

○令和元年度奨励研究

「デジタルブレストモシンセシスの三次元的線量評価」

放射線技術科学科 助教 中島 絵梨華

教授 佐藤 斉

1. 研究目的

乳がん検査の画像診断手法の1つにマンモグラフィ撮影があるが、患者の乳腺割合によっては病変の検出が難しい場合がある。それを解決する撮影法としてデジタルブレストモシンセシス(Digital Breast Tomosynthesis: DBT)があり乳腺と病変像の重なりを排除した画像が取得可能である¹⁾。マンモグラフィ撮影は乳房皮膚面に入射したX線が乳房内組織と散乱や吸収などの複雑な相互作用を起こすため、X線の入射位置と入射皮膚面からの深さにより乳房内のエネルギー分布や線量分布は大きく変化する²⁾。特にDBTはX線の入射方向が多方向であるため、乳房内線量分布は複雑に変化する。

DBTの線量評価の多くはモンテカルロ法等を用いたシミュレーション計算により行われてきた³⁾。実測によるDBTの乳房内線量分布は、入射表面部および乳房内部の1層のみを計測した報告があるが⁴⁾、乳房内の線量分布を検証することはほとんど行われていない。

一方、マンモグラフィの乳房内の線量分布は小型の熱ルミネセンス線量計(Thermoluminescence dosimetry: TLD)を使用して測定した報告もあるが、線量換算に必要な補正が簡便でない。また、エネルギー応答特性が比較的良好な電離箱式線量計⁶⁾は小型化が難しいことや線量に換算するために各種補正をする必要があり簡単に利用できない。本研究ではDBTの乳房内線量を詳細に評価するために、小型で比較的応答特性が良好な蛍光ガラス線量計と乳房模擬ファントムを用いてX線の入射面からの深さの違いによる乳房内線量分布を測定することを目的とする。

2. 研究方法

(1)乳房模擬ファントムの作成

乳房内線量分布を測定するためのファントムを作成した。小型の蛍光ガラス線量計(Radiophotoluminescence dosimetry: RPD(GD-302: 千代田テクノル))をファントム内に装填可能にするために90 mm×50 mm×40 mmのポリメタクリル酸メチル樹脂(Polymethyl methacrylate: PMMA)を加工した。また標準乳房厚をPMMA厚40 mmとして、X線の入射面からの深さを変化させて線量分布測定をするため、深さ変更用乳房模擬ファントムとしてPMMA板90 mm×50 mm×2,3,5 mm を作成した(図1, 2)。

(2)X線照射

ファントム厚を40 mm一定として、X線の入射面から深さ0～40 mmの位置にRPDを配置して測定した。RPDは各層に3個ずつ配置した。ファントム内のX線との相互作用による散乱線の発生を考慮し、乳房模擬ファントムの周辺にPMMAファントムを配置した。照射条件はX線透視装置(Sonial Vision: Shimadzu)を用いて管電圧40 kV、照射野は130 mm×80 mmとした。照射方向は、マンモグラフィ撮影を想定した垂直入射と、トモシンセシス撮影を想定した最大傾斜角入射(20°)およびトモシンセシス入射(40°)の3種とした。

(3)RPDの解析

ガラス素子の蛍光量が時間の経過とともに増加し、一定時間経過後に安定状態となるビルドアップの影響を考慮し、X線を照射した後に恒温器(DKN-302: 千代田テクノル)を用いて70℃で30分間加熱処理した。その後ガラス線量計リーダー(FGD-1000: 千代田テクノル)を用いて、蛍光量を読み取り空気カーマとして評価した。

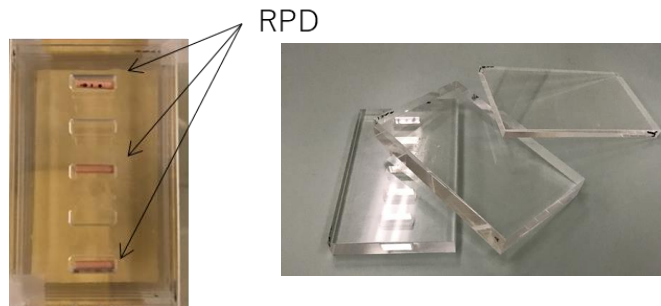
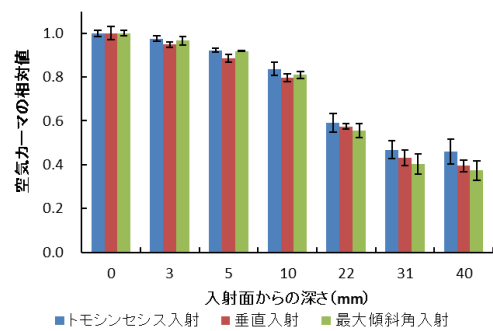


図1 乳房模擬ファントム

図2 深さ変更用乳房模擬ファントム

3. 研究結果

照射方向の違いによる乳房模擬ファントム内の線量分布を図3に示す。入射面から深さ10 mm程度までは撮影法による線量分布の大きな差はなかった。しかし10 mmより深い位置では、トモシンセシス入射が垂直入射と比較して空気カーマの減弱が少なかった。深さ40 mmの位置では垂直入射と比較して、トモシンセシス入射では平均値で約16%空気カーマが高かった。



4. 考察(結論)

DBTと従来のマンモグラフィの乳房内線量分布の違いを調べるために、乳房模擬ファントムにトモシンセシス入射と垂直入射した場合のファントム内の線量を深さ別に測定した。X線の入射面からの位置が深いほどトモシンセシス入射と垂直入射との差異が大きくなった。トモシンセシス入射では、X線管の軌道に沿ってファントムにX線ビームが入射するため、ファントム内で一次X線と散乱X線の分布状況が垂直入射の場合とは異なることが考えられる。Mabelらのラジオクロミックフィルム線量計を用いたファントム内の線量分布測定⁴⁾では、X線の入射面ではファントム中心からファントム端に向かって線量が低くなる。しかしある深さのファントム面ではファントム中心からファントム端に向かって線量が高くなる。つまり入射点周辺の散乱X線による線量分布が異なることを示しており、本実験と同様の結果であった。

図3 照射方向のちがいによる乳房内線量分布

現在、乳がん検診に用いるマンモグラフィのリスク評価として平均乳腺線量(Average Glandular Dose:AGD)が用いられている。マンモグラフィのAGDはX線の入射面の空気カーマと各種補正係数から算出する。DBTのAGDはマンモグラフィのAGDに入射角度の補正係数を乗じて算出されている⁶⁾が、X線入射方向の違いによる深部線量分布の変化は考慮されていない。しかしDBTのファントム内線量分布は散乱線の寄与によりマンモグラフィと比較して深部での相対線量が高いため、AGD算出時の補正係数として入射角度のみを考慮しているDBTのAGDは過小評価している可能性が考えられる。

本研究で作成したファントムは実際の乳房と形状や材質が異なるため、患者の被ばく線量を厳密に再現できていないわけではない。より高精度に測定するためにはファントムの形状や材質をより人体に近づける必要がある。また、マンモグラフィで用いている低エネルギーX線は物質との相互作用のうち光電吸収確率が大きくRPDをはじめとした線量計の多くはエネルギー依存性が大きい。そのため、三次元的な線量分布を高精度に評価するためには評価位置でのエネルギー情報が重要となる。

5. 成果の発表(学会・論文等, 予定を含む)

- 1) Nakajima E. Sato H. Energy response of Hand-Made dosimeter for mammography. Radiological Physics and Technology. (preparing for submitting a paper)
- 2) 中島絵梨華. 佐藤 斉. デジタルブレストモシンセシスのファントム内線量分布の評価. 日本放射線技術学会秋季大会. (2020.10.)

6. 参考文献

- 1) Skaane P et al. Comparison of digital mammography alone and digital mammography plus tomosynthesis in a population-based screening program. Radiology. 267:47–56.2013.
- 2) 青木 清 他. フोटダイオードを用いた乳房ファントム内線量分布の測定. 駒澤大学医療健康科学部診療放射線技術科学論集. 5:1-8.2007.
- 3) Baptista M,et al. Dosimetric Characterization and Organ Dose Assessment in Digital Breast Tomosynthesis: Measurements and Monte Carlo Simulations Using Voxel Phantoms. Medical Physics.42(7):3788-3800.2015.
- 4) Mabel B. et al. Dose profile evaluation in digital breast tomosynthesis exposition using radiochromic film. Applied Radiation and isotopes.152:140-144.2019.
- 5) Jansen JTM.et al. Comparison of measured and calculated in-phantom depth-dose distributions for mammography. Radiat Prot Dosim. 43:245–249. 1992.
- 6) DR Dance.et al. Estimation of mean glandular dose for breast tomosynthesis: factors for use with the UK, European and IAEA breast dosimetry protocols. Physics in Medicine&Biology.56(2):453-471.2011.