

原著

心筋 SPECT 画像の polar map における11時方向のアーチファクト に関するシミュレーションを用いた研究

赤松 清臣・河村 誠治

純真学園大学大学院保健医療学研究科

A simulation study on 11 o'clock ring artifacts on cardiac SPECT images

Kiyoomi AKAMATSU, Seiji KAWAMURA

Graduate School of Health Sciences Junshin Gakuen University

要旨：心筋 SPECT 画像の画像表示及び解析法である polar map に生じる11時方向のアーチファクトは、心筋 SPECT を行う際の収集軌道や収集角度及びコリメータ開口等の影響により生じると考えられている。核医学画像処理ソフトである Prominence Processor 3.1及び心筋デジタルファントム (heart_emi.ptm) を用いて心筋 SPECT 画像の短軸断層像から得られる polar map に生じる11時方向のアーチファクト発生についてどのような条件で SPECT 収集を行った際及び filtered back projection (FBP) と ordered subsets expectation maximization (OSEM) ではどの再構成法で最もアーチファクトが発生するか検討を行った。その結果、11時方向のアーチファクト発生は、コリメータ開口を加味し扁平率の高い楕円軌道かつ180度収集の投影データを FBP で再構成を行った場合が顕著であった。一方、コリメータ開口の加味なしの場合は、収集条件及び再構成方法に関係なくアーチファクトの発生は認められなかった。以上から、心筋 SPECT の polar map における11時方向のアーチファクト発生は、コリメータ開口の加味及び高扁平率の楕円軌道収集の影響が主要因と考えられた。

キーワード：SPECT, Prominence Processor, アーチファクト, FBP, OSEM, デジタルファントム

Abstract: All 11 o'clock artifacts observed using cardiac SPECT imaging and polar map analysis method are believed to be caused by cardiac SPECT parameters, including collection orbit, collection angle, and collimator aperture. For creating 11 o'clock artifacts in a polar map based on cardiac SPECT imaging and short-axis topography using the nuclear medicine imaging software Prominence Processor 3.1 and the cardiac digital phantom (heart_emi.ptm), the conditions of SPECT collection and the reconstruction methods FBP and OSEM in which such artifacts are generated the most were considered. Consequently, the generation of 11 o'clock artifacts was observed most prominently when reconstruction was performed using the FBP method with a highly elliptical orbit, 180-degree collection, and a collimator aperture. No artifact was observed using OSEM reconstruction with a round orbit, 360-degree collection, and collimator aperture. Therefore, 11 o'clock artifacts on a cardiac SPECT polar map are believed to be primarily caused by collection with a highly elliptical orbit and collimator aperture.

Keyword: SPECT, Prominence Processor, artifacts, FBP, OSEM, digital phantom

1 緒言

Single photon emission computed tomography (SPECT) の画質は、projection data (投影データ) の収集条件や photomultiplier tube (PMT) の感度均一性、直線性等に大きく影響を受ける¹⁻³⁾。投影データの収集条件には収集軌道として円軌道、楕円軌道、近接軌道等があり⁴⁻⁵⁾、収集角度として360度や180度が挙げられる⁶⁻¹¹⁾。また画像再構成

角度も SPECT 画像に影響を及ぼす¹²⁾。体内に放射線医薬品の集積が局所的に多い箇所が存在した場合、SPECT 画像にストリークアーチファクトが発生する¹³⁾ことがある。また、心筋 SPECT 画像の収集軌道や収集角度及びコリメータ開口の影響により心筋 SPECT 短軸像や polar map の11時方向に集積低下によるアーチファクトの発生が報告されている¹³⁾。これらのアーチファクトの発生は、

診断能へ影響を及ぼすことが報告されている¹⁴⁻¹⁵⁾。しかし、11時方向のアーチファクトの発生因子についての詳細な検討は行われていない。

今回、核医学画像処理ソフト Prominence Processor 3.1 (Prominence)²⁾ 及び心筋デジタルファントム¹⁾である心筋ファントム (heart_emi.ptm) を用いて収集軌道や収集角度及びコリメータ開口の影響を変化させた投影データを作成した。この投影データを用いて SPECT 画像の再構成を行い収集軌道や収集角度及びコリメータ開口¹⁶⁾が SPECT 画像の11時方向のアーチファクト発生¹⁷⁾に及ぼす影響について検討を行った。また、SPECT 画像再構成において ordered subsets expectation maximization (OSEM) 法は filtered back projection (FBP) 法に比べてアーチファクトが少ないと考えられ¹⁸⁻¹⁹⁾ であり、OSEM 法と FBP 法との比較についても検討した。

2 方法

2.1 核医学画像処理解析ソフトウェア及びデジタルファントムを用いた投影データの作成

心筋 SPECT 画像の再構成及び画像解析に核医学画像処理解析ソフトウェアとして、Prominence を使用した。また、心筋 SPECT の画像処理評価用デジタルファントム^{12, 20)} (日本放射線技術学会・核医学部会) として Fig. 1に示す心筋デジタルファントム (heart_emi.pt) を使用した。Fig. 1には一つの断層面のみ示しているが、投影データは3次元となる。

心筋 SPECT の収集方法には180度収集と360度収集がある²¹⁾。心筋ファントムから投影データを作成する際には、360度収集と180度収集で step angle を4度²²⁾、投影数を360度では90、180度では45とした。180度収集は、RAO45度～LPO45度までの180度収集を行った。また、1投影あたりのカウント数に応じた統計的変動及び散乱を加味した。さらにコリメータ開口を加味した場合と加味しない場合の投影データを作成した。コリメータ開口を加味することで投影データを臨床データに近づけることができる。コリメータ開口データとして心筋 SPECT にも用いられている Toshiba LEHR (平行多孔コリメータ) を用いた。検出器の軌道は、正円軌道、楕円軌道の二通りとした。正円軌道の

回転半径は173mm とし、楕円軌道の回転半径は、(X 軌道179mm, Y 軌道112mm), (X 軌道220mm, Y 軌道112mm), (X 軌道250mm, Y 軌道112mm) の3種類とし4種類の回転軌道を持つ投影データを作成した。それぞれの収集軌道の扁平率は、正円軌道で0, X 軌道179mm で0.374, X 軌道220mm で0.491, X 軌道250mm で0.552である。扁平率の計算式を式 (1) に記す。

$$\text{扁平率} = 1 - \left(\frac{\text{Y 軌道}}{\text{X 軌道}} \right) \cdots (1)$$

投影データの総数は、4種類の回転軌道、360度収集と180度収集、コリメータ開口を加味した場合と加味しない場合の16種類である。

2.2 投影データの再構成と polar map 及び profile curve の作成

作成した投影データの SPECT 画像再構成を FBP 法と OSEM 法を用いて行った。FBP 法の再構成条件には、Butterworth フィルタの遮断周波数を0.5cycles/cm, オーダを8, 再構成フィルタに Ramp を用いた。OSEM 法の再構成条件は、Butterworth フィルタの遮断周波数等の条件を FBP 法と同様とし、iteration 数を5, subset 数を10に設定した。SPECT 画像の再構成後に臨床で画像診断を行う際に用いられる心筋 SPECT 画像の短軸断層像への断面変換を行った。短軸断層像から polar map²³⁾ の作成及び circumferential profile analysis²³⁾ を行い profile curve²³⁾ の作成 (Fig. 3) を行った。さらに profile curve から11時方向のアーチファクト部分のコントラストを算出した。



Fig. 1 Cardiac digital phantom (heart_emi.ptm)

2.3 SPECT 画像のアーチファクト評価方法

得られた心筋 SPECT 画像や polar map 及び profile curve を用いて視覚的に11時方向におけるアーチファクト発生の有無を評価した。同一の PC 及びモニターを用いて診療放射線技師4名（経験年数：32年，2年，2年，1年）により視覚評価を行った。Fig. 2の左と右に，それぞれアーチファクトのない polar map 画像及びアーチファクトの

発生（矢印部分）した polar map 画像を示す。また，profile curve (Fig. 3) からアーチファクト部分のコントラストを算出し評価を行った。コントラストは，Fig. 3に示す profile curve の高値点を a, b, 最下点を c とし，式 (1)²⁴⁾ を用いて算出した。

$$\text{Contrast} = \left(\frac{(a+b)}{2-c} \right) / \left(\frac{(a+b)}{2+c} \right) \dots (2)$$

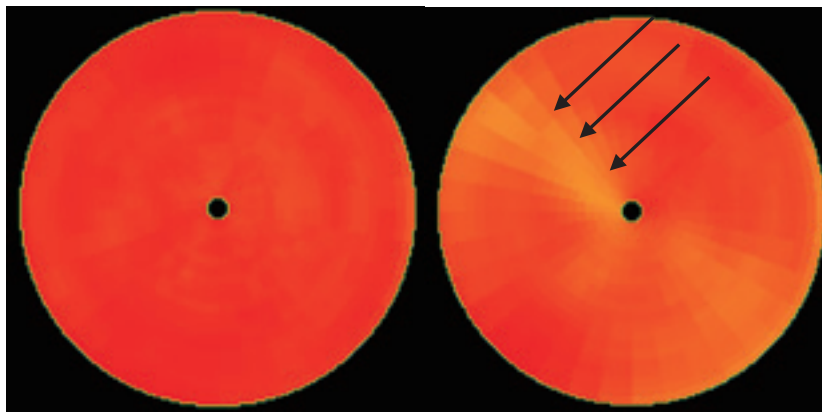


Fig.2 360-degree elliptical orbit collection with no FBP aperture
180-degree elliptical orbit collection with FBP aperture

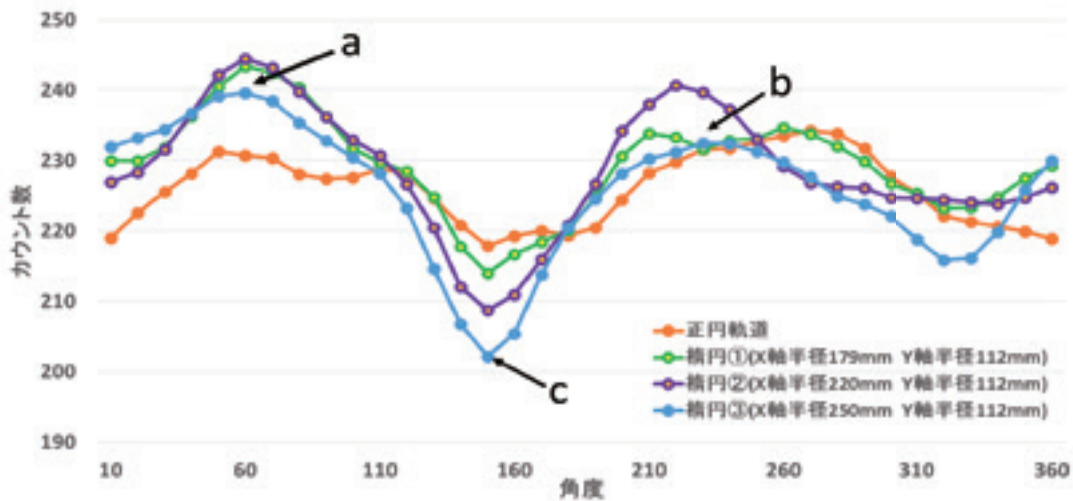


Fig. 3 A profile curve obtained from a polar map is shown.
315度から180度収集した平均である。

Table 1 Visual assessment of artifacts using a polar map

Polar map を用いた視覚的なアーチファクトの評価								
	360度正円系	360度①	360度②	360度③	180度正円系	180度①	180度②	180度③
FBP(開口を加味)	-	+	+	+	+	+	+	+
FBP(開口を加味しない)	-	-	-	-	-	-	-	-
OSEM(開口を加味)	-	+	+	+	-	+	+	+
OSEM(開口を加味しない)	-	-	-	-	-	-	-	-
+: アーチファクトが認められる。	①扁平率：0.374 ②扁平率：0.491 ③扁平率：0.552							
-: アーチファクトが認められない。								

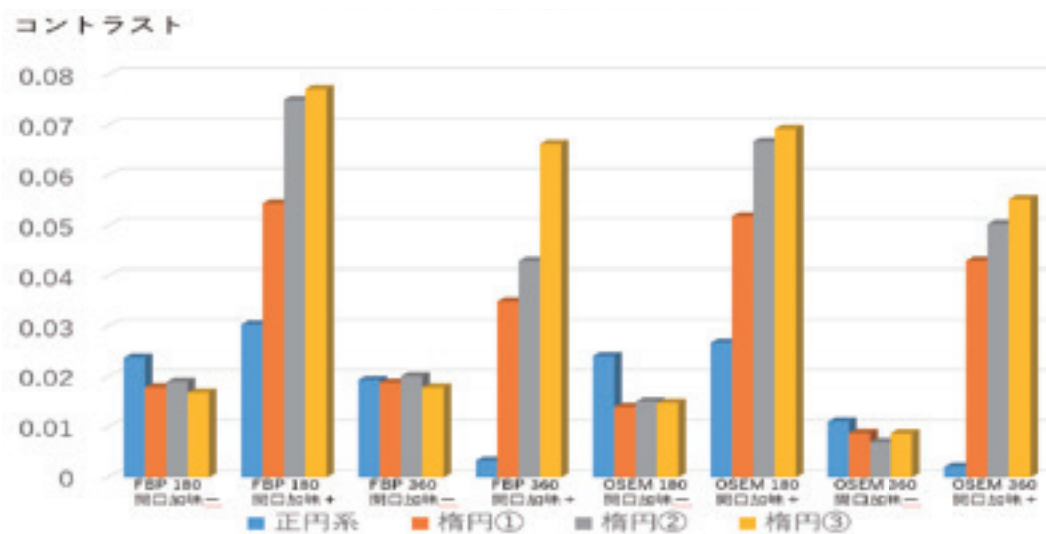


Fig. 4 Contrast of the artifact by different collection orbits/angles and reconstruction methods are shown.

3 結果

Polar map 及び profile curve を用いた11時方向のアーチファクトの評価

まず視覚的評価の結果を Table 1に示す。コリメータ開口を加味しない場合は、収集軌道、180度収集、360度収集、FBP法、OSEM法に関わらず11時方向のアーチファクトは認められなかった。コリメータ開口を加味及びFBPで再構成した場合は、360度正円軌道でのみアーチファクトは認められず180度収集及び全ての楕円軌道でアーチファクトが認められた。コリメータ開口を加味及びOSEMで再構成した場合は、360度及び180度の正円軌道ではアーチファクトは認められなかったが、360度及び180度の楕円軌道ではアーチファクトが認められた。

次にコントラストの評価結果を Fig. 4に示す。コリメータ開口を加味したFBP法とOSEM法の比較では、FBP法の方がアーチファクト部のコントラストは高い傾向を示し視覚的にも明瞭 (Fig. 2の右) であった。FBP法で再構成した扁平率0.552の180度収集かつコリメータ開口を加味した場合がアーチファクト部のコントラストが最も高値 (0.077) を示した。一方、OSEM法で再構成した正円系での360度収集かつ開口を加味した場合のコントラストが最も低値 (0.002) を示した。

4 考察

SPECT画像は、目的臓器に集積する放射性医薬品を三次元的に把握でき診断能が向上するため広く臨床に用いられている。SPECT画像の画質は、収集ピクセルサイズや角度サンプリング数等の収集条件及び投影データに対する前処理フィルタの設定により左右される。今回、Prominence及び心筋ファントムを用いてSPECT収集条件として収集軌道や収集角度及びコリメータ開口の影響を考慮した投影データを作成した。作成した投影データのSPECT再構成を行い得た心筋短軸像から polar map を作成し、11時方向のアーチファクト発生因子に関する検討を行った。

コリメータ開口を加味しない場合は、180度収集、360度収集、収集軌道、FBP法、OSEM法に関わらず11時方向のアーチファクトの発生は視覚的に認められなかった。これは、コリメータ開口を加味しない場合は、放射線がコリメータ孔に対して垂直に入射した²⁵⁾ ため扁平率の大きい楕円軌道においてもアーチファクト発生は起きなかったと考えられる。

コリメータ開口を加味した場合は、FBP法で再構成した180度収集、扁平率0.552の楕円軌道のアーチファクト部のコントラストが最も高値を示した。これは、180度収集であること及びコリメータ開口を加味しているため放射線がコリメータ孔に対して斜入する割合が増加したためと考えられる。また、FBP法で再構成した180度収集で

の正円軌道においてもアーチファクトが認められた。この場合、視覚的にはアーチファクトの把握は困難であったが、profile curve の形状からアーチファクトが発生していると考えられた。以上からコリメータ開口や楕円軌道及び180度収集が11時方向のアーチファクト発生の要因と考えられた。

一方、OSEM 法で再構成した360度収集、開口を加味しない場合のコントラストが最も低い値を示した。以上から、11時方向のアーチファクト発生は、コリメータ開口、楕円軌道が主要因であると考えられる。これらはコリメータ開口と楕円軌道により画像工学上での shift-variant な系¹⁵⁾が増強したものと考えられる。shift-variant なボケとは画像中心と辺縁部でぼけの形状が異なる状態となり、画像診断に影響をもたらすこととなる。

春多らの研究¹⁵⁾では11時方向へのアーチファクト発生として考えているが、今回の研究では、10~11時方向にアーチファクトが発生した。これは研究に使用した投影データが先行研究と異なる心筋デジタルファントムであること及び臨床データではないことが影響していると考えられる。

今回の研究結果及び先行研究からコリメータ開口を加味し楕円軌道で180度収集を行った心筋 SPECT の短軸画像及び polar map の11時方向にアーチファクトが発生している可能性が考えられる。SPECT 画像の分解能向上には、楕円軌道を応用した近接軌道及びコリメータ開口補正が必要である。また、心筋に集積した放射性医薬品の定量精度を向上させるためにはコリメータ開口補正及び減弱補正、散乱線補正を行う必要がある。臨床の心筋 SPECT 検査は、前述の各補正を行うことは可能であるが、心臓が常に動いている臓器であることからガンマ線計測を行う電子機器の稼働速度を速める等の更なる技術的進歩を期待したい。

臨床では、特に痩せている患者さんなどでは必然的に楕円軌道に近い収集軌道となる可能性があるため、診療放射線技師や医師たちはこれらを把握したうえでの検査や診療が必要であると考えられる。これらを踏まえたうえで、診療放射線技師は自分たちの使用する装置の特性をしっかりと理解して検査する必要がある。

5 結 語

これまで polar map における11時方向のアーチファクトは臨床画像において報告されているが、心筋デジタルファントムを用いた詳細な研究は行われていなかった。今回、Prominence と心筋デジタルファントムを用いて polar map の11時方向に発生するアーチファクトの発生因子に関する検討を行った。研究は、収集軌道や収集角度及びコリメータ開口と再構成方法に的を絞り研究を行った。アーチファクトの発生は、コリメータ開口を加味した180度収集、扁平率0.552の楕円軌道の場合が再構成方法に関わらず最も顕著であった。以上から polar map の11時方向に発生するアーチファクトは、コリメータ開口及び楕円軌道の影響が最も大きいと考えられた。

参考文献

- 1) 飯塚一則, 山本範泰, 久木裕也, 滝沢秀喜. 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—. 日本放射線技術学会雑誌, 71 (6), 520-526, 2015.
- 2) 前田壽登, 山本範泰, 東 眞, 教育, 研究用核医学データ処理解析ソフトウェアパッケージの開発について. 日本放射線技術学会雑誌, 68 (3), 299-306, 2012.
- 3) 高木昭浩, 相馬 努, 渡辺浩之, 他. SPECT 画像とサンプリング数における画質(統計ノイズ)の検討. 核医学技術, 28 (1), 161-167, 2008.
- 4) Pan TS, Luo D-S, Kohli V et al: Influence of OSEM, elliptical orbits and background activity on SPECT 3D resolution recovery. Phys Med Biol, 42 (12), 2517-2529, 1997.
- 5) 米道暁彦, 福嶋 博. 心筋180° SPECT データ収集における円軌道と楕円軌道との比較検討. 日本放射線技術学会雑誌, 48 (2), 210, 1992.
- 6) Hoffman EJ. 180° compared with 360° sampling in SPECT. J Nucl Med, 23 (8), 745-747, 1982.
- 7) Karin Knesaurek, Michael A. King, Stephen J. Glick, and Bill C. Penney. Investigation of causes of geometric distortion in 180° and 360° angular sampling in SPECT. J Nucl Med, 30 (10), 1666- 1675, 1989.
- 8) Maublant JC, Peycelon P, Kwiatkowski F, et al. Comparison between 180° and 360° data collection in technetium-99m MIBI SPECT of the myocardium. J Nucl Med, 30 (3), 295-300, 1989.
- 9) Tamaki N, Mukai T, Ishii Y, et al. Comparative study of thallium emission myocardial tomography with 180° and

- 360° data collection. *J Nucl Med*, 23 (8), 661-666, 1982.
- 10) LaCroix KJ, Tsui BM, Hasegawa BH. A comparison of 180° and 360° acquisition for attenuation compensated thallium-201 SPECT images. *J Nucl Med*, 39 (3), 562-574, 1998.
- 11) 高野政明. 4. 心筋 SPECT の臨床的な問題点：核医学技術者の立場から (SPECT 装置の進歩と技術的問題点). *日本放射線技術学会雑誌*, 54 (4), 536, 1998.
- 12) 柏倉健一, 小林秀樹, 百瀬 満, 柏倉明美, 金谷信一, 日下部きよ子. 画像再構成角度が心筋 SPECT 像に与える影響 - 180度像と360度像との比較 -. *核医学*, 33 (4), 375-382, 1996.
- 13) Steven Burrell, MD, and Anita MacDonald, BHSoc. Artifacts and Pitfalls in Myocardial Perfusion Imaging. *J Nucl Med Technol*, 34 (4), 193-211, 2006.
- 14) Liu Yi-H, Lam PT, Sinusas AJ et al: Differential effect of 180° and 360° acquisition orbits on the accuracy of SPECT imaging. *J Nucl Med*, 43 (8), 1115-1124, 2002.
- 15) 春多伸洋, 尾川浩一. 検出器応答及び吸収を補正する逐次近似的画像再構成法による楕円型 SPECT データ収集軌道の評価. *Medical Imaging Technology*, 23 (1), 30-38, 2005.
- 16) 坪井孝達, 布施 拓. 心筋 SPECT 画像におけるコリメータ開口補正の基礎的検討. *日本放射線技術学会雑誌*, 67 (5), 517-523, 2011.
- 17) 東芝メディカルシステムズ株式会社核医学システム営業部. SPECT 画像作成のための基礎知識 Part.1 (収集編). https://docsplayer.net/77403774-_spect_画像作成のための基礎知識_part1_収集編_第29回核医学の基礎を学ぶ会_pptx.html
- 18) Hatton RL, Hutton BF, Angelides S, Choong KK, Larcos G. Improved tolerance to missing data in myocardial perfusion SPET using OSEM reconstruction. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 31 (6), 857-861, 2004.
- 19) Leong LK, Kruger RL, O'Connor MK. A Comparison of the Uniformity Requirements for SPECT Image Reconstruction Using FBP and OSEM Techniques. *J Nucl Med Technol*, 29 (2), 79-83, 1997.
- 20) Maeda H, Yamaki N, Natsume T, et al. Simultaneous spatial resolution correction in SPECT reconstruction using OS-EM algorithm. *Igaku Butsuri*, 24 (2), 61-71, 2004.
- 21) 橋本 順. 心臓核医学の基礎 西村恒彦編集, BRAND NEW 心臓核医学. 金原出版株式会社, 東京, 15, 2012.
- 22) 増田康彦, 長木昭男, 川渕安寿, 他. 臨床に役立つ基準画像の収集・処理・表示・出力のポイント. *核医学技術*, 28 (1), 13-66, 2008.
- 23) 大西英雄, 市原 隆, 山本智朗, 他. 放射線技術学シリーズ 核医学検査技術学 改訂3版. オーム社, 東京, 313-314, 2016.
- 24) 松友紀和, 古谷洋晃, 山尾太一郎, 他. SPECT データ評価用デジタルファントムを用いた異なる処理装置間の OS-EM 再構成アルゴリズムの比較. *日本放射線技術学会雑誌*, 64 (11), 1361-1368, 2008.
- 25) 尾川浩一. SPECT における画質劣化とその補正 I 総論. *映像情報 Medical*, 34 (5), 482-485, 2002.