

氏名（本籍）	中島 絵梨華（茨城県）
学位の種類	博士（保健医療科学）
学位記番号	博甲第41号
学位授与年月日	令和4年3月15日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
審査研究科	保健医療科学研究科
学位論文題目	デジタルブレストトモシンセシスの乳房吸収線量分布の3次元測定

学位審査委員

主査	茨城県立医療大学教授	博士（医学）	中島光太郎
	茨城県立医療大学准教授	博士（薬学）	鹿野 直人
	茨城県立医療大学准教授	博士（保健学）	須田 匡也
	東京都立大学客員教授	博士（医学）	加藤 洋

論文の内容の要旨

【背景】乳がん検診に用いられるマンモグラフィ(mammography:MMG)は、乳がん死亡率を減少させる有効性が科学的に認められた唯一の検診手法である。しかし日本人に多い高濃度乳腺の被検者に対するがん識別能が低いことが問題とされている。デジタルブレストトモシンセシス(digital breast tomosynthesis:DBT)は、乳腺とがん病変像(腫瘍)の重複した投影を効果的に減少させた画像を描出する手法であり、日本人や若年女性に多い高濃度乳腺の被検者に対する乳がん検出感度の向上が期待できることから乳がん検診への積極的導入が検討されている。このDBTを乳がん検診に適用するためには放射線被ばくによるリスク評価を適切に行う必要がある。DBTの被ばく線量評価は、MMGの平均乳腺線量(mean glandular dose:MGD)にX線入射角度の補正係数を乗じて求める。この補正係数は、欧米人の乳房標準サイズに対応した直径(記号: ϕ)160mmの半円柱型乳房模擬ファントムを用い、X線入射角度による乳房内の吸収線量の変化をシミュレーション計算により求めて算出されている。しかし、実際の乳房サイズや乳房厚により内部の吸収線量分布が複雑に変化するため、X線入射角度のみで補正したMGDは不確かさが大きく、乳がん検診のリスク評価として用いる際には問題があることが指摘されている。またDBTを乳がん検診に適用する際には日本人の乳房サイズ等を考慮した線量評価をより適切に行うことが必要とされる。

【目的】乳がん検診にDBTを用いる際のリスク評価に用いるMGDの精度を向上させるために、乳房サイズとX線エネルギーに着目してDBTによる乳房内線量分布の変化を

3 次元的に測定し、MGD 補正方法を検討する。

【方法】物質内の線量を 2 次元的に測定することができるラジオクロミックフィルム (radiochromic film: RCF) を用い、乳房模擬ファントム内の吸収線量を深さ別に測定した。MGD を算出する際のシミュレーション計算で用いられるファントム形状を模擬し、サイズ別に $\phi 160$ mm, $\phi 80$ mm, $\phi 40$ mm のポリメタクリル酸メチル樹脂 (polymethyl methacrylate: PMMA) ファントムを作成した。乳房用 X 線装置 (Senographe Pristina: GE) を用い、ターゲット/フィルタの組み合わせ Mo/Mo の場合で、管電圧 24~32 kV と変化させて、3 種類の PMMA ファントムのサイズ別に、MMG と DBT の深さ別の空気カーマを測定した。PMMA ファントム内の深さ別に RCF を配置して測定した空気カーマの値からファントム内吸収線量を算出した。3 次元的に得られた PMMA ファントム内の吸収線量分布から MMG と DBT による MGD を解析し、ファントムサイズと撮影に用いる X 線エネルギーによる補正係数を検討した。

【結果及び考察】管電圧 32 kV では MMG と DBT の PMMA ファントムによる MGD は PMMA ファントムサイズにかかわらず 5% 以内で一致した。また管電圧 28 kV, 24 kV では $\phi 160$ mm および $\phi 80$ mm ではほぼ一致した。ファントムサイズ $\phi 40$ mm では MMG に対して DBT の PMMA ファントム内の平均吸収線量がそれぞれ 1.10 倍, 1.17 倍高く、管電圧が低くなるほど両者の差が増大した。MMG は X 線入射角度が垂直であるが、DBT は X 線が PMMA ファントムに斜入射する。そのため、X 線エネルギーが低いほど、また PMMA ファントムサイズが小さいほどファントム内部での X 線吸収と散乱の違いの影響が大きくなることが考えられる。DBT による MGD を評価する際は被写体サイズによる補正が必要であり、今回求めたファントムサイズと X 線エネルギーによる MGD との関係性を定式化した補正法により適切に MGD を評価することができる。

【今後の課題】今回検討した PMMA ファントム形状は 3 種類のみであるため、より補正係数の精度を向上させるために異なるサイズのファントムによる補正係数を求めることが課題となる。また、乳腺濃度、ターゲットフィルタや管電圧などの要因別に補正係数の違いを検討することも必要である。

【結語】DBT による MGD の評価精度を向上させるために、ファントムサイズに着目してファントム内の線量分布を 3 次元的に測定して MMG と DBT による MGD の違いを検討した。撮影に用いる X 線エネルギーとファントムサイズによる DBT の角度補正係数を求めた結果を MGD の算出法に組み込むことで MGD による線量評価精度が向上し、乳がん検診に DBT を用いる際のリスク評価のために有用な情報となる。

審査の結果の要旨

近年日本人女性に急増している乳がんだが、早期発見早期治療のための、マンモグラフィ (MMG) による乳がん検診が広く行われてきている。また、最近では MMG の撮影方法の一つであるデジタル乳房トモシンセシス (DBT) を利用した検査の有用性が注目されつつある。

その一方で、被曝に関しては、1 回の検査で乳房が受ける被曝線量は 1 ~ 3 mGy 程度で多いとは言えないが、経年、隔年で検査を受けることを考えれば、そのリスク評価は重要である。そこえ、従来より利用されてきた MMG とともに DBT でも線量評価の精度向上が望まれている。

現状、DBT の被曝線量評価は、MMG の平均乳腺線量 (MGD) に X 線入射角度の補正係数を乗じて求められている。しかし、この補正係数は、欧米人の乳房標準サイズに対応した直径のファントムを用いて、X 線入射角度による乳房内の吸収線量の変化をシミュレーション計算により求められる。しかし、X 線入射角度のみで補正した MGD は不正確で、乳がん検診のリスク評価には問題があることが指摘されている。さらに、日本人の乳房サイズに合わせた線量評価を適切に行うことが求められている。

この研究は、欧米人の体格と日本人の体格に配慮し、乳房内線量分布と平均吸収線量について、乳房の大小と撮影時の管電圧に注目し、種々のサイズのアクリルフントムと管電圧により検討した最初の研究という点で独自性が高いと考えられる。

また、研究方法として、種々の乳房の大きさを想定したアクリルフントムと線量評価のためのラジオクロミックフィルムを利用し、電離箱線量計での測定値と比較しながらキャリブレーションカーブを作成することで、乳房内各断面の 2 次元的な線量の解析を行っている。この方法は、DBT と MMG の双方の被ばく線量評価の精度を高めるための新しい方法といえる。原理的にも、信頼できる妥当な方法と考えられ、測定結果について国際度量衡委員会の提言を考慮に入れた検討もされており、信頼性は確保されている。

ただ、惜しむらくはラジオクロミックフィルムを、鋏を使用して切断して使用している点で、ハサミよりもレーザーカッターを用いる方が、皮膚線量領域の線量評価の精度が、より高まるのではないかと考えられた。

しかし、この研究によって、MMG と DBT は、乳房内線量分布が異なり、特に小さい乳房のファントムでその差が著しかったことが示され、より正確な MGD への補正係数 k も求めることができた。さらに、従来の MGD は本研究の測定よりも過小評価になっていることが明らかになった。今回確立した測定を用いることで、従来の MGD に比べて詳細な乳房被曝線量評価が行えるようになり、今後、DBT の被曝線量評価の精度向上に寄与すると考えられる。

以上から、本研究は博士の学位授与に値するものと判定する。