

乳がんセンチネルリンパ節 SPECT における 180 度収集の有用性

—乳がん SLN 用評価ファントムを用いた検討—

薄 井 琉 奈¹⁾ 松 友 紀 和^{1, 2)}

深 見 光 葉¹⁾ 山 本 智 朗^{1, 2)}

1) 杏林大学保健学部診療放射線技術学科

2) 杏林大学大学院保健学研究科診療放射線分野

Usefulness of 180 Degree Acquisition in Sentinel Lymph SPECT Imaging -A Study of Using Specific SLN Phantom -

Runa USUI¹⁾, Norikazu MATSUTOMO^{1, 2)}, Mitsuha FUKAMI¹⁾ and Tomoaki YAMAMOTO^{1, 2)}

1) Department of Medical Radiological Technology, Faculty of Health Sciences, Kyorin University

2) Graduate School of Health Sciences, Department of Medical Radiological Technology,

Faculty of Health Sciences, Kyorin University

(article received : Nov 15, 2022)

Key words: Sentinel lymph node scintigraphy, Single-photon emission computed tomography,
180-degree acquisition, 360-degree acquisition

1. 緒言 (はじめに)

乳がんセンチネルリンパ節 (sentinel lymph node : SLN) シンチグラフィでは、手術の体位と同じにするために患側の腕を挙上して static 撮像や single photon emission computed tomography (SPECT) 撮像, SPECT/computed tomography (SPECT/CT) 撮像が行われる。SPECT 撮像や SPECT/CT 撮像は、3 次元的な情報が得られることから、多くの先行研究でその臨床的有用性が報告されている¹⁻³⁾。しかし、撮像時間が15分から30分と比較的長く、結果として長時間無理な体勢を強いるため、患者の負担が大きい。そのため、撮像時間を短縮することができれば患者のベネフィット向上や体動に伴う画質の低下防止に繋がると考える。

撮像時間を短縮する方法のひとつに、検出器を L 字に配置して行う180度収集がある。180度収集は、心筋 SPECT で用いられている撮像方法で、不完全画像再構成になるものの心臓が体の左前に

位置していることから可能な撮像方法である。これによりステップ角度が同じ場合、撮像時間は360度収集と比較して半分になるため、利便性と有効性が高い。一方、乳がんではリンパ路の大多数は腋窩方向に見られ、片側性に存在していることが知られている⁴⁾。これらの条件を考えると、SLN は心臓と同一条件であり、乳がん SLN シンチグラフィにおいても180度収集が可能なのではないかと考えた。仮に可能であれば、撮像時間を大幅に短縮できるため、患者負担の軽減に繋がる。對間らの報告によると、アンケート回答施設 (297 施設) の約12%が患側を中心とした180度収集を実施している⁵⁾。しかし、180度収集と360度収集を直接比較した基礎検討はわれわれの知るかぎりない。180度収集は360度収集に比較して、視覚的なコントラストや均一性が異なることに加え、特有のアーチファクトも発生するため^{6, 7)}、十分な検証が必要である。

本研究の目的は、乳がん SLN シンチグラフィにおける180度収集の有用性を明らかにすること

である。われわれは，SLN 評価用ファントムを用いて空間分解能と画像歪み，描出能を評価し，180度収集の可能性と妥当性を検証した。

2. 方 法

2-1 使用機器

SPECT/CT 装 置 は，Infinia8 Hawkeye4（GE Healthcare）で，コリメータに低エネルギー高分解能型を使用した。ファントムは，對間ら⁸⁾により開発されたSLN 用評価ファントムで，模擬病変として4種類の径（A:11.0 mm，B:9.0 mm，C:7.0 mm，D:5.0 mm）の線源容器（ロッド）を使用した。ファントムの外観を **Fig. 1** に示す。SLN

用評価ファントムは，外部容器とロッド支持板を配置できる内部容器との二重構造になっており，ロッドはファントム表面から15 mm から35 mmの位置に5 mm 間隔で着脱可能である。また支持板は，体軸方向に多層に配置できるようになっており，放射能濃度依存性や位置依存性を同時に評価可能である。解析ソフトは，PDR ファーマ社の Daemon research image processor（DRIP）と日本メジフィジックス社の GI-BONE を使用した。

2-2 ファントム作成

各ロッドに 368.7 kBq/mL の ^{99m}Tc 水溶液を封入し⁹⁾，ファントムの正中線から50度と65度，80度の位置に配置した (**Fig. 2**)。また，ロッドはファ

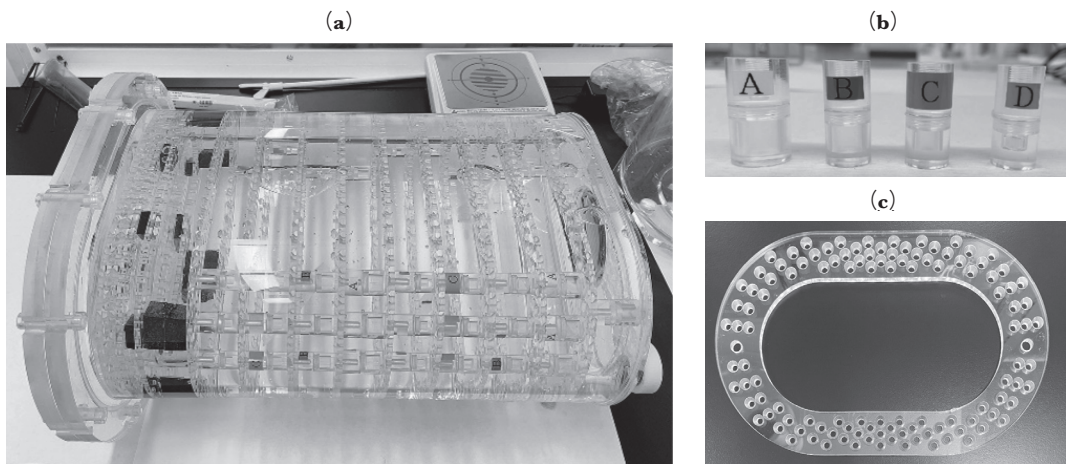


Fig. 1 SLN 評価用ファントム
(a) ファントム外観，(b) 模擬病変ロッド，(c) ロッド支持板

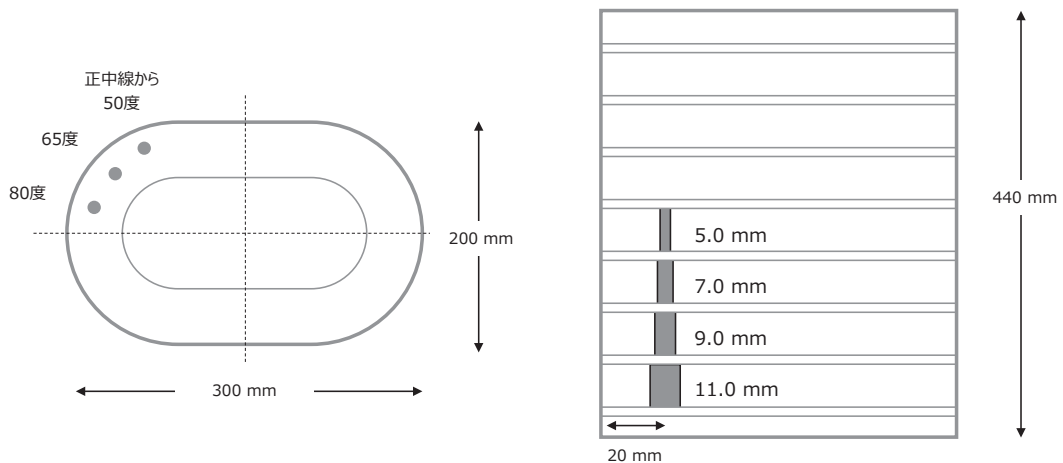


Fig. 2 ファントム作成条件

ントムの体軸方向に径が異なるように配置し、表層からの距離は 20 mm とした。内部容器と外部容器（バックグラウンド）は脱気水で満たした。

2-3 SPECT/CT 撮像と画像再構成

作成したファントムに対して、自動近接ありで 180 度収集と 360 度収集を行った。180 度収集は検出器を L 字配置に、360 度収集は対向配置とした。収集モードはステップ回転収集で、180 度収集の角度範囲はロッド配置にあわせて左前斜位 45 度から右後斜位 45 度、マトリクス数 128×128、ピクセルサイズ 4.42 mm、収集エネルギーウィンドウ 140 keV±10%，サブウィンドウ 120 keV±5%，1 view あたり 50 秒、ステップ角度 5 度、総収集時間が 360 度収集で 30 分、180 度収集で 15 分とした。なお、本研究はファントムによる基礎検討であり、十分なデータ量が得られるように収集時間を設定した。画像再構成法は、サブセット 10、イタレーション回数 5 の補正組み込み ordered subset expectation maximization 法で、空間分解能補正にコリメータ開口補正である Evolution™、ノイズ除去フィルタとして遮断周波数 0.45 cycles/cm、パワーファクタ 10 のバターワースフィルタを使用した。散乱線補正は逐次近似画像再構成組み込み dual energy window subtraction 法で、減弱補正に CT 減弱補正を使用した。CT 撮影条件は、管電圧 140 kV、管電流 2.5 mA、スライス厚 5.0 mm、ヘリカルピッチ 1.9 とした。全ての収集データに対して、補正有り（空間分解能補正＋散乱線補正＋減弱補正）と補正無しで画像再構成を行った。

2-4 評価項目

2-4-1 FWHM と ASR

各条件で作成した SPECT 画像のロッド部（11.0 mm 径）に水平方向（Horizontal）と垂直方向（Vertical）のプロファイルカーブを DRIP で作成し、full width at half maximum（FWHM）を計測した（Fig. 3a）。FWHM はロッド中心を含む前後 3 スライスから算出し、Horizontal と Vertical および、その平均値を比較した。また、Horizontal と Vertical の FWHM から aspect ratio（ASR）を以下の式で算出し、SPECT 画像の歪みを評価した。

$$ASR = \frac{FWHM_{Vertical}}{FWHM_{Horizontal}}$$

ここで、 $FWHM_{Vertical}$ は垂直方向の FWHM、 $FWHM_{Horizontal}$ は水平方向の FWHM を表す。

2-4-2 リカバリ係数

180 度収集と 360 度収集の部分容積効果と描出能を比較するためにリカバリ係数を評価した。リカバリ係数は、GI-BONE を使用して CT 画像を参照に各ロッドに円柱の volume of interest（VOI）を配置して平均 SPECT カウントを求め、以下の式から算出した（Fig. 3b）。VOI サイズは各ロッド体積の 80% 程度となるようにそれぞれ設定した。

リカバリ係数

$$= \frac{\text{各ロッドの平均 SPECT カウント}}{11.0 \text{ mm 径ロッドの平均 SPECT カウント}}$$

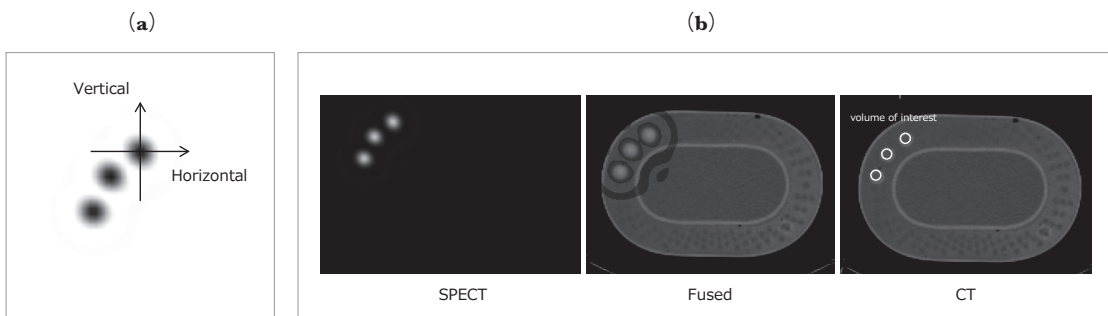


Fig. 3 評価項目の計測方法
(a) FWHM と ASR, (b) リカバリ係数の VOI 配置

3. 結 果

3-1 FWHM と ASR

FWHM の結果を **Table 1** に示す。補正を行った180度収集と360収集の FWHM は補正なしに比較して低くなる傾向にあった。一方で、補正の有無に関わらず180度収集と360度収集の FWHM に明らかな差は認められなかった。補正を行った180度収集の平均 FWHM は、 15.2 ± 0.1 mm（50度ロッド）、 14.9 ± 0.1 mm（65度ロッド）、 15.3 ± 0.1 mm（80度ロッド）、360度収集の平均 FWHM は、 14.7 ± 0.1 mm（50度ロッド）、 14.9 ± 0.2 mm（65

度ロッド）、 14.9 ± 0.1 mm（80度ロッド）であった。

Fig. 4 に ASR の結果を示す。補正を行った場合、180度収集と360度収集の ASR に差は認められなかった。しかし、補正を行わない場合、両収集ともにロッドの配置によって画像歪みが増加する傾向にあった。補正を行った180度収集の ASR は、 0.971 ± 0.01 （50度ロッド）、 1.03 ± 0.01 （65度ロッド）、 1.05 ± 0.01 （80度ロッド）、360度収集の ASR は、 0.966 ± 0.01 （50度ロッド）、 0.994 ± 0.00 （65度ロッド）、 1.04 ± 0.00 （80度ロッド）であった。

Table 1 180 度収集と360 度収集の FWHM

ロッド 配置	FWHM (mm)	補正なし		補正あり	
		180度収集	360度収集	180度収集	360度収集
50度	Vertical	15.5 ± 0.1	15.3 ± 0.1	15.0 ± 0.1	14.4 ± 0.2
	Horizontal	18.0 ± 0.2	16.7 ± 0.2	15.4 ± 0.1	14.9 ± 0.1
	平均	16.7 ± 0.1	16.0 ± 0.1	15.2 ± 0.1	14.7 ± 0.1
65度	Vertical	16.4 ± 0.1	15.9 ± 0.2	15.1 ± 0.1	14.8 ± 0.2
	Horizontal	16.5 ± 0.2	16.4 ± 0.1	14.6 ± 0.1	14.9 ± 0.1
	平均	16.4 ± 0.1	16.1 ± 0.2	14.9 ± 0.1	14.9 ± 0.2
80度	Vertical	18.1 ± 0.1	18.1 ± 0.2	15.7 ± 0.1	15.2 ± 0.1
	Horizontal	16.1 ± 0.1	15.2 ± 0.1	15.0 ± 0.1	14.5 ± 0.1
	平均	17.1 ± 0.1	16.7 ± 0.1	15.3 ± 0.1	14.9 ± 0.1

平均 $\pm$ 標準偏差

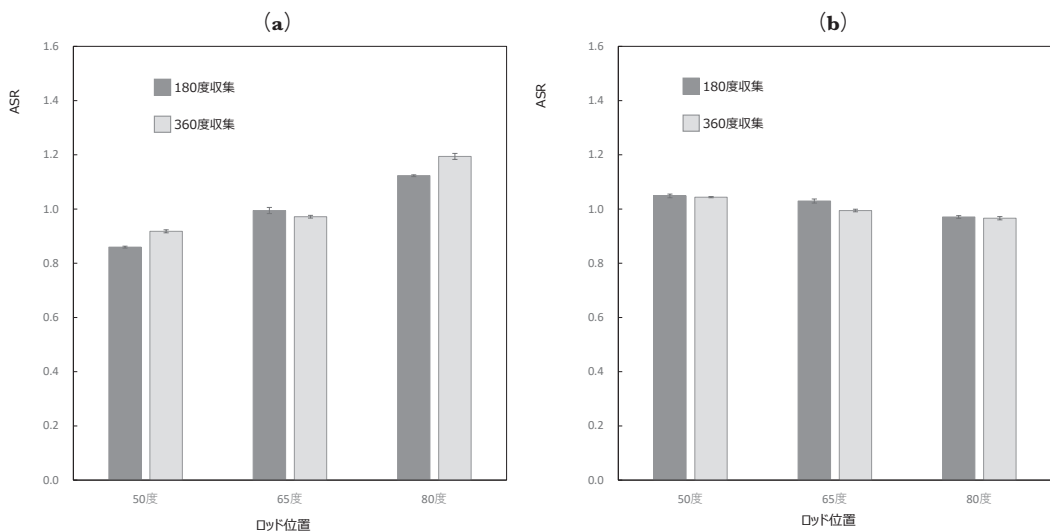


Fig. 4 180 度収集と360 度収集の ASR

(a) 補正なし，(b) 空間分解能，散乱線，減弱補正あり

3-2 リカバリ係数

リカバリ曲線を **Fig. 5** に示す。収集方法やロッドの配置に関わらずリカバリ曲線に違いは認められなかった。しかし、補正を行った場合に180度収集でリカバリ係数はわずかに高くなる傾向にあった (**Fig. 5c**)。

Fig. 6, 7 に SPECT 画像を示す。補正を行っていない場合、やや視覚的なひずみが観察されるものの、180度収集と360度収集で得られた SPECT 画像に明らかな違いは認められなかった。また補正を行った場合においても、視覚的に同程度の画像が得られていた。

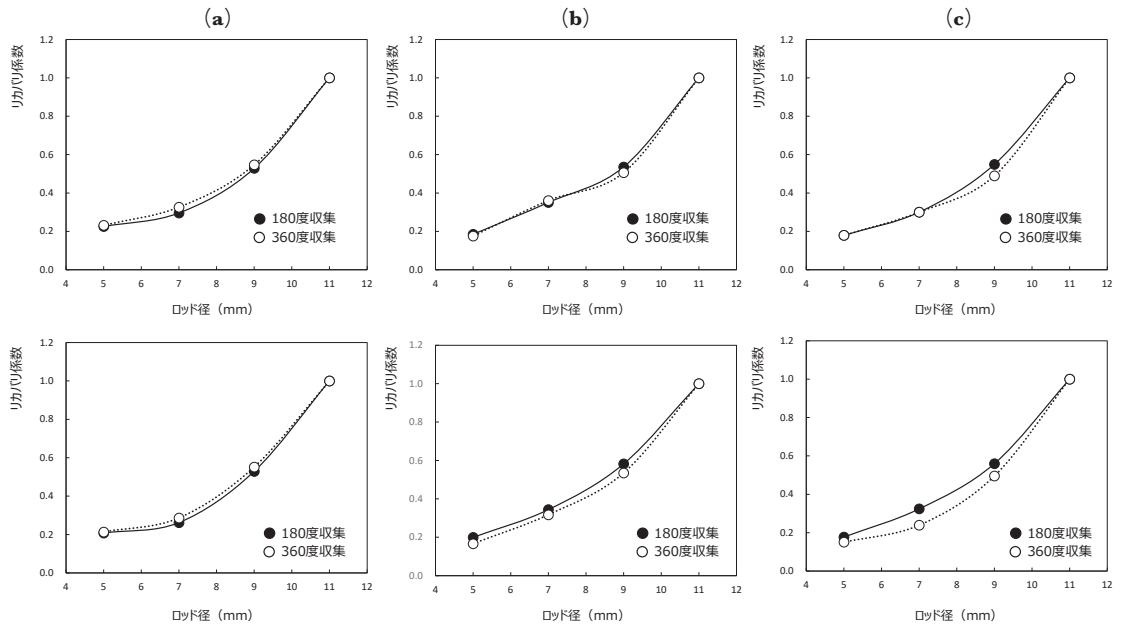


Fig. 5 自動近接無しのリカバリ曲線。上段：補正なし，下段：補正あり。

(a) 50 度ロッド，(b) 65 度ロッド，(c) 80 度ロッド

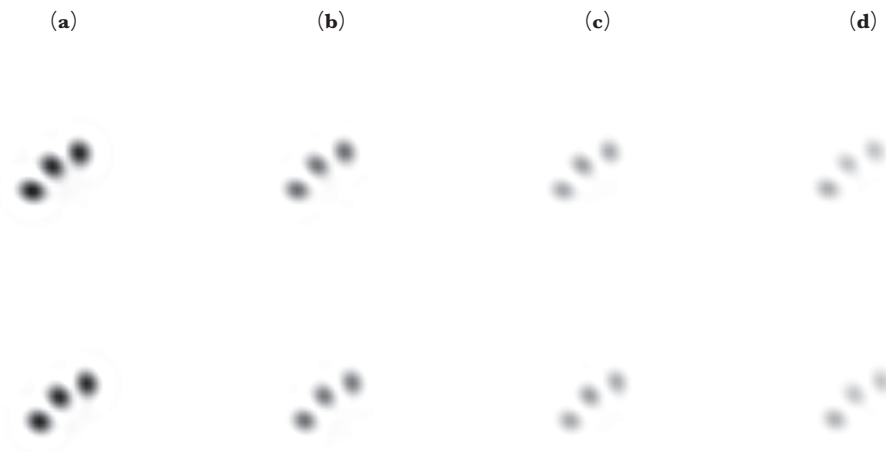


Fig. 6 補正なしの SPECT 画像。上段：180 度収集，下段：360 度収集，

(a) ロッド径 11.0 mm，(b) 9.0 mm，(c) 7.0 mm，(d) 5.0 mm。

表示ウインドウレベルはロッド径 11.0 mm を 100%とした

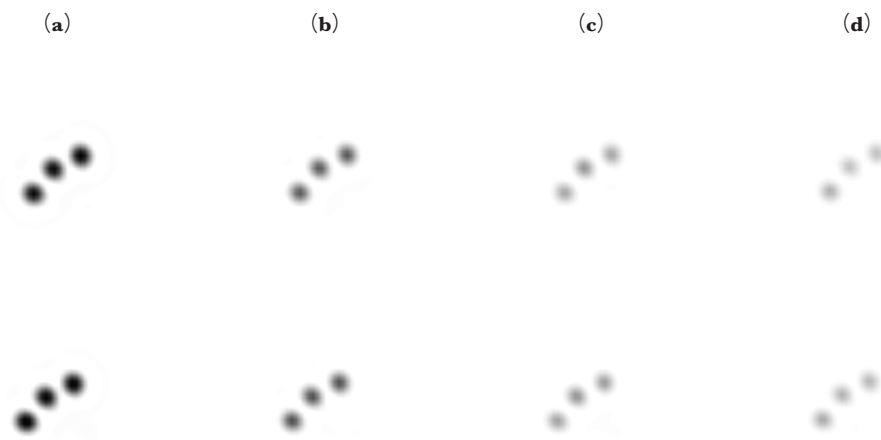


Fig. 7 空間分解能，散乱線，減弱補正ありの SPECT 画像。上段：180 度収集，下段：360 度収集，
(a) ロッド径 11.0 mm，(b) 9.0 mm，(c) 7.0 mm，(d) 5.0 mm。
表示ウインドウレベルはロッド径 11.0 mm を 100%とした

4. 考 察

本研究では，乳がん SLN シンチグラフィにおける 180度収集の有用性を SLN 専用のファントムを用いて検証した。その結果，180度収集と 360度収集で得られた画像に明らかな違いはなく，180度収集の適応性と妥当性が示された。

空間分解能補正と散乱線補正，減弱補正を行うことで FWHM は低下したものの，180度収集と 360度収集の FWHM は同程度であった。また，ASR についても同様の傾向を認め，180度収集による空間分解能の変化や特有なひずみの発生はなく，180度収集は SLN シンチグラフィに適応可能と考えられる。Cheng らは， ^{99m}Tc -sestamibi による副甲状腺シンチグラフィについて 180度収集と 360度収集の比較を行い，180度収集の診断成績は 360度収集と同程度であり，加えて病変コントラストの向上が得られたと報告している¹⁰⁾。これは副甲状腺が頸部前方に位置しているため，背側のデータを必要としなかったためであり，SLN においても同様の理由で 180度収集と 360度収集の空間分解能に明らかな違いがみられなかったと考える。しかし補正を行わない場合，両収集ともにひずみに変化が認められた。これはファントムの表層に模擬病変（ロッド）を配置したことが要因の

ひとつと考えられる。ロッドを表層に配置したことで，ロッドと検出器の距離が近くなる反面，回転中心に発生するシフトバリエーションが大きい¹¹⁾。そのため，収集方法によらず ASR が変化したと考える。空間分解能の観点から 180度収集は SLN シンチグラフィに適応可能と考えるが，空間分解能や散乱線補正，減弱補正を適応することが望ましい。

リカバリ係数は，収集方法によらず同等であったが，補正を行った場合の 180度収集は 360度収集よりもやや優れる結果となった。180度収集は，360度収集と比較して均一性に劣るものの，コントラストに優れていることが知られている¹²⁾。そのため，ロッドの位置に依存するものの，180度収集のリカバリ係数が 360度収集よりも高値を示したと考える。SLN シンチグラフィでは，画像の均一性よりも集積の有無を検出できるかどうかが重要となる¹³⁾。リカバリ係数の検討から 180度収集の描出能は 360度収集と同程度であり，心筋 SPECT と同様に 180度収集の有用性は高いと考える。

本研究は単一機種，コリメータによる評価であり，複数の装置で検証されていない。特に空間分解能補正の効果は，機器メーカーによって異なるため¹⁴⁾，今後は様々な装置による検証が必要である。また，本研究はファントムによる評価であ

り、臨床データによる評価は行っていない。実際の病変は様々な位置に存在し、サイズも多様である。加えて、臨床データでは放射性医薬品の投与部位がSPECT視野内に含まれることになる。したがって、今後、臨床データを用いた検証が必須である。

5. 結 論

本研究では、乳がん SLN シンチグラフィにおける180度収集の有用性を検証した。空間分解能補正と散乱線補正、減弱補正を使用した180度収集の空間分解能と描出能は、360度収集と同程度であった。180度収集は、乳がん SLN シンチグラフィに適応可能であり、収集時間の短縮による患者の負担軽減が期待できる。

本研究に関して開示すべき利益相反はない。

謝辞・学会発表

本研究にあたり、SLN 評価用ファントムを貸していただいた神戸常盤大学保健科学部診療放射線学科の對間博之 教授、長谷川大輔 助教にお礼申し上げます。

本研究は、第42回日本核医学技術学会総会学術大会(京都)において、研究結果の一部を報告した。

引用文献 (references)

- 1) Vidal-Sicart S, Brouwer OR, Valdés-Olmos RA. Evaluation of the sentinel lymph node combining SPECT/CT with the planar image and its importance for the surgical act. *Revista Espanola de Medicina Nuclear* 2011; **30**(5): 331-337.
- 2) Vercellino L, Ohnona J, Groheux D, et al. Role of SPECT/CT in sentinel lymph node detection in patients with breast cancer. *Clinical nuclear medicine* 2014; **39**(5): 431-436.
- 3) Kraft O, Havel M. Sentinel lymph nodes and planar scintigraphy and SPECT/CT in various types of tumours. Estimation of some factors influencing

detection success. *Nuclear Medicine Review* 2013; **16**(1): 17-25.

- 4) 田中弓子. 乳癌におけるリンパ路及びセンチネルリンパ節転移の臨床的意義. *金沢医科大学雑誌* 2004; **29**: 252-259.
- 5) 對間博之, 安藤猛晴, 河村誠治. センチネルリンパ節シンチグラフィにおける学術調査報告: 乳がんセンチネルリンパ節シンチグラフィについて (アンケート報告). *核医学分科会誌* 2013; **66**: 63-70.
- 6) 飯塚一則, 山本範泰, 久木裕也, 他. SPECT 収集角度と収集軌道が画像に与える影響について—心筋デジタルファントムスタディー—. *日放技学誌* 2015; **71**(6): 520-526.
- 7) Burrell S, MacDonald A. Artifacts and Pitfalls in Myocardial Perfusion Imaging. *J Nucl Med Technol* 2006; **34**(4): 193-211.
- 8) 岡田愛花, 對間博之, 米山寛人, 他. 乳がんセンチネルリンパ節シンチグラフィ用評価ファントムを用いた SPECT 画像の空間分解能補正に関する検討. *日放技学誌 一般研究発表予稿集* 2015; **71**(9): 931.
- 9) 對間博之, 山永隆史, 下西祥裕, 他. 鉛を用いないセンチネルリンパ節シンチグラフィの撮像方法の検討—使用コリメータと収集エネルギー設定について—. *核医学* 2002; **39**(2): 161-169.
- 10) Cheng JL, Hsu CC, Wang PW, et al. The feasibility of anterior 180° ^{99m}Tc-sestamibi parathyroid SPECT/CT. *Annals of Nuclear Medicine* 2021; **35**(2): 203-210.
- 11) 尾川浩一. 核医学技術の基礎「ガンマカメラにおけるコリメータの基礎」. *臨床核医学* 2014; **47**(1): 9-28.
- 12) Tamaki N, Mukai T, Ishii Y, et al. Comparative Study of Thallium Emission Myocardial Tomography with 180° and 360° Data Collection. *J Nucl Med* 1982; **23**(8): 661-666.
- 13) 市原裕紀. センチネルリンパ節シンチグラフィの撮像を始めてみよう. *日放技学誌* 2010; **66**(6): 678-685.
- 14) 大西英雄, 本村信篤, 藤埜浩一, 他. 数値ファントムを用いた最新鋭 SPECT の位置分解能補正の基礎的検討. *日放技学誌* 2012; **68**(6): 686-696.