinical Impacts of an Artificial Intelligence for Digital Breast Tomosynthesis.
3. 学会等名 European Congress of Radiology (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 村上隆介、谷 瞳、吉田民子、小林宏之、古崎治子、菅谷有希、汲田 伸一郎、内山菜智子、大塚恭一
2. 発表標題 乳癌における合成マンモグラフィとデジタルマンモグラフィの描出能の比較評価
3. 学会等名 第78回日本医学放射線学会学術集会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 谷 瞳、村上隆介、吉田民子、汲田 伸一郎、内山菜智子、大塚恭一
2. 発表標題 乳房デジタルトモシンセシスでの石灰化病変の診断における2Dおよび3D再構成画像の有用性
3. 学会等名 第78回日本医学放射線学会学術集会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 村上隆介
2. 発表標題 Visualization of Microcalcifications on Digital Breast Tomosynthesis Compared with Full-field Digital Mammography
3. 学会等名 第77回日本医学放射線学会学術集会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 菅谷有希、古崎治子、小谷野 文、小林宏之、村上隆介
2. 発表標題 DBT検査における撮影線量の最適化の検討
3. 学会等名 第28回日本乳癌検診学会学術総会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小谷野文、菅谷有希、古崎治子、鈴木智之、村上隆介、小林宏之
2. 発表標題 DMおよびDBTにおける乳房圧迫圧の基礎的検討
3. 学会等名 第28回日本乳癌検診学会学術総会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関