

## 線源周囲のバックグラウンドを含めた PET 描出能の検討

佐々木敏秋、寺崎一典、世良耕一郎

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

### 1 背景と目的

通常、半値幅 (Full Width Half Maximum、FWHM) は異なる 2 点間の線源を分離する能力を表している。しかし、部分容積効果そして画像再構成法、散乱補正法等により異なってくると考えられる。図 1 に示すように、FWHM は周囲にバックグラウンドが無い状態で測定されている<sup>1-3</sup>。一方で腫瘍の場合は (図 2 矢印)、その周囲に少ないながらも γ 線が発生する臓器が存在するため画像に影響し、半定量値である Standardized Uptake Value (SUV) は変化すると考えられる。本研究は線源周囲にバックグラウンドが存在しない場合の SUV 値を真の値としてとらえ、その値が線源周囲のカウントによりどの程度変化するかを検討し報告するものである。



図 1 : FWHM を測定する場合に撮像された点線源の画像

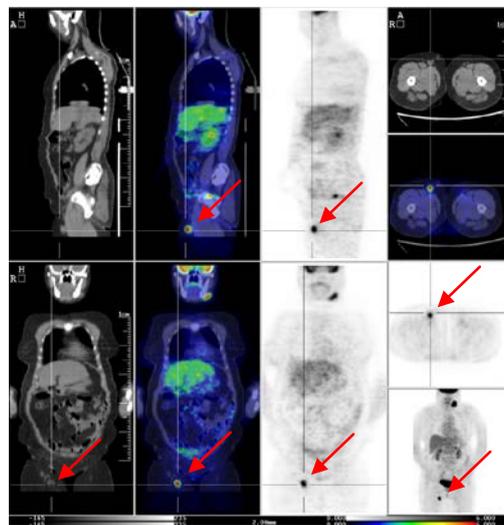


図 2 : 全身の FDG PET 画像

## 2 方法

### 2.1 使用装置と画像再構成条件

使用装置は PET Eminence Sophia (SET 3000 GCT/M)、FDG 3.0 MBq、注射器 20 ml、エクステンションチューブ (50 cm) 6 本 (内径 1.1 mm、外径 2.2 mm) である。PET 画像再構成は、当センターの頭頸部用で実施した。その条件は Dynamic Row-Action Maximum Likelihood Algorithm (DRAMA) 法、フィルタサイクル 0、iteration1、マトリクスサイズ 256×256 ピクセル、Field Of View (FOV) 256×256 mm である。

#### 2.1.1 測定方法 I : 周囲にバックグラウンドがない場合の 2 点間の分離能力

臨床 PET 画像は細かいものが見えるのがよい。また常に腫瘍の周囲に線源が存在する。しかし、今回のように線源の周囲にさらに線源を配置し、数ミリ単位の細かい描出を検討しているファントムは存在しないため、自作した。最初に 2 点間の分離能力を見るために、測定法 I として 6 本のエクステンションチューブを並べ 20 ml の注射器に巻き付けた。すると、縦厚 1.1 mm、横厚 13.2 mm の線源が出来上がる。通常、正確に 1 mm 程度の線源とその間隙を作ることは難しい。しかし、エクステンションチューブであれば、ある程度の精度が保たれておりファントム作製も容易となる。この 6 本のエクステンションチューブを 20 ml のシリンジに巻き付けて固定し、自作ファントムとした。測定方法 I では、この自作ファントムの 6 本のエクステンションチューブに 2.65 kBq/ml × 4、8、16 倍 (SUV4.0、8.0、16.0 に相当) の 3 種類の異なる濃度の FDG を封入し、3 分間のデータ収集を実施した。このデータ収集時間は通常の腫瘍 PET で使われている長さに対応する。図 3 は注射器に 6 本のエクステンションチューブを巻き付けた様子である。わかりやすくするためにエクステンションチューブに番号を付け色分けした。

続いて、このエクステンションチューブへの FDG の封入方法とデータ収集について説明する。最初に番号 1 のエクステンションチューブに FDG を封入する。この場合は縦、横方向ともに線源の厚さが 1.1 mm となる。

残りの FDG を封入しない 5 本のエクステンションチューブが 11.1 mm の間隙となる。続いて番号 2 のエクステンションチューブにも FDG を封入しデータ収集を行う。この場合は先の番号 1 の線源と合わせ、縦方向に 1.1 mm 横方向に 2.2 mm 厚の線源、間隙は 9.9 mm となる。このような手順で番号 6 までのすべてのエクステンションチューブに FDG を封入すると、縦方向 1.1 mm、横方向 6.6 mm、間隙 1.1 mm の線源が出来上がる。注意事項として、すべてに FDG を封入した場合、6 本ごとのエクステンションチューブの区切りがなくなり注射器の長さが線源となるが、今回は便宜上 6.6 mm の線源とする。

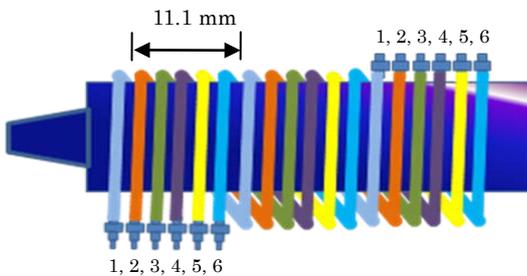


図 3 : 注射器にエクステンションチューブを巻き付けた様子

#### 2.1.2 測定方法 II : 周囲にバックグラウンドがある場合の 2 点間の分離能力

測定法 II では、周囲にバックグラウンドがあることを想定し注射器の中にも FDG を挿入し、エクステンションチューブの画像から 2 点間の分離能力の程度とカウントを見た。注射器内の FDG 濃度は 2.65 kBq/ml とした。これは体重 70 kg の人に 185 MBq の FDG 等 RI を投与した場合の SUV1.0 に相当する濃度である。エクステンションチューブへの FDG の封入とデータ収集方法、データ収集時間は測定法 I と同様とした。つまり、注射器内の濃度に対しエクステンションチューブは 4 倍、8 倍、16 倍となる。図 4 は注射器内に FDG を取り込む様子のイメージ図である。

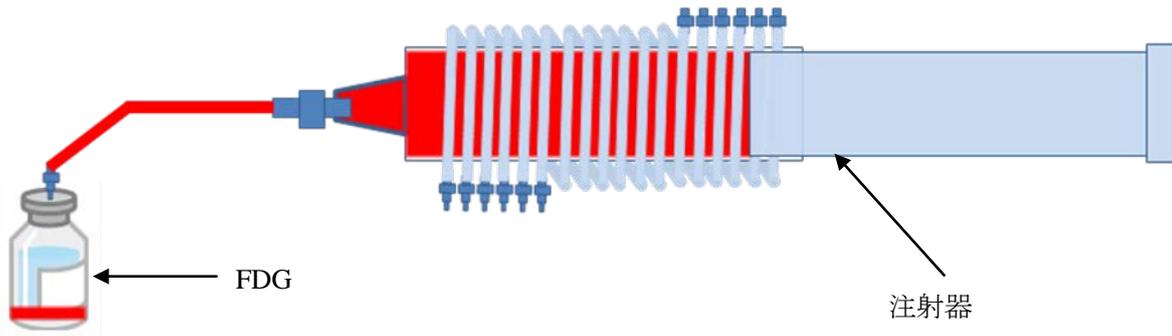


図 4 : 注射器の内部にも FDG を注入した様子

### 3 結果

巻き付けられたエクステンションチューブは注射器の中心であればその断面は正円に表示され、中心から外れるとその画像は楕円形となる。図 5 にその様子を示す。A はスライス中心、B は中心から 5.2 mm の距離、C は中心から 10.4 mm、D は中心から 15.6 mm の画像である。B から D は中心ではないため多少とも楕円形となるはずであるが、ほぼ円形でしかも縦ではなく横方向の楕円形として撮像されている。C はエクステンションチューブの上下の間隔が狭くなっている様子がうかがえる。D は端のため点とも線ともつかない形状である。この中で、今回はその注射器の中心となる A の状態の画像を評価した。

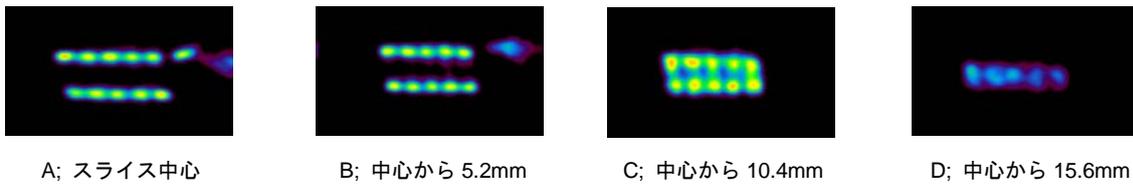


図 5 : スライス中心からの距離の違いで生じる PET 画像

#### 3.1 測定法 I 周囲にバックグラウンドが無い場合の画像

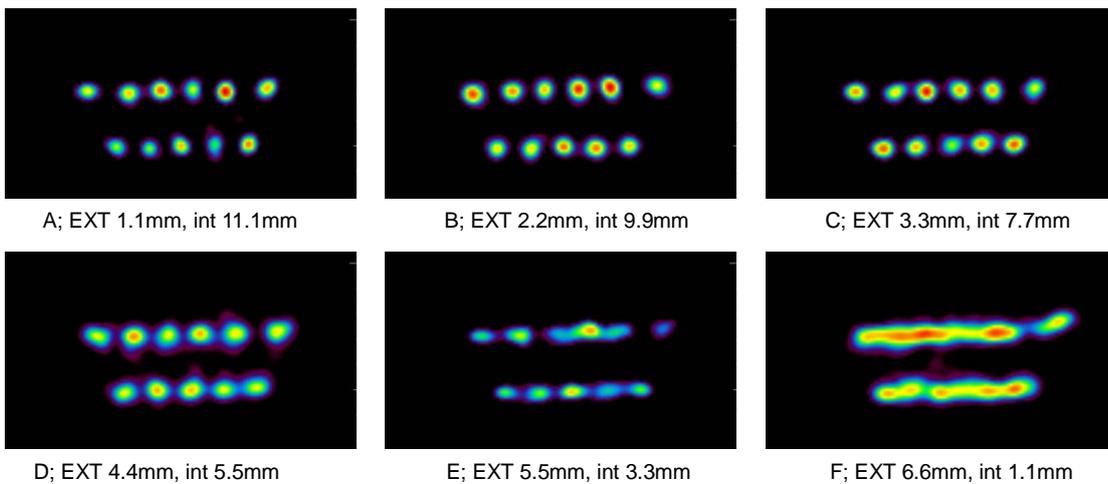
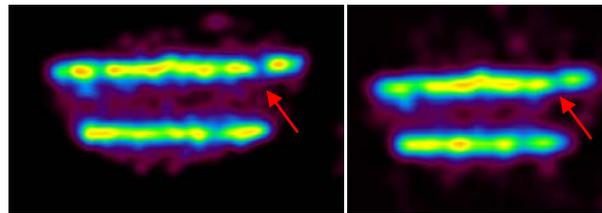


図 6 : 得られた SUV4.0 相当の画像

1.0 mm/pixel、EXT=エクステンションチューブ、int=インターバル (間隙)

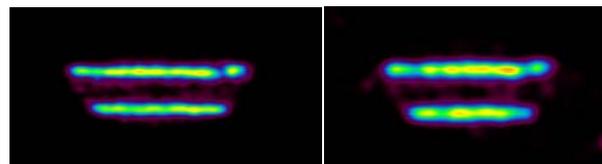
図 6 がその結果の画像である。A はエクステンションチューブ 1 本、間隙 11.1 mm、B はエクステンションチューブ 2 本、間隙 9.9 mm、C はエクステンションチューブ 3 本、間隙 7.7 mm、D はエクステンションチューブ 4 本、間隙 5.5 mm、E はエクステンションチューブ 5 本、間隙 3.3 mm、F はエクステンションチューブ 6 本、間隙 1.1 mm の画像である。それぞれ線源の横方向の厚さと間隙が異なる。ピクセルサイズは 1.0 mm/pixel である。興味深いことは、すべてにおいて円形状に表示されるということである。



G : 厚さ 6.6mm, 1.0mm/pixel      H : 厚さ 6.6mm, 2.0mm/pixel

図 7 : 得られた SUV8.0 相当の画像

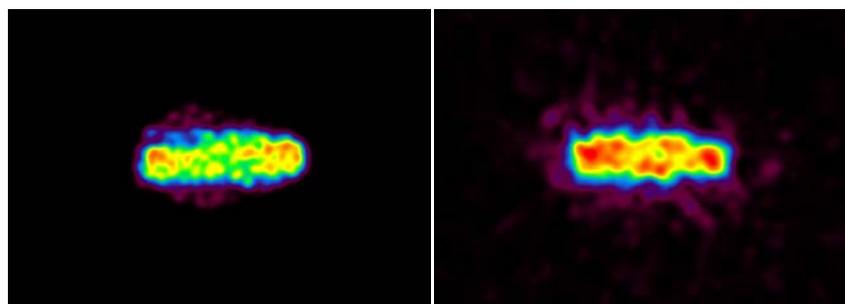
続いて、図 7 に濃度が 2 倍である SUV8.0 相当の FDG をエクステンションチューブに封入した画像を示す。G と H は厚さ 6.6mm、インターバル 1.1mm で G は 1.0mm/ピクセル、H は 2.0mm/ピクセルの画像となる。H はピクセルの細かさを見るために表示したが、やはり細かい表示の G が赤い矢印の示す間隙を明確に表示している。しかし、両者とも図 5 の E で認識できていた間隙が濃度を上昇させると見えなくなる。



I ; 厚さ 6.6mm, 1.0mm/pixel      J ; 厚さ 5.5mm, 1.0mm/pixel

図 8 : 得られた SUV16.0 相当の画像

図 8 は SUV16.0 の画像である。FDG 濃度が高いこともありさらに間隙が見えなくなった。これは濃度が高い場合はその分離能力が低くなるということを意味する。



A

B

図 9 : 測定法 II の画像 SUV4.0 (A) と SUV8.0 (B)

続いて測定法 II の画像を示す。図 9 にエクステンションチューブの FDG 濃度を SUV 濃度 4.0 かつ注射器に SUV1.0 を封入した場合の画像を示す。臨床では SUV3.0 付近を腫瘍または糖代謝の代謝活性部位とした閾値レベルと定めているところが多い。今回は 4 倍であり描写されやすいはずである。図 9 ではシリンジは

描写されているがエクステンションチューブは見えない。これを腫瘍の描出と考えると、SUV4.0 かつ腫瘍直径 1.0 mm は PET で描写されないということを示している。続いて、エクステンションチューブ SUV8.0 の場合を図 9B に示す。これでもエクステンションチューブは確認できない。さらに、図 10 に SUV16.0 の画像を示す。A は線源の厚さ 1.1 mm となり、B は 2.2 mm、C は 3.3 mm、D は 4.4 mm、E は 5.5 mm、F は 6.6 mm である。SUV16.0 でエクステンションチューブを認識可能となるが、その横方向の厚さ 1.1 mm (A) 並びに 2.2 mm (B) では描写されず、厚さ 3.3 mm (C) で初めて認識可能となる。しかし、E の 5.5 mm、F の 6.6 mm では間隙が明確に見えない。

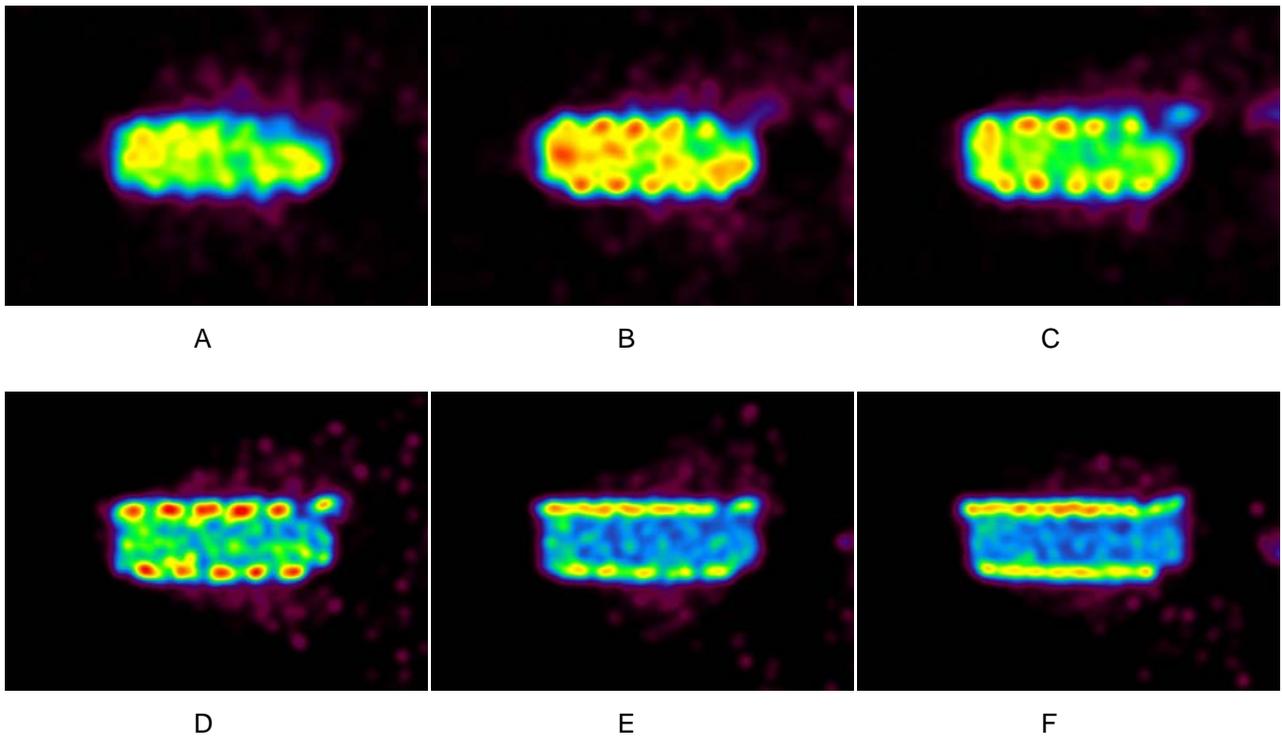


図 10 : SUV16.0 相当の画像

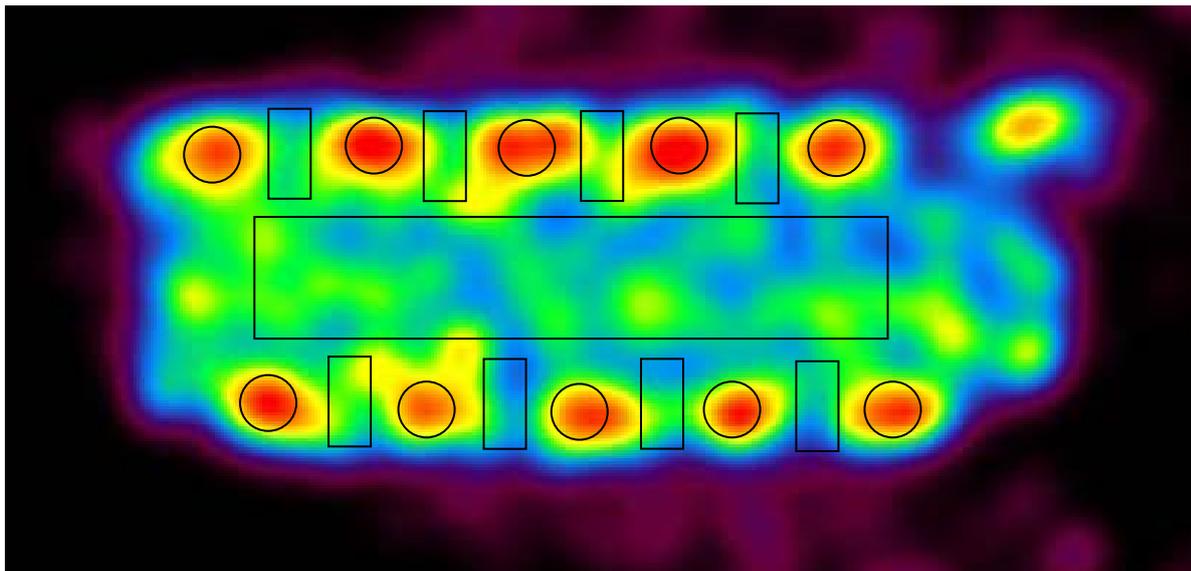


図 11 : ROI 設定の様子

丸 : エクステンションチューブ、大きい四角 : シリンジ、小さい四角 : エクステンションチューブの間隙

続いて ROI の評価を実施した。図 11 に示すように、ROI の設定箇所はエクステンションチューブのホット部と間隙、注射器のホット部とした。

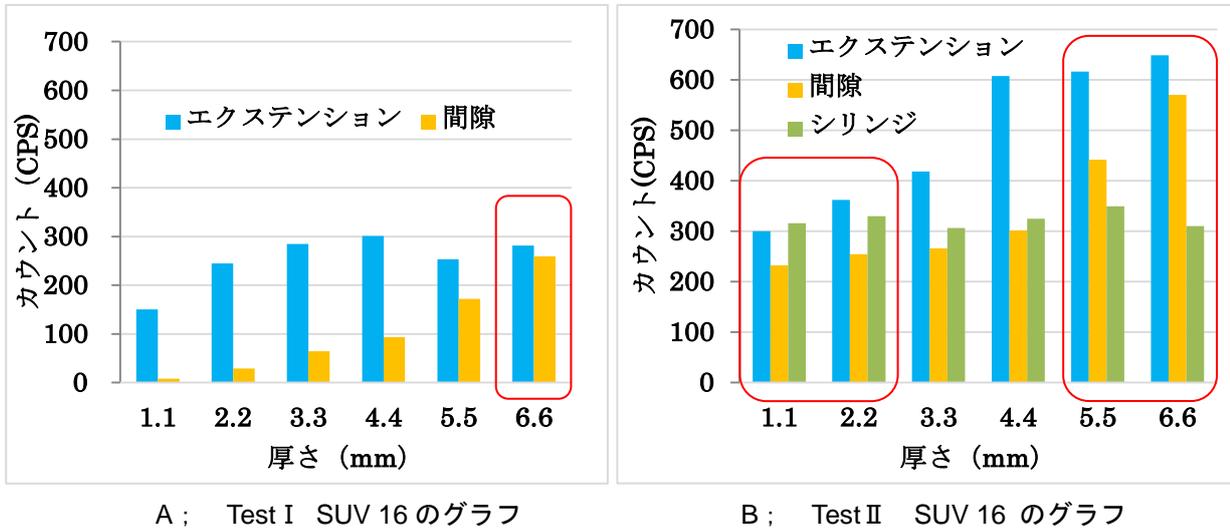


図 12 : ROI 設定のグラフ

図 12 はその ROI 設定のグラフである。グラフの左数字は PET カウント (cps)、下の数字は線源の厚さである。全体的に線源の厚さとともにカウントも上昇している。図 12 の A、B とともに赤枠の部分はエクステンションチューブを明瞭に認識できなかった厚さである。A の厚さ 5.5 mm、6.6 mm ではエクステンションチューブのカウント上昇は無い。しかし、間隙のカウントが上昇しており、間隙とエクステンションのカウントの差が少ないためエクステンションチューブは分離して見られない。B では線源の厚さ 1.1 mm、2.2 mm でエクステンションチューブが見えない。これは、シリンジからのカウントのかぶりの影響と考えられる。さらに厚さ 5.5 mm 厚、6.6 mm 厚でもエクステンションチューブが確認できないが、5.5 mm 厚の場合はシリンジ内からのかぶりと間隙のカウントが相互に影響し、6.6 mm 厚では、たとえシリンジ内に FDG が無くても間隙は見えず、さらに周囲に FDG がある場合はなおさら認識不能になると考えられる。3.3 mm 厚、4.4 mm 厚でエクステンションチューブが見えている。

図 12B のグラフから言えることは、FDG に限らず RI 濃度の高低と SUV1.0 程度の RI 集積が腫瘍近傍にある場合は PET 画像描出能に影響することとなり、その描出の有無には慎重に対処する必要がある。より詳細な腫瘍への集積を解析したい場合はダイナミック収集とし、その減衰を見ることで FDG の分布が確認可能となる。通常の 90-120 分程度の Delay スキャンがこの一部に相当すると考えられる。基本的にはエクステンションチューブと間隙、エクステンションチューブとシリンジの差が大きいほど画像として認識されやすいと思われる。

#### 4 まとめ

本研究は、現在の PET でとらえることができる腫瘍の大きさを明確にすることを最終的な目標としている。結果からわかるように PET は腫瘍の大きさが小さくても周囲に線源がなければ FWHM の測定同様に画像としてとらえることが可能である。しかし、周囲に線源があればその濃度の高低に PET 描出能は影響される。今回はこれらの程度を明確にした。臨床で想定されるものとしては膀胱と血管プラーク、皮膚がん等と考えられる<sup>45</sup>。その場合の腫瘍の細かな分布をみるためには FDG の最適な投与量が存在する。しかし、投与量調整は困難であるため、60 分以降のダイナミック撮像を実施し、減衰を見ることで腫瘍の可視化が可能となることを意味している。

また、今回の線源直径 1.0 mm 以外はすべて楕円形であることから PET は厚さ 5.5 mm までは基本的に円形に撮像される。確実な楕円形にも関わらず円形に描写される点については不思議な印象を受ける。さらに、腫瘍の想定として直径 1.0 mm は小さすぎるため今後少し大きなものを対象とする必要がある。周囲に線源がある場合、腫瘍の直径 1.1 mm では、SUV4.0、SUV8.0 は描写されないが、SUV16.0 でかつ腫瘍 2.0 mm 以上で描写可能となる。その場合、間隙 3.3 mm 以下は視認されず、連続した物として描写される。腫瘍描出は間隙の視認にも影響するが今回は SUV4.0 ではコールドとして 1.1 mm は認識不可能とわかり、そのことで現在の PET の限界点を表示することが出来た。これらの結果は、今後進歩する腫瘍の詳細表示における PET 画像診断精度向上につながると考えられる。

#### 参考文献

- 1) PET 装置性能評価法 2013 JESRA X-0073\*D-2017 (一社) 日本画像医療システム工業規格
- 2) FDG-PET 検査における撮像技術に関するガイドライン 核医学技術 27 425-456 (2007)
- 3) がん FDG-PET/CT 撮像法ガイドライン第 2 版 (2013 年 核医学技術 Vol.33 No.4)
- 4) Quirce R, Martinez-Rodriguez I, Banzo I, Jimenez-Bonilla J, Martinez-Amador N, Ibañez-Bravo S, Lopez-Defillo J, Jimenez-Alonso M, Revilla MA, Carril JM. "New insight of functional molecular imaging into the atheroma biology:  $^{18}\text{F}$ -NaF and  $^{18}\text{F}$ -FDG in symptomatic and asymptomatic carotid plaques after recent CVA. Preliminary results." ; Clin Physiol Funct Imaging. 2016 Nov; 36(6):499-503
- 5) Manil Subesinghe, Maria Marples, Andrew F. Scarsbrook and Jonathan T. Smith, "Clinical impact of  $^{18}\text{F}$ -FDG PET-CT in recurrent stage III/IV melanoma: a tertiary centre Specialist Skin Cancer Multidisciplinary Team (SSMDT) experience", Insights Imaging, 2013 Oct; 4(5): 701-709.

## Considering of the ability of PET imaging including peripheral background

Toshiaki Sasaki, Kazunori Terasaki and Koichiro Sera

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

### Abstract

**Background and purpose:** FWHM shows the ability of the PET crystals to separate two point sources. It usually obtained by point source measurements where background activity in the periphery of the sources is negligible. **However**, there is no denying the fact that partial volume effects and the BG count around the tumor affect the PET's FWHM. This means that SUV is varied depending on whether there is BG or not. In this study we tried to examine how the FWHM is affected by BG counts.

**Method:** Test 1 (checking resolution): We used six extension tubes, each of which were coiled six times around a 20 ml syringe and affixed to it. Extension tubes were then filled with FDG 2.65KBq \* 4.0 (imaged SUV 4.0). In the case of the FDG in one tube of the six, the distance of tubes is 12.5 mm. With FDG in the two tubes, the distance is 10.0 mm, and when the six tubes are all filled, the distance is 2.0 mm. Emission scans were run for three minutes. Test 2 (checking images): In addition to the extension tubes, the syringe was filled with FDG, and the concentration of the FDG in the extension tubes were adjusted to be the concentration equivalent to SUV 4.0, 8.0 and 16.0. PET images were reconstructed at 4.0, 2.0 and 1.0/Pixel. Assuming the FDG in the syringe as the BG, we examined the PET slice images.

**Results:** The accumulation of the FDG in the extension tubes was able to be observed separately until the filled tubes were five, (the distance of the extension tube is 3.0mm,) but when 6 tubes were all filled, (distance of the extension's tube is 2.0mm,) the accumulation image became vague. In test 2, we were not able to see extension tubes of SUV 4.0 and 8.0, but we could observe the extension tube of SUV 16.0.

**Conclusion:** PET cannot show the cold area of the diameter 1.0 mm, even if the BG is negligible there. When the SUV is 16.0 or more, PET can image 1.0-mm thick tumors.