

[背景・目的]

^{13}N -アンモニア心筋血流 PET は心筋血流 (myocardial blood flow; MBF)の定量が可能な検査として用いられる。安静時・薬剤負荷時の MBF の比から心筋血流予備能 (myocardial flow reserve; MFR)が求められ、MFR は冠動脈狭窄や微小循環障害、血管内皮機能障害により低下する。 ^{13}N -アンモニア PET は負荷心筋血流 SPECT と比較し画質に優れ、アーチファクトも少ないが、健常例においても左室側壁への集積が他の領域より 10%程度低いことが知られており視覚的評価には注意を要する。

Time-of-flight (TOF)は、2本の消滅 γ 線が検出器に到達する時間差を計測することにより位置精度を高め、ノイズを軽減する収集法である。TOF が ^{13}N -アンモニア PET の定性的・定量的解析結果に与える影響は報告がない。本研究の目的は、 ^{13}N -アンモニア PET のデータから TOF および non-TOF 再構成を行い、定性的・定量的解析に与える TOF の影響を検討することである。

[対象・方法]

安静時・アデノシン負荷時の ^{13}N -アンモニア PET が施行された連続 20 症例 (健常 7 症例・臨床 13 例) を対象とした。TOF-PET/CT 装置の GEMINI TF-16 (Philips)を用い、安静時・アデノシン負荷時のデータを収集した。TOF-OSEM 再構成および TOF 情報を用いない 3D-RAMLA 再構成により 2 種の画像を作成した。

各再構成画像について 5-point scale を用いた視覚的評価、count profile 解析、定量的解析を行った。視覚的評価は 17 セグメントモデルを用い、13 症例の臨床例については冠動脈造影による冠動脈狭窄 (>50%)を gold standard として診断能の比較も追加した。Count profile 解析は、健常 7 例および正常灌流を示した臨床 3 例の計 10 例を対象とした。各症例につき、断面 (短軸像 apical, middle, basal、垂直長軸像)、再構成法 (TOF-OSEM・3D-RAMLA)、安静時・負荷時の計 16 の count profile curve を作成した。短軸像では apical, middle, basal の 3 断面での lateral-to-septal ratio: lateral count / septal count を、垂直長軸断では apex-to-mid ratio: apex/([mid septal + mid lateral]/2)を算出した。さらに、短軸像を用いて心筋と血液プールのコントラストを算出した。

MBFおよびMFRはPMODを用いてセグメント・領域毎の値として算出し、両再構成法で求めた定量値を比較した。観察者内の再現性についても各再構成法について検討した。

[結果・考察]

心筋の描出や心/肝の分離は TOF-OSEM 法で改善し、側壁への集積低下も TOF により改善した (図 1)。5-point scale を用いた視覚的評価では、両再構成によるスコアはほぼ同様だったが、負荷時の LAD 領域のスコアでのみ有意に高くなった (TOF-OSEM: 2.95 vs. 3D-RAMLA: 2.65, $p = 0.03$)。健常 7 例のスコアに差はなく、臨床 13 例では、アデノシン負荷時の LAD 領域のスコアは TOF-OSEM 法でより高値であった (TOF-OSEM: 4.31 vs.

3D-RAMLA: 3.92, $p = 0.059$)。冠動脈狭窄を gold standard としたときの診断能は、TOF-OSEM で感度 82.1%・特異度 81.8%、3D-RAMLA で感度 67.9%・特異度 81.8%であり、LAD 領域・LCX 領域で TOF による感度向上が得られた。Count profile 解析では、中隔・側壁の最大カウントはいずれも TOF-OSEM で高値となるが、上昇の程度は側壁でより高かった (図 2)。10 症例の検討では、TOF により側壁のカウントが増加し lateral-to-septal ratio は上昇、apex-to-mid ratio は低下し apical thinning が明瞭であった (図 3)。心筋-血液プールのコントラストは、TOF で有意に改善した (表 2)。

TOF により apical thinning が強調され、実形態に近い像が得られたと考えられるが、読影の際には注意を要する。アンモニア PET で健常症例でも側壁の集積が 10%程度低くなる事象は、主に呼吸・心拍動による PET-CT 間の位置ずれによるとされていた。本研究では TOF-OSEM で側壁の集積低下が目立たなくなったが、両再構成法での PET-CT 間の位置ずれ・カウントは同一であることから、位置ずれ以外の機序を考える必要がある。側壁の動きは他領域と比較し大きく、画質のボケおよびカウント数の低下を生じるが、TOF によりこれらが少なくなる。さらに、S/N 比は TOF-OSEM でより大きくなり、TOF によるノイズ軽減効果での読影の再現性向上が予測された。

MBF と MFR の intra-observer correlation は非常に良好であった (表 3)。セグメント毎の定量値の両再構成法の比較では、安静時・負荷時血流ともに TOF-OSEM で高くなり (rest MBF: 0.955 ± 0.201 vs 0.836 ± 0.185 , $p < 0.001$ and stress MBF: 2.149 ± 0.697 vs 2.058 ± 0.721 , $p < 0.001$)、特に安静時血流で TOF による血流量の増加を認めた (図 4-5, 表 4)。この結果、MFR は TOF-OSEM で低値となった (2.25 ± 0.57 vs 2.46 ± 0.75 , $p < 0.001$)。領域毎の検討は、セグメント毎の検討とほぼ同様の結果を示した (図 6)。安静時には全てのセグメントで TOF により MBF は増加し、apical および septal で目立った。一方、負荷時では主に apical でのみ有意な血流増加を示した。

本検討は TOF によるアンモニア心筋血流 PET への影響を調べた初の検討である。ファントムや腫瘍 FDG-PET では TOF による低集積領域・小病変でのカウント増加が示されているが、本検討でも低集積領域 (安静時) での集積増加が目立ち、この点で従来の報告と一致する。特に apical で TOF により 1g 心筋当たりの MBF が増加し、心尖部での検出能が改善すると考えられた。また、TOF および non-TOF PET/CT 機器での定量値の異常閾値は個別に設定すべきである。

[結論]

TOF はアンモニア PET の視覚的および定量的評価のいずれにも影響を与えた。TOF により心筋の描出や心/肝の分離、S/N 比、側壁の集積低下に改善を認めた。Apical thinning は TOF でより目立つため、読影には注意を要する。定量的には、TOF は MBF を増加させ、増加率は特に低血流領域で大きい。