

PET 描出能向上を目的とした分解能補正効果の検討

佐々木敏秋、寺崎一典、世良耕一郎

岩手医科大学サイクロトロンセンター
020-0603 岩手県滝沢市留が森 348-58

1 背景と目的

PET 装置は構造的に中心部の分解能が高く周辺部は劣る性質がある。昨年、当センターの島津製作所製 PET Eminence-Sophia にエンハンスリコンパッケージが導入された。このパッケージは PET の視野周辺部をより詳細に検出可能な分解能補正が組み込まれている。今回は空間分解能ファントム（デレンツファントム）を用い、分解能補正の効果を用いた場合の画像の描出能について検討を行った。

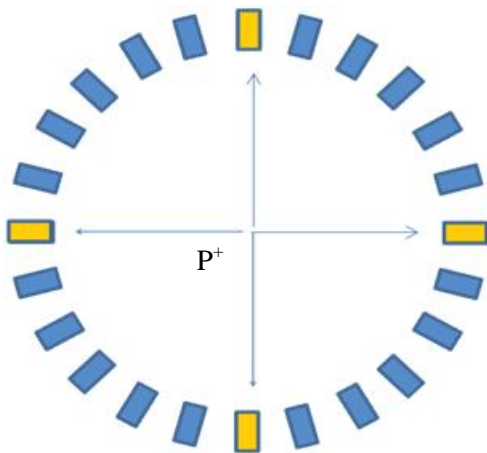


図 1-a

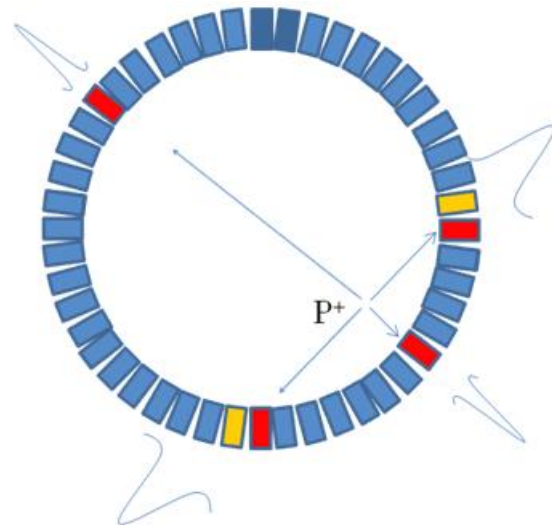


図 1-b

分解能補正とは Point spread function (PSF) とも呼ばれている。PET 装置はガンマー線を互いに反対の検出器で受け取る。PET の有効視野 Field of View (FOV) の中心であればさほど問題とならないが、図 1-a、図 1-b に示されているように PET FOV の周辺部へ向かうごとに検出器にはガンマー線が斜めに入り込むことになる。そのため PET の分解能が劣化し、PET FOV の中心部においては丸い形状が、周辺部において楕円形となってしまうことを補正するものである。また、分解能補正効果は PET FOV 周囲だけでなく中心部にも及ぶとされ、被写体の周囲が強調されるギブスアーチファクトも生じる。これが定量値を過補正してしまう原因と考えられている^{1,2}。

2 測定方法

2.1 前処理

デレンゾファントムにおよそ 8 MBq/ml の Fluoro-deoxy-glucose (FDG)を満たす。線源準備に時間を要するため少し多めの線源準備と調整を行い、6.0 MBq/ml となった時点でエミッションデータ収集を実施する。この濃度はがん FDG-PET/CT 撮像法ガイドライン³で Standardized Uptake Value(SUV)を 4.0 と想定した値となる。がん FDG-PET/CT 撮像法ガイドラインと異なる点は線源の形状がデレンゾファントムの使用では円柱形であること、線源周囲に RI が存在しないことである。

2.2 使用機器

島津製作所製 Eminence Sophia (SET 3000 GCT/M)

デレンゾファントム (直径 20cm 長さ 88mm)

穴の直径 (mm) と数、3.5 mmφ-89 個、4.0 mmφ-66 個、4.5 mmφ-55 個、5.0 mmφ-45 個、5.5 mmφ-36 個、6.0 mmφ-28 個

FDG 8 MBq

2.3 データ収集

データ収集は減弱補正データ収集とエミッションデータ収集を、通常の臨床条件で実施の後、画像再構成を行った。減弱補正の線源は ¹³⁷Cs (740MBq)、FDG はがん FDG - PET/CT 撮像法ガイドラインの規定 (2.65 kBq/ml の 4 倍) の濃度になる時間と同時にエミッションデータ収集を実施した。収集時間は 60 分間としリストモード収集とした。これはコンピュータの容量に依存するため、もし容量が少ない場合はダイナミック収集がよいと考える。画像再構成とその条件は表 1 の通りである。Eminence Sophia には DRAMA (Dynamic Ramira) と 3D-DRAMA で分解能補正を実施可能となっている。FBP と Ordered Subset Expectation Examination (OSEM)には準備されていない。

表 1

image-reconstruction terms				
FBP	cutoff	08,	order	2, filter FWHM 4.0mm
OSEM	subset	26,	iteration	4, filter FWHM 4.0mm
DRAMA	filter cycle	0,	iteration	4, filter FWHM 4.0mm
3D-DRAMA	filter cycle	0,	iteration	1, filter FWHM 6.0mm
DRAMA	filter cycle	0,	iteration	4, filter FWHM 4.0 mm(分解能補正)
3D-DRAMA	filter cycle	0,	iteration	1, filter FWHM 6.0 mm(分解能補正)

解析はデレンゾファントムの線源部の直径 6.0、5.5、5.0、4.5、4.0、3.5 mm と同じ大きさの ROI を設置し、そのカウントで評価するのが本来の解析法と考えるが、コンピュータ上で設置可能な円形 ROI は 6.0、4.0、2.0 mm であったため、ファントム直径 6.0、5.5 mm には 6.0 mm の円形 ROI、ファントム直径 5.0、4.5、4.0、3.5 mm には直径 4.0 mm の円形 ROI を設置した。解析上線源部の直径よりも大きな ROI の設定

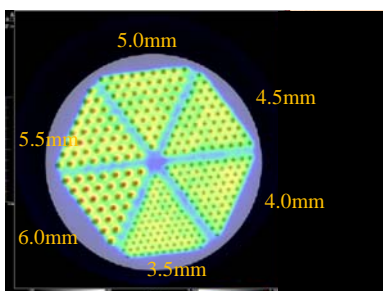


図 2 CT との重ね合わせ

は問題となるが今回はこの ROI の設定で実施した。図 2 は PET と CT で画像を重ねた様子である。周囲の数字はファントムの直径であり mm 単位で表示している。PET の画像は空間分解能に乏しく 10 mm 以下の ROI を設定する場合は、CT 画像上に設置し PET 画像に適用する方法がよい。視覚評価においては個人の識別能力の異なりもあるため評価が難しく、本来は核医学に精通した者が数人で評価するべきであるが今回は一人の評価で実施した。

3 結果

本研究でのデータ収集時間は60分である。これは、臨床条件とはかなりかけ離れているが、より分解能補正効果を明確にするため、長時間のデータ収集とした。表示した画像のスライス厚は2.0 mm、PET装置の対軸有効視野の中心のスライスとした。FBPは現在では臨床に用いられることは少なくなっている画像再構成法である。それは低線量におけるFBPの画質はOSEMと比較し低下傾向にあること、さらにストリープアーチファクトの発生に起因とするところが大きい。しかし、定量性には優れているとされ脳循環代謝測定に利用されている。図3-1 a、図3-1 bはFBPとOSEM法の画像である。説明は逆転するがOSEM法ではFBP程には表示されていない。通常OSEMの方が低線量での描出能が高いため、この場合は線量が十分にあるか又は、画像再構成条件とその後のフィルターを検討することで改善すると思われる。

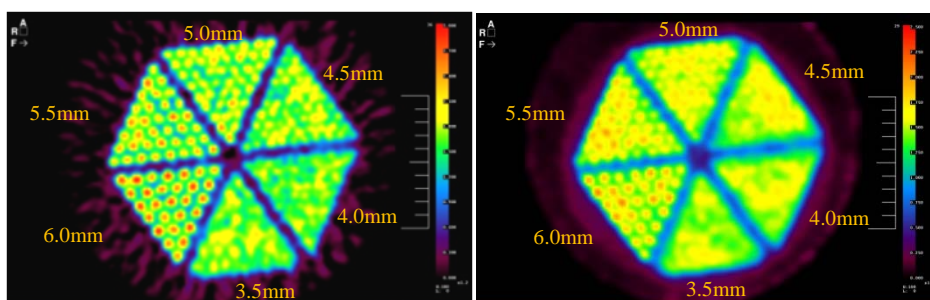


図 3-1 a FBP

図 3-1 b OSEM

図3-1 c、dはDRAMA法での分解能補正前後の画像である。分解能補正した方が画像の描出能が高いことがわかる。矢印の部分で顕著に表れている。これは通常の臨床でFDG全身画像の時の条件である。

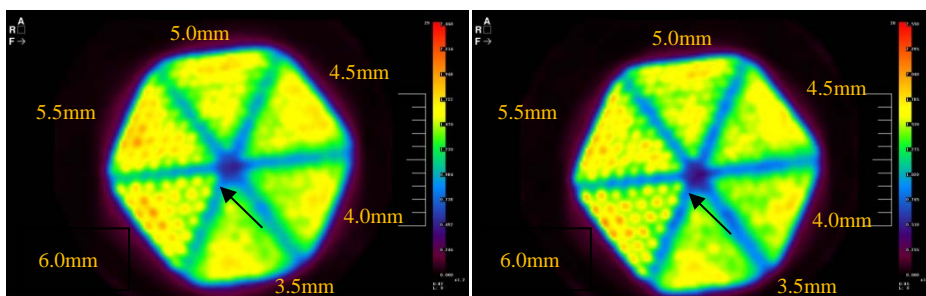


図 3-1 c DRAMA 全身条件

図 3-1 d DRAMA 全身条件+分解能補正

図3-1e、fはDRAMA法での分解能補正前後の頭部撮像条件の画像である。分解能補正した方が画像の描出能が高いことがわかる(矢印)。両者では直径4.5mmまでなら判別可能であるが、分解能補正を実施した方がより鮮明に描出されている。

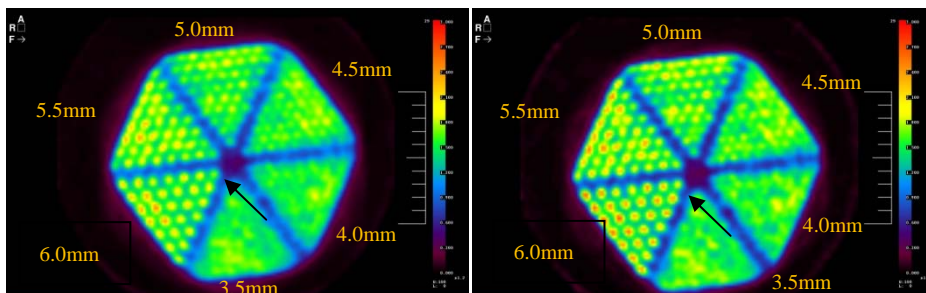


図 3-1 e DRAMA 頭頸部条件

図 3-1 f DRAMA 頭頸部条件+分解能補正

図 3-1 g、h は 3D-DRAMA 法での分解能補正前後の画像である。この場合は分解能補正した方が画像の描出能が低いということがわかる。3D-DRAMA 法は画像再構成時間が長いので当施設の通常の臨床では使われていない。また描出能が悪くなった原因は定かではないが補正しているにもかかわらず画像が劣化していることから推測すると画像再構成の緩和係数が関係している可能性がある。3D-DRAMA 法で分解能補正を実施した場合はファントム直径 6.0 mm でさえも明確な描出は困難となり、最適な画像再構成条件を模索する必要がある。

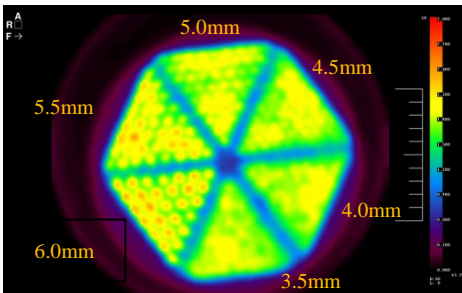


図 3-1 g 3D-DRAMA 全身条件

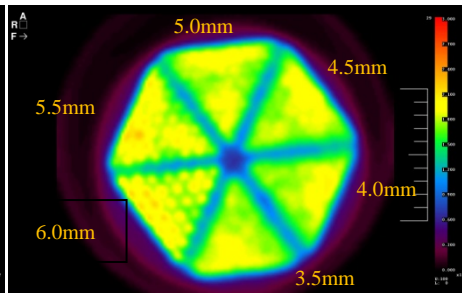


図 3-1 h 3D-DRAMA 全身条件+分解能補正

図 3-1 i、j は 3D-DRAMA 法での頭部撮像条件での分解能補正前後の画像である。この場合も分解能補正した方が画像の描出能が低いということがわかる。つまり 3D-DRAMA に於いては分解能補正はしない方がよいということがわかる。画像からは、補正前と比べ補正後はファントム周囲側のカウントが高く中心部が低い印象を受ける。

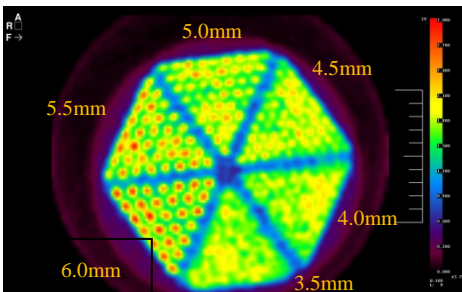


図 3-1 i 3D-DRAMA 頭頸部条件

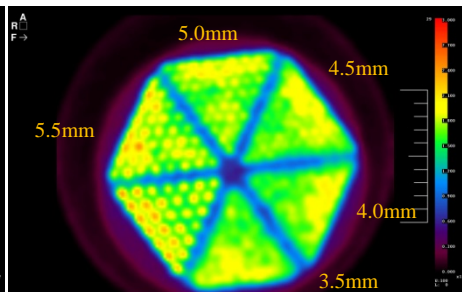
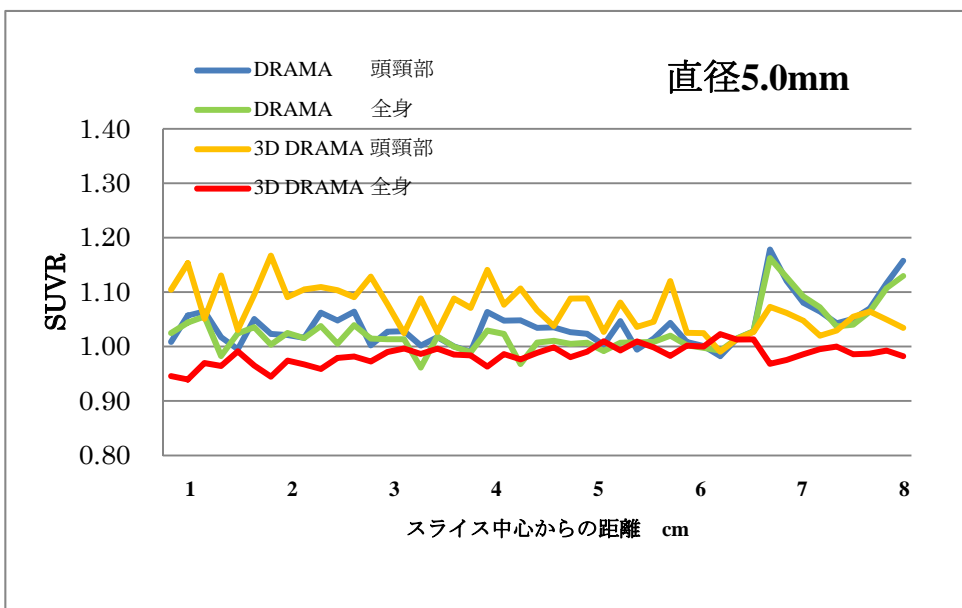
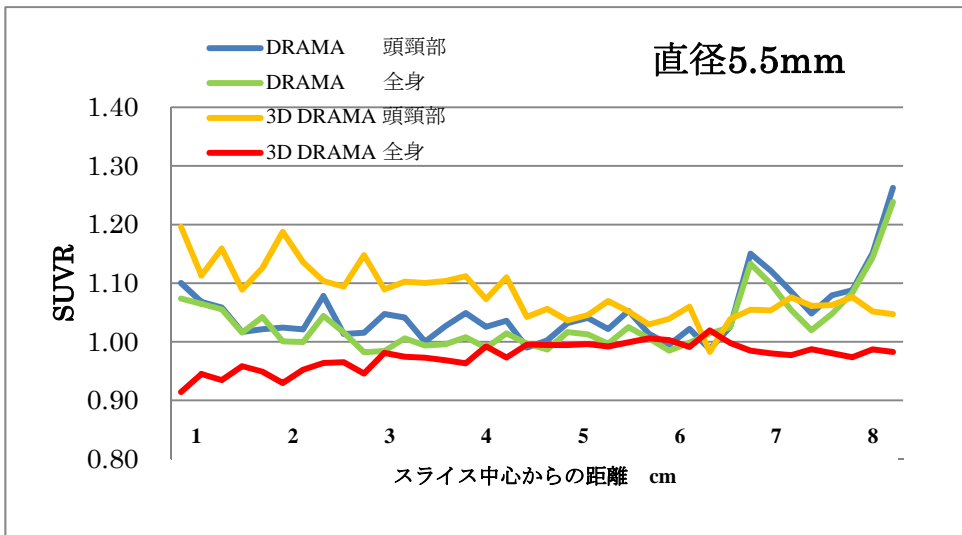
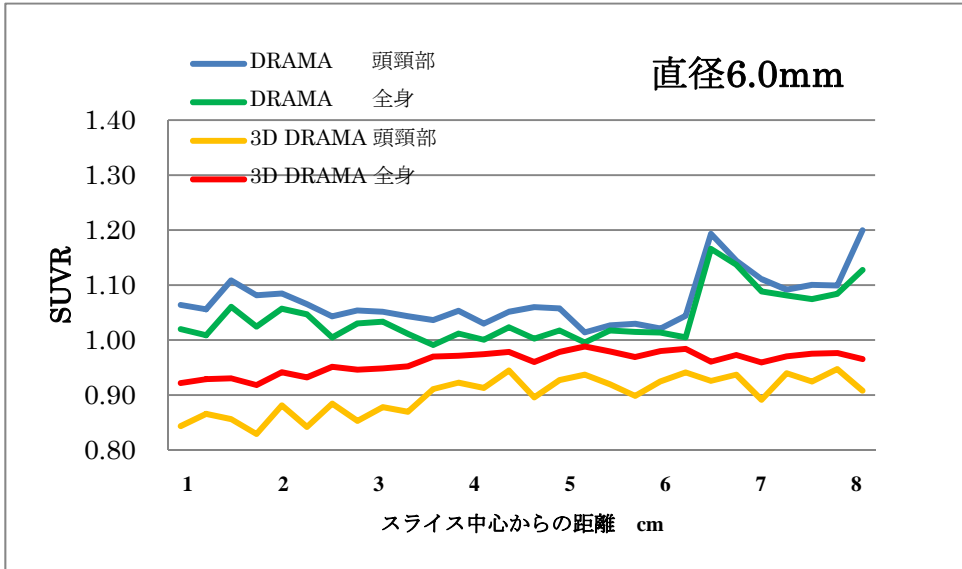


図 3-1 j 3D-DRAMA 頭頸部条件+分解能補正

これらの画像に ROI を設置しグラフ化したものが次の図 3-2 のグラフである。



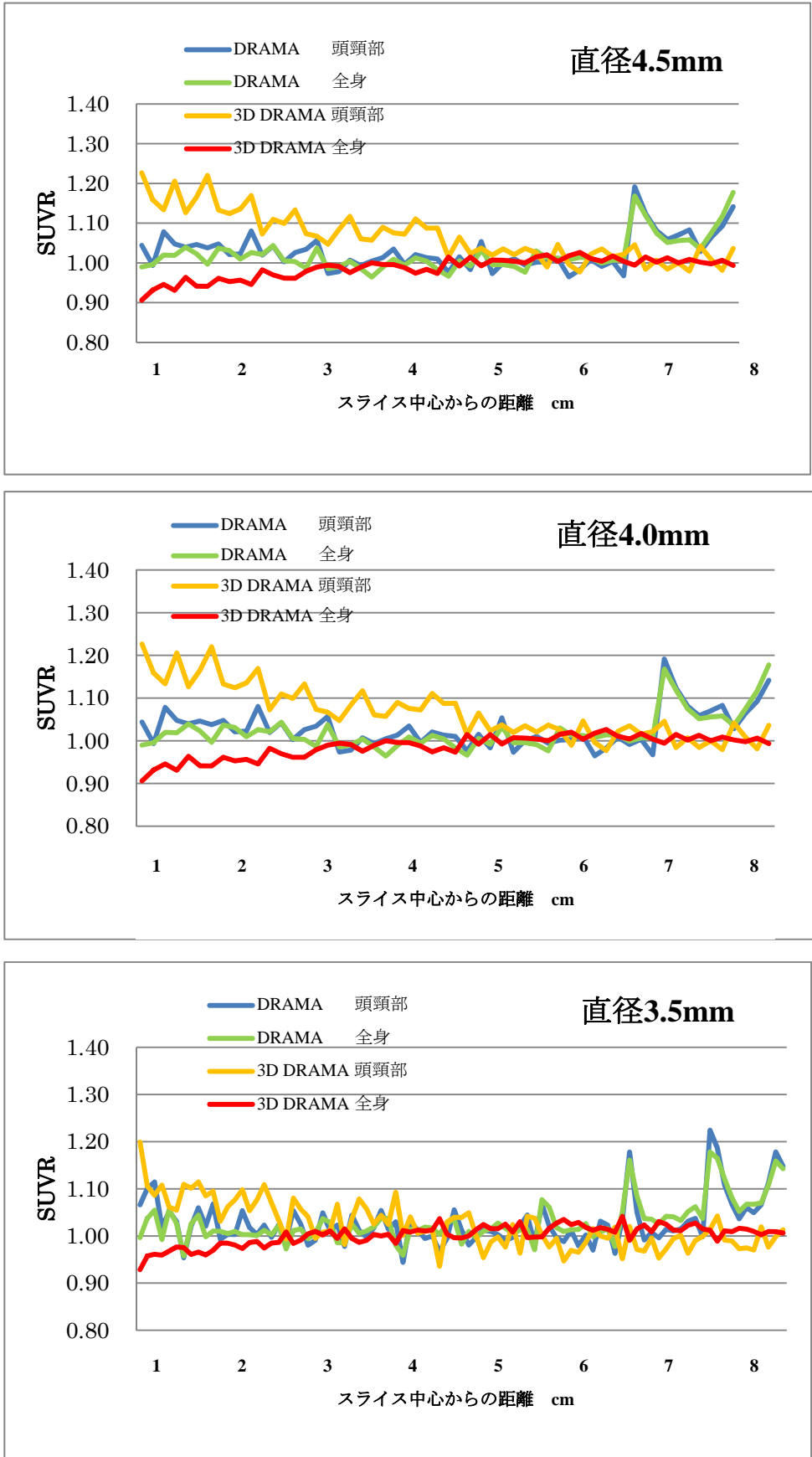


図 3-2

グラフは分解能補正前後のSUVの比で表している。直径6.0 mmにおいてDRAMA法の全身(緑)、DRAMA法の頭頸部(青)は中心部が高く周囲に行くほど低くなっているが、スライス内FOV中心から7 cmあたりで急激にグラフが上昇している。それ以下の径でも同様の傾向がある。3D-DRAMAの全身(赤)はガントリー中心部でSUV比0.92-0.95、PET FOV周囲ではほぼ1.0の値であり、デレンゾファントムの直径にかかわらず同様の傾向である。しかし3D-DRAMAの頭頸部(黄)の直径6.0 mmの場合は補正後が低いがそれは5.5 mm以下での径では補正後のデータの方が大きい。ただし3D-DRAMAにはDRAMAで見られる急激なPETカウントの上昇はなく、PET-FOV周囲においてもほぼ1.0程となっている。

4 考察

ただし3D-DRAMA法は被写体外からの散乱線を画像再構成法のみで除去してくれる結果を示しているため今後最適な条件を模索する必要がある。

分解能補正後は、DRAMA法において描出能は高くなるが3D-DRAMA法では逆に低下する。これは視覚評価においても同様であった。

DRAMA法では分解能補正効果後のPETデータは視野周辺部で急激に上昇する。

3D-DRAMA法において、分解能補正後はPET値の低下、視覚評価の低下を来すため別な再構成条件を設定する必要がある。したがって、現在臨床で腫瘍描出能を考慮した分解能補正を実施する場合はDRAMA法と組み合わせるのが良い。

参考文献

- 1) 中村明宏、谷崎靖夫、竹内美穂、伊藤繁、佐野由高、佐藤真由美、菅野敏彦、岡田裕之、鳥塚達郎、西澤禎彦、“PET画像におけるPSF補正が定量値に与える影響—ファントム実験と臨床画像からの検討—”, 日本放射線技術学会誌, Vol70, No.6 Jun 2014
- 2) Gengsheng L. Zeng, “Gibbs Artifact Reduction by Nonnegativity Constraint”, J Nucl Med Technol 2011; 39:213–219.
- 3) 福喜多博義、林万寿夫、鈴木一史、松本圭一、北村秀秋、大崎洋充、阿部誠、桜井実、清水敬二、“FDG-PET/CT撮像法ガイドライン”、核医学技術、Vol.29 No.2. 2009

Examination of PSF correction for improving image quality of PET

T.Sasaki, K.Terasaki and K.Sera

Cyclotron Research Center, Iwate Medical University
348-58 Tomegamori, Takizawa, Iwate 020-0603, Japan

Abstract

Spatial resolution in PET is known to be higher at the center of the field of view (FOV) than in the periphery. Last year we introduced Enhanced Recon Package software equipped with a programme to correct the spatial resolution in the periphery of the FOV. Here we examined how the PET/CT image quality, resolution, and quantification could be improved with this software using Derenzo phantom.

Method: According to the "Japanese guideline for the oncology FDG-PET/CT data acquisition protocol: synopsis of Version 2.0.", 6 MBq/ml FDG was poured into the Derenzo phantom and data acquisition was held dynamic; 1min*5, 5min*1, 10min*2, 30min*1, after transmission scan. We used six image reconstruction methods; FBP, OSEM, DRAMA, 3D-DRAMA, DRAMA with corrected PSF, and 3D-DRAMA with corrected PSF.

Result: Although we assumed that PET ROI counts with PSF correction would be higher than the counts without correction, image data obtained by 3D-DRAMA with PSF correction were less than those obtained without correction. For imaging small cancer in PET, it is considered to be preferable that DRAMA is used with PSF correction.