

201Tl発生光子の異なった吸収差を利用したSPECTの減弱補正 —理論とJISファントムによる基礎的検討—

小野口昌久* 高山 輝彦* 中嶋 憲一***
大岡 裕子*** 福岡 武郎***

【はじめに】

従来、 γ 線の減弱補正法にはTransmission CTやX線CTから減弱係数分布を求める方法が提唱されてきた¹⁾。しかし、外部線源を必要とし、煩雑なため、外部線源を必要としない²⁰¹Tl(以下²⁰¹Tl)発生光子の異なった2種類のエネルギー差を利用した減弱補正と散乱線補正を組み合わせることにより、外部線源を使わずに簡便な臨床応用が可能となると考え、本研究を計画した。

基本的概念はHansenら²⁾やBrownら³⁾が考案した²⁰¹Tlの71keV近辺のHg特性X線と167keV γ 線の光子エネルギーの違い(減弱の違い)を利用したが、この方法では散乱線の影響で減弱の差を抽出することは困難であった。そこで、減弱の差を拡大するため、71keVデータへTEW(Triple Energy Windows)散乱線補正を適用することで方法の改良を試み、吸収と散乱線の同時補正法を行った。

今回、最適減弱係数比、カウント比の決定、およびJISファントムによる性能評価(濃度直線性、空間分解能)を行い、本法の有用性を検討した。

【理論】

- 71keVと167keVの光子の発生割合、71keVと167keVの水減弱係数
仮定投影データの減弱は以下の式で表現できる(RIの深さが影響しない)
減弱投影データ=減弱のない投影データ×減弱の程度
- 被検体内では71keVと167keVの減弱係数は水と比例関係にある。
 μ_{71} : 71 keVの水線減弱係数,
 μ_{167} : 167keVの水線減弱係数,
ObsPt: 観測データ(補正前),
ReaPt: 真のデータ(補正後),
l: 減弱体間距離, A: 71keV光子数/167keV光子数の比(カウント比),
 α : μ_{71} / μ_{167} の比とする。
71keV: ObsPt71=ReaPt71*exp(μ_{71} *l)
……………(1)
167keV: ObsPt167=ReaPt167*exp(μ_{167} *l)

……………(2)

71keVと167keVの投影データ比 α をとり、Aと μ_{71} 、 μ_{167} を用いて変形すると

$$\alpha = \text{ObsPt71} / \text{ObsPt167}$$

$$= \{ \text{ReaPt71} * \exp(-\mu_{71} * l) \} / \{ \text{ReaPt167} * \exp(-\mu_{167} * l) \}$$

$$= \{ \text{ReaPt71} / \text{ReaPt167} \} / \{ \exp(-\mu_{71} * l) / \exp(-\mu_{167} * l) \}$$

$$= A * \exp\{ (\mu_{71} - \mu_{167}) * l \} \quad \text{……………(3)}$$

対数をとると

$$\ln(\alpha) = \ln(A) + (\mu_{167} - \mu_{71}) * l \quad \text{……………(4)}$$

$$l = \ln(\alpha/A) / (\mu_{71} - \mu_{167}) \quad \text{……………(5)}$$

(1)(2)式から

$$\text{ReaPt71} = \text{ObsPt71} * \exp(\mu_{71} * l) \quad \text{……………(6)}$$

$$\text{ReaPt167} = \text{ObsPt167} * \exp(\mu_{167} * l) \quad \text{……………(7)}$$

以上の理論式より、71keVと167keVの各 μ 比およびカウント比を求めることにより、減弱のない投影データ(補正後のデータ)を算出することができる(図1)。

【方法】

1. 使用機器

三検出器型ガンマカメラ(東芝GCA9300A)を使用した。コリメータには低エネルギー高分解能(LEHR)を用い、71keVのウィンドウ幅は20%、25%、167keVのウィンドウ幅は20%とした。画像処理装置はワークステーション(東芝AS7000U10/440CR3)を用い、プログラムにはC-shellを使用した。散乱線補正にはTEW(Triple Energy Window)法を用い、71keVに対してのみ行った。使用ファントムにはJIS規格「放射形コンピュータ断層装置用ファントム(Z4992)」を用いた。

2. 画像再構成及び前処理フィルター

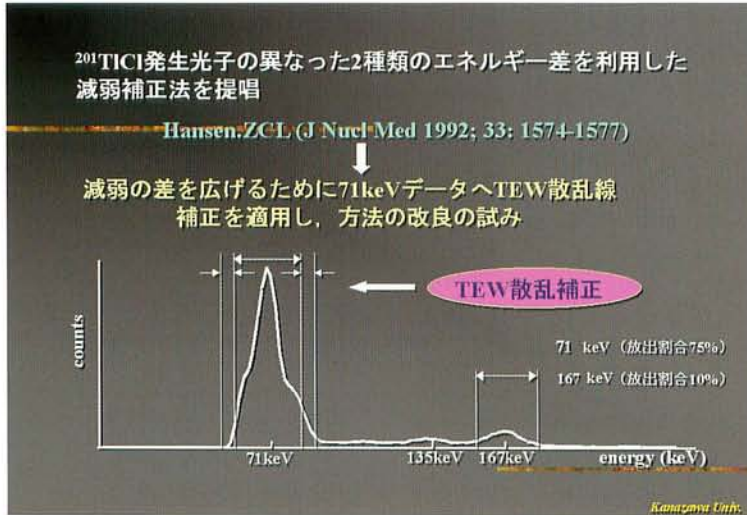
画像再構成にはフィルター逆投影法を用い、71keVデータにはButerworth filter(以下BWFとする)オーダー8,0.20,0.25,0.30cycle/pixelと、167keVデータにはBWFオーダー8,0.07,0.10,0.15 cycle/pixelの各フィルタを使用した。

3. データ解析手順

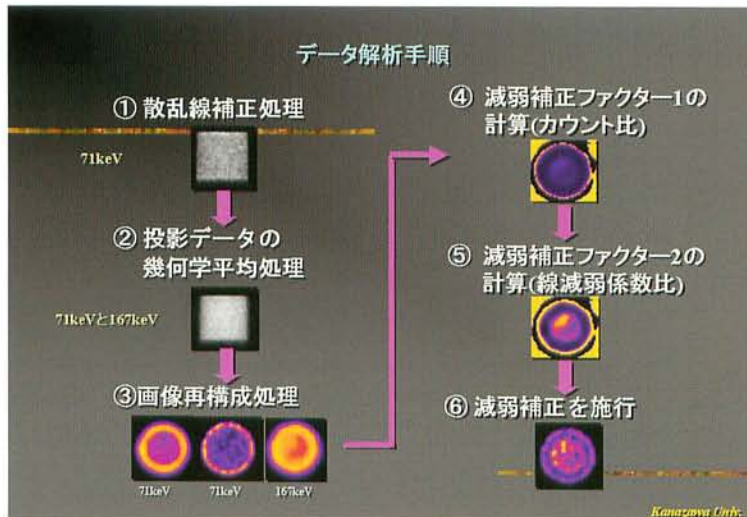
①: 71keVデータに対してのみBWF(8,0.10)を

*金沢大学大学院 医学系研究科量子医療技術学講座
*** 同 医学部附属病院核医学診療科

***金沢大学大学院 医学部保健学科



▲図1



▲図2

用いて散乱線補正処理を行う。

②:①と167keVの2つの投影データに対して幾何学的平均データを作成。

③:②で得られた投影データを再構成。

④:③で得られた71keVと167keVの再構成画像を掛けあわせ、カウント比を掛けあわせる。

⑤:④で得られた画像に μ 比を掛けあわせる。

⑥:④で得られた画像に対し③で得られた画像を掛け合わせ減弱補正を施行した(図2)。

4. 評価法

濃度直線性:濃度は $1\mu\text{Ci/ml}$ の ^{201}Tl 溶液を使用。関心領域を $6\times 6\text{pixel}$ に設定し6箇所(0,20,40,60,80,100%と濃度 $1\mu\text{Ci/ml}$ に水を加え濃度調節)に設定し1pixelあたりの平均カウントを算出した。

線源弱係数: ^{201}Tl を中心部にいれ関心領域を $6\times 6\text{pixel}$ に設定し、水の有無により求めた合計カウントから μ を求めた。

空間分解能:さらに ^{201}Tl を中心部、中心部から7.5cm外側部の計3箇所にいれ線広がり関数を求めることにより半値幅を算出した。また、散乱線減弱補正なし(Scatter (-), Attenuation (-) 以下S (-) A (-)), 散乱線補正のみあり(S (+) A (-)), 散乱線減弱補正あり(S (+) A (+))の画像を作成し比較評価した。

5. 検定

検定には直線回帰分析(simple regression)とピアソン相関係数を使用し、危険率(p)5%未満を有意差ありとした。

【結果】

1. 最適カウント比の検討

線減弱係数比(μ)を1.67と仮定し、カウント比を変化させたときの補正した中心部のカウントを外側部のカウントで除した値(中心部/外側部比)を算出した。空間周波数が 0.1cycle/pixel の場合、カウント比が5を超えると中心部/外側部比は減少した。今回、最適カウント比を5に決定した。

2. 最適線減弱係数(μ)比の検討

カウント比を5に固定し、 μ 比を変化させることによって中心部/外側部比の差を算出した。これより中心部/外側部比が1を超えるのは空間周波数が0.1と 0.15cycle/pixel の2つであった。71keVにかける空間周波数が 0.30cycle/pixel のときも中心部/外側部比が1近くまで上がるが、画像が歪んでしまうため、71KeVにかける空間周波数は0.20と0.25が適していると考えられる。今回、近似曲線を求め、 μ 比を平均して算出した2.2777を最適 μ 比とした。

3. 空間分解能ファントムを用いた中心部と外側部のカウント比の検討

各補正の有無によるrecoveryの差を空間周波数

ごとに分類したグラフを図3に示す。どの空間周波数においても補正なし、散乱線補正のみの場合より吸収散乱補正ありの場合が最もrecoveryが大きかった。また、空間周波数ごとのFWHM値を中心部および外側部に分類したグラフを図4に示す。吸収散乱補正を行うことで、FWHM値は中心部と外側部ともに保たれていることがわかる。

4. 濃度直線性の検討

各補正の有無による濃度直線性を空間周波数によって分類したグラフを示す。このグラフより補正の有無に関わらず、濃度直線性が保たれており、有意な正の相関がみられた($r=0.999\sim 0.984$)。

【まとめ】

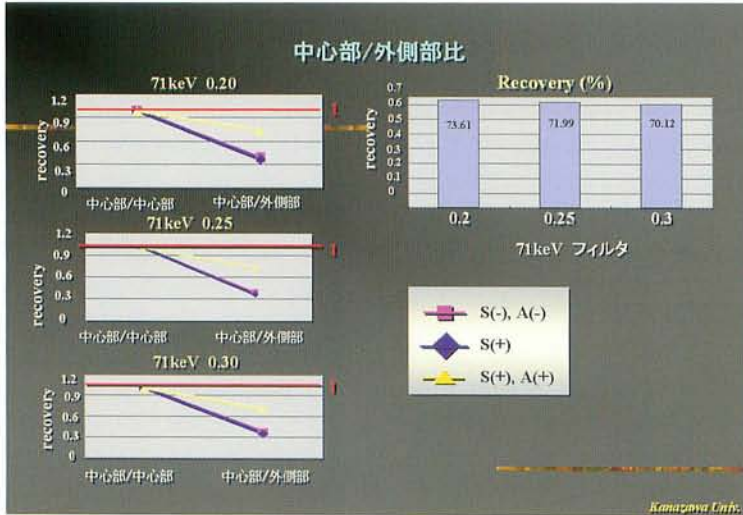
1. 最適エネルギーウィンドウは20%であった。
2. 71keVと167keVの μ 比は散乱線補正の有無に無関係であった。
3. 167keVの空間周波数が 0.10cycle/pixel のとき71keVと167keVのカウント比は最適となった。
4. 71keVデータに使用する空間周波数は0.20もしくは0.25が最適となった。
5. 最適カウント比は5、最適 μ 比は2.2777が最適となった。
6. 散乱減弱補正を行うことで、濃度直線性及び空間分解能は保たれていた。

【結語】

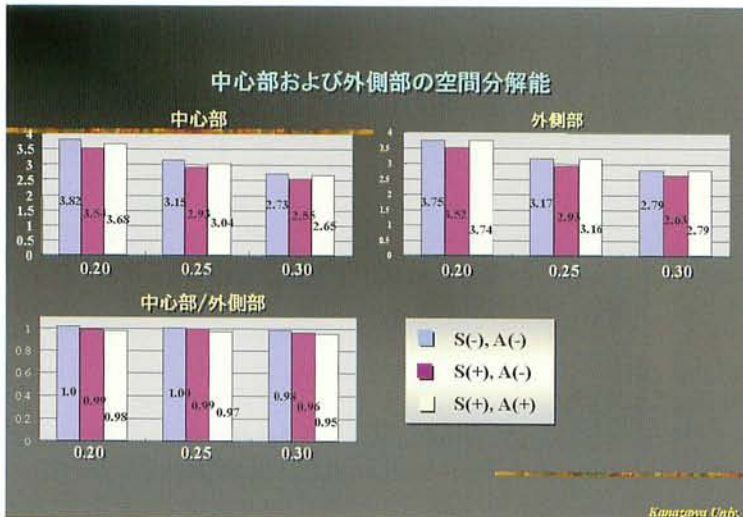
外部線源を必要としない ^{201}Tl IC発生光子の異なる2種類のエネルギー差を利用した減弱補正と散乱線補正を組み合わせた減弱散乱補正法を開発し、基礎的実験によりその有用性が示された。本法により、臨床的可能性が示唆された。

【参考文献】

- 1) 渡邊克司 編:診療放射線技術選書8 放射線同位元素検査技術, 南山堂, 2000.
- 2) Hansen Cland, Siegel JA: Attenuation Correction of Thallium SPECT Using Differential Attenuation of Thallium Photons. J Nucl Med 33: 1574-1577, 1992.
- 3) Broun JK, Tang HR, Hattenaar RS, Bocher M, et al: Intrinsic dual-energy processing of myocardial perfusion images. J Nucl med 41: 1287-1297, 2000.



▲ 図3



▲ 図4