

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 6 日現在

機関番号：11101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23791384

研究課題名(和文)CT肺がん検診における乳腺の被曝低減を目的とした体表遮蔽撮影法の確立

研究課題名(英文)Establishment of shield scan method for dose reduction of mammary gland in CT screening for lung cancer

研究代表者

小山内 暢(Osanai, Minoru)

弘前大学・保健学研究科・助教

研究者番号：40514138

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,400,000円、(間接経費) 720,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、CT検査における体表遮蔽撮影法の確立を念頭に置き、CT肺がん検診において画質を著しく低下させることなく放射線高感受性である乳腺の被曝低減を可能にする最適な遮蔽材質を明らかにすることを目的とした。遮蔽材として選定した複数種類の金属板等(銅板、亜鉛板、モリブデン板、ステンレス板、ゴムシートおよびビスマスシート)をファントム上に配置してCT撮影を行い、乳房相当部分の線量測定および肺野相当部分の画質評価を実施した。各遮蔽材の線量低減率と画質の関係等を検討し、遮蔽撮影が有用であること、および亜鉛や銅が遮蔽材として適していることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：This study aimed to clarify the material of shield that enables radiation dose reduction of mammary gland without severe degradation of image quality in CT screening for lung cancer. It distributes to the establishment of shield CT scan method. Some metal plates (copper, zinc, molybdenum and stainless) and sheets (rubber sheet and bismuth-contained sheet) were selected as a shield. The metal plates and sheets were placed over the phantom. The CT scan was performed, and radiation dose and image quality were assessed. The relationship between radiation dose reduction rate and image quality in each shield was investigated. It was suggested that shield scan method was useful, and zinc and copper is suitable for shield scan.

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：内科系臨床医学・放射線科学

キーワード：CT検査 CT肺がん検診 医療被ばく 被ばく低減 遮蔽撮影

1. 研究開始当初の背景

国立がんセンターがん対策情報センター「最新がん統計」によると、2008年の部位別がん死亡率のうち肺がんによる死亡率は男性で第1位、女性では第2位と男女共に上位を占めている。肺がんの死亡率を減少させるには、禁煙による一次予防とあわせて肺がん検診などによる二次予防対策が重要である。単純X線写真による検診ではサイズの小さな肺がんを発見することは困難であるため、CT(computed tomography)装置を用いたCT肺がん検診も実施されるようになってきている。

同時に、近年国内外において、医療被曝に対する関心が一般市民レベルでも高まっており、特にCT検査による被曝について多くの注目が集まっている。わが国においては、CT装置の普及と検査件数の増加のため、CT検査による被曝が多いという報告があり、医療被曝の低減を図るためには、行為の正当化・防護の最適化の観点からも、CT検査における被曝を低減することが重要であると考えられる。さらに、CT肺がん検診は、異常所見を検出すること、すなわち存在診断が目的であり、良悪性を判断するための質的診断は重要ではない。そのため検出能に影響を及ぼさない範囲で、画質向上よりも被曝低減が優先されるべきである。現在、多くの施設においてCT肺がん検診は低線量プロトコルで実施されているが、更なる被曝低減方法検討の余地があると考えられる。CT装置から発生するX線は連続エネルギーであり、画像形成にあまり寄与しない低エネルギー成分のX線によって乳腺などの表在臓器は無用な被曝をしている。

薄層のビスマス含有ラテックスを用いた胸部CT検査における乳房の放射線防護に関する報告はあるが、入手が困難な上に、ビスマスは高原子番号(原子番号:83)であるため乳房厚の薄い被検者では肺野にアーチファクトを及ぼす可能性があるだけでなく、画像形成に必要な高エネルギー成分まで吸収し深部構造の描出を低下させる可能性がある。平均的な乳房(50%乳腺・50%脂肪)の密度は $0.98\text{g}/\text{cm}^3$ (乳腺の密度: $1.035\text{g}/\text{cm}^3$)と、それほど高くないため乳房では低エネルギーのX線が主に吸収される。よって、さほど原子番号の高くない材質であっても乳房の被曝線量を低減できる可能性もあり、その場合には深部構造の描出に影響を及ぼさずに乳腺の被曝低減が図られると考えられ、本研究に取り組んだ。

2. 研究の目的

CT検査における体表遮蔽撮影法の確立を念頭に置き、CT肺がん検診において、画質を著しく低下させることなく、関心臓器でない乳房の被曝低減を可能にする最適な遮蔽材質を明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 遮蔽材の選定

検討を行う遮蔽材として、モリブデン板、銅板、亜鉛板、ステンレス板(それぞれ0.3mm厚)およびゴムシート(5mm厚を2枚重ねて使用)を選定した。また、比較のためにCT検査用遮蔽材として米国にて販売されているビスマスシート(ARB42, F&L medical product社)も遮蔽材として追加した。なお、ビスマスシートは、金属板ではなく、ビスマス混合ラテックスシートの状態で販売されている。以下、遮蔽材の“板”および“シート”は省略して記載する。

(2) ファントム作製

胸部ファントム(JIS, Z4915)上に、パラフィン(和光純薬工業株式会社)を用いて自作した乳房ファントムを左右方向に2つ配置し、実験用ファントムとした。

また、胸部ファントムの肺野相当部分(腹側および背側の2箇所)にすりガラス様陰影(GGO)模擬材料を配置したファントムも画質評価のために用いた。

(3) CT撮影

CT装置は8列CT(LightSpeed Ultra, GE社)を使用し、撮影用ファントム上に選定した各遮蔽材を配置してCT撮影を行った。撮影は、遮蔽材と乳房ファントムの間に約1cm厚の発泡スチロールを挿入して行った。これは、先行研究を参考にした上で、遮蔽材からのアーチファクトや2次X線の影響を軽減させるために講じたものである。なお、市販ビスマスシートにも、約1cm厚のスポンジが付加されている。また、遮蔽材からの2次X線低減の可否を検討するために、遮蔽材とファントムの間にアルミニウム(0.1mm厚の板を2枚重ねて使用)を挿入した状態でも撮影を行った。

撮影条件は、管電圧120kV、管電流50mA、管球回転速度0.5sec/rot、ビームピッチ1.35とした。なお、遮蔽材を配置しない状態でも、管電流50(標準)、40、30、20および10mAで撮影した。画像再構成条件は、スライス厚および再構成間隔5mm、FOV35cmとした。

CT撮影は、線量評価用と画質評価用に分けて行った。

(4) 線量測定

左右の乳房ファントム内に、熱蛍光線量計(thermoluminescence dosimeter: TLD)素子を挿入して各撮影を行い、ファントム内部の線量測定を行った(以下「内部線量」という)。

また、一部の遮蔽材、撮影条件において、乳房ファントム表面にTLD素子を配置した状態でも各撮影を行い、線量測定を行った(以下「表面線量」という)。なお、表面線量測定の際は、遮蔽材とTLD間の距離を内部線量測定の場合と等しくするため、発泡スチロールを2枚使用した。

素子の読み取りには、TLDリーダ(TD-1000,

TORECK社)を使用した。

遮蔽材を用いない場合の線量(管電流50mA)に対する各遮蔽材を用いた場合の線量の比を求め、次式によって線量低減率を算出した。

線量低減率(%) = {1 - (各遮蔽材を用いた場合の線量 / 遮蔽材を用いない場合の線量)} × 100

同様に、遮蔽材を使用しない場合(管電流10~40mA)の低減率も求めた。

(5)画質評価

GGOのCT値を測定した。また、肺野相当部分に5個所の関心領域(region of interest: ROI)を設定し、CT値およびノイズを測定した(図1参照)。CT値は平均値、ノイズはCT値の標準偏差とした。

また、次式により、GGOと肺野のコントラスト比(contrast to noise ratio: CNR)を求めた。

$$CNR = \frac{(GGO \text{ の CT 値 }) - (肺野 \text{ の CT 値 })}{(肺野 \text{ の ノイズ })}$$

なお、CNRは腹側と背側のそれぞれで求めた。

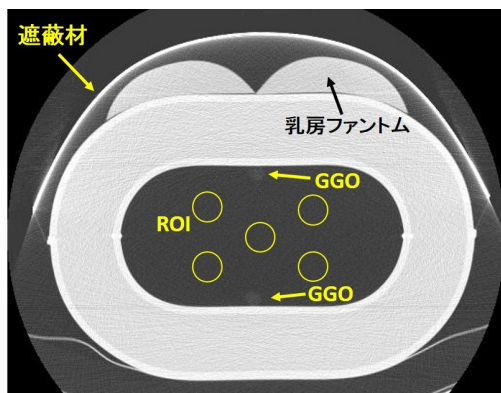


図1 ROI設定の例(画像の遮蔽材は亜鉛板)

また、視覚評価も実施し、GGOと肺野のコントラストについて、CT検査経験を有する2名の評価者が5段階評価を行った(スコア5:GGOの描出が非常に明瞭 スコア1:GGOの描出が非常に不明瞭)。

(6)線量低減率と画質の関係の検討

各遮蔽材の線量低減率と画質の関係を解析し、線量低減率が大きく、画質低下が著しくない遮蔽材を特定した。

4. 研究成果

(1)各遮蔽材の線量低減率

各遮蔽材を用いた場合の内部線量と表面線量の低減率を明らかにした。

内部線量

乳房ファントム内部の線量低減率(アルミ

ニウム付加なし)は、大きい順に、モリブデン(61%)、銅(45%)、亜鉛(45%)、ビスマス(41%)、ステンレス(35%)、ゴム(35%)であった。また、遮蔽材を使用しない場合の低減率は、40、30、20、10mAの順に、23%、44%、63%、81%であった。銅、亜鉛の低減率は、遮蔽材を使用せず管電流を30mAに低下させた際の低減率と同等であったといえる。

表面線量

乳房ファントム表面の線量低減率(アルミニウム付加なし)は、大きい順に、銅(49%)、亜鉛(47%)、ビスマス(39%)であった。また、遮蔽材を使用しない場合の低減率は、30mAで43%であり、銅、亜鉛の低減率よりも小さかった。

アルミニウム付加の効果

アルミニウム付加した場合の乳房ファントム内部の線量低減率は、大きい順に、モリブデン(62%)、銅(46%)、亜鉛(41%)、ゴム(39%)、ビスマス(38%)、ステンレス(31%)であり、付加しない場合と大きな差は見られなかった。

乳房ファントム表面の線量低減率は、大きい順に、銅(46%)、ビスマス(46%)、亜鉛(45%)であった。ビスマス以外は、付加しない場合と大きな差は見られなかった。

(2)画質

CNR

平均CNR(腹側、背側)は、ステンレス(2.7、2.9)、亜鉛(2.4、2.9)、ビスマス(2.4、2.7)、ゴム(2.3、2.7)、銅(2.1、2.7)、モリブデン(1.5、2.1)であった。

また、遮蔽材を用いない場合は、50mA(3.2、3.4)、40mA(2.8、3.1)、30mA(2.5、2.6)、20mA(2.0、2.1)、10mA(1.2、1.3)であった。

画質スコア

平均スコア(腹側、背側)は、ステンレス(4.2、4.8)、亜鉛(3.7、4.7)、銅(3.3、4.0)、ビスマス(3.2、4.2)、ゴム(3.2、4.0)、モリブデン(1.7、3.2)であった。

また、遮蔽材を用いない場合は、50mA(4.7、4.8)、40mA(4.0、4.0)、30mA(3.2、3.7)、20mA(2.5、2.8)、10mA(1.5、1.5)であった。

CNRおよびスコアの結果から、遮蔽材を使用せず管電流を低下させた場合は、腹側、背側ともに画質が低下するが、遮蔽材を使用した場合は、背側の画質低下は腹側ほど大きくないと言える。これは遮蔽撮影の利点の一つであると考えられる。

なお、CNR、画質スコアともに、アルミニウム付加に伴う大幅な低下は認められなかった。

(3)線量低減率と画質の関係

線量低減率と画質は、概してトレードオフの関係にあった。

線量低減率が比較的大きく、画質低下がそれほど大きくない材質として、亜鉛および銅が挙げられた。両者は、線量低減率が45%以上であり、かつ画質低下も7割程度に留まっていた。

なお、遮蔽材を用いず管電流を下げた場合の30mAも、線量低減率が40%以上であり、かつ画質低下も7割程度に留まっていた。

(4)CT検査における遮蔽撮影法の有用性

遮蔽するよりも、管電流を下げたほうが被曝低減に有効であるという報告も見られたため、本研究の結果から、管電流を下げるべきか、遮蔽材を用いるべきかを検討した。

遮蔽材なし(50mA)に対する、遮蔽材なし(30mA)、銅、亜鉛の線量低減率を図2に示す。銅または亜鉛を用いた場合の内部線量の低減率は、遮蔽材を使用せず管電流を30mAに低下させた際の低減率と同等であった。しかし、銅または亜鉛を用いた場合の表面線量の低減率は、管電流を30mAに低下させた際の低減率よりも大きかった(遮蔽材を使用せず30mAに電流を低下させた場合の線量は、銅または亜鉛を用いた際の線量よりも大きかった)。これらをまとめると、銅または亜鉛を使用した場合と、遮蔽材を使用せず管電流を30mAに低下させた場合の内部線量は同等であるが、表面線量は遮蔽材を使用しないほうが大きい、ということである。これは、遮蔽材を使用せず管電流を低下させた場合に乳房ファントム内部でのX線の吸収が大きくなることを意味している。

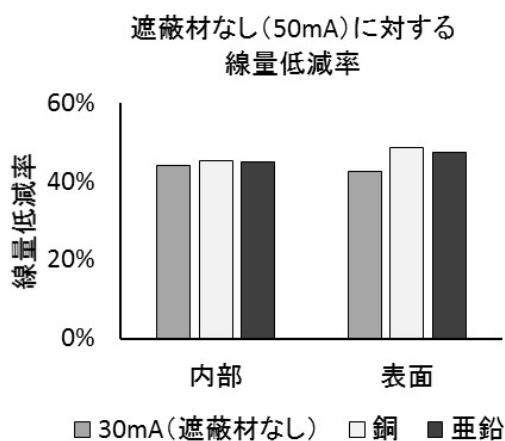


図2 遮蔽材なし(50mA)に対する線量低減率

また、画質は、銅または亜鉛を用いた場合と遮蔽材を使用せず30mAに電流を低下させた場合で同等であった。

以上より、管電流を下げた場合と遮蔽材を使用した場合で、画質が同等となる条件(遮蔽材を使用せず管電流を30mAに下げた場合と、銅または亜鉛を使用した場合)で比較す

ると、管電流を下げて被曝低減をはかるよりも、遮蔽材を使用したほうが乳腺の線量をより低減できることが示唆された。

(5)CT撮影における特有の影響を特定

本研究では、先行研究(高田ら、日本放射線技術学会誌、2009年)と異なり、アルミニウムを付加しても線量低減率に顕著な差は認められなかった。そこで、研究代表者は一般撮影装置(島津社製)を用いて、以下に述べる追加検討を行った。

まず、CT撮影を行った際と同じ位置関係でファントムを配置して、腹側方向から一方向で照射を行ったところ(管電圧120kV、管電流100mA、照射時間0.5秒)、遮蔽材へのアルミニウム付加による線量低減効果が認められた。CT撮影では、X線管球が360度回転するため、後方散乱の影響があると推察され、さらに以下の検討を追加した。

密度が異なる物質として、鉛、アクリル板、ビスマスシート、亜鉛板、アルミニウム板を選定し、それぞれの上にTLDを配置し(管球側へ配置)、X線を照射した(管電圧120kV、管電流125mA、照射時間0.5秒)。また、十分な厚みのある発泡スチロール上にもTLDを配置して照射を行い、空中線量とした。その結果、線量(mSv)は、鉛上で54.8、アクリル上で76.1、ビスマスシート上で55.5、亜鉛板上で54.1、アルミニウム板上で51.1であった。また、空中線量は54.1mSvであった。アクリル上での線量が顕著に大きくなっており、これは、アクリルは密度が小さく、後方散乱線がアクリル外へ多く放出されているためであると考えられた。CT撮影では、X線が360度方向から照射されるため、遮蔽材やアルミニウムから後方散乱線(背側からの入射するX線の散乱線)が発生すると考えられる。また、今回の結果からも、物質外へ放出される後方散乱線の量は、物質の密度に依存すると考えられた。遮蔽材で発生する特性X線および後方散乱線のアルミニウムによる吸収、またアルミニウムからの後方散乱の放出等の複合的な影響・効果によって、乳房内の線量が決定される。よって、CT撮影のエネルギー領域において、特性X線が多く発生する材質およびシート等の低密度の物質を遮蔽材として用いる際はアルミニウム付加が有用であるかもしれない(アルミニウムが2次X線を吸収)。一方で、それ以外の材質の遮蔽材を用いる際は、アルミニウムからの後方散乱線による乳房内線量への寄与が大きくなる恐れもあり、詳細な検討が必要であると考えられた。

先行研究との結果が異なったのは、用いた測定器の違いが一因であるかもしれない。線量測定において、本研究ではTLDを用いたのに対し、高田らは電離箱を使用している。TLDと電離箱のエネルギー特性の違いが結果に影響を及ぼしていた可能性もあり詳細な検討が必要である。

(6)結論

本研究では、CT検査における体表遮蔽撮影法の確立を念頭に置き、CT肺がん検診において、画質を著しく低下させることなく、乳房の被曝低減を可能にする最適な遮蔽材質の検討を行った。検討の結果、CT肺がん検診において遮蔽撮影が被曝低減に有用であること、および亜鉛または銅が遮蔽材として適していることが示唆された。また、CT検査における遮蔽撮影では後方散乱の影響を考慮する必要があることが示唆された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 2 件)

Osanai M, Saito Y, Oyu K, Ishida J, Sato M, Sasaki T. Image quality and radiation dose with low tube voltage in coronary CT angiography: an experimental study with normal type and soft plaque phantom. *Hirosaki Medical Journal*, 64(1): 15-28, 2013 (査読あり)

小山内暢, 齋藤陽子, 細川洋一郎. 医療被ばく低減に向けて～CT検査における対策～. *ESI-NEWS*, 30(2): 1-6, 2012 (査読なし)

〔学会発表〕(計 0 件)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

小山内 暢 (OSANAI MINORU)
弘前大学・保健学研究科・助教
研究者番号：40514138

(2)研究分担者

()

研究者番号：

(3)連携研究者

()

研究者番号：