

主 論 文

Impact of pre-reconstruction filtering with butterworth filter on ¹¹¹In-pentetreotide SPECT image quality and quantitative accuracy: A phantom study

(Butterworth フィルタを用いた再構成前フィルタリングが ¹¹¹In-pentetreotide SPECT 画像の画質および定量精度に与える影響：ファントム研究)

[緒言]

ソマトスタチン受容体シンチグラフィはソマトスタチン受容体を発現する神経内分泌腫瘍の診断に用いられる核医学検査である。本検査における腫瘍の検出能はその後の治療方針に大きく影響を及ぼすため、検出能向上は重要な課題である。¹¹¹In-pentetreotideにより得られる single photon emission computed tomography (SPECT) 画像は、一般的に画像再構成後に平滑化処理が行われ、平滑化フィルタとしてガウシアンフィルタが用いられている。しかし、この従来の方法では空間分解能の劣化や画素値の過小評価が問題となり、小病変の検出能を低下させることが指摘されている。そこで、われわれは平滑化の手順に着目し、画像再構成前に投影画像へ平滑化処理を施す方法を考案した。このような処理手順に着目した研究はシミュレーションでは報告されているものの、実際の臨床装置を用いた報告はない。本研究では、再構成前後の平滑化フィルタを用いて生成されたソマトスタチン受容体 SPECT 画像の画質および定量精度を、ファントムを用いて検証した。

[材料(対象、患者)と方法]

本研究には Siemens Healthineers 社製の Symbia T16 SPECT/CT 装置を用いた。ファントムは腹部を想定した NEMA IEC Body Phantom を使用し、ファントム内部に模擬腫瘍として直径 10, 13, 17, 22, 28, 37 mm 球を設置した。各球体内に臨床条件に近い放射能濃度の ¹¹¹In 水溶液を封入し、SPECT 撮像を行った。得られた投影データを、3つのフィルタリング手法で逐次近似法により画像再構成を行った。フィルタパラメータはそれぞれ 8 通り変化させて検証した。

1. post-G: 投影データを再構成した後、再構成画像に対して 3D Gaussian フィルタを適用する方法 (従来法)。
2. pre-G: 投影データに 2D Gaussian フィルタを適用した後に再構成を行う方法。
3. pre-B: 投影データに 2D Butterworth フィルタを適用してから再構成を行う方法。

各手法により得られた画像について、空間分解能 (full width at half maximum: FWHM)、コントラストノイズ比 (contrast-to-noise ratio: CNR)、および定量精度 (封入した真の放射能濃度に対する誤差率) を評価した。統計解析には、各フィルタリング手法間の多群比較を目的として、Steel-Dwass 検定を用いた。

[結果]

図 1 にそれぞれのフィルタリング手法によって得られた SPECT 画像を示す。視覚的には pre-B において球体が他の方法と比べ明瞭に描出され、バックグラウンドの値が相対的に低下する傾向が確認された。図 2 に空間分解能の結果を示す。空間分解能では、pre-B が最も良好で、カットオフ 0.65 cycles/cm における FWHM は 18.0 mm と、post-G (21.2 mm) および pre-G (19.8 mm) より有意に小さかった。CNR の結果を図 3 に示す。CNR はすべての球サイズで pre-B が最大値を示し、37 mm 球では 69.5 に達した。ただし統計的有意差は認められなかった。pre-B は背景ノイズがやや高かったものの、球の計数値が増加し、結果的に最も良好なコントラスト特性を示した。定量精度の結果を図 4 に示す。定量精度においても pre-B が最良であり、37 mm 球では誤差率 12.0%と、post-G (20.2%)、pre-G (22.0%) より約 10%改善した。他の球サイズでも同様の傾向が認められた。総じて pre-B は空間分解能・CNR・定量精度の全指標で最も優れていた。

[考察]

本研究では、¹¹¹In-pentetreotide SPECT における前処理・後処理フィルタの違いが画質と定量精度に与える影響を検証した。空間分解能評価では、再構成前に Butterworth フィルタを適用する pre-B 法が最も低い FWHM を示し、Gaussian フィルタを用いた pre-G および post-G よりも良好であった。これは、Butterworth フィルタが高周波ノイズを抑えつつ低周波成分を保持する特性によると考えられた。CNR は全ての球サイズで pre-B が最高値を示し、腫瘍検出能向上への有用性が示唆された。定量精度でも pre-B が最も誤差率が低く、Gaussian フィルタでコントラストの低下や定量誤差が大きくなるという過去報告と一致した。特に 37 mm 球では pre-B が他法より約 10%高い定量精度を示した。これらより、pre-B 法は空間分解能・CNR・定量精度のすべてで最も優れており、¹¹¹In-pentetreotide SPECT の腫瘍検出や線量評価にも有益と考えられる。本手法は臨床装置に簡便に適用可能であり、臨床導入性も高い。一方、本研究の限界として臨床データでの検証が行われていない点、1機種のみでの評価である点が挙げられ、今後は臨床データを用いた多施設での検証が必要と考えられる。

[結論]

¹¹¹In-pentetreotide SPECT 画像において、画像再構成前に投影データへ Butterworth フィルタを適用することで、従来の再構成後に Gaussian フィルタ処理を行う方法と比較して、画質および定量精度が向上することが示された。本手法は実用的で導入も容易であり、既存のプロトコルを大きく変更することなく、日常の臨床ワークフローに容易に組み込むことができる。

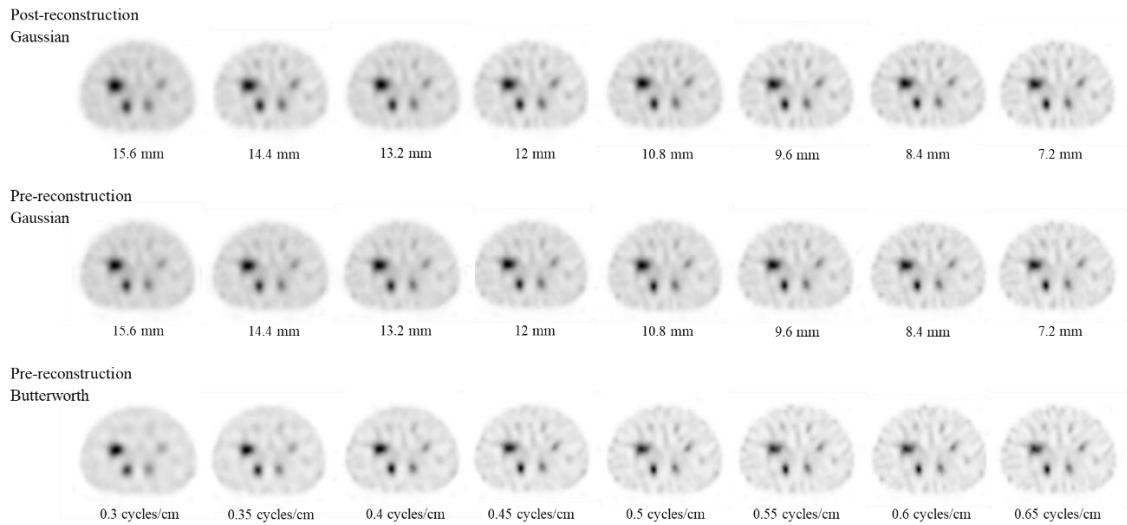


図 1 各フィルタリング手法を用いて得られたファントムの SPECT 横断画像

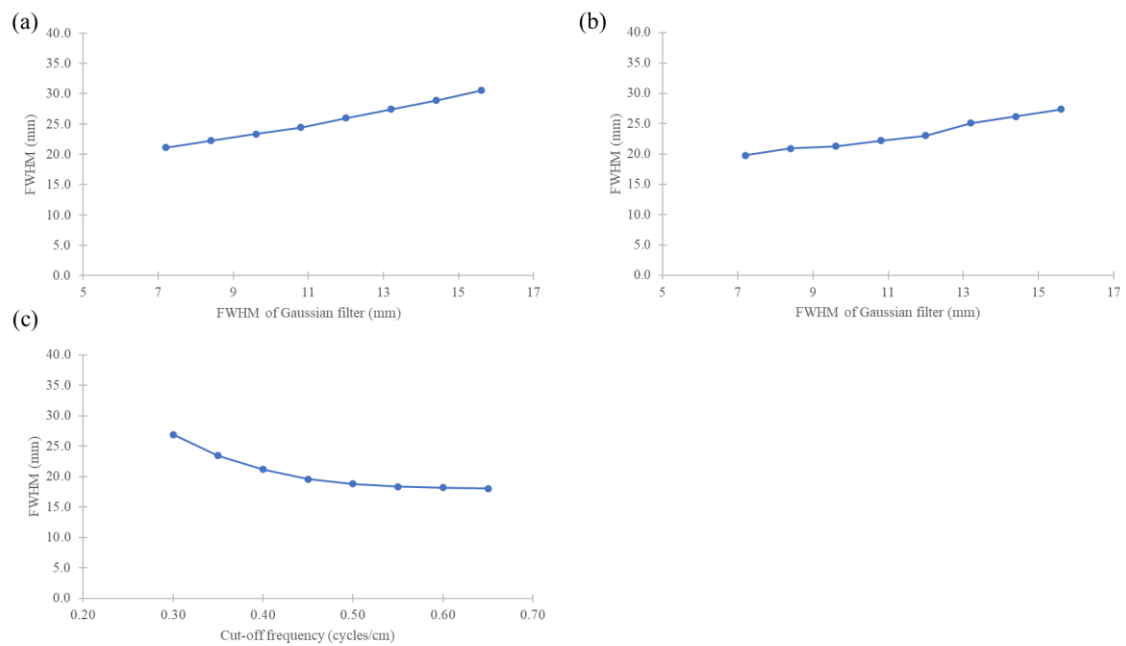


図 2 各フィルタリング手法におけるフィルタパラメータと FWHM の関係 : (a) 再構成後 Gaussian フィルタ処理 (post-G)、(b) 再構成前 Gaussian フィルタ処理 (pre-G)、(c) 再構成前 Butterworth フィルタ処理 (pre-B)。pre-B と post-G の間には統計的に有意差が認められた ($p < 0.05$)。

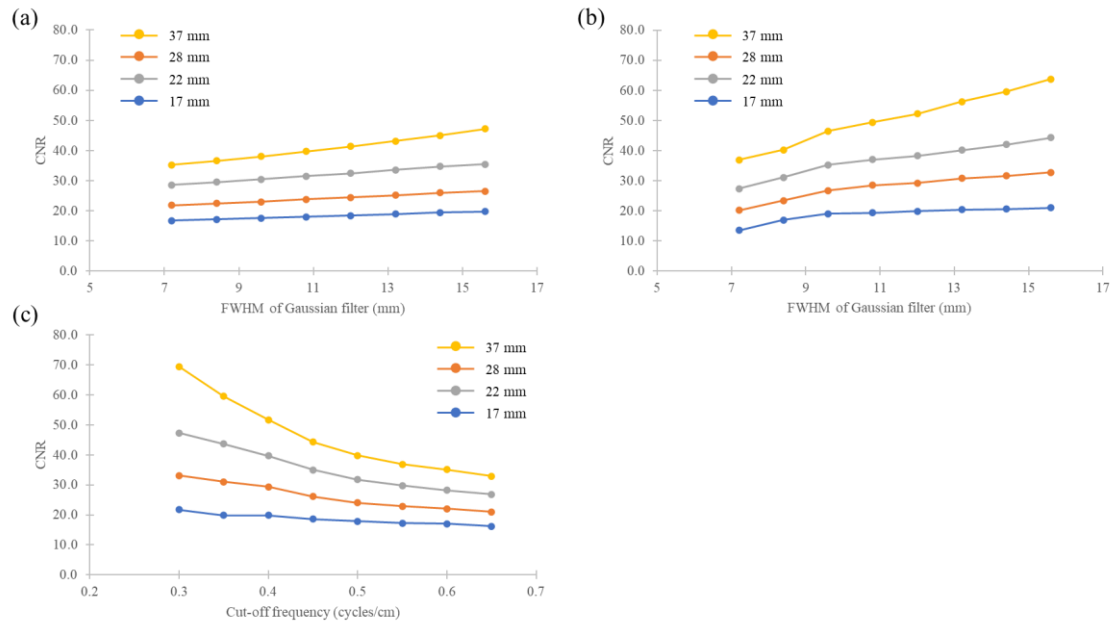


図3 各フィルタリング手法におけるフィルタパラメータと CNR の関係 : (a) post-G、(b) pre-G、(c) pre-B。CNR に関しては、フィルタリング手法間で統計学的に有意な差は認められなかった。

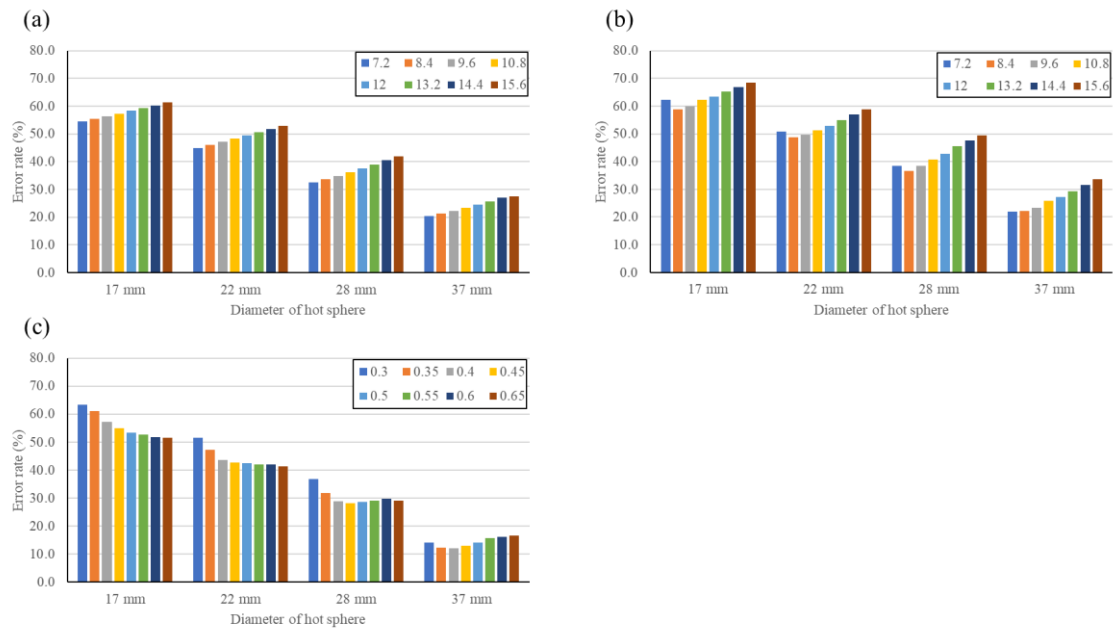


図4 各フィルタリング手法における真値と測定値の誤差率 : (a) post-G、(b) pre-G、(c) pre-B。誤差率について、pre-B と post-G の間に統計的に有意差が認められた ($p < 0.05$)。