

# 胸部単純X線エネルギーサブトラクション画像を用いた肺への<sup>125</sup>I密封小線源Migration検出の有用性に関する検討について

*Study on the usefulness of <sup>125</sup>I brachy source Migration detection to the lungs using chest X-ray energy subtraction images*

岩村 航平<sup>1), 2) \*</sup>, 渡辺 知也<sup>3)</sup>, 笠原 大帆<sup>4)</sup>, 石田 秀樹<sup>3), 5)</sup>, 中島 潤也<sup>3), 6)</sup>, 崔 昌五<sup>6), 7)</sup>, 佐藤 久弥<sup>4), 8)</sup>, 加藤 京一<sup>9), 10)</sup>

1) 修士 (放射線学) 昭和大学江東豊洲病院 放射線技術部 2) 昭和大学保健医療学部 大学院保健医療学研究科  
3) 昭和大学江東豊洲病院 放射線技術部 4) 昭和大学病院 放射線技術部  
5) 博士 (歯学) 昭和大学保健医療学部 大学院保健医療学研究科  
6) 修士 (保健医療学) 昭和大学保健医療学部 大学院保健医療学研究科  
7) 昭和大学横浜市北部病院 放射線技術部 8) 博士 (保健衛生学) 昭和大学保健医療学部 大学院保健医療学研究科  
9) 博士 (医学) 昭和大学保健医療学部 大学院保健医療学研究科 10) 学校法人昭和大学 統括放射線技術部

**Key words:** brachytherapy, prostate cancer, chest X-ray, image processing, energy subtraction

## 【Abstract】

Seed migration into the lungs is a complication after <sup>125</sup>I brachytherapy. In this study, two types of <sup>125</sup>I brachytherapy sources (AgX100 and STM1251) were used to evaluate the effect on pixel values and the degree of detection of <sup>125</sup>I brachytherapy sources by ROC analysis in energy subtraction images (soft condition and bone condition) of chest X-ray images. The results showed that the pixel values did not differ between the two types of small radiation sources, and the difference in tube voltage was up to 35.67% for AgX100 and 24.66% for STM1251. The AUC in ROC analysis was highest in the bone condition, 0.924 for AgX100 and 0.894 for STM1251.

## 【要 旨】

<sup>125</sup>I密封小線源療法後の合併症として肺への線源移動 (seed migration) がある。本研究では、2種類の<sup>125</sup>I密封小線源 (セラAgX100, STM1251) を用いて、画素値に与える影響と胸部単純X線画像のエネルギーサブトラクション画像 (軟部条件、骨条件) におけるROC解析による<sup>125</sup>I密封小線源の検出度合いを評価した。その結果、画素値は2種類の小線源で差異はなく、管電圧の違いではセラAgX100が最大35.67%、STM1251が最大24.66%の差があった。ROC解析でのAUCは骨条件で最も高く、セラAgX100が0.924、STM1251が0.894であった。

## 1. 緒 言

前立腺癌は、米国において男性の癌の中で罹患数が第1位、死亡数が第2位であり、発生頻度および病期によっては死亡確率の高い疾患である<sup>1)</sup>。本邦においては、近年、増加し続けている癌として注目されている。前立腺癌は限局癌・局所進行癌・転移癌に分類され、治療方針はこの分類によって決まっている。現在

では多様な治療法を選択することができ、病期により最適な治療法を選択することができる。

放射線を用いた治療法である密封小線源治療は、前立腺癌に有用とされており、限局癌・局所進行癌の低リスク・中リスク・高リスク患者に対して実施されている。前立腺癌に対する密封小線源治療は、全長4.5 mm程度、直径0.8 mm程度のチタンカプセルに封入された<sup>125</sup>I密封小線源を前立腺内に任意本数埋め込み、組

IWAMURA Kohei, M.A.<sup>1), 2) \*</sup>, WATANABE Tomoya<sup>3)</sup>, KASAHARA Daiho<sup>4)</sup>, ISHIDA Hideki, Ph.D.<sup>3), 5)</sup>, NAKASHIMA Junya, M.A.<sup>3), 6)</sup>, SAI Syogo, M.A.<sup>6), 7)</sup>, SATO Hisaya, Ph.D.<sup>4), 8)</sup>, KATO Kyoichi, Ph.D.<sup>9), 10)</sup>

- 1) Showa University Koto Toyosu Hospital Radiological Technology Department
- 2) Showa University, School of Nursing & Rehabilitation Sciences Graduate School of Health Sciences
- 3) Showa University Koto Toyosu Hospital Radiological Technology Department
- 4) Showa University Hospital Radiological Technology Department
- 5) Showa University, School of Nursing & Rehabilitation Sciences Graduate School of Health Sciences
- 6) Showa University, School of Nursing & Rehabilitation Sciences Graduate School of Health Sciences
- 7) Showa University Northern Yokohama Hospital Radiological Technology Department
- 8) Showa University, School of Nursing & Rehabilitation Sciences Graduate School of Health Sciences
- 9) Showa University, School of Nursing & Rehabilitation Sciences Graduate School of Health Sciences
- 10) Showa University, Department of Radiological Technology

\* E-mail: iwamura@cmed.showa-u.ac.jp

Received June 22, 2023; accepted January 29, 2024

織内から照射を行い治療する方法である。密封小線源治療は高い quality of life (QOL) が見込まれ、低リスク患者においては手術療法に匹敵する治療成績を収めている。一方で、密封小線源療法後の合併症として肺への線源移動（以下、seed migration）が発生することが知られており<sup>2,3)</sup>、seed migrationが原因で肺塞栓症が発生する可能性がある<sup>4)</sup>。当院では、術後1日目に胸部単純X線検査を実施し、seed migrationの鑑別診断を行っている。しかし、胸部単純X線画像では肺へのseed migrationの位置や向きによっては視認性が悪くなる可能性がある。Stoneらの研究では、合計21,654個の挿入後の<sup>125</sup>I密封小線源に対して、1.7%の線源による肺塞栓が確認されたことが報告されている<sup>5)</sup>。このように、臨床においてseed migrationが少なくとも1.7%見落とされる可能性があるため、肺塞栓につながっている現状がある。また<sup>125</sup>I密封小線源を見落とさないための視認性に関する検討は少ないのが現状である。

近年、デジタル画像処理技術の発展に伴い、複数の画像を演算処理することでエネルギーサブトラクション画像が作成できるようになった。エネルギーサブトラクションによる胸部単純X線画像は、肋骨などの骨陰影を含まない軟部組織画像を作成することができ、これらの画像をオリジナル画像と合わせて観察することは、障害陰影などの検出に有効であることが報告されている<sup>6~8)</sup>。

そこで<sup>125</sup>I密封小線源が銀製短線表面に化学的に結合されており、円柱形の純チタンカプセルに密封されていることに着目し、エネルギーサブトラクション画像で<sup>125</sup>I密封小線源のseed migrationによる陰影の検出に有効ではないかと考えた。

本研究では、<sup>125</sup>I密封小線源の肺へのseed migration検出について、胸部単純X線画像のエネルギーサブトラクション処理の有用性に関して胸部ファントムを用いて検討したので報告する。

## 2. 方 法

### 2-1 使用機器および材料

高電圧発生装置はBENEO（富士フイルム、東京）、X線管装置は0.6/1.2P324DK-125（島津製作所、京都）、flat panel detector (FPD) はDR-ID 600（富士フイルム）を使用した。<sup>125</sup>I密封小線源は、本邦で主に使用されているセラAgX100（Theragenics, Buford, GA, USA）とSTM1251（Bard Brachytherapy, Carol

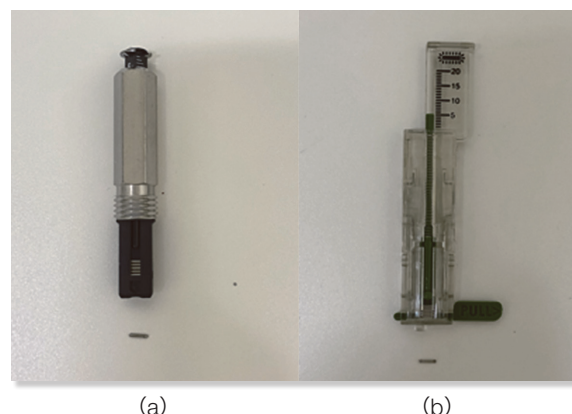


Fig.1 Two types of <sup>125</sup>I brachytherapy sources (AgX100 and STM1251).

(a) AgX100 (b) STM1251

Stream, IL, USA) を使用した (Fig.1)。また組織等価ファントムとして、タフウォーターファントムWD型（京都科学、京都 以下、TWP）、タフボーンファントムBE型（京都科学 以下、TBP）、タフラングファントムLP型（京都科学 以下、TLP）を使用した。胸部ファントムは、胸部ファントムN-1（京都科学）を使用した。取得した画像の評価はノートPC用モニター（Microsoft, Redmond, WA, USA）を使用した。その理由は、実臨床時において、放射線治療科医師が撮影画像を閲覧する際にノートPC用モニターを使用しているため、その環境と同等になるよう高精細モニターは使用せず、ノートPC用モニターを使用することとした。画像解析にはImageJ（National Institutes of Health, Bethesda, MD, USA）を、統計解析にはJMP Pro 16（SAS Institute, Cary, NC, USA）を使用した。

### 2-2 <sup>125</sup>I密封小線源の画素値に与える影響の評価

FPDの上にTWP、TLPおよびTBPを積み重ね、表

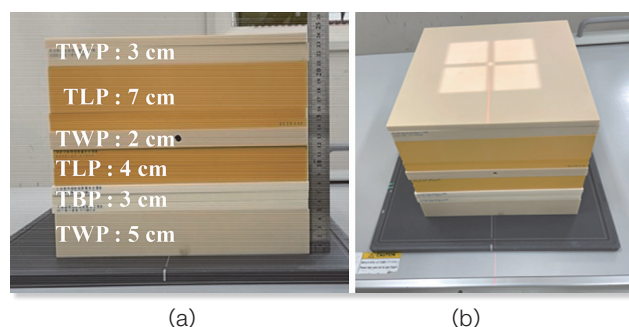


Fig.2 Photography geometry used in this study.

(a) The source was inserted 11 cm from the surface

(b) The field size was 12 x 12 cm on the photosensitive surface

Table 1 Radiographic conditions used to obtain pixel values.

| Tube Voltage [kV] | mAs | Field Size [cm] | SID [cm] |
|-------------------|-----|-----------------|----------|
| 60                | 2.5 | 10 × 10         | 100      |
| 70                |     |                 |          |
| 80                |     |                 |          |
| 90                |     |                 |          |
| 100               |     |                 |          |
| 110               |     |                 |          |
| 120               |     |                 |          |
| 130               |     |                 |          |
| 140               |     |                 |          |
| 150               |     |                 |          |

面から11 cmのTWPの中央部にセラAgX100およびSTM1251を配置した (Fig.2). 撮影はX線管焦点-受像面間距離 (source image receptor distance: SID) を100 cmとし, 照射野サイズを受光面で12×12 cmとして行い, <sup>125</sup>I密封小線源画像を取得した. 撮影条件は管電流時間積 (mA second: mAs) を2.5 mAs一定とし, 管電圧を60~150 kVで10 kVごとに変化させた (Table 1). 取得した画像をImageJでregion of interest (ROI)を設定し, ROI内の画素値を取得した. 設定ROIは正方形とし, 大きさを300×300 pixelで一定とした (Fig.3). 画素値はROI内の平均値とした. また2種類の<sup>125</sup>I密封小線源が画素値に与える影響について, 両者をt検定で統計学的有意差検定を行い, 有意水準5%未満を統計学的有意差ありとした.

### 2-3 エネルギーサブトラクション画像の取得

胸部ファントムの左右の上肺野・中肺野・下肺野の各

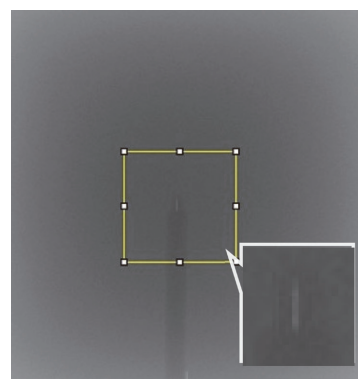


Fig.3 ImageJ used to examine the pixel values of the brachy source.

部の表面にランダムにセラAgX100およびSTM1251を配置し固定した. <sup>125</sup>I密封小線源は, ①X線束に対して垂直になる方向を垂直方向, ②X線束に対して平行になる方向を平行方向とし, 二通りの配置方向とした. それぞれの配置方向で肺全体の各所にランダムに配置した. 幾何学的配置をFig.4に示す. 撮影条件は120 kV, 3.2 mAsとし, エネルギーサブトラクション画像用として低管電圧条件60 kV, 3.2 mAsで撮影した. 撮影した画像から式(1)の理論式を用いて, ImageJでエネルギーサブトラクション画像である骨条件画像および軟部条件画像を取得した. 骨条件画像と軟部条件画像は重み係数を変化させて作成した.

$$ES = \omega H QH - \omega L QL \quad \cdots (1)$$

ここで,  $ES$ は求めたいエネルギーサブトラクション画像,  $\omega H$ ,  $\omega L$ は重み係数,  $QH$ は高エネルギー画像,  $QL$ は低エネルギー画像である. 骨条件画像は $\omega H =$



Fig.4 (a) and (b) is radiography geometry. The imaging conditions were set to frontal chest (120 kV, 3.2 mAs), and low-tube-voltage (60 kV, 3.2 mAs) images were also acquired for energy subtraction images.

(a) The distance was set at 200 cm (b) Viewed from directly behind

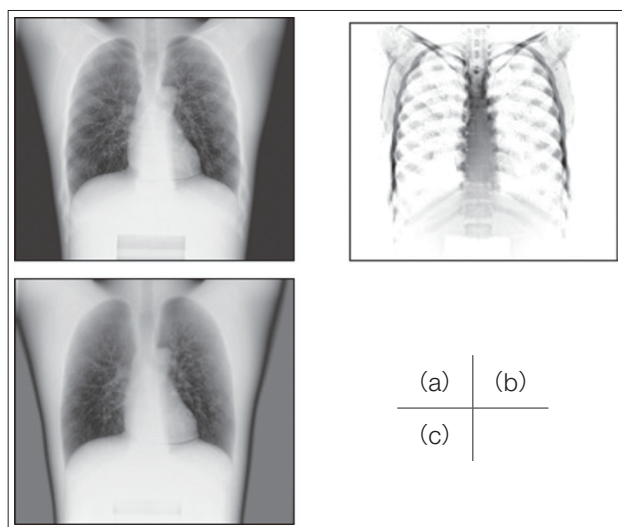


Fig.5 Phantoms were taken and images were acquired.

(a) The original image (b) The bone condition image  
(c) The soft tissue condition image

1.0  $\omega L=1.0$ で作成し、軟部条件画像は $\omega H=1.4$   
 $\omega L=1.2$ で作成した (Fig.5).

## 2-4 エネルギーサブトラクション画像の評価

作成したエネルギーサブトラクション画像による $^{125}\text{I}$ 密封小線源の検出能を評価するため、 $^{125}\text{I}$ 密封小線源なし画像20枚、seed migrationを想定した $^{125}\text{I}$ 密封小線源あり画像20枚の計40枚を、ノートPCモニターで視覚評価した。評価方法は5段階による評定確信度法を使用し、 $^{125}\text{I}$ 密封小線源が肺に迷入していない画像を「正常」とし、 $^{125}\text{I}$ 密封小線源が迷入している画像を「異常」とした。なお、迷入とは肺へ線源が移動した状態である。得られたデータより、それぞれの $^{125}\text{I}$ 密封小線源の検出能におけるROC解析を行い、

area under curve (AUC) を算出した。原画像に対するエネルギーサブトラクション画像のAUCをt検定で統計学的有意差検定を行い、有意水準5%未満を統計学的有意差ありとした。評価者は、一般撮影に主に従事している経験年数1~13年目の診療放射線技師10人(6.5年目 $\pm 2.9$ )とした。なお、視覚評価を実施するに当たり、事前に教師データとしての原画像について評価者に説明し、1枚につき30秒間の評価時間とし、原画像・骨条件画像・軟部条件画像を視覚評価した。

## 3. 結 果

### 3-1 $^{125}\text{I}$ 密封小線源の画素値の評価

FPDの上にTWP、TLPおよびTBPを積み重ね、表面から11 cmのTWPの中央部にセラAgX100およびSTM1251を配置した。2種類の $^{125}\text{I}$ 密封小線源における管電圧と画素値との関係をFig.6に示す。 $^{125}\text{I}$ 密封小線源の違いによる画素値の差は、最大8.10%であったが、統計学的有意差は認められなかった( $p=0.6997$ )。また管電圧の違いによる画素値の差は、最大でセラAgX100線源では35.67%、STM1251線源では24.66%であった。

### 3-2 エネルギーサブトラクション画像の評価

$^{125}\text{I}$ 密封小線源の検出能におけるROC解析の結果をFig.7~9に示す。ROC解析の結果より、AUCによる検出能力は $^{125}\text{I}$ 密封小線源の種類に依存しなかった。また骨条件画像のAUCはセラAgX100線源では0.924、STM1251線源では0.894であり、原画像・軟部条件画像に比較し最も高かった。AUCにおけるt検定の結果をTable 2に示す。原画像に対するエネルギー

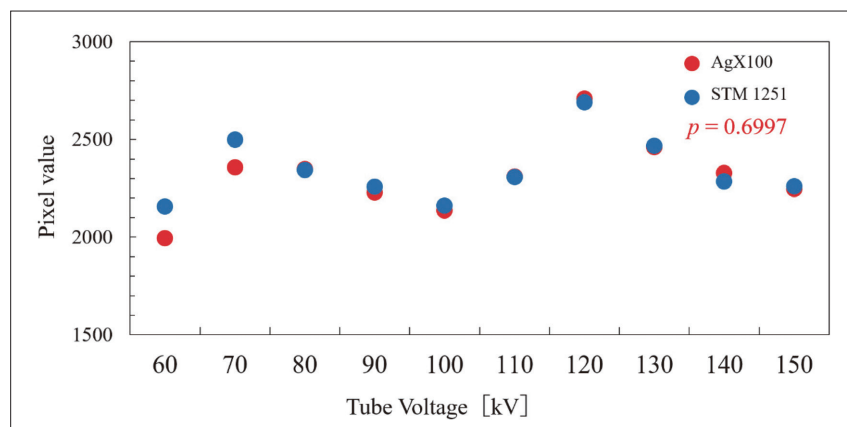


Fig.6 Relationship between tube voltage and pixel value in brachytherapy source.

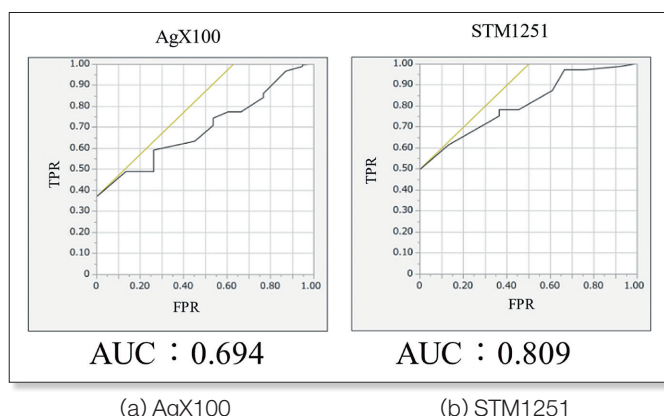


Fig.7 Results of ROC analysis on original images.

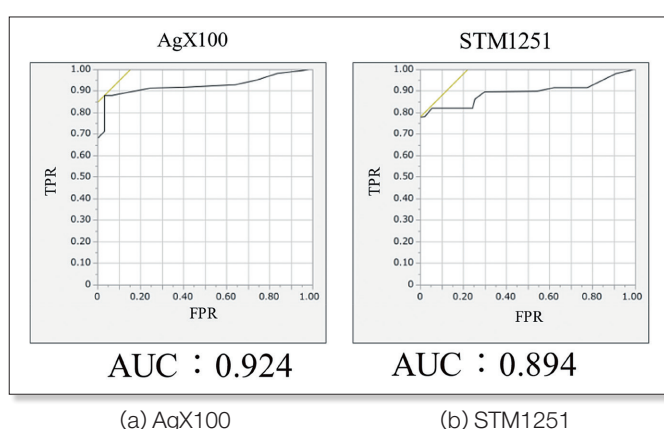


Fig.8 Results of ROC analysis on bone images.

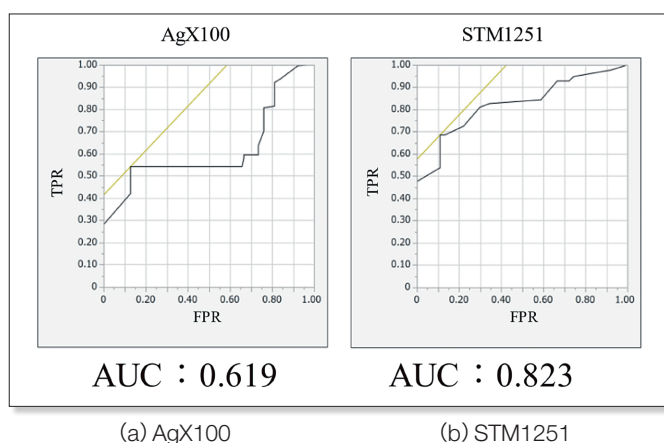


Fig.9 Results of ROC analysis on tissue images.

Table 2 Summary of significance test results.

|                           | p<0.05  |         |
|---------------------------|---------|---------|
| Type of brachy sources    | AgX100  | STM1251 |
| Original-Bone condition   | < 0.001 | < 0.001 |
| Original-Tissue condition | < 0.001 | 0.5411  |
| Bone-Tissue condition     | < 0.001 | < 0.001 |

サブトラクション画像のAUCは、STM1251の原画像と軟部条件との比較のみ統計学的有意差が認められず、その他の比較では統計学的有意差が認められた。

## 4. 考 察

本研究では、胸部ファントムを用いて胸部単純X線画像に対するエネルギーサブトラクションにより、<sup>125</sup>I密封小線源におけるseed migrationの検出能を評価した。Gregoryらは、<sup>125</sup>I密封小線源によって前立腺密封小線源療法を実施した患者のうち、前立腺内に留置後、少なくとも2 mmは移動していると評価している<sup>9)</sup>。また治療期間中ではseed migrationは比較的経験される現象であるため、<sup>125</sup>I密封小線源の位置の把握や移動を最小限に抑えることが望ましいとされている<sup>10~14)</sup>。前立腺癌に対する<sup>125</sup>I密封小線源療法では前立腺辺縁に留置する場合が多く、肺へのseed migrationは前立腺の周囲にある血流を介して下大静脈、右心系を介して肺末梢を塞栓する<sup>2)</sup>。本研究では、seed migrationの移動先として最も多い胸部において、そのスクリーニング検査となる胸部単純X線画像に着目し、<sup>125</sup>I密封小線源の検出能を向上させる手法として、エネルギーサブトラクション処理の有用性について検討した。

初めに、X線画像上において<sup>125</sup>I密封小線源の画素値がどのような変化をするかについて評価した。本研究で使用した2種類の<sup>125</sup>I密封小線源であるセラAgX100とSTM1251は形状と大きさに差異がある。セラAgX100は全長4.50 mm、直径0.80 mm、STM1251は全長4.55 mm、直径0.81 mmであるが<sup>15)</sup>、管電圧の変化による画素値の変動は両者共に小さかった。これは、AgX100とSTM1251のどちらとも<sup>125</sup>I密封小線源の形状に差異があるものの、大きさが小さいため、統計的有意差がなかったことから、画素値の変動に対する影響が少なかったことが考えられる。Vimojらは、MR画像と放射線治療で使用する直線加速器の一種であるCyberKnife® (アキュレイ) で得られたX線画像を使用し、プラチナ素材と金素材であるフィデューシャル・マーカーが各臓器へmigrationした際の画素値を評価している<sup>16)</sup>。

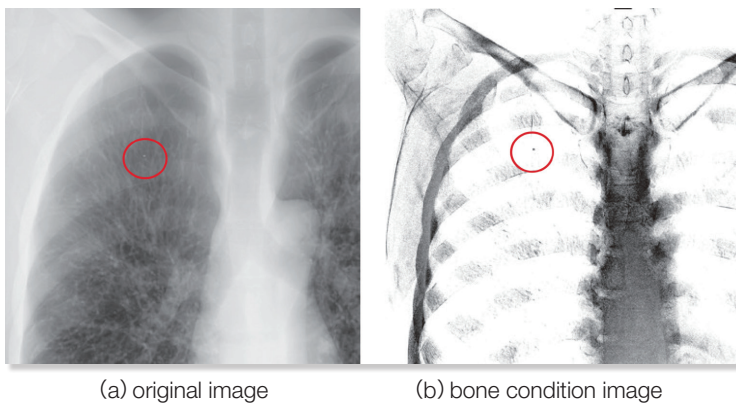


Fig.10 Comparison of original image and bone condition image.

またmigrationを想定したどの臓器においてもMR画像とX線画像間での画素値変化はなく、有意差はないと報告している。Vimojらの研究では、MR画像と高エネルギーX線画像における検討であるが、本研究で使った $^{125}\text{I}$ 密封小線源は表面がチタン製であることから、同様の結果になると考える。診断領域におけるX線と物質との相互作用は主に光電効果の影響が大きいため、線源と入射X線間での散乱線が発生しにくいことが考えられる。以上のことから、診断領域で使われる管電圧では画素値に変動を与えないことが考えられ、先行研究の結果と相違がなかったことが示された。

次に、胸部ファントムの肺野部分に $^{125}\text{I}$ 密封小線源を左右の上肺野・中肺野・下肺野の各部にランダムに配置し、X線画像を取得後に原画像からエネルギーサブトラクション画像を取得した。取得した画像を視覚評価した結果、骨条件に関して原画像と比較して検出能が向上し、統計学的有意差が認められた。これは、骨以外のノイズが除去され、 $^{125}\text{I}$ 密封小線源の検出能力が向上し、視覚評価が高くなったためであると考えられる (Fig.10)。特に、肺野辺縁部ではなく、中心部に設置するほど検出能が向上したことから、胸部単純X線画像で肺野と重なる肋骨部の有無が $^{125}\text{I}$ 密封小線源の検出能に影響を与える要因であることが示唆された。一方で、軟部条件と原画像では検出能に有意な差は認められなかった。軟部条件では肺紋理部分の辺縁部を際立たせてしまい、 $^{125}\text{I}$ 密封小線源の視認性が悪くなったと考えられる。 $^{125}\text{I}$ 密封小線源の配置角度と位置に関しては、X線束に対して垂直に配置された場合と平行に配置された場合を考慮した。 $^{125}\text{I}$ 密封小線源の周りはチタンで覆われていることから、エネルギーサブトラクション画像を作成する際に高吸収物質として画像化される。それに伴い、より画像化される表面積が多い、X線束に対して平行に配置された場合

で視認性が向上していた。

そのためseed migrationとして、 $^{125}\text{I}$ 密封小線源がX線束に対して垂直に配置されたときと骨条件により、容易に視認することができたと考える。木口らは、本研究と同様にデュアルエネルギーサブトラクション法を使用し、びまん性肺疾患（模擬病変・小粒状影・網状影・蜂窩状影）の検出能を評価した結果、サブトラクション画像を原画像と合わせて診断することにより、びまん性肺疾患の検出能が向上したと報告している<sup>17)</sup>。

われわれは、本研究の結果および先行研究の報告を考慮し、 $^{125}\text{I}$ 密封小線源療法後に胸部単純X線画像を追加することが有用であると考えられる。また $^{125}\text{I}$ 密封小線源療法は本邦においては2003年から施行されており、当院では2014年から延べ901件（2023年2月現在）の $^{125}\text{I}$ 密封小線源療法を実施している。そのうち約32件の肺へのseed migrationを経験した。これは全体の3.5%であり、肺塞栓を引き起こす恐れがある肺へのseed migrationを捉えることは重要である。当院では、 $^{125}\text{I}$ 密封小線源療法後の全ての患者に対して胸部単純X線撮影を実施しており、今後症例数が増えていくことが予想されるため、肺へseed migrationする可能性のある $^{125}\text{I}$ 密封小線源の検出は重要な課題であると考えられる。さらに本研究では、胸部単純X線画像におけるエネルギーサブトラクション処理により、 $^{125}\text{I}$ 密封小線源の検出能を向上させることができることを明らかにした。肺へのseed migrationの検出により、肺塞栓症の発症の可能性が示唆されるため、定期的な経過観察を行うことが必要となる。 $^{125}\text{I}$ 密封小線源治療後の胸部単純X線写真は簡便であり、検出能を高める本研究の手法は意義があると考えられる。

## 5. 結 語

胸部ファントムを用いた胸部単純X線画像におけるエネルギーサブトラクション処理は、特に骨条件画像が有用であり、 $^{125}\text{I}$ 密封小線源の肺へのseed migration検出の視認性を向上させることができた。

## 利益相反

筆頭著者および共著者全員に開示すべき利益相反はない。

## 表の説明

Table 1 画素値を取得するために使用したX線撮影条件.  
Table 2 有意差検定結果のまとめ.

## 図の説明

- Fig.1 本研究で使用した密封小線源.  
(a) AgX100 (b) STM1251
- Fig.2 本研究で使用した撮影ジオメトリー.  
(a) 線源は表面から11 cmの位置に挿入した  
(b) 照射野サイズは感光面上 (FPD上) で12×12 cmとした
- Fig.3 密封小線源の画素値を評価するためにImageJを使用した.
- Fig.4 撮影ジオメトリーを (a) と (b) に示す. 撮影条件は胸部正面 (120 kV, 3.2 mAs) とし, エネルギーサブトラクション画像として低管電圧 (60 kV, 3.2 mAs) の画像を取得した.  
(a) 撮影距離は200 cmとした (b) 背側からの概観
- Fig.5 胸部ファントムの胸部画像を取得した.  
(a) 原画像 (b) 骨条件画像 (c) 軟部条件画像
- Fig.6 密封小線源における管電圧と画素値の関係.
- Fig.7 原画像に対するROC解析の結果.  
(a) AgX100 (b) STM1251
- Fig.8 骨条件画像に対するROC解析の結果.  
(a) AgX100 (b) STM1251
- Fig.9 軟部条件画像に対するROC解析の結果.  
(a) AgX100 (b) STM1251
- Fig.10 原画像と骨条件画像の比較.  
(a) 原画像 (b) 骨条件画像

## 参考文献

- 1) 雑賀公美子, 他: 日本のがん罹患の将来推計. がん・統計白書2012—データに基づくがん対策のために. 篠原出版社, 63-81, 2012.
- 2) 伊丹 純, 他: 経会陰的前立腺I-125小線源療法におけるシード線源移動に及ぼす因子の検討. 日放腫会誌, 17, 109-113, 2005.
- 3) Hemanth Boppana, et al.: A Case Report of Foreign Body Embolization. Cureus, 11(6), 4917, 2019.
- 4) Kunos CA, et al.: Migration of implanted free radioactive seeds for adenocarcinoma of the prostate using a Mick applicator. Brachytherapy, 3(2), 71-77, 2004.
- 5) Stone NN, et al.: Reduction of pulmonary migration of permanent interstitial sources in patients undergoing prostate Brachytherapy. Urology, 66(1), 119-23, 2005.
- 6) 真田 茂, 他: 胸部X線エネルギーサブトラクション画像を対象とした時間的差分法による微細病陰影の強調. 日放技学誌, 56(3), 428-435, 2000.
- 7) 上村良一, 他: 肺癌スクリーニングにおけるCRの応用. 特に一回撮影エネルギーサブトラクション法の有用性. 肺癌, 30(3), 319-326, 1990.
- 8) Kido S, et al.: Clinical evaluation of pulmonary nodules with single-exposure dual-energy subtraction chest radiography with an iterative noise-reduction algorithm. Radiology, 194(2), 407-412, 1995.
- 9) 小林 健: Digital Radiography (Fuji computed radiography) を用いた肺野結節影内石灰化の検出に対する検討: 胸部1回エネルギー差分法骨画像を用いて. 日本医放会誌, 55(9), 638-645, 1995.
- 10) Gregory R, et al.: Reduction of seed motion using a bio-absorbable polymer coating during permanent prostate brachytherapy using a mick applicator technique. Med Phys, 19(3), 44-51, 2018.
- 11) Badwan HO, et al.: AnchorSeed for the reduction of source movement in prostate brachytherapy with the Mick applicator implant technique. Brachytherapy, 9(1), 23-26, 2010.
- 12) Sugawara A, et al.: Incidence of seed migration to the chest, abdomen, and pelvis after transperineal interstitial prostate brachytherapy with loose <sup>125</sup>I seeds. Radiat Oncol, 6, 130, 2011.
- 13) Chen WC, et al.: Radioactive seed migration after transperineal interstitial prostate brachytherapy and associated development of small-cell lung cancer. Brachytherapy, 11(5), 354-358, 2012.
- 14) Zhu AX, et al.: Prostate brachytherapy seed migration to the right coronary artery associated with an acute myocardial infarction. Brachytherapy, 5(4), 262-265, 2006.
- 15) Zhe Chen, et al.: Experimental characterization of the dosimetric properties of a newly designed I-Seed model AgX100 <sup>125</sup>I interstitial brachytherapy source. Brachytherapy, 11(6), 476-482, 2012.
- 16) Vimoj J. Nair, et al.: Feasibility, detectability and clinical experience with platinum fiducial seeds for MRI/CT fusion and real-time tumor tracking during CyberKnife® stereotactic ablative radiotherapy. J Radiosurg SBRT, 3(4), 315-323, 2015.
- 17) 木口雅夫, 他: フラットパネルディテクタを用いたデュアルエネルギーサブトラクション法におけるびまん性肺疾患の検出能の評価. 日放技学誌, 63(12), 1362-1369, 2007.