

角度サンプリング数が陽性 SPECT 画像の 検出能に及ぼす影響

市川 肇 花田 悠一 山田さやか
永田 隆良 三浦 俊一 鈴木 資巳
牧野 哲三

豊橋市民病院 放射線技術室

Evaluation of the Influence that the Number of Samplings Gives to Detectability in Positive SPECT Images

Hajime ICHIKAWA, Yuuichi HANADA, Sayaka YAMADA,
Takayoshi NAGATA, Syunichi MIURA, Motoki SUZUKI
and Tetsuzo MAKINO

Department of Radiology, Toyohashi Municipal Hospital

(article received : Sep 19, 2007 ; revision accepted : Oct 29, 2007)

Key words: Single photon emission computed tomography (SPECT), Number of Samplings, Detectability, Positive images

緒 言

放射性医薬品の体内分布像を断層像として得ることが出来る single photon emission computed tomography (SPECT) は、プレーナ像に比べて、より詳細な三次元的情報が得られるため、今日の臨床現場では欠かすことが出来ない検査法となっている¹⁾。

SPECT 画像の収集条件で影響を及ぼす因子として、マトリクスサイズ・角度サンプリング数・収集時間・回転半径・エネルギーウインド・コリメータ等があり²⁾、これまで多くの研究が行われてきた。

一方、最適な角度サンプリング数 S は、

$$S = \pi L / 2a \cdots \cdots \cdots (1)$$

であらわされる³⁾。ここで π は円周率、 L は被写体の直径、 a はピクセルサイズをあらわす。

今回、角度サンプリング数が陽性 SPECT 像の検出能に与える影響について、サンプリング定理を基に角度サンプリング数を比率で変化させて収集し、フィルタ逆投影法 (FBP 法) と ordered

subsets-expectation maximization 法 (OS-EM 法) で再構成した画像の視覚評価を行い検討した。

1 方 法

1-1 使用機器

ガンマカメラは、2 検出器型 SPECT 装置 e. cam (シーメンス旭メディテック社製)、画像処理装置は、e. soft (シーメンス旭メディテック社製) を使用した。コリメータは、低エネルギー高分解能型 (LEHR) を装着した。画像評価ファントムとして、JS-10 型 SPECT 性能評価ファントム (京都科学社製) を使用した。ドライプリンタは、DRYPRO751 (コニカミノルタエムジー社製)、画像記録用フィルムは、DRYPRO SD-PC (コニカミノルタエムジー社製) を使用した。

1-2 ロッドファントム配置

7, 10, 15, 20, 30 mm ϕ の ^{99m}Tc 陽性ロッドファントムを無作為に 10 個配置 (Fig. 1a) し、水をファントム内に封入した。

1-3 SPECT 収集条件

ピクセルサイズは、3.3 mm (マトリクスサイ

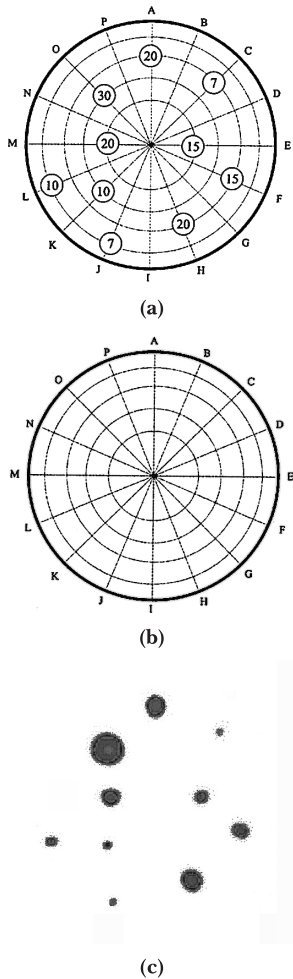


Fig. 1 ロッドファントム配置図と SPECT 像。
(a) ロッドファントム配置図。数字はロッドサイズ (mm)。 (b) 解答用紙。 (c) ファントムの SPECT 像。

ズ128×128, 収集倍率1.45倍), 4.8 mm (マトリクスサイズ128×128, 収集倍率1.00倍), 6.6 mm (マトリクスサイズ64×64, 収集倍率1.45倍) を使用した。

角度サンプリング数の比率は, ピクセルサイズ毎に (1) 式より求めた角度サンプリング数を100%として, それぞれ200%から5%までとした。参考までに収集ステップ角度も合わせて示す (Table 1)。

収集モードはステップ収集, 回転軌道は 360°円軌道, 回転半径は 17 cm とした。

ステップ当たりの収集時間は, 各投影データで

1 ピクセルあたり100カウント以上収集できるように, 事前実験にて求め設定した。

1-4 画像再構成・フィルム表示

FBP 法と OS-EM 法により画像再構成を行った。

FBP 法の画像再構成パラメータは前処理フィルタに Butterworth フィルタを使用し, カットオフ周波数は, それぞれ 1.52 cycles/cm (ピクセルサイズ 3.3 mm), 1.04 cycles/cm (ピクセルサイズ 4.8 mm), 0.76 cycles/cm (ピクセルサイズ 6.6 mm), オーダはすべて 8 とした⁴⁾。再構成フィルタは ramp を使用した。

OS-EM 法の再構成パラメータは, 1 subset に投影データが10前後になるsubset数を使用し, iteration 回数は subset 数と iteration 回数の積, いわゆる IS 数が30~50になるように適宜使用した^{5~7)}。

FBP 法および OS-EM 法ともに散乱補正・減弱補正・分解能補正は行わなかった。

ファントム中心にピクセルサイズ 3.3, 4.8, 6.6 mm で標本化定理を満たす 15 mmφ のロッドファントムを配置し, リファレンスとした。このロッドファントムを上限値に正規化し, 上限値100%, 下限値10%としてフィルムに出力した。

1-5 画像評価者

経験年数20年以上 2 名, 10年以上20年未満 1 名, 10年未満 2 名の診療放射線技師 5 名で行った。

1-6 評価方法

サンプリング数の少ない順に観察し, ロッドファントムの検出能を視覚評価した。

判定基準は, 陽性像は“ある”とし, 回答形式は解答用紙 (Fig. 1b) に検出可能な陽性像を交点に記入し, 検出数の合計で評価を行った⁸⁾。

ファントムの輪郭が描出できないため, ズレは 1 つまで許容範囲とした。

2 結 果

Fig. 2 に検出能の結果を示す。

角度サンプリング数が比較的多いとき, OSEM 法に比べ FBP 法の検出能が高い結果となった。

どの収集条件でも最初に検出出来なくなるのは

Table 1 各ピクセルサイズの角度サンプリング数とステップ角度

	3.3 mm/pixel		4.8 mm/pixel		6.6 mm/pixel	
	サンプリング数	Step 角度	サンプリング数	Step 角度	サンプリング数	Step 角度
200%	324	1.1°	224	1.6°	160	2.3°
100%	162	2.2°	112	3.2°	80	4.5°
90%	146	2.5°	100	3.6°	72	5.0°
80%	130	2.8°	90	4.0°	64	5.6°
70%	112	3.2°	78	4.6°	56	6.4°
60%	96	3.8°	68	5.3°	48	7.5°
50%	80	4.5°	56	6.4°	40	9.0°
40%	64	5.6°	44	8.2°	32	11.3°
35%	56	6.4°	40	9.0°	28	12.9°
30%	48	7.5°	34	10.6°	24	15.0°
25%	40	9.0°	28	12.9°	20	18.0°
20%	32	11.3°	22	16.4°	16	22.5°
15%	24	15.0°	16	22.5°	12	30.0°
10%	16	22.5°	12	30.0°	8	45.0°
5%	8	45.0°	6	60.0°	4	90.0°

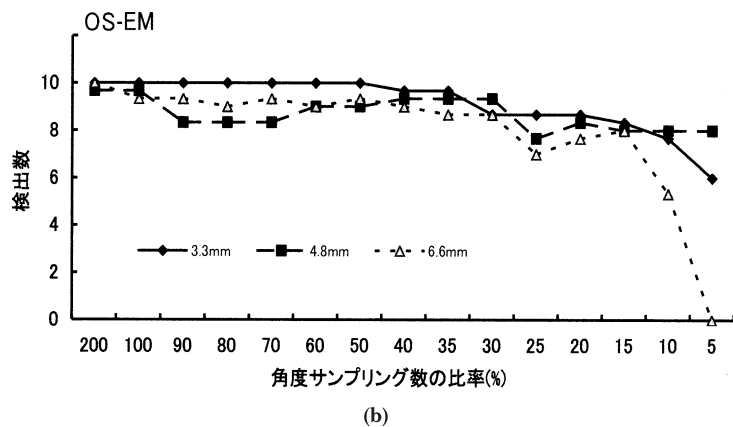
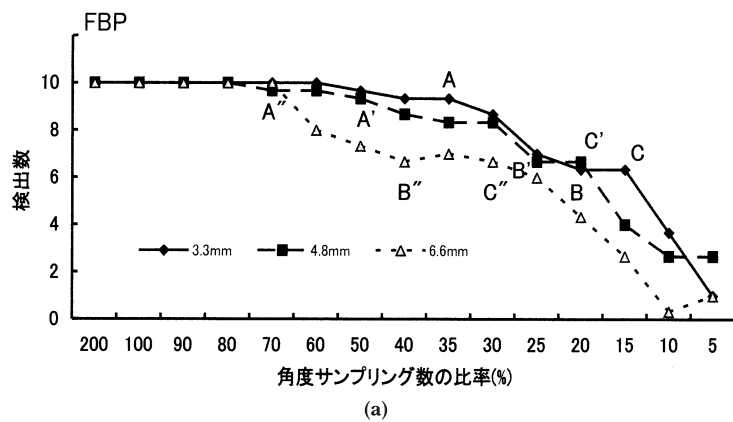


Fig. 2 検出能の結果。(a) FBP 法で再構成した画像の検出能。(b) OS-EM 法で再構成した画像の検出能。

位置Cの7mm ϕ のロッドで、次いで位置Jの7mm ϕ のロッドであった。以降ロッドサイズの小さい順に検出できなくなる傾向であった。

各ピクセルサイズの検出数の合計は高い順に、OS-EM 3.3 mm (137.3) > OS-EM 4.8 mm (130.3) > FBP 3.3 mm (121.3) > OS-EM 6.6 mm (119.7) > FBP 4.8 mm (116.7) > FBP 6.6 mm (100.0) であった。

ロッドサイズ 10 mm ϕ 以上で評価すると、FBP 法では合計19 (3.3 mm : 5, 4.8 mm : 5, 6.6 mm : 9) の収集条件で検出数8を下回り、OS-EM 法では合計7 (3.3 mm : 2, 4.8 mm : 1, 6.6 mm : 4) であった。

2-1 FBP 法での検出能

Fig. 2a に示すように各ピクセルサイズで、角度サンプリング数の比率が (1) 式の80%以上の時、標準化定理を満たさなくても全ての陽性像が検出できた。角度サンプリング数の比率が70%以下になると、角度サンプリング数の比率の減少とともに検出能も低下した。

ピクセルサイズ 3.3 mm では、角度サンプリング数の比率が35% (A) で検出能が低下し始め、20% (B) で水平となり、15% (C) で再び低下した。ピクセルサイズ 4.8 mm では、50% (A') で検出能が低下し始め、35%で水平となり30%で低下し、25% (B') で再び水平となり20% (C') で低下した。ピクセルサイズ 6.6 mm では、70% (A'') で検出能が大きく低下し始め、40% (B'') でほぼ水平となり、30% (C'') で再び低下した。

A, A', A'' はそれぞれ検出数9を下回り始めるポイントであり、ほぼ水平となった B-C 間、B'-C' 間、B''-C'' 間は検出数6.3~7.0であった。

2-2 OS-EM 法での検出能

Fig. 2b に示すように各ピクセルサイズで (1) 式の30%以上角度サンプリング数があれば8割以上検出できた。このとき検出できなかったロッドは7mm ϕ で、10mm ϕ 以上のロッドは全て検出可能であった。全てのロッドを検出するためにはピクセルサイズ 3.3 mm で収集する必要がある、50%以上の角度サンプリング数が必要であった。

角度サンプリング数の比率が50~90%の間でピクセルサイズ 4.8 mm に比べ 6.6 mm で検出能が高い結果となった。

3 考 察

角度サンプリング数が70%以上のとき、FBP 法ではバックグラウンドとのコントラストが良いことと、陽性像が大きく描出されるため、検出能が OS-EM 法に比べ高い結果になったと考える。

角度サンプリング数の減少にともない、FBP 法で検出能が低下したのは、ストリークアーチファクトの影響によるものと考ええる。

ピクセルサイズ 3.3 mm では、角度サンプリング数の比率が30%より下回ると、FBP 法と OS-EM 法で大きく検出能に差が生じた。このときの収集ステップ角度は 7.5° であり、木口らの OS-EM 法に比べ FBP 法は 7.5° 以上で FWHM 等の画質が大きく低下するとの報告⁹⁾と一致したが、ピクセルサイズ 4.8 mm では100% (3.2°) 以下で OS-EM 法が下回り、ピクセルサイズ 6.6 mm では70% (6.4°) 以下で FBP 法が大きく下回る結果となり、一致しなかった。木口らは、ピクセルサイズ 2.46 mm で収集していることと物理的評価法を用いているためであると考ええる。

Fig. 2a の A, A', A'' の角度サンプリング数はすべて56であり、B-C 間、B'-C' 間、B''-C'' 間は22~32の範囲である。ピクセルサイズに依存せず、角度サンプリング数56以下で7mm ϕ のロッドは検出出来なくなり、角度サンプリング数22以下で10mm ϕ のロッドが検出できなくなった。

よって、FBP 法では検出能はサンプリング定理の比率およびピクセルサイズには依存せず、角度サンプリング数に依存すると考える。

一方、統計学的手法によって放射性医薬品の分布を推定する OS-EM 法は FBP 法に比べ、検出能は角度サンプリング数の減少に大きく影響されなかったが、角度サンプリング数の比率が50~90%のときピクセルサイズ 4.8 mm よりも 6.6 mm で検出能が高い結果となったのは、収集時の拡大率が影響した可能性があると考ええる。

また、ロッドファントムの配置・収集カウンタ・評価者の熟練度や資質¹⁰⁾・フィルム濃度の決定・画像再構成パラメータも検出能に大きく影響したと考える。

4 結 語

今回、サンプリング定理を基に角度サンプリング数と画像再構成法が陽性 SPECT 画像の検出能に及ぼす影響について検討し、おおよその変動を把握することができた。

今後、FWHM 等の物理的評価法を用いることにより、様々な SPECT 画像の求める角度サンプリング数の指標になることと考える。

文 献

- 1) 大西英雄, 増田一孝, 松本政典, 他: 核医学検査技術学. 第1版第1刷発行, pp 59-66, オーム社, 2002
- 2) 小野口昌久: 心臓核医学検査法の進歩と技術的問題. 核医学技術, **16**: 4, 254-257, 1996
- 3) 楠岡英雄, 西村恒彦, 藤林靖久, 他: 核医学イメージング. 初版第1刷発行, pp 81-82, コロナ社, 2001
- 4) 増田一孝, 市原 孝, 大西英雄, 他: SPECT 画

像の定量化への挑戦. 日放技学誌, **53**: 11, 1733-1758, 1997

- 5) 大西英雄, 木田哲生, 篠原広行, 他: SPECT の再構成法に関する研究班報告. 日放技学誌, **59**: 10, 1229-1247, 2003
- 6) 丸繁 勘, 柳沢正道: ホットスポットファントムを用いた OSEM 再構成画像の基礎的検討—iteration 回数および subset 数の評価—. 日放技学誌, **57**: 10, 1233-1239, 2001
- 7) 柳沢正道, 丸繁 勘, 酒井良介, 他: 逐次近似再構成ソフトウェアの装置間誤差の検討. 日本放射線技術学会核医学分科会雑誌, **48**: 39-40, 2004
- 8) 久田欣一, 飯沼 武, 有水 昇, 他: Single Photon Emission Computed Tomography 装置の性能試験条件. Radioisotopes, **33**: 162-169, 1984
- 9) 木口雅夫, 谷口金吾, 穂山雄次, 他: SPECT 画像における収集ステップ角度による影響について—FBP 法と OS-EM 法の比較—. 日放技学誌, **60**: 7, 1009-1017, 2004
- 10) 新美孝永, 今井國治, 亀谷健一, 他: クラスタ解析を用いた観察者集団の分類とその判定基準. 日放技学誌, **59**: 10, 1268-1276, 2003