

—技術報告—

線条体ファントムを用いた画像再構成法による 画質の基礎的検討

川田 理 山崎 芳裕 田村 博文
田村 厚司 李 鎔範 石川 和宏
新潟大学大学院保健学研究科

Basic Study of Image Quality Affected by Reconstruction Methods Using Striatal Phantom

Osamu KAWATA, Yoshihiro YAMAZAKI, Hirofumi TAMURA,
Atsushi TAMURA, Yongbum LEE and Kazuhiro ISHIKAWA
Niigata University Graduate School of Health Sciences

(article received : Jun 26, 2015)

Key words : Striatum, Resolution correction, CV, SBR, Edge

1. 緒 言

近年, Single Photon Emission Computed Tomography (SPECT) 装置やコンピュータ処理能力の進歩により画像再構成の高速化が可能となり, FBP 法だけでなく, Maximum Likelihood-Expectation Maximization (ML-EM) 法や, その高速化法である OS-EM 法などの逐次近似法が臨床において主に用いられている。

FBP 法による再構成画像の特徴は, 定量性の良さ, 高集積部からのアーチファクトの発生などがあり^{1,2)}, また, ML-EM 法, OS-EM 法は低カウント領域の Signal-to-Noise Ratio (SNR) の良さや FBP 法と比べてストリークアーチファクトが軽減されることである^{3,4)}。OS-EM 法は測定系で起こりうる物理現象の織り込みが可能で, 分解能補正を組み込むことが可能である。そこで, 3D-OSEM 法に CDR (collimator distance response) 補正を組み込んだ方法が開発され, 空間分解能の向上が報告された⁵⁻⁷⁾。

また, 本邦において線条体シンチグラフィ用の薬剤である N- ω -フルオロプロピル-2 β -カルボメトキシ-3 β -(4-¹²³I-ヨードフェニル) ノルトロパン (¹²³I-イオフルパン : ¹²³I-FP-CIT)⁸⁾ が承認を受

け, 線条体シンチグラフィが実施可能となった。

2. 目 的

本研究の目的は, 線条体ファントムの SPECT 収集データを分解能補正法, FBP 法, OS-EM 法によって画像再構成し, 画像再構成法の違いによる画質を比較, 検討することである。

3. 方 法

1) 使用機器, 各条件

装置は 2 検出器型 SPECT 装置 Bright View (Philips 社), コリメータは Cardiac High Resolution (CHR) コリメータ (Philips 社), 使用ファントムは円柱ファントムとそれに装着した線条体ファントム 2 個 (日本メジフィジックス) (Fig. 1a, b) であり, 放射能濃度比が円柱ファントム : 線条体ファントム = 1 : 8 となるようそれぞれの放射能濃度を 5.5, 44 kBq/ml とした。1 : 8 の比とした理由は, 健常成人の脳槽と線条体の放射性薬剤の集積比と同等とするためである。

データ解析は Prominence Processor Version. 3.1 (核医学画像処理技術カンファレンス), DaTVView ver 1.0.0 (日本メジフィジックス株式会社) により行った。

収集条件は, Matrix size 128×128 , Pixel size 3.19 mm, 収集モード Continuous, Angular step 4 度, 360度収集, データ数 90 (2 回転分), 収集時間 18.67 sec/angle, Window Width 159 keV $\pm$ 10%, Zoom 1.46, 回転半径 14 cm, 1 秒当たりの収集カウント 968 counts/sec とした。

画像再構成は分解能補正法, FBP 法, OS-EM 法を使用した。分解能補正法は Iteration : 8, Subset : 6 としスムージングに Hanning Filter (Cut off 値 : 0.63 cycle/cm) を用いた。FBP 法は Ramp Filter, Butterworth Filter (Cut off 値 : 0.63 cycle/cm, オーダー値 : 8) を用いた。また, OS-EM 法は Iteration : 8, Subset : 6 とし, Butterworth Filter (Cut off 値 : 0.63 cycle/cm, オーダー値 : 8) を用いた (メーカー推奨処理条件)。また減弱補正は全画像再構成法で Chang 補正 (減弱係数 : 0.115 cm^{-1}) を行った。なお, 画像再構成スライス厚は 3.195 mm であった。

なお, 本論文は画像再構成法による画質の比較が目的であるため, 減弱補正や散乱線補正による影響の検討は行わなかった。

2) 評価方法

(1) 物理評価

各画像再構成法で得られた画像の左右線条体領域 (**Fig. 1c**) のカウントプロファイルを 3 次元カーブで評価した。

次に, 線条体部の長軸が最も長く抽出できるように画像を右方向に 27 度傾け (**Fig. 1d, e**), 2 次元プロファイルカーブを求めた。これは, 分解能補正法が均一組織の辺縁部に Gibbs 現象によるカウント上昇が生じるため, 線条体ファントムにおいても同様に生じるか, 詳細に把握するため 3 次元カーブとは別に求めた。各, 算出されたグラフから画像再構成法の違いや特徴について評価, 考察を行った。

また, それぞれの画像において, 線条体部の輪郭を手動で Region of Interest (ROI) (**Fig. 1f**) で囲み, Coefficient of Variation (CV) 値を求め各画像再構成法のノイズを評価した。なお, CV 値の算出式は以下の通りであり, Standard Deviation (SD), mean はそれぞれ ROI 内の標準偏差, 平均カウントである。CV = $100 \times \text{SD} / \text{mean}$ 。

(2) 定量評価

各画像再構成法による定量性を, SBR (Speci-

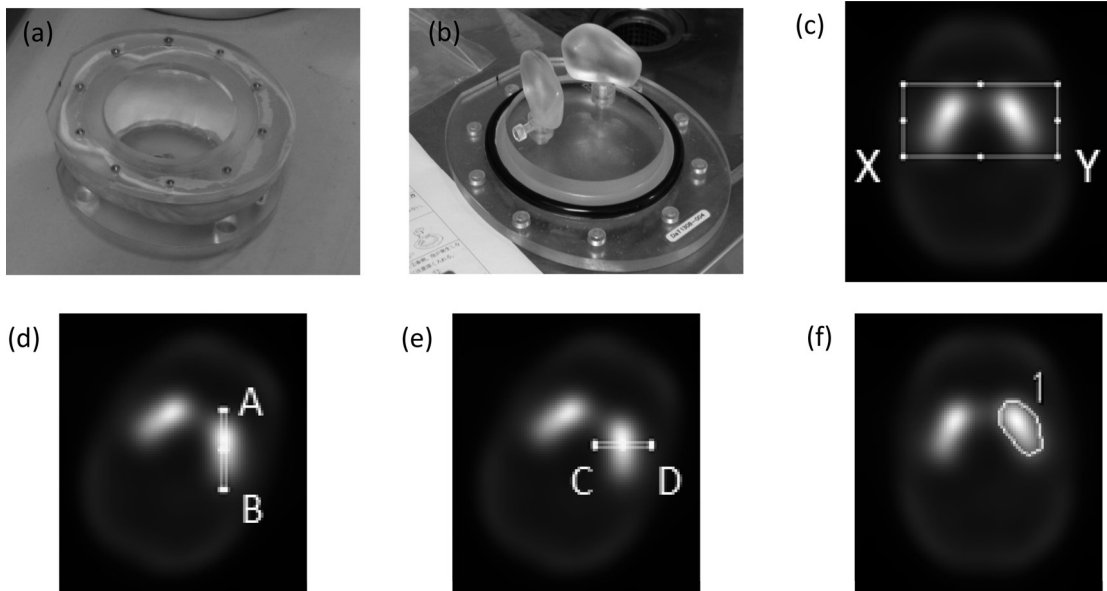


Fig. 1 本研究で用いたファントムと各評価法で抽出した領域。(a) 円柱ファントム。(b) 線条体ファントム。(c) プロファイルカーブ作成の範囲。(d) 線条体辺縁部評価の縦の範囲。(e) 線条体辺縁部評価の横の範囲。(f) ノイズ評価のための ROI 形状。なお, 図中の X, Y は **Fig. 3** のプロファイルカーブの位置と, A, B, C, D は **Fig. 4** のプロファイルカーブの位置と対応している。

fic Binding Ratio) を算出し評価した。SBR の算出には DaTView ver 1.0.0 を用いた。なお、SBR = 特異的結合濃度 / 非特異的結合濃度であ

る⁹⁾。

なお、視覚評価、辺縁部の評価は線條体カウン

トが最も高く、基底核レベルと推測される27枚目

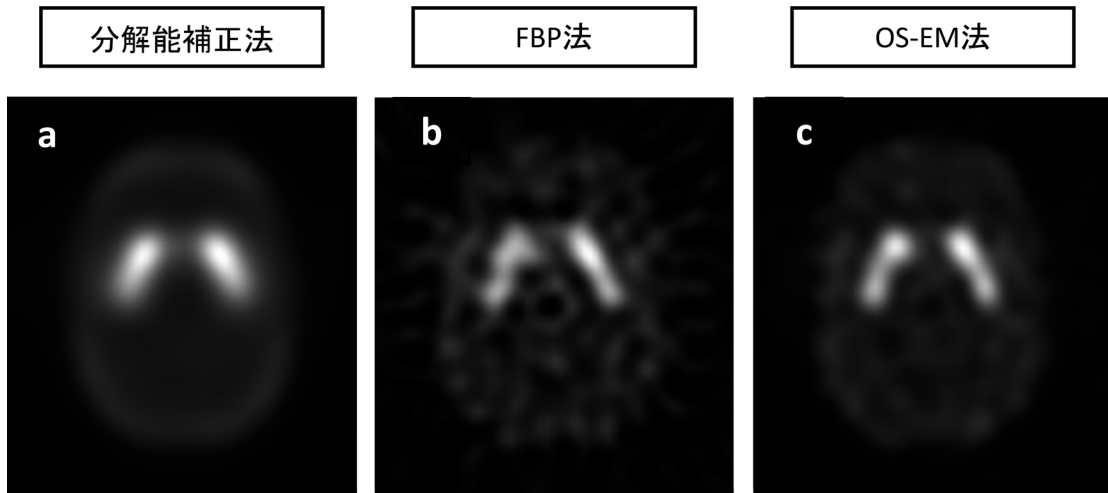


Fig. 2 各画像再構成法による再構成画像。(a) 分解能補正法。(b) FBP 法。(c) OS-EM 法。

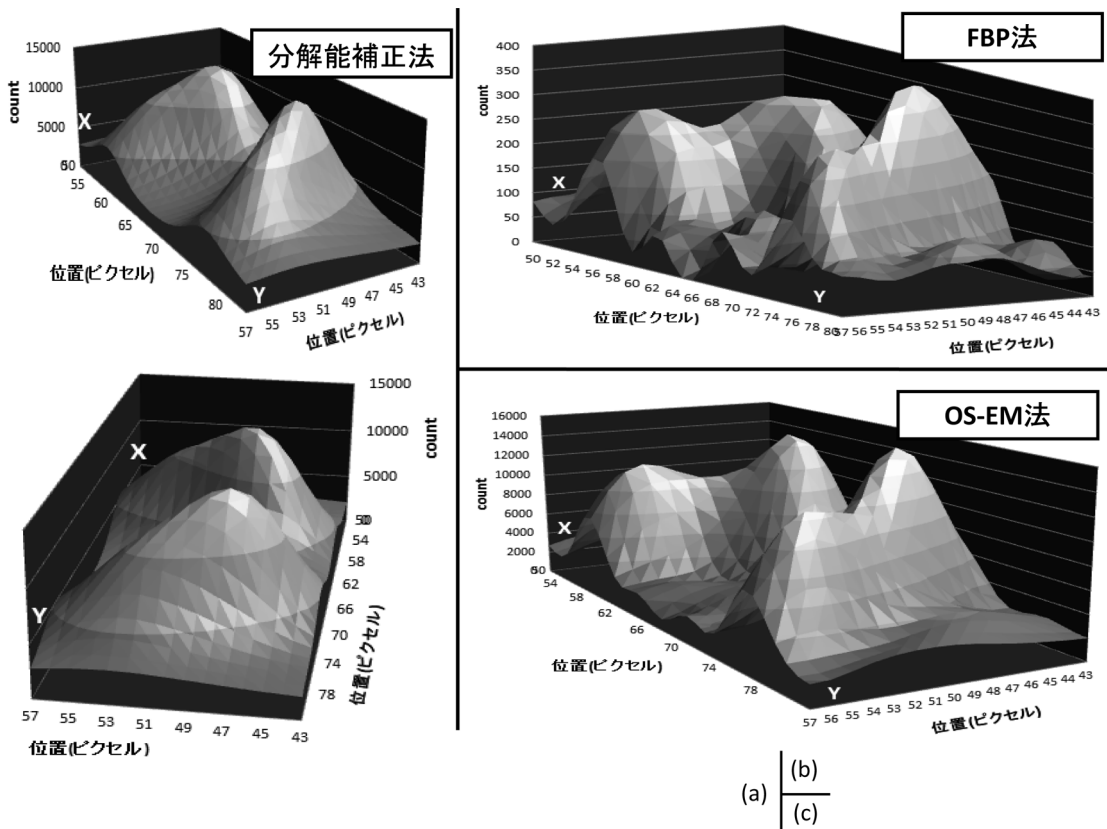
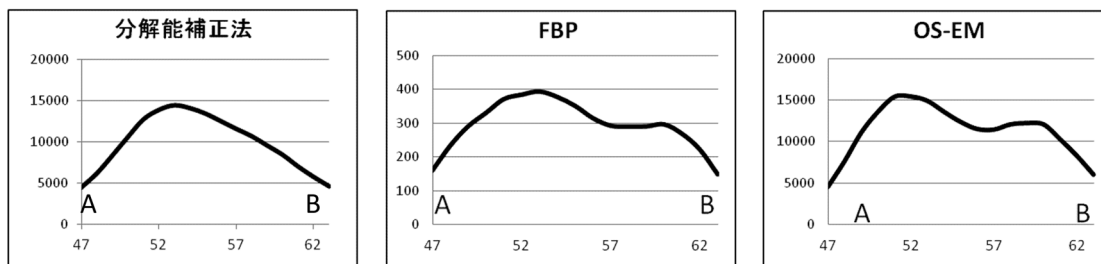


Fig. 3 各画像再構成法による3次元プロファイルカーブ。(a) 分解能補正法。(b) FBP 法。(c) OS-EM 法。

縦のプロファイルカーブ



横のプロファイルカーブ

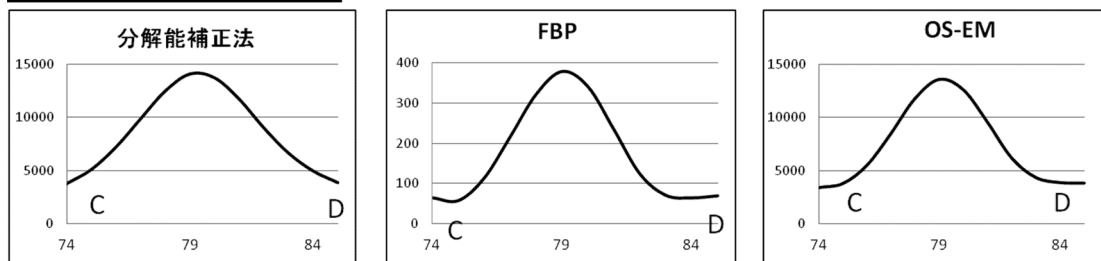


Fig. 4 線条体辺部の評価のためのプロファイルカーブ。上段は **Fig. 1d** の範囲のプロファイルカーブ，下段は **Fig. 1e** の範囲のプロファイルカーブである。縦軸は **counts**，横軸は位置 (**pixel**) である。

の画像を用いた。CV 値は27枚目を中心とした7スライスを用い，Microsoft Excel 2010 を用い危険率5%のKruskal-Wallis検定，Steel-Dwass法の多重比較で再構成法間の統計的有意差を評価した。各群からのデータは，分解能補正法は正規分布となったがFBP法，OS-EM法は正規分布とならなかった。また，データ数は $n=7$ である。

4. 結 果

1) 物理評価

分解能補正法は左右差が認められなかったが，尾状核部と比べて被殻部カウントが低かった (**Fig. 2a**, **Fig. 3a**)。FBP法は，尾状核部は左に比し右のカウントが低く，左右非対称性が生じた。また，右線条体は中央部に欠損が，左線条体は中央部，被殻部にカウント低下が認められた。なお，他の画像再構成法と比し全体的に低カウントを示した (**Fig. 2b**, **Fig. 3b**)。OS-EM法はFBP法同様，線条体中央部に低下が生じた。被殻部は尾状核部よりカウントが低かった。しかし，プロファイルカーブより左右対称性が認められた (**Fig. 2c**, **Fig. 3c**)。

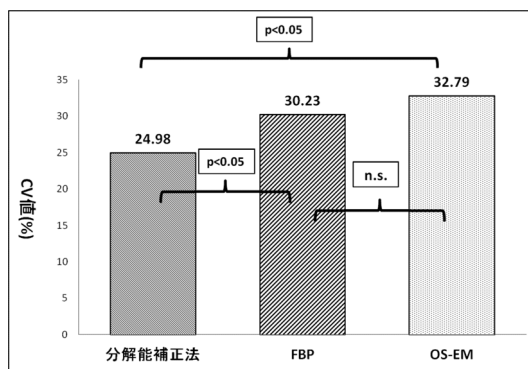


Fig. 5 各画像再構成法による CV 値の算出結果。

次に，プロファイルカーブより縦，横方向の線条体辺縁部を観察したところ，目立ったカウントの上昇は生じなかった (**Fig. 4**)。

また，**Fig. 5** に各画像再構成法による CV 値を示した。分解能補正法が他の二法に比し有意に小さく，FBP法，OS-EM法の順に大きくなった。FBP法と OS-EM法間に有意差は認められなかった。

2) 定量評価

Table 1 に左右線条体の SBR を示した。分解

Table 1 定量評価結果

定量的評価	分解能補正法	FBP 法	OS-EM 法
SBR right	6.55	7.04	6.37
SBR left	6.61	6.90	6.33

SBR right, SBR left はそれぞれ右線条体, 左線条体の SBR.

能補正法は右が 6.55, 左が 6.61 であった。FBP 法は右が 7.04, 左が 6.90 であった。OS-EM 法は右が 6.37, 左が 6.33 であった。

5. 考 察

本研究は, それぞれのファントムの濃度比が円柱:線条体(右):線条体(左)=1:8:8であった。理想的な像は左右線条体部のカウントが等しく, カウントが均一な線条体像である。

各画像再構成法の左右尾状核部の最大値の差を, 27枚目を中心とした7スライスで求めた結果, 分解能補正法, OS-EM 法はそれぞれ2.4, 6.1%にとどまったのに対し FBP 法は15.6%となり, 右尾状核部の低下による左右非対称性が示唆された。また, すべての画像再構成法で尾状核部に対する被殻部カウントの低下が生じた。この低下は, 薄いファントムの被殻部が部分容積効果により過小評価されたためであり, RI 分布が正しく反映されなかった。部分容積効果は分解能が悪い SPECT 画像で顕著であり計数値に影響する³⁾。SPECT の有限の分解能や撮像対象の形状が画質を変化させることを把握すべきである。

FBP 法や OS-EM 法は欠損や低下が線条体中央部に認められた。両再構成法の CV 値の大きさから, 線条体中央部の欠損や低下はノイズにより生じたと考える。一方, 分解能補正法の CV 値の小ささからノイズの影響が小さく欠損が生じなかったと考える。これは分解能補正法の画像再構成処理時, matched filtering 処理が行われているためである。この matched filtering は反復計算の手順に平滑化を組み込み, 分解能を保ちノイズを低減させる⁶⁾。そのため, 同じ逐次近似法である OS-EM 法よりノイズが抑制された。しかし, この処理は分解能保存性, ノイズ抑制効果があるが, 上述したように部分容積効果による被殻部カウントの低下が生じたため, 分解能の保存性には

限界があると考える。線条体シンチグラフィによるパーキンソン病 (PD) やレビー小体型認知症 (DLB) の所見は線条体集積の左右非対称性や線条体, 特に被殻の集積低下などである。本態性振戦 (ET) やアルツハイマー型認知症 (AD) は線条体が正常と同様に描出される^{10,11)}。ここで, ET や AD の線条体像がノイズにより欠損を生じた場合を考えると, 分解能補正法のようにノイズ抑制効果が高い方法が必須である。

SBR は FBP 法が分解能補正法や OS-EM 法に比し高かった。逐次近似法の逐次近似回数, サブセット数, また, 前処理フィルタは定量値に影響を及ぼす¹⁾。そのため, 逐次近似法により定量値を算出する際はこれらの条件により, 定量値がどのように変動するか注意する必要がある。また, 計数値は減弱で25~50%減少, 散乱で30~40%増加するため, 定量する際の誤差に繋がる³⁾。本論文ではこれらの影響の検討はしていないが, 画像再構成法に最適な補正, ならびにパラメータを用い, 可能な限り定量値を真値に近づけるべきである。

分解能補正法は Gibbs 現象により辺縁部カウントが上昇することが知られる^{12,13)}。本研究においては再構成画像より, 円柱ファントム部の辺縁部が高カウントを示しているのが認められた (Fig. 2a) が, 線条体辺縁部は上昇が認められなかった。ファントムの大きさや形状, さらに放射能濃度が満たされていない円柱ファントム外部 (Back Ground 部) と放射能濃度が 5.5 kBq/ml である円柱ファントム内部 (Hot 部) の境界の放射能濃度差に依存しカウントが上昇する可能性がある。これらの因子に関し, 辺縁の上昇との関連を検討する必要がある。

本研究は線条体ファントムを用い, 各画像再構成法間の相違を基礎的に検討した。それぞれの方法で線条体部の欠損や左右差, さらに定量値の結果にばらつきが認められたため, 線条体シンチグラフィにおける画像再構成法の特徴を把握することや処理条件を検討することの必要性が示唆された。

6. 結 論

各画像再構成法による線条体像の変化を視覚,

辺縁部, ノイズ, 定量性の観点から評価した。分解能補正法は左右対称性, 優れた均一性の反面, 定量性に欠ける。FBP 法は定量性に優れるが, 線条体のノイズが特徴的である。OS-EM 法は左右差が小さい反面均一性に劣る特徴が認められた。線条体シンチグラフィによる診断は線条体の形態や左右対称性, 定量値などの評価に重きを置くため, 画像再構成毎の特徴を把握し, 適切な画像再構成条件の設定が求められる。

本研究は患者さんのデータを用いず, ファントムデータにより検討が行われた。また, そのファントムデータに関しても, 画質評価のみに用いたため, 倫理的相反はない。

引用文献

- 1) 柳沢正道, 丸繁 勘: 心筋 gated SPECT における OSEM 法の検討—再構成条件の最適化—. 日本放射線技術学会雑誌, **57** (10): 1240-1247, 2001
- 2) Guido Germano, Terrance Chua, Hosen Kiat, et al: A Quantitative Phantom Analysis of Artifacts Due to Hepatic Activity in Technetium-99m Myocardial Perfusion SPECT Studies. J Nucl Med, **35**(2): 356-359, 1994
- 3) 大西英雄, 松本政典, 増田一孝: 放射線技術学シリーズ 核医学検査技術学 改訂 2 版. オーム社: 1-381, 2002
- 4) Jingming BAI, Jun HASHIMOTO, Takayuki SUZUKI, et al: Comparison of image reconstruction algorithms in myocardial perfusion scintigraphy. Annals of Nuclear Medicine, **15**(1): 79-83, 2001
- 5) 富口静二: SPECT/CT 時代の新しい 3 次元画像再構成法 (Astonish). MEDIX, **VOL. 48**: 25-30, 2008
- 6) Jinghan Ye, Xiyun Song, Mary K Durbin, et al: SPECT image quality improvement with Astonish software. Phillips Medical Systems-white paper: 1-7, 2005
- 7) El Fakhri G, Buvat I, Benali et al: Relative impact of scatter, collimator response, attenuation, and finite spatial resolution corrections in cardiac SPECT. J Nucl Med, **41**: 1400-1408, 2000
- 8) 日本核医学会, 日本脳神経核医学研究会: イオフルパン診療ガイドライン 第 1 版. 2014
- 9) Livia Tossici-Bolt, Sandra MA Hoffmann, Paul M Kemp, et al: Quantification of [123 I] FP-CIT SPECT brain images: an accurate technique for measurement of the specific binding ratio. European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging, **33**(12): 1491-1499, 2006
- 10) Costa DC, Walker Z, Walker RW, et al: Dementia with Lewy bodies versus Alzheimer's disease: Role of dopamine transporter imaging. Movement Disorders, **18**(7): S34-S38, 2003
- 11) Vicky Marshall and Donald G Grosset: Role of dopamine transporter imaging in the diagnosis of atypical tremor disorders. Movement Disorders, **18**(7): S22-S27, 2003
- 12) 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. 日本放射線技術学会雑誌, **68**(6): 686-696, 2012
- 13) Hideo Onishi, Nobutoku Motomura, Koichi Fujino, et al: Quantitative performance of advanced resolution recovery strategies on SPECT images: evaluation with use of digital phantom models. Radiological Physics and Technology, **6**(1): 42-53, 2013