

トモシンセシスの画質評価用ファントムの開発

近藤 啓介¹⁾

1) 駒澤大学医療健康科学部

要 旨

乳房の X 線撮影であるマンモグラフィでは、従来の撮影法に加え、多方向から撮影した複数の画像から任意のスライス像を再構成するトモシンセシスが注目を集めている。トモシンセシスが普及を始めた現在、その画像の画質評価方法が研究されているが、統一基準はまだ確定していない。画質評価法としては解像特性の MTF や粒状特性の WS など 2 次元での解析方法を 3 次元でも計測可能にした方法とスライス画像の厚さを計測する方法がある。本研究ではトモシンセシス用の 3 次元物理計測ファントムを開発し、3 次元的な上下方向の障害構造物の含有率を計測し、新しい画質評価指標を提案する。ファントムは縦横 5cm×15cm、厚さ 5mm のアクリルに直径 4mm の円柱を水平方向に埋め込んだ構造で、円柱の位置が異なる 4 パターン 8 枚の障害構造物を模したものである。これを上下に配置し、中心には厚さ 1cm のアクリルに直径 1mm の鉄球を埋め込んだもので構成される層構造のファントムである。上下の障害構造物の順番を入れ替えることで、写り込みパターンが変えられる。中心の鉄球を基準とする DBT のスライス画像を計測することで、上下の構造物の含有率を測定する。結果、撮影モードが異なると障害物の含有率が変化し、写り込みの評価が可能となり、臨床現場での撮影条件や日常点検への応用が期待できる。

1. 諸言

乳房の X 線撮影であるマンモグラフィでは、従来の撮影法である Full Field Digital Mammography (以下 FFDM) に加え、多方向から撮影した複数の画像から任意のスライス像を再構成する Digital Breast Tomosynthesis (以下 DBT) が注目を集めている。DBT は、Flat Panel Detector (以下 FPD) との連携により、簡便、短時間でボリュームデータを収集可能とし実用性が向上している。DBT のスライス像の場合、乳がんの腫瘍陰影や石灰化が他の構造物と分離されて描出される。このため、臨床に応用され、従来のマンモグラフィでは困難であった病変を DBT で検出可能になったという報告がある。

DBT が普及を始めた現在、その画像の画質評価方法が研究されている。海外では、European Reference Organization for Quality Assured Breast Screening and Diagnostic Services (以下、EUREF)

による DBT のガイドライン作りが進んでいる。

EUREF の報告^[1]では、Zhou ら^{[2][3]}の Simulated Slanted Slit (SSS) 法によるワイヤーを 3 次元的に傾けて空間分解能を測定する手法や、Samei ら^[4]の 10mm の球状のデバイスを用いて x y z 方向の空間分解能を算出する Sphere 方法や断層厚を計測する方法がある。

しかし、上下の他の構造物との分離が優れている DBT に対して、上下の構造物の除去率や含有率を測る方法は少ない。そこで、本研究では DBT 用の 3 次元物理計測用ファントムを開発し、3 次元的な上下方向の障害構造物の含有率を計測することで、DBT の新しい画質評価方法を提案する。そして臨床現場での日常点検や画像処理の最適調整など精度管理に役立てることを目的とする。

2. ファントムの構造

ファントムの構造は、厚さ5mmの亚克力に直径4mmの円柱の穴を掘り、穴の中に軟骨と同等のX線透過率の素材を埋め込んで作成した。同じ素材で、円柱の穴の位置が異なるものを作成し全部で4パターンになる。これを中心の亚克力の上に配置する。同様に同じ4パターンを中心の亚克力の下に配置する。図1にファントムの構造、図2にファントムの断面図を示す。

DBTの場合、深さ方向の正確な位置は判別できない。このため深さ方向の中心に画像上では上

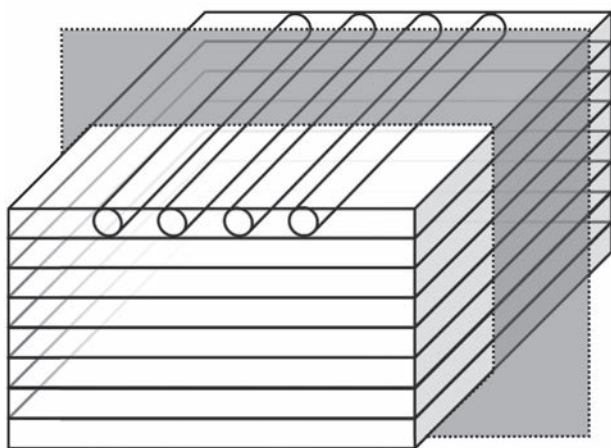


図1 ファントムの構造

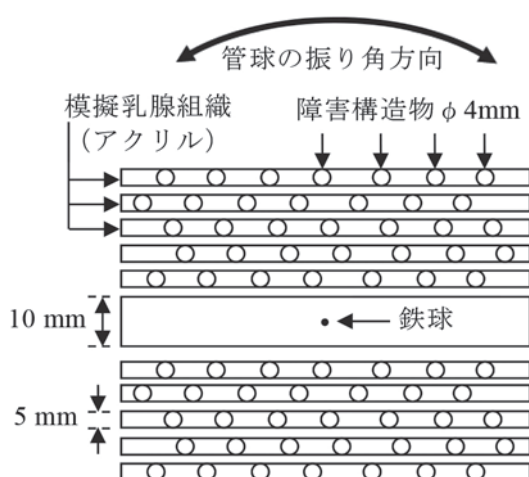


図2 ファントムの断面図

$$\text{含有率} = \frac{\text{標準偏差}}{\text{亚克力厚 1cm の差}} \dots (1)$$

部の端に1mmの鉄球を配置し、鉄球が一番小さく表示されるスライス画像を深さ方向の中心とみなして計測をする。

上下の各層のファントムは、順番を入れ替えることが可能である。埋め込んだ構造物も位置が異なる。このため、配置パターンによってはある角度に有利不利が発生する可能性があるが、順序を入れ替えて数パターンで平均することでこれを解消する。

含有率は式(1)に示すように、亚克力厚1cmと空気のコントラストを基準として、中心のスライスに写り込んだ構造物を標準偏差で表し、その比でもって表現する。

3. 実験

作成したファントムをFFDM、DBTで撮影した。撮影条件は管電圧28kV、mAs値50mAs、ターゲット/フィルタをMo/Rhとした。フジフィルム社のマンモグラフィAMULETのDBTはStandard-mode (ST-mode)とHigh Resolution-Mode (HR-mode)の2種類の撮影モードの撮影が可能である。ST-modeは、異なる角度から乳房の画像を複数撮影する際の角度差が小さく、撮影時間が短く、ワークフローと低線量を優先したモードであり、検診に適している。一方HR-modeとは、異なる角度から乳房の画像を複数撮影する際の角度差が大きく、深さ方向の分解能に優れている。

得られた画像をImageJにてプロファイル、標準偏差、画素値、基準構造物の画素値の差(ΔD)を測定した。DBTの障害構造物含有率について検討を行った。

4. 結果

撮影した結果の画像の一部を図3～5に示す。図6は図3の測定部分のプロファイルである。



図3 HRモードの画像



図4 STモードの画像



図5 FFDMの画像

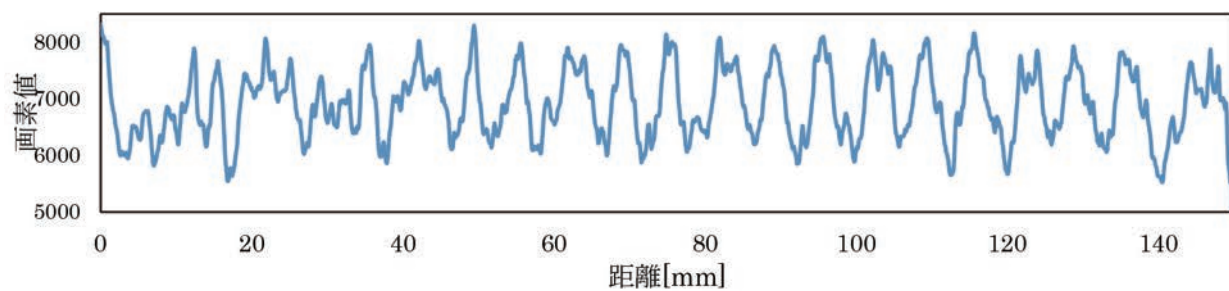


図6 HRモードのプロファイル

5. 考察

DBT では、乳腺の重なりを除去して腫瘍や石灰化をより鮮明に画像化でき、臨床で有用との報告がある。しかし、物理的にどれだけの乳腺の重なりが除去できているかを計測した報告はない。また、シフト加算法やフィルタ補正逆投影法 (filtered back projection 法 : FBP 法) 及び逐次近似法の応用などの画像再構成の方法によって乳腺の重なりは異なり、最終的な周波数強調処理などの画像処理でも除去率は異なる。このため、DBT の特徴である乳腺の重なりは含有率を計測できれば、画質の評価管理には有用であり、臨床現場での画像処理パラメータの調整には役立つと考える。本研究で提案した新しいファントムと測定方法では、他の構造物の含有率が計算できることが確認できた。図7に示すようにモードの違いによる含有率も計測できている。今回提案するファントムは、スライスの順番を変えることで映り込みのパターンを変えることができる。これは、特定の振り角や回数に有利不利にならないように数パターンで撮影して比較することが可能である。

今後は、臨床現場での利用方法を検討して、現場の画質管理やパラメータ調整に利用できるように改良する計画である。

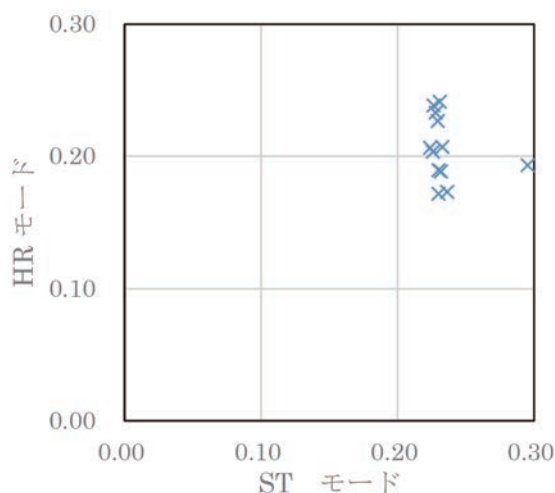


図7 HRモードとSTモードの比較

6. 結語

複数のスライスからなる DBT 用のファントムを作成した。スライスの組み合わせが異なる数パターンの画像を作成し、計測することで画像に含まれる上下の他の構造物の含有率を測定することが可能となった。

7. 謝辞

この研究は駒澤大学特別研究助成 (共同) の助成を受けています。

撮影や解析に協力いただいた平戸祐歩氏、及び、撮影機器を利用させていただきました、(株)富士フイルムメディカルに感謝いたします。

References

- [1] European Reference Organization for Quality Assured Breast Screening and Diagnostic Services. Protocol for the quality control of the physical and technical aspects of digital breast tomosynthesis system Draft version 0.15. 2014.
- [2] Zhao B, Zhou J, Hu Y-H, Mertelmeier T, Ludwig J, Zhao W, Experimental validation of a three-dimensional linear system model for breast tomosynthesis Medical Physics, No.36, pp240-251, 2009
- [3] Zhou J, Zhao B, Zhao W, A computer simulation platform for the optimization of a breast tomosynthesis system, Medical Physics. No.34, Vol.3, pp.1098-109, 2007
- [4] Samei E, Murphy S, Richard S, Assessment of multi-directional MTF for breast tomosynthesis, Physics in Medical and Biology, No.58, Vol.5, pp.1649-1661, 2013

Development of the phantom for the evaluation of the tomosynthesis image

Keisuke KONDO

Summary

In the mammogram that is the breast radiography, the tomosynthesis that composes an arbitrary slice image of two or more images of which it takes a picture from the multiway in addition to a past taking a picture method again attracts attention. The union standard has not been fixed yet though the method of evaluating the image quality of the image now at the time of started spreading by the tomosynthesis is researched. The image quality evaluation method includes the method by WS etc. of MTF and a grainy characteristic of the solution image characteristic the measurement of the thickness of the method and the slice image that enables the measurement even by three dimensions the mode of analysis in two dimensions. Three dimension physical measurement Phantom for the tomosynthesis is developed, the content of the trouble structure in vertical directions three dimensional is measured, and it proposes a new image quality evaluation index in the present study. It is a buried structure, and the position of the column is the one that the trouble structure (four eight-different pattern) was imitated the horizontal direction of the column of 4mm in the diameter length and breadth 5cm×15cm and the acrylic fiber of 5mm in thickness Phantom. This is arranged at the top and bottom, and the Phantom of the laminar structure composed of the one that the iron ball of 1mm in the diameter was buried under the acrylic fiber of 1cm in thickness in the center. The pattern is changed by replacing the order of an upper and lower trouble structure including reflecting. The content of an upper and lower structure is measured by measuring the slice image of DBT based on iron globe at the center.

The content of the obstacle changes, the evaluation including reflecting becomes possible when the result the shooting mode is different, and shooting conditions in a clinical site and the application to the daily checkup can be expected.