

Na-22 点状線源を使用した PET 性能評価

織田圭一、長谷川智之¹、佐々木敏秋²、佐藤 泰³

東京都健康長寿医療センター研究所
173-0015 東京都板橋区栄町 35-2

¹北里大学
252-0373 神奈川県相模原市南区北里 1-15-1

²岩手医科大学サイクロترونセンター
020-0173 岩手県岩手郡滝沢村滝沢字留が森 348-1

³産業技術総合研究所
305-8568 茨城県つくば市梅園 1-1-1

1 はじめに

NEMA NU 2-2001¹⁾及び NEMA NU 2-2007²⁾の positron emission tomographs (PET)性能評価法の試験項目には、空間分解能、計数損失、散乱フラクシオン、感度、画質等があり、放射性核種は原則として F-18 を使用する。NEMA 法は非密封の F-18 を使用することで線源作成手順が煩雑で、且つ、不必要な被ばくや汚染を起こす可能性があり、測定する回数が多くなると F-18 の製造または購入にかかるコストも増す。また、NEMA NU 2-1994³⁾で採用されていた均一性の測定法は、ノイズの影響が無視できないという理由により IEC 規格⁴⁾では採用されていなかったが、NEMA 規格でも NU 2-2001 からは不採用となった。

今回、われわれは Na-22 点状線源を使用して、空間分解能及び感度測定の簡易化を試みた。更に、散乱の影響を受けない均一性測定方法を考案した。新たに考案した測定法で得られた結果を NEMA 法による結果と比較した。

2 方法

2.1 使用線源・装置

PET 装置は島津製作所社製 SET 3000GCT/M (Eminence G) 及び SET 2400W (HEADTOME-V) を使用した (表 1)。直径 3 mm のアルミ球に入れた直径 0.5 mm の Na-22 点状線源 (半減期 2.6 年) NA523S (日本アイソトープ協会)⁵⁻⁷⁾を使用した。線源強度は 0.882 MBq (2010.1.20) 及び 0.863 MBq (2012.1.26) の 2 種類とし、移動装置は 3 軸直交ロボシリンダ (株式会社アイエイアイ) を使用した (図 1)。3 軸直交ロボシリンダの可動範囲は、X、Y、Z 軸で各 300 mm あり、最高速度は 200 mm/sec、最低速度は 1 mm/sec である。

表 1 PET 装置の仕様

| PET scanner | SET 3000GCT/M | SET 2400W |
|------------------------|------------------------------|---------------------------------|
| Detector material | GSO | BGO |
| Axial FOV [mm] | 154 | 200 |
| Slice thickness [mm] | 2.6 | 3.125 |
| Slice interval [mm] | 2.6 | 3.125 |
| Trans-axial FOV [mm] | 256 | 256 |
| Image matrix | 128 | 128 |
| Pixel size [mm] | 2.0 | 2.0 |
| Number of slice | 59 | 63 |
| Attenuation correction | ^{137}Cs | $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$ |
| Scatter correction* | Hybrid Dual Energy Window | Tail Fitting (Gauss) |

図 1 SET 3000GC/M と 3 軸直交ロボ
シリンダ

2.2 空間分解能

線源を SET 3000GCT/M の長軸に平行に固定し、体軸方向において面に沿った体軸方向視野の中心、体軸方向視野の中心から体軸方向視野の 1/4 の点。横断面方向において中心から垂直方向に 1cm の点、 $x=0$, $y=10\text{cm}$ の点、 $x=10$, $y=0\text{cm}$ の点の合計 6 点に配置した。

NEMA 法では、直径 1 mm の F-18 点状線源 (約 2 kBq) を 3 個作成し、上記の測定点で約 10 分間 3 次元 (3D) エミッション測定を行った。提案法では、Na-22 点状線源を駆動装置に装着し、1 点当たり 2 分測定した後、最高速度で次の測定点に移動し、上記の 6 点で測定した。

スムージングフィルタをかけずに filtered back-projection 法で再構成した画像より、半値幅 (FWHM) 及び 1/10 幅 (FWTM) を求めた。

2.3 感度

NEMA 法では、F-18 溶液を長さ 70cm ラインソースに封入し、金属スリーブに挿入した。径の異なる 5 個のスリーブ (金属スリーブ外径=6.4mm から 19.1mm) を用いてそれぞれ 2 分間 3D エミッション測定を行った。提案法では、体軸方向全視野+両端 1cm 外を速度 1mm/sec で等速移動させながら 3D エミッション測定を行った。得られた raw データは single slice rebinning により画像スライスに割り当て、ピークを中心に合わせた。raw データの中心を幅 23.7 mm のマスク処理を行い散乱同時係数を除去した。NEMA 法のデータは、減弱スリーブ厚さ 0cm へ補外し、感度 S (cps/kBq) を求めた。提案法の感度 S は以下の式で求めた。

$$S = \frac{R - R_B}{\epsilon_\beta \epsilon_t A} = \frac{R - R_B}{R_{\text{source}}} \quad (1)$$

ここで、 R は真の同時計数率、 R_B はバックグラウンド成分、 R_{source} は単位時間あたりの 0.511MeV 消滅放射線ペア放出数、 ϵ_β は β^+ 分岐比、 ϵ_t は 0.511MeV 消滅放射線ペア透過率、 A は線源放射能である。以上の測定を、SET 3000GCT/M の横断面視野中心と中心から 10cm 離れた位置で行った。

2.4 均一性

PET 装置は SET 2400W を使用した。NEMA 法では「PET 装置の性能評価のための測定指針」⁸⁾ に従い、直径 20cm の円筒ファントムに F-18 溶液を 35.4MBq 封入し 4 時間 3D エミッション収集した。1 辺 2cm 正方形関心領域 (ROI) を臨床条件で再構成した画像の中心スライスに、辺縁から 1 cm 内側の全ての領域内に重なりがないように設定した。ROI 平均値を C 、 C の最大値を $Max(C)$ 、最小値を $Min(C)$ 、平均値を $Ave(C)$ とすると、スライス内均一性 $NU(+)$ 、 $NU(-)$ は次式により求められる。

$$\begin{aligned}
 NU(+) &= +100 \frac{Max(C) - Ave(C)}{Ave(C_i)} \% \\
 NU(-) &= -100 \frac{Ave(C) - Min(C)}{Ave(C)} \%
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

提案法では、Na-22 点状線源を 1 mm/sec で体軸方向に往復移動させ、直径 20 cm より内側の範囲を 2 cm 間隔で 3D エミッション測定した。スライス内の各点線源位置での最大値の 10%以上の総和を P 、の最大値を $Max(P)$ 、最小値を $Min(P)$ 、平均値を $Ave(P)$ とし、スライス内均一性を(2)式に準じて求めた。尚、今回は測定時間を十分につけられなかったため、軸方向中心スライスのみでの測定及び評価とした。

3 結果

3.1 空間分解能

空間分解能の測定結果 (FWHM、FWTM) を表 2 に示した。横断面内の FWHM 及び FWTM は Na-22 点状線源による方法と NEMA 法は、同程度の結果が得られた。体軸方向では、NEMA 法の方が Na-22 点状線源法よりも半径 1 cm 位置で FWHM が 23%大きい値を示したのをはじめ、FWTM でも 11 %、半径 10 cm 位置では FWHM が 5 %、FWTM が 7 %大きな値を示した。

表 2 NEMA 法と Na-22 点状線源による空間分解能

| | | FWHM (mm) | | FWTM (mm) | |
|---------------|---------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| | | Na-22 | NEMA | Na-22 | NEMA |
| 半径 1cm 位置 | 横断面 | 3.32 ± 0.16 | 3.53 ± 0.18 | 7.24 ± 0.97 | 7.43 ± 0.80 |
| | 体軸方向 | 4.44 ± 0.47 | 5.48 ± 0.10 | 9.76 ± 0.28 | 10.80 ± 0.15 |
| 半径 10cm 位置 | 横断面半径方向 | 5.01 ± 0.15 | 5.26 ± 0.17 | 8.96 ± 0.46 | 9.62 ± 0.35 |
| | 横断面接線方向 | 3.76 ± 0.09 | 3.78 ± 0.07 | 7.88 ± 0.34 | 7.99 ± 0.31 |
| | 体軸方向 | 5.92 ± 0.13 | 6.22 ± 0.13 | 11.11 ± 0.52 | 11.88 ± 0.26 |

3.2 感度

表 3 にシステム感度、図 2 にスライス感度を示した。視野中心におけるシステム感度は Na-22 点状線源法と NEMA 法は一致したが、10 cm オフセット位置では、Na-22 点状線源法は NEMA 法よりも 6 %過小評価された。横断面視野中心におけるスライス感度曲線は、チューブ内に生じた気泡の影響と思われる不連続点が見られた。

表 3 システム感度 (cps/kBq)

| | Na-22 | NEMA |
|------------|-------|------|
| 視野中心 | 3.82 | 3.85 |
| オフセット 10cm | 3.98 | 4.23 |

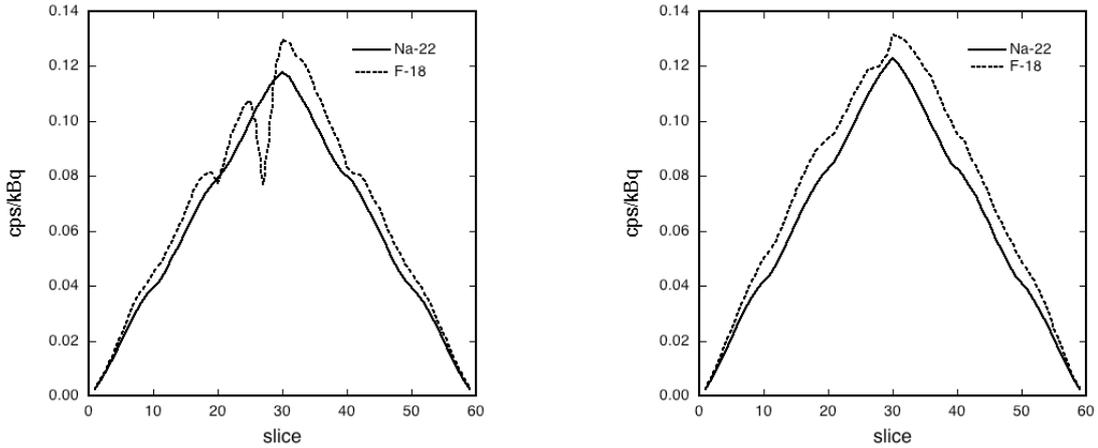


図 2 横断面視野中心 (左) と 10 cm オフセット位置 (右) におけるスライス感度

3.3 均一性

図 3 に Na-22 点状線源による均一性測定のための再構成画像を示した。20 mm 間隔の 80 個のピーク点が得られる。均一性 (表 4) は、NU(+) は Na-22 点状線源法が NEMA 法よりも良好な値を示したが、NU(-) は Na-22 点状線源法は NEMA 法よりも劣った。



図 3 Na-22 点状線源による均一性の画像

表 4 均一性 (中心スライス)

| | NA-22 | NEMA 1994 |
|------------|-------|-----------|
| NU (+) (%) | +5.04 | +6.50 |
| NU (-) (%) | -6.26 | -4.40 |

4 考 察

空間分解能の測定は、Na-22 点状線源を 3 軸直交ロボットに装着して使用することで、線源の位置合わせが容易になり再現性も向上した。また、線源の形状が一定であり、F-18 溶液で点状線源を作成する場合よりも、常に安定した結果が得られると考えられる。また、毎回点状線源を作成する必要がなく、作業者の被曝低減が期待できる。

感度測定は、スリーブを使用する必要がないため、測定と解析が簡易化された。ただし、NEMA 法は 700 mm チューブ内全放射能に対する割合で感度を求めるため、視野外に Na-22 点状線源があるときの影響を更に調査する必要がある。

Na-22 点状線源を使った均一性の測定方法を考案し実測した。F-18 と円筒型ファントムを使用した方法と比較して若干異なる結果が得られたが、本方法は散乱線の影響を受けないため PET 装置の均一性を評価する方法として NEMA 法より優れていると考えられた。

Na-22 は半減期が 2.6 年と長く、減衰によって計数率が低下した場合、測定時間を長くすることで 4 ~ 5 年は使用可能でありコスト低減にも有用である。

参考文献

- 1) NEMA Standard Publication NU 2-2001: Performance Measurements of Positron Emission Tomographs
- 2) NEMA Standard Publication NU 2-2007: Performance Measurements of Positron Emission Tomographs
- 3) NEMA Standard Publication NU 2-1994: Performance Measurements of Positron Emission Tomographs
- 4) IEC 61675-1: Radionuclide imaging devices - Characteristics and test conditions - part 1: Positron emission tomographs, 1998
- 5) Hasegawa T, Yoshida E, Sato Y, Oda K, Wada Y, Yamada T, Yamaya T, Murayama H, Saito K. Point-like radioactive source with multiple absorber capsules for evaluating PET scanners. Ann Nucl Med 2010; 24: 427-32.
- 6) Hasegawa T, Oda K, Wada Y, Sato Y, Yamada T, Yoshida E, Murayama H, Saito K, Takeda T and Kikuchi K A practical method of determining cross-calibration factors of PET scanners by moving a point-like ^{22}Na radioactive source. Ann Nucl Med 2010; 24: 655-61.
- 7) Hasegawa, T. Sato, Y. Yamada, T. Oda, K. Wada, Y. Yoshida, E. Murayama, H. Takei, H. Characteristics of Annihilation Photons Emitted From New Types of Point-Like Radioactive Sources With Symmetric Absorber Designs. IEEE Trans Nucl Sci 2011; 58: 43-50.
- 8) 日本アイソトープ協会医学薬学部会 : PET 装置の性能評価のための測定指針, RADIOISOTOPES, 43, 9, XXXV-LV, 1994

Performance measurements of positron emission tomographs with Na-22 point-like source

Keiichi Oda, Tomoyuki Hasegawa¹, Toshiaki Sasaki² and Yasushi Sato³

Positron Medical Center, Tokyo Metropolitan Institute of Gerontology
35-2 Sakaecho, Itabashi-ku, Tokyo 173-0015, Japan

¹School of Allied Health Sciences, Kitasato University
1-15-1 Kitasato, Sagami-hara, Kanagawa 228-8555, Japan

²Cyclotron Research Center, Iwate Medical University
348-58 Tomegamori, Takizawa, Iwate 020-0173, Japan

³Advanced Industrial Science and Technology
Central 2, 1-1-1 Umezono, Tsukuba, Ibaraki 305-8568, Japan

Abstract

We performed the performance evaluation of PET scanners (SET 3000GCT/M and SET 2400W) using a Na-22 point-like source. We measured spatial resolution, sensitivity and uniformity, and compared the results with the NEMA method. In the measurement of the spatial resolution, the Na-22 point-like source was attached to the three-axis orthogonal robot (IAI Corporation). As a result, we could set the source easily, and accuracy of measurement improved. In addition, we could obtain a result more stable than the NEMA method because a shape of the source is constant. Furthermore, it is not necessary to make point-like sources every time and can expect the radiation exposure reduction of the users. Because it was not necessary to use metal sleeves in the sensitivity measurement, the measurement and analysis became simple. However, it is necessary for the Na-22 point-like source to investigate influence out of the field of view. We designed a measurement method of the uniformity using the Na-22 point-like source. The result was slightly more different from F-18 than the method using the cylindrical phantom. It was thought that our method was superior because the Na-22 point-like source was not affected by the scattered coincidence. Na-22 has a long half-life with 2.6 years and it is available for 4-5 years and is useful for cost reduction.