

—資 料—

2 検出器型ガンマカメラを用いたコリメータ開口補正 OSEM 再構成法の局所脳血流量定量への応用

—関西核医学画像処理研究会編—

杉林 慶一^{1,3)} 林 万寿夫^{2,3)} 新井 真美²⁾ 浅津 輝²⁾
 前田 幸大¹⁾ 平井 宏昌¹⁾ 堀内 承治³⁾ 倉橋 達人³⁾
 大澤 啓次³⁾ 新居 健³⁾ 久保田雅博³⁾

¹⁾ 関西医科大学附属枚方病院²⁾ 大阪医科大学附属病院³⁾ 関西核医学画像処理研究会

Application of Collimator Broad Correction Three Dimensional Ordered Subsets Expectation Maximization for Regional Cerebral Blood Flow Measurement by using Two Head Gamma camera.

The Volume on Kansai Nuclear Medicine Image Processing study group

Keiichi SUGIBAYASHI^{1,3)}, Masuo HAYASHI^{2,3)}, Mami ARAI²⁾, Akira ASAZU²⁾,
 Yukihiro MAEDA¹⁾, hiromasa HIRAI¹⁾, Shouji HORIUCHI³⁾, Tatsuto KURAHASHI³⁾,
 Keiji OOSAWA³⁾, Ken NII³⁾, Masahiro Kubota³⁾

¹⁾ Kansai Medical University Hirakata Hospital²⁾ Osaka Medical College Hospital³⁾ Kansai Nuclear Medicine Image Processing Study Group**Key Words** : CBC, 3D-OSEM, FBP, ARG, SPECT

1. はじめに

近年, SPECT (single photon emission computed tomography) の画像再構成法として, 従来の FBP (filtered back projection) 法に代わり, OSEM (ordered subsets expectation maximization) 法が広く利用されてきている。ところが定量解析を伴う脳血流 SPECT においては, 局所脳血流量の精度が問題となるため, 画像再構成法の変更には検討が必要である¹⁾。最近, 岡田 (新井) らが 3 検出器型 SPECT 装置で収集した projection data に対し, コリメータ開口補正を組み込んだ 3D-OSEM (three dimensional ordered subsets expectation maximization) 法で画像再構成を行い, 脳血流量に最適な subset と iteration の条件を提示し, 報告した²⁾。今回, 我々は 3 検出器型 SPECT 装置

よりも設置台数の多い 2 検出器型 SPECT 装置を用い, 岡田 (新井) らと同様の検討方法にて検証したので報告する。

2. 方 法

1) 使用機器

SPECT 装置は, 2 検出器型ガンマカメラ e.cam (東芝メディカルシステムズ社製), コリメータは, LMEGP (low medium energy general purpose collimator) データ処理装置は GMS-5500A/PI, GMS-7700 (東芝メディカルシステムズ社製) を使用した。

2) データ収集および処理方法

マトリクスサイズ 128×128, 拡大率 1.45 倍 (ピクセルサイズ = 3.3 mm) 1 検出器あたり 180 度を

4 度ステップで 1 回転 5 分間, 計 360 度を 90 方向 6 回転の反復連続収集にて行い, 反復収集データを加算して 30 分間の projection data を得た。回転半径は 140 mm とした。photo peak は 159 keV に設定し, main window は photo peak を中心に $\pm 10\%$, さらに main window の上下に 7% の sub window を設定した。得られた sub window 画像に前処理フィルタとして butterworth filter (order 8, cutoff frequency 0.21 cycles/cm) を付加し, main window 画像には filter を付加せず, TEW (triple energy window) 法にて散乱線補正を行った。

画像サーバーに保存してある CT 画像を DICOM (digital Imaging and communications in medicine) 形式でデータ処理装置に転送し, SPECT 画像と位置合わせの後 CT 画像の HU (hounsfield unit) を ^{123}I のエネルギーでの減弱係数に置き換え, 減弱マップを作成して減弱補正を行った。

画像再構成法は GMS-5500A/PI に搭載されている FBP 法を用いた。3D-OSEM 法は, 山木らの開発した逐次近似再構成のアルゴリズム³⁾を GMS-5500A/PI で使用可能としたもので, 東芝メディカルシステムズ社よりソフトウェアの提供を受けた。FBP 法は再構成フィルタに ramp filter, CT 減弱マップを使用し逐次近似 Chang 法で減弱補正を行った。3D-OSEM 法は CT 減弱マップを使用し, コリメータ開口補正を計算過程に組み込んで減弱補正を行った。FBP 法, 3D-OSEM 法ともに前処理フィルタに butterworth filter (order 8, cutoff frequency 0.48 cycles/cm) を使用した。

3) 脳ファントムによる検討

脳ファントムは IB-10 型 (京都科学製) を使用した。ファントムの頭蓋骨想定部に 60 mgI/ml に希釈したヨード造影剤を封入し, 灰白質部に 20 kBq/ml, 白質部に 5 kBq/ml の濃度になるように希釈した ^{123}I -IMP 水溶液を封入した。

(1) カウント比の検討

SPECT 撮像した脳ファントムの projection data に対して FBP 法と 3D-OSEM 法で再構成を行った。3D-OSEM 法は subset を 1, 2, 3, 5, 6, 9, 10, 15, 18, 30 とし, それぞれの subset について iteration を 1 ~ 10 まで変化させた。得られた

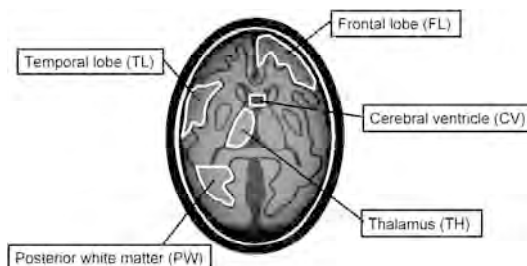


図 1 脳ファントムに設定した ROI

SPECT 像について前頭葉 (frontal lobe : FL), 側頭葉 (temporal lobe : TL) 視床 (thalamus : TH), 後部白質 (posterior white matter : PW), 脳室 (cerebral ventricle : CV) に ROI を設定し, TL の平均カウントを 100% として各 ROI の平均カウントとの比を比較した (図 1)。

(2) NMSE 法による検討

subset が 1, iteration を 100 とした画像を基準画像とし, subset を 1, 2, 3, 5, 6, 9, 10, 15, 18, 30, iteration を 1 ~ 10 まで変化させた画像について NMSE (normalized mean square error) 法にて最適な subset と iteration の組み合わせを検討した。

4) 臨床例による検討

2012 年 2 月から 10 月の期間に ^{123}I -IMP を用いて脳血流 SPECT を施行した 20 例について projection data の頭部正面像の脳領域に関心領域を設定して投影カウントが 20 counts/pixel, 30 counts/pixel, 40 counts/pixel の 3 種類のデータを抽出した。

収集カウントの異なる 3 例の臨床データに対して, 3D-OSEM 法により再構成を行った。subset は, 1, 2, 3, 5, 6, 9, 10, 15, 18, 30 とし, それぞれの subset について iteration を 1 ~ 10 まで変化させた。得られた SPECT 画像に対して, subset が 1, iteration を 100 とした画像を基準画像として NMSE 法にて最適な subset と iteration の組み合わせを検討した。

なお, 臨床画像の検討に使用した 3 症例については, 当院の倫理規定に従い個人が特定されないように配慮した。

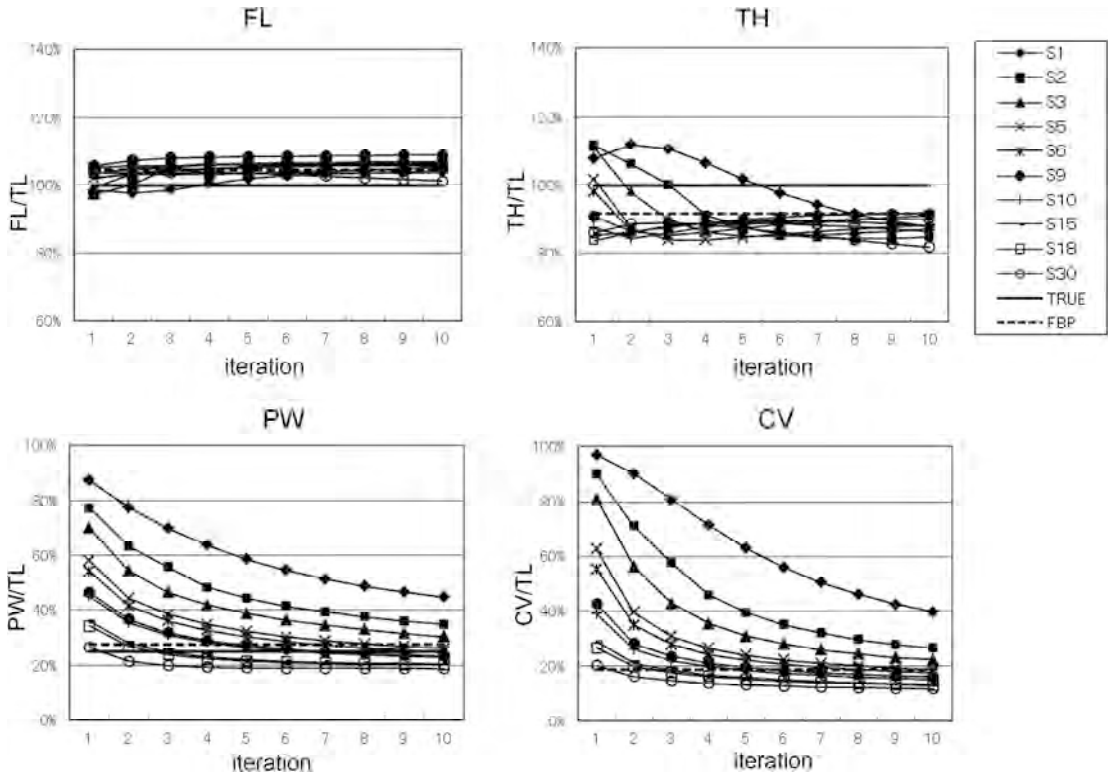


図2 3D-OSEM 法のパラメータの変化と脳ファントムの各部位のカウント比の関係

表1 3検出器と2検出器における脳ファントムの各部位におけるカウント比の比較

部位	3 検出器				2 検出器			
	真値	FBP	3D-OSEM	更新回数 (subset×iteration)	真値	FBP	3D-OSEM	更新回数 (subset×iteration)
FL	100.0%	92.8%	99.1%	18	100.0%	104.4%	104.6%	18
TH	100.0%	106.7%	104.2%	16	100.0%	91.5%	89.3%	54
PW	22.0%	23.8%	24.8%	46	25.0%	27.6%	23.9%	70
CV	0.0%	3.0%	4.7%	60	0.0%	19.0%	17.3%	69

5) プロファイルカーブによる比較

収集カウントの異なる3種類の臨床データに対してNMSE法で求めた最適なsubsetとiterationを用いた3D-OSEM法とFBP法で画像再構成を行った後、ARG (autoradiography) 法によりCBF (cerebral blood flow) 画像を作成した。なお、検討に使用した全てのsubsetとiterationの組み合わせについてCCF (cross calibration factor) 値を求め、ARG法を行った。得られたCBF画像について基底核レベルと側脳室レベルにカウントプロファイルを設定し、得られたプロファイルカーブを比較した。

3. 結 果

1) 脳ファントムによる検討

図2に3D-OSEM法においてsubsetを1, 2, 3, 5, 6, 9, 10, 15, 18, 30, iterationを1~10まで変化させたときの脳ファントムの各部位のカウント比を示した。表1には、3D-OSEM法において、subsetとiterationの変化に伴い、各部位のカウント比が一定値に収束したときの更新回数(subset×iteration)と平均カウント比、FBP法で再構成したときの各部位の平均カウント比を岡田(新井)らの3検出器型SPECT装置での検討結果と

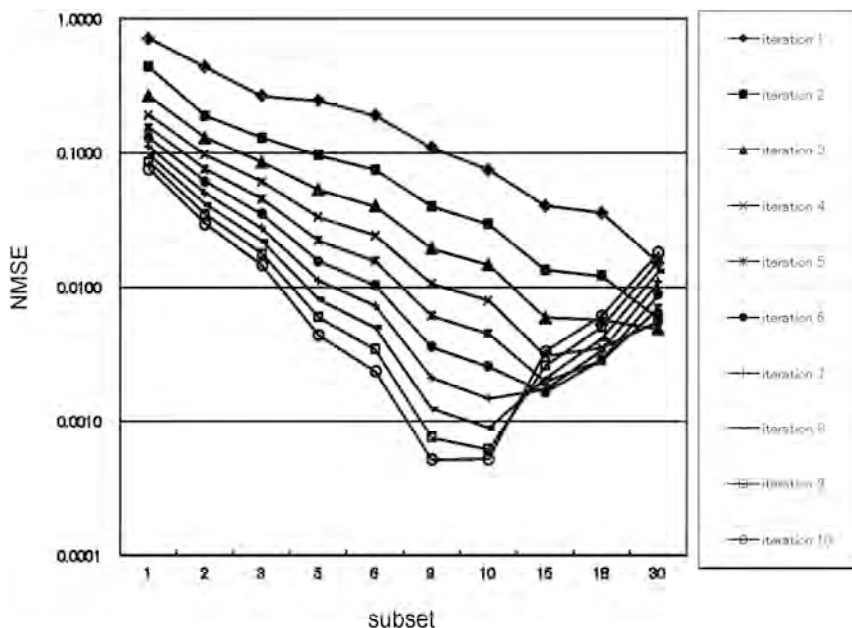


図3 3D-MLEM (iteration 100) を基準画像としたとき, 3D-OSEM 法の各パラメータに対する NMSE 値の変化 (脳ファントム)

今回の2検出器型 SPECT 装置での結果を対比させて示した。FL は3検出器, 2検出器ともに更新回数18以上で収束した。TH は3検出器では更新回数が16以上で平均カウント比104.2%に収束したが, 2検出器では subset 6, 9, 10 のみが更新回数54以上で平均89.3%に収束し, subset 1, 2, 3 および subset 15, 18, 30 では収束しなかった。PW は subset 1, 2, 3 では収束が認められず, subset 5 以上, 更新回数70以上で平均22.4%に収束した。最もカウントの低い CV でも subset 1, 2, 3 は収束せず, 更新回数69以上で平均15.2%に収束した。

図3に3D-MLEM (subset 1, iteration 100) 法を基準画像とし, subset と iteration を変化させたときの NMSE 値の結果を示す。Subset 9 iteration 10 で NMSE 値が最小となった。

2) 臨床データによる検討

図4に3D-MLEM 法を基準画像とし, projection data の頭部正面像の投影カウントが 20 counts/pixel, 30 counts/pixel, 40 counts/pixel の3種類の臨床データについて, subset を 1, 2, 3, 5, 6, 9, 10, 15, 18, 30, iteration を 1~10まで変化

させた画像の NMSE 値の推移を示す。投影カウント 20 counts/pixel の低カウント症例では, subset 10, iteration 9, 30 counts/pixel の症例では, subset 10, iteration 9, 40 counts/pixel の高カウント症例では, subset 9, iteration 10で, それぞれ NMSE 値が最小値を示した。図5に30 counts/pixel の臨床データを例として, 基準画像の3D-MLEM 画像と subset および iteration を順次変更して再構成を行ったときの大脳基底核レベルの画像の変化を示す。

3) プロファイルカーブの比較

カウントプロファイルを設定した大脳基底核と側脳室レベルの FBP 法と 3D-OSEM 法の画像とプロファイルカーブを図6に示す。3D-OSEM 法は FBP 法に比べて高血流域の CBF 値が高く, 視床の CBF 値の比較では 3D-OSEM 法が FBP 法に比し最大で27.9%高値を示した。その他の大脳皮質, 側脳室ではプロファイルカーブに差は認められなかった。

4. 考 察

岡田 (新井) らがファンビームコリメータを装

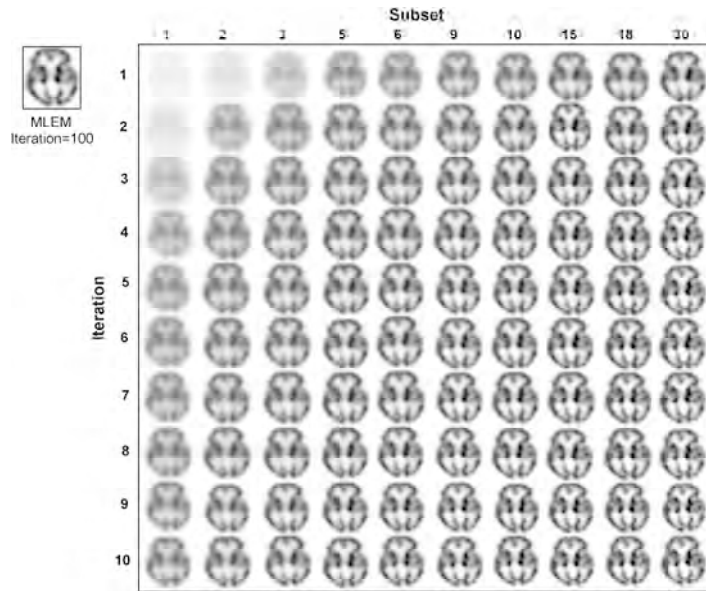


図4 20 counts/pixel の臨床データにおいて subset 1~30, iteration 1~10 の組み合わせに対する 3D-OSEM 法の画質の変化

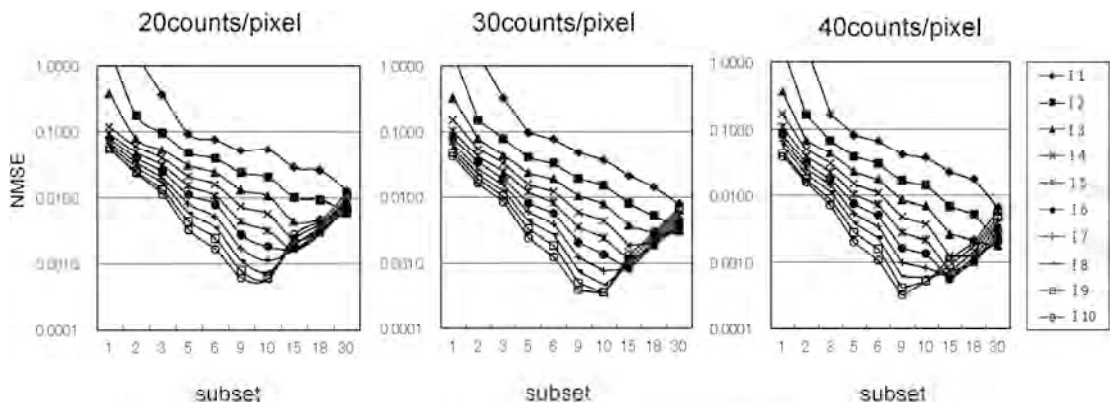


図5 3D-MLEM (iteration 100) を基準画像としたとき、3D-OSEM 法の各パラメータに対するNMSE値の変化 (臨床例)

着した3検出器型SPECT装置を用いてコリメータ開口補正を組み込んだ3D-OSEM法の最適パラメータを求めた検討と同じ方法を用いて、平行ホールコリメータを装着した2検出器型SPECT装置について検討した。

脳ファントムによるカウント比の検討では、3検出器と同様にファントムの表面に近い領域であるFLが真値100%に対してデータ更新回数18以上で平均104.6%に収束した。ところが深部領域のTHではsubset 6, 9, 10は更新回数54以上で平均89.3%に収束したが、subset 15, 18, 30は更新

回数が100を越えるあたりから発散する傾向になった。PWでは真値25%に対して更新回数70以上で平均22.4%に収束し、放射能分布のない領域であるCVでは、更新回数69以上で平均15.2%に収束した。カウントが低いほど更新回数が大きくなる傾向は、3検出器の場合と同様であるが2検出器ではその現象がより大きく認められた。3検出器と2検出器の大きな違いは、ピクセルサイズである。ファンビームコリメータを装着した3検出器型SPECT装置のピクセルサイズが1.72 mmに対して平行ホールコリメータを装着した2

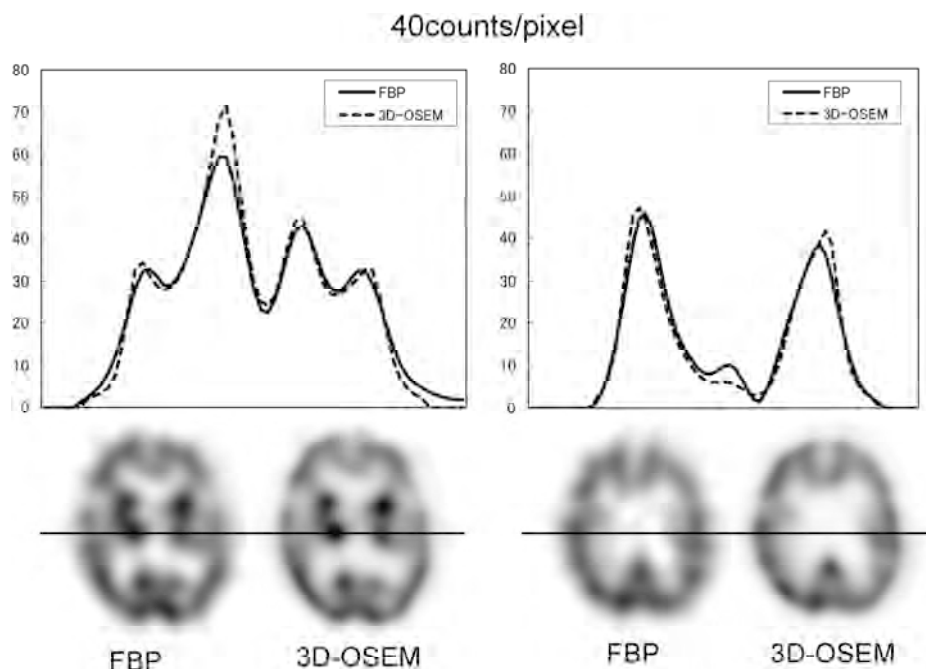


図 6-1 40 counts/pixel 収集症例における大脳基底核および側脳室レベルのプロファイルカーブ

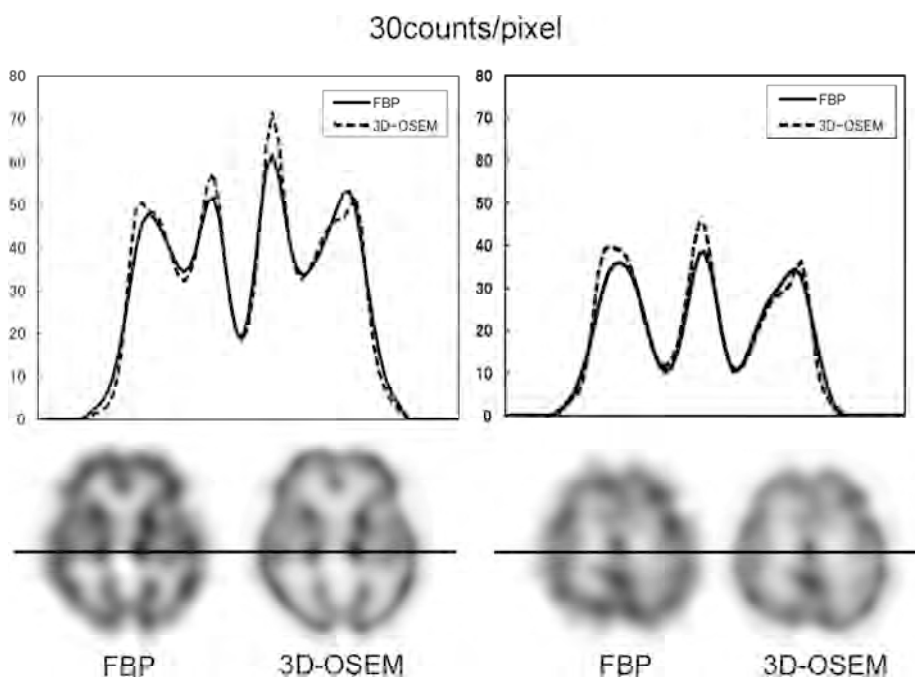


図 6-2 30 counts/pixel 収集症例における大脳基底核および側脳室レベルのプロファイルカーブ

検出器型 SPECT 装置では 3.3 mm と 2 倍近い。深部領域の TH において 3 検出器が更新回数16回以上で平均104.2%に収束したにもかかわらず、

2 検出器では更新回数が100回を越えると発散傾向にある。この原因としてはピクセルサイズの差が補正効果に影響を与えていると推測されるが、

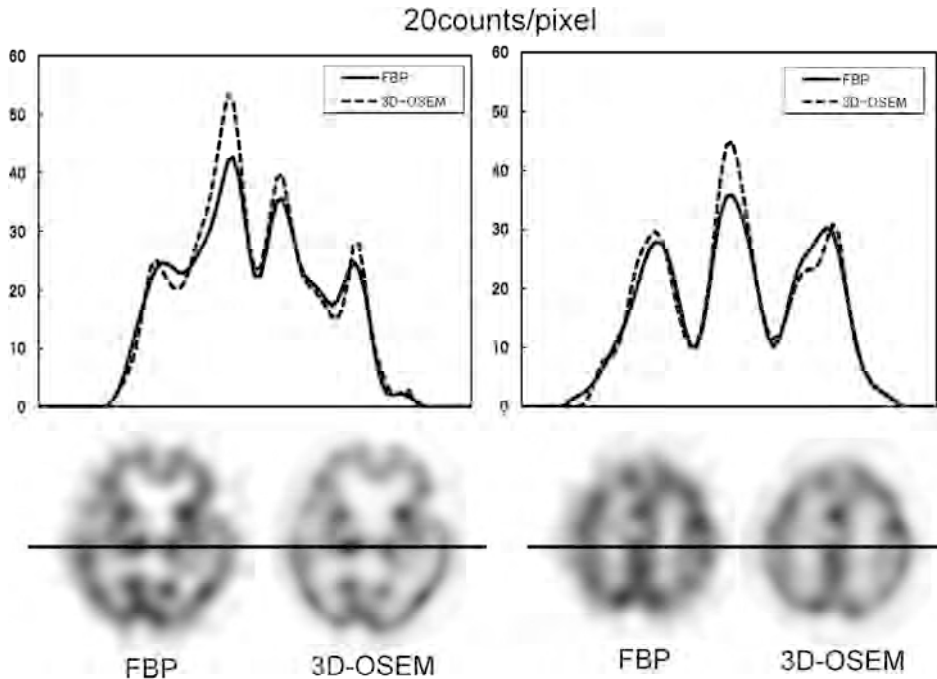


図 6-3 20 counts/pixel 収集症例における大脳基底核および側脳室レベルのプロファイルカーブ

記載された文献が無く今後の検討課題としたい。また、本来カウントが0である CV でのカウント比が3検出器より2検出器の方が大きくなった原因としては、ピクセルサイズの違いにより部分容積効果の影響が増大したためと考える。

NMSE 法での検討では、ファントムが subset 9, Iteration 10, 臨床例が subset 10, iteration 9 および subset 9, iteration 10 の組み合わせ、すなわちデータ更新回数が90で MLEM (iteration 100) の画像に最も近くなった。データ更新回数90のときの脳ファントムのカウント比の平均値は FL = 107.5%, TH = 90.6%, PW = 23.4%, CV = 15.9%, FBP 法では, FL = 104.4%, TH = 91.5%, PW = 27.6%, CV = 19.0% となり, 実測値 FL = 100%, TH = 100%, PW = 25%, CV = 0 % と比較しても 3D-OSEM 法は FBP 法と同等であり, 低カウント領域では実測値に近い結果となった。

5. ま と め

パラレルホールコリメータを装着した2検出器型 SPECT 装置において, 3D-OSEM 法の処理条件はデータ更新回数90程度が最適であった。これ

はファンビームコリメータを装着した3検出器型 SPECT 装置と同等の結果となった。

なお, 本研究は関西核医学画像処理研究会活動の一環として行った。

文 献

- 1) 佐々木和子, 佐藤亜結子, 大村知己, 他. OE-SM 法の ^{123}I -IMP ARG 法への適用の試み—FBP 法との比較—. 日放技学誌, **60** (5) : 734-739, 2004
- 2) 岡田真美, 林万寿夫, 辻 久志, 他. コリメータ開口補正 OSEM 再構成法の局所脳血流量への応用. 日放技学誌, **68** (5) : 573-583, 2012
- 3) 山本範泰, 夏目貴弘, 竹田 寛, 他. OS-EM 法による SPECT 再構成における同時分解能補正に関する研究. メディカルレビュー, **28** (1) : 47-53, 2004
- 4) 篠原広行, 山本智朗, 杉本英治, 他. SPECT の散乱, 吸収, 分解能補正. Med Imag Tech, **18** : 24-32, 2000
- 5) 大西英雄, 原本泰博会 : 3次元コリメータ開口補正の基礎的検討. 日放技学校医学分科会誌, **52** : 12-17, 2006