

3. TOF (time-of-flight) -PET — SNR向上による 高コントラスト分解能の実現

石原 圭一 日本医科大学健診医療センター

1966年、Angerらがtime-of-flight (TOF) 理論¹⁾を発表して以来、近年の技術進歩の中で、TOF装置の研究、開発がメーカーや大学などで行われていた²⁾。そして、世界初のTOFを搭載したPET/CTである「GEMINI TF」が、2006年に、フィリップス社とペンシルバニア大学との共同研究で開発された。

本稿では、TOFの理論、GEMINI TFの構成および使用経験について述べる。

TOF 理論

TOF理論は、検出器に到達した2対の消滅放射線の時間差を計測し、発生点を推定するもので、1980年代にSnyder, Budinger, Tomitaniらによって基礎理論が^{3)~5)}、ワシントン大学などでいくつかの装置が開発された^{6)~13)}、種々の制限でその理論に相当する性能を持つ装置の開発には至らなかった。TOFは、信号を限定した範囲に投影する手法に比べ、同じ信号量でもSNR(信号雑音比)の向上が期待できる¹⁴⁾。従来の画像再構成法によって得られるSNRの向上は、60%程度が限界であるのに対し、TOFによるSNRの向上は200%以上を期待できる⁴⁾。腹部径40cmのヒトを時間分解能650psの装置で撮像すると、理論的に2倍のSNRが得られる⁴⁾。

GEMINI TFの構成

GEMINI TFの主なスペックは、高い発光量を持つ $4 \times 4 \times 22\text{mm}^3$ 大のLYSO(lutetium-yttrium-orthosilicate)結晶、タイムスタンプ25ps、エネルギー分解能11.5%(511keV:FWHM)で、収集エネルギーウィンドウは440~665keVで設定が可能であり、散乱線も30%未満まで抑えられている¹⁵⁾。GEMINI TFでは、イベント発生点の位置情報を持つため、統計学的画像再構成において計算の収束性が向上する¹⁶⁾。画像再構成法は、3Dリストモード-OSEM with built-

in corrections (3D-LMOSEM) が採用され^{17), 18)}、エミッション画像は、Blob(Keiser-Bessel関数)上で計算している。Blobは、統計量に適した大きさ、形状などを選択することができ、画質の向上に有用である。また、GEMINI TFの位置計算には1 dimensionのGaussian kernelを用いている¹⁵⁾。

各種補正に関して、TOFの影響を受けるものに減弱補正がある。これに関しては、TOF-SSS(Single Scatter Simulation)が採用され、さらに補正計算の精度が上がっている。TOFには、安定した時間分解能が必須であり、GEMINI TFにおける安定した時間分解能がペンシルバニア大学から報告されており¹⁸⁾、時間分解能の検証も約5分と短時間で確認できる。径13mmのスポット球のCRC(contrast recovery coefficient)とノイズを、GEMINI TFとnon-TOF装置で比較検討したデータにおいて、CRC20%で両者のノイズを比較すると、GEMINI TFの約8%に対して、non-TOF装置は約27%であり、理論値である3.5倍とほぼ等しい3.4倍のSNRの向上が得られている¹⁹⁾。

GEMINI TFの使用経験

1. BMI別に見た コントラスト分解能

これまで述べてきたように、GEMINI TFの時間分解能は650psであり、1回のイベントで9.75cmの範囲内に発生位置を絞り込むことが可能となり、従来の