

Tl-201 イメージングにおける off-peak window 設定を評価するためのマルチエネルギーウィンドウ・オーバーラップ同時収集法に関する基礎的検討

吉塚 伸行 古嶋 昭博 村上 智紀
 勝田 昇 橋田 昌弘 高木 昭浩
 松本 政典 鷹本 慶子

熊本大学医学部附属病院 医療技術部

Simultaneous Overlapped Multi-Energy Windows Acquisition Technique for Evaluation of Off-Peak Energy Window Setting in Tl-201 Imaging

Nobuyuki YOSHIZUKA, Akihiro KOJIMA, Tomonori MURAKAMI,
 Noboru KATSUDA, Masahiro HASHIDA, Akihiro TAKAKI,
 Masanori MATSUMOTO and Keiko TAKAMOTO

Division of Medical Technology, Kumamoto University Hospital

(article received : November 6, 2008)

Key words: Tl-201 imaging, Off-peak energy window setting, On-peak energy window setting, Simultaneous overlapped multi-energy windows acquisition, Image uniformity

1. はじめに

Tl-201 は塩化タリウムとして、腫瘍シンチグラフィや心筋シンチグラフィなどに広く利用されている。Tl-201 は、エネルギーの異なる複数の Hg-201 特性 X 線 (69~83 keV) およびガンマ線 (135, 167 keV) を放出するが、放出強度の面からイメージングには主に Hg-201 特性 X 線が用いられている^{1,2)}。

従来、この Hg-201 特性 X 線の光電ピーク領域においてピーク位置を中心とした幅の狭いエネルギーウィンドウ $71 \text{ keV} \pm 10\%$ (以下 on-peak window) が設定されてきた。しかし、このエネルギーウィンドウの中心を高エネルギー側にずらして幅を広くしたエネルギーウィンドウ $77 \text{ keV} \pm 14.3\%$ (以下 off-peak window) を用いれば、直接

線計数率を増加させながら散乱線含有割合を減少できることが報告されている³⁾。この off-peak window 設定の有効性について、従来の on-peak window 設定と比較検討する場合に、両設定による画像を同時に収集できれば、被検者に対して 2 回の検査を行う必要はなくなる。さらに、別々にデータ収集するときに問題となる被検者の体動や RI 分布の経時的変化も無視できる。また、以前われわれは、off-peak window 設定の有用性を明らかにするために、一回のデータ収集で on-peak window 画像と off-peak window 画像の 2 つの画像を同時に得られるような TEW 法を応用した撮影法を考案し、ファントム実験によりその信頼性と精度について報告した⁴⁾。

現在、当施設で稼動しているガンマカメラ SKYLight (Philips 社) は、一度に 16 まで複数の

エネルギーウィンドウを設定ができ、さらに従来機では困難であったウィンドウ同士のオーバーラップ収集が可能である。今回、われわれは、このマルチエネルギーウィンドウ・オーバーラップ同時収集機能（以下、オーバーラップ同時収集法）を利用して、TI-201 イメージングにおける on-peak window 画像と off-peak window 画像を直接同時に得ることに着目した。まず、on-peak window 設定において本研究でも問題となる「エネルギーウィンドウ中心が光電ピーク位置からずれることにより生じる視野感度均一性の保証」を得るための測定試験を行った。その保証についての確認後、オーバーラップ同時収集法から得られる on-peak window 画像と off-peak window 画像の信頼性について、ファントム実験より単独収集した on-peak window 画像と off-peak window 画像それぞれと比較しながら検討したので報告する。

2. 方 法

2-1. エネルギーウィンドウの設定法

TI-201 の Hg-201 特性X線の光電ピーク領域に、以下のように3つのエネルギーウィンドウ設定を行った（Fig. 1）。

(a) on-peak window: $71 \text{ keV} \pm 10\%$ (64 ~ 78 keV) (以下, ON-PW) と off-peak window: $77 \text{ keV} \pm 14.3\%$ (66 ~ 88 keV) (以下, OFF-PW) のオーバーラップ設定

(b) ON-PW 単独設定

(c) OFF-PW 単独設定

以下、設定 (a) のオーバーラップ同時収集で得られた ON-PW 画像と OFF-PW 画像を、それぞれ Overlap ON-PW 画像, Overlap OFF-PW 画像, また、設定 (b) と (c) の単独収集で得られた2つの画像を、それぞれ Single ON-PW 画像, Single OFF-PW 画像と区別することにする。

2-2. 使用機器およびデータ収集

データ収集には、低エネルギー用汎用型 (VXGP) コリメータを装着した対向2検出器型ガンマカメラ SKYLight (Philips 社) を使用した。

2-2-1. 固有視野感度均一性測定試験

コリメータを外した状態で、検出器の視野中心から約 2.5 m 離れた位置に TI-201 点線源 (約 10

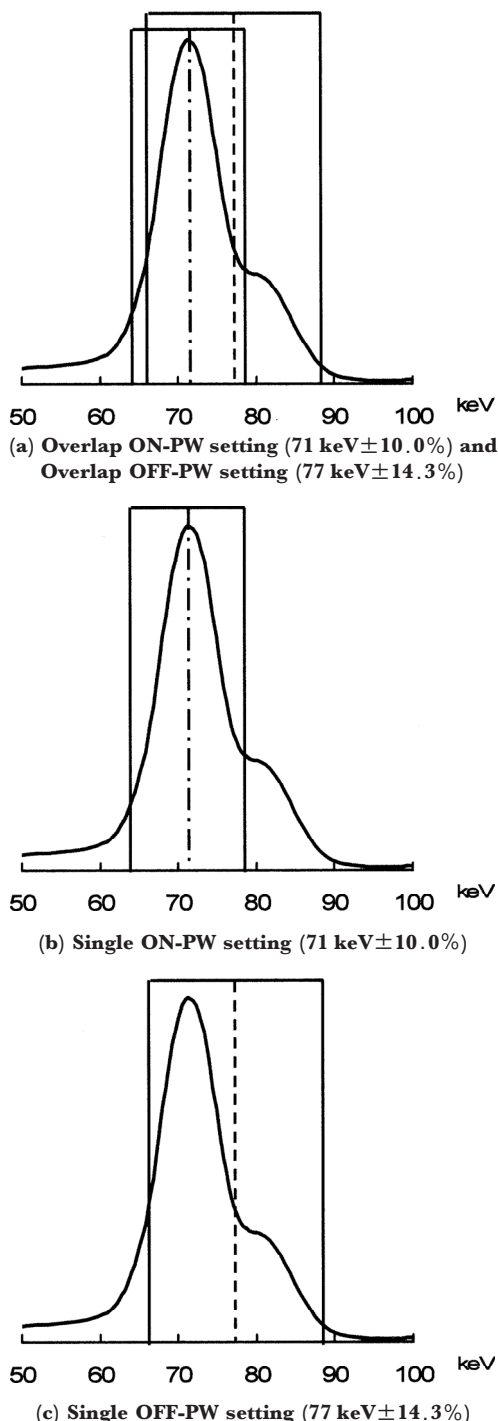


Fig. 1 オーバーラップ同時収集法と単独収集法による ON-PW 設定と OFF-PW 設定

MBq, 13 kcps) を置き、Fig. 1 で示した3つのエネルギーウィンドウ設定にてデータ収集を行っ

た. マトリックスサイズ512×512, 拡大率1倍(ピクセルサイズ1.17×1.17 mm)で, 収集時間は固定せずに15 M カウント収集を行った.

2-2-2. ラインソース

計数値および半値幅 (full width at half maximum, 以下 FWHM) と 1/10 値幅 (full width at tenth maximum, 以下 FWTM) を測定するため, 内径 1.2 mm のポリエチレン製チューブに長さ 5 cm になるように Tl-201 溶液 (5.9 MBq) を封入し, ラインソースを作成した.

イメージ収集条件は, マトリックスサイズ 256×256, 拡大率 2.19 倍 (ピクセルサイズ 1.06×1.06 mm), 収集時間 5 分とした.

コリメータからラインソースまでの距離を 12 cm に固定し, まず空気中でプラナー画像を収集した. 次に, 距離 12 cm で, ラインソースの背面に後方散乱体としてタフウォーターファントムを 10 cm 付加し, 前方散乱体としてタフウォーターファントムを 2, 4, 6, 8, 10 cm と増やしていき, 各散乱体厚にてプラナー画像を収集した (Fig. 2a).

2-2-3. マルチディフェクトファントム

欠損部コントラストを測定するため, 10種類の異なる円形欠損部 (直径 5, 7, 10, 13, 16, 20,

25, 30, 35, 40 mm) を有するアクリル製の平板型マルチディフェクトファントム (25.5×15.5×0.7 cm, 内容量 70 ml) を用いた⁴⁾ (Fig. 2b). ファントム内に Tl-201 溶液 (42.6 MBq) を封入した.

イメージ収集条件は, マトリックスサイズ 256×256, 拡大率 2.19 倍 (ピクセルサイズ 1.06×1.06 mm), 収集時間 10 分とした.

ラインソースと同様にコリメータからマルチディフェクトファントムまでの距離を 12 cm に固定し, まず空気中でプラナー画像を収集した. 次に, 距離 12 cm で, タフウォーターファントムによる後方散乱体厚 10 cm に固定して, タフウォーターファントムによる前方散乱体厚を 2, 4, 6, 8, 10 cm と増やしながら, 各散乱体厚にてプラナー画像を収集した (Fig. 2a).

2-3. データ処理

収集データ全てに対して, Tl-201 (半減期 72.9 時間) の時間減衰補正を行った. 画像処理および解析には Philips 社製核医学データ処理装置 JETStream を使用した.

固有視野感度均一性測定試験については, JETStream の均一性解析ツールを使用した. それぞれの均一性データに対して中心視野 (Center

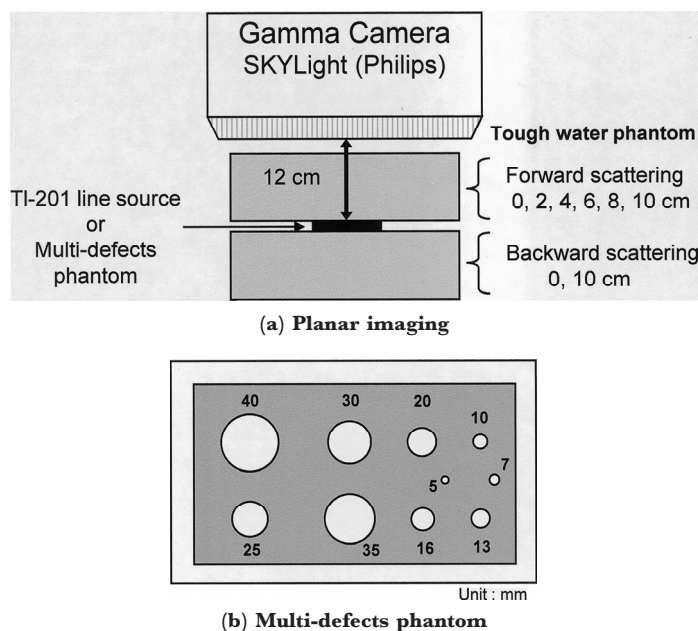


Fig. 2 ラインソースおよびマルチディフェクトファントムによるプラナーイメージング

Field of View, 以下 CFOV) における積分均一性を算出した。

ラインソースに関しては、まずラインソース画像を十分に含むような50×100ピクセルの矩形の関心領域 (region of interest, 以下 ROI) を設定し、その中の全計数値を算出した。次に、ラインソース画像の中心付近の線応答関数 (Line Spread Function, 以下 LSF) を求め、FWHM と FWTM を測定した。

マルチディフェクトファントムに関しては、画像に9点スムージング処理を行った。画像上で20, 30, 40 mm の欠損部中心にそれぞれ4×4ピクセル, 6×6ピクセル, 8×8ピクセルの矩形 ROI を設定し、各 ROI 内の1ピクセル当たりの平均カウントを算出した。また、欠損部近傍のバックグラウンド放射能 (BG) 部に8×16ピクセルの矩形 ROI を4箇所設定し、それらの平均カ

ウントを測定した。20, 30, 40 mm の欠損部における BG 部に対するコントラスト値 (C) をそれぞれ次式により算出した。

$$C = (B - D) / B$$

ここで、 B は BG 部の平均カウント、 D は欠損部の平均カウントである。

3. 結 果

3-1. 固有視野感度均一性測定試験

Fig. 3 に、視野感度均一性測定試験におけるオーバーラップ同時収集および単独収集で撮像された ON-PW 画像と OFF-PW 画像の比較を示す。全ての画像において、視覚的には全視野でカウント均一性はよく保たれているのがわかった。また、CFOV における積分均一性の測定では、ON-PW 設定に関しては Single ON-PW 画像で3.9%, Overlap ON-PW 画像で3.91%であった。

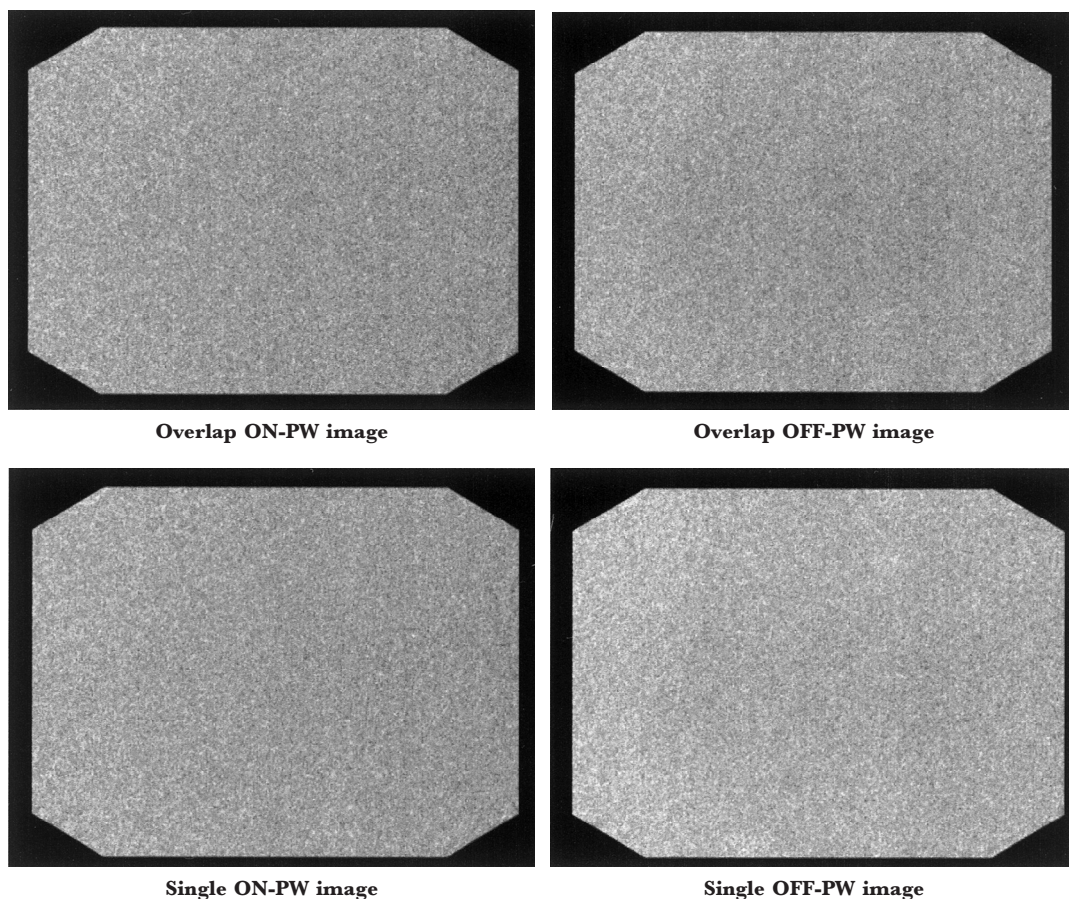


Fig. 3 固有視野感度均一性イメージの比較

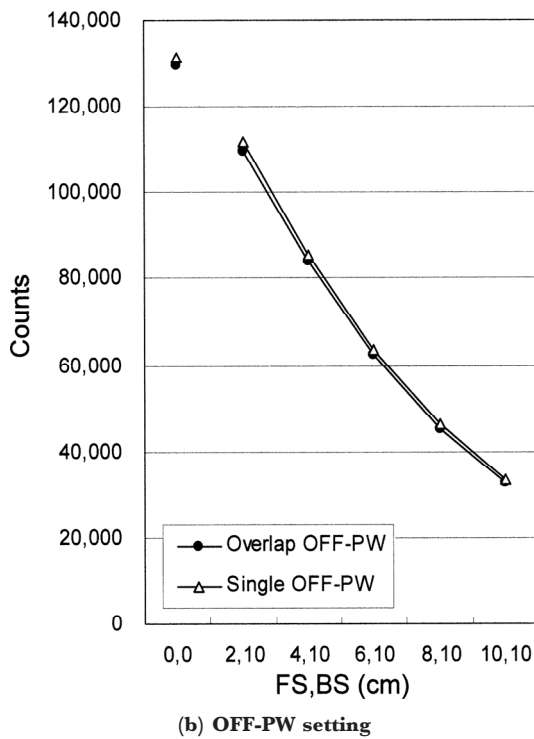
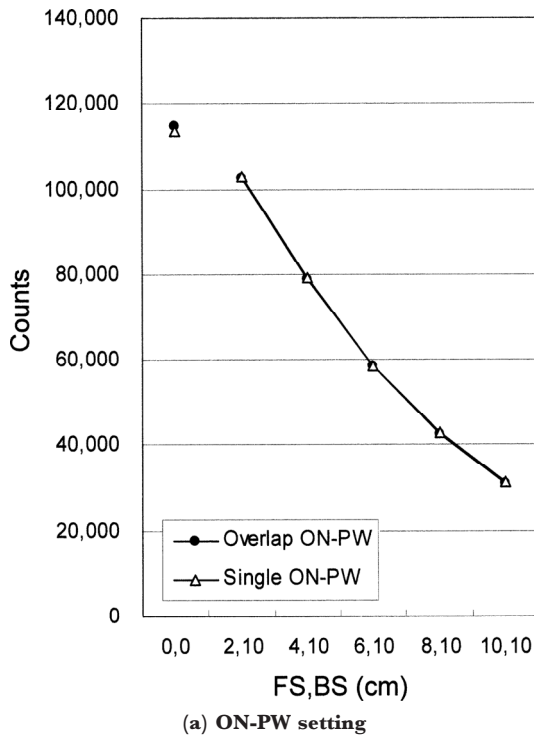


Fig. 4 ON-PW 設定 (a) と OFF-PW 設定 (b) について、オーバーラップ同時収集法と単独収集法で得られた計数値の比較 (FS: 前方散乱体厚, BS: 後方散乱体厚)

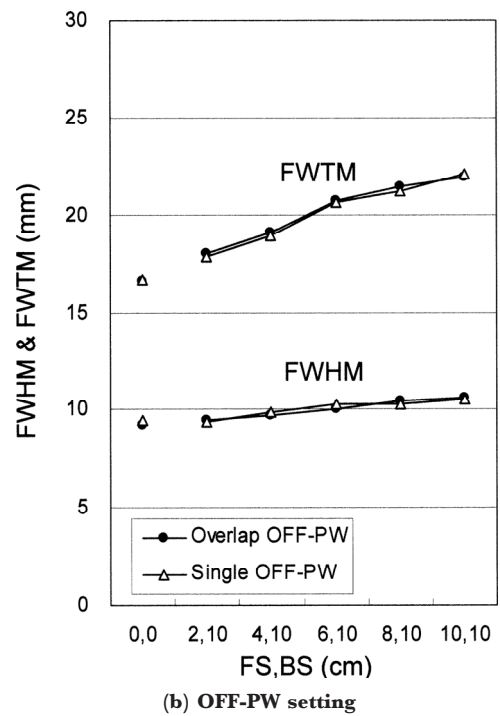
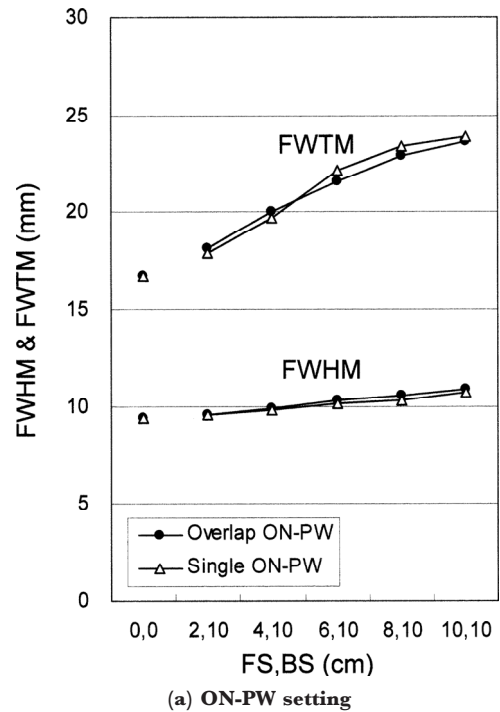


Fig. 5 ON-PW 設定 (a) と OFF-PW 設定 (b) について、オーバーラップ同時収集法と単独収集法で得られた空間分解能 (FWHM と FWTM) の比較

また OFF-PW 設定に関しては、Single OFF-PW 画像では 5.04%，Overlap OFF-PW 画像では 4.77% となり、ON-PW 設定に比べてわずかな低下となった。

3-2. ラインソースでの比較

ラインソース画像より得られた計数値の比較を **Fig. 4** に示す。Overlap ON-PW 画像と Single ON-PW 画像、Overlap OFF-PW 画像と Single OFF-PW 画像の計数値は、それぞれ同等であった。

Fig. 5 に測定された FWHM と FWTM の比較を示す。Overlap ON-PW 画像と Single ON-PW 画像、Overlap OFF-PW 画像と Single OFF-PW 画像における FWHM と FWTM は、それぞれほとんど同等であった。

3-3. マルチディフェクトファントムでの比較

Fig. 6 に、前方散乱体厚 8 cm，後方散乱体厚 10 cm において、オーバーラップ同時収集および単独収集で撮像された Overlap ON-PW 画像と Single ON-PW 画像、および Overlap OFF-PW 画像と Single OFF-PW 画像を示す。Overlap ON-PW 画像と Single ON-PW 画像、Overlap OFF-PW 画像と Single OFF-PW 画像はそれぞれ視覚的に同等であった。

直径の異なる 3 つの欠損部におけるコントラスト値を **Fig. 7** に示す。Overlap ON-PW 画像と Single ON-PW 画像、Overlap OFF-PW 画像と Single OFF-PW 画像のコントラスト値は、それぞれ同等であった。

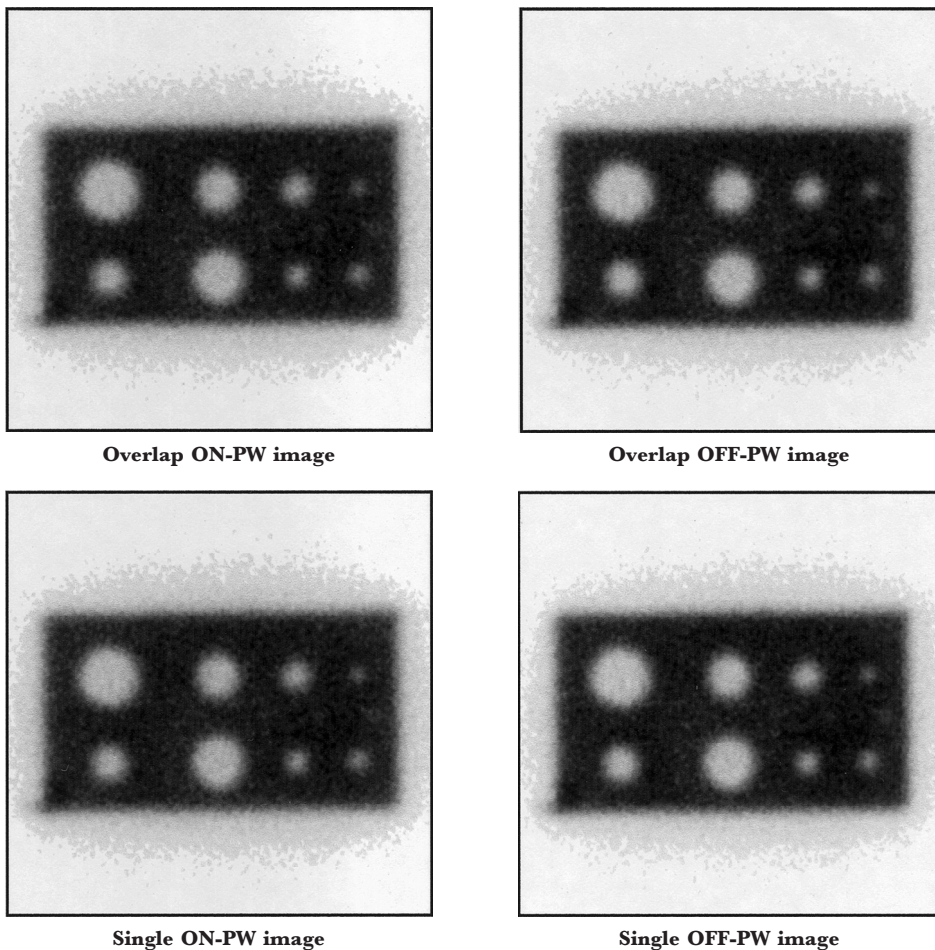
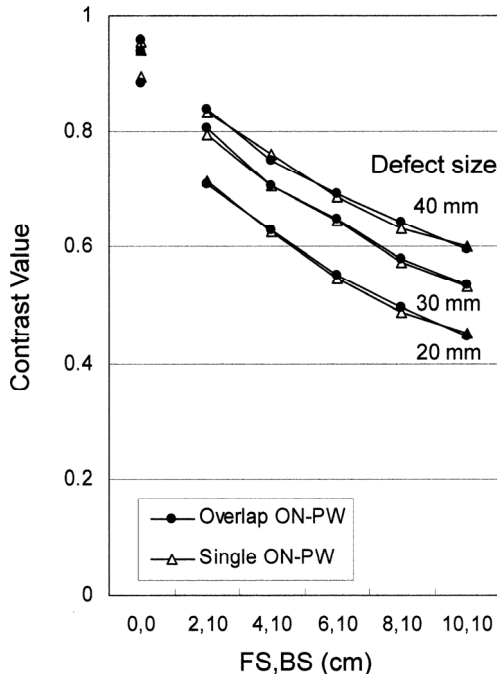
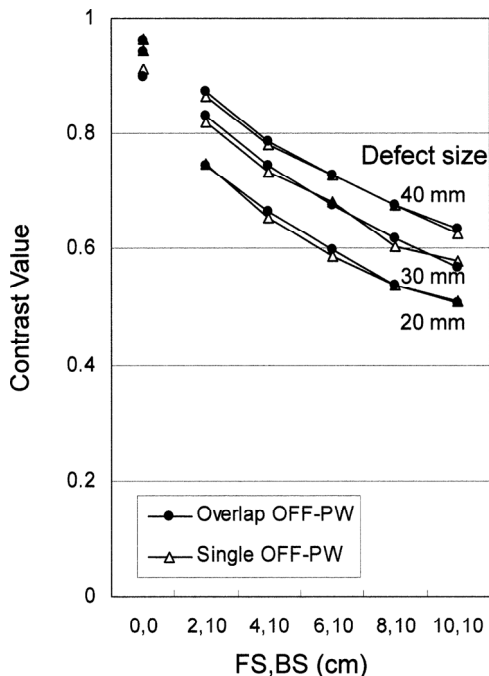


Fig. 6 ON-PW 設定と OFF-PW 設定について、オーバーラップ同時収集法と単独収集法で得られた画像同士の比較



(a) ON-PW setting



(b) OFF-PW setting

Fig. 7 ON-PW 設定 (a) と OFF-PW 設定 (b) について、オーバーラップ同時収集法と単独収集法で得られたコントラスト値の比較 (FS: 前方散乱体厚, BS: 後方散乱体厚)

4. 考 察

Tl-201 は Tc-99m に比べて、イメージングに用いられる Hg-201 特性 X 線のエネルギーが低いこと体内での減弱や散乱が多いことや、多量の放射能を投与することができないなど、いくつかの欠点を有している。従って、Tl-201 イメージの画質を上げるためには、体内に分布する少量の Tl-201 から放出される直接線をなるべく多く体外で検出できるような撮像法が望まれる。

そこで以前にわれわれは、従来の Hg-201 特性 X 線光電ピーク位置に中心をもつ幅の狭いウィンドウ (ON-PW) 設定よりも、直接線をより多く計数すると同時に散乱線含有割合を減少させるような、中心を上方にシフトした幅の広いウィンドウ (OFF-PW) 設定を提案した³⁾。

さらに臨床検査において、この OFF-PW 設定の有用性を ON-PW 設定と比較しながら検証できるように、散乱線補正法として開発された TEW 法のデータ収集法を応用することにより、一回のデータ収集で ON-PW 画像と OFF-PW 画像を得る方法を考案した⁴⁾。

今回われわれは、ガンマカメラ SKYLight (Philips 社) が有するマルチエネルギーウィンドウ・オーバーラップ同時収集機能を利用して、ON-PW 画像と OFF-PW 画像を同時に得ることに着目した。この収集機能を用いれば、一回のデータ収集で直接 ON-PW 画像と OFF-PW 画像が得られるため、われわれが考案した TEW 法を応用した同時収集法に比べて、加算画像作成などの処理が必要でない。また、TEW データ収集における微小幅ウィンドウの画像均一性劣化の影響も少なくなる。

本研究では、このオーバーラップ同時収集法によって得られた ON-PW 画像と OFF-PW 画像の信頼性を確認するために、まず、OFF-PW 設定による視野感度均一性の保証があることを確認した後、ファントム実験によりそれぞれのエネルギーウィンドウ設定により単独で収集された画像と比較検討した。OFF-PW 設定による固有視野感度均一性については、ON-PW 設定に比べて CFOV 積分均一性で約 1% の低下となったが、均一性は良好に保たれていると思われる。このわ

ずかな差の均一性条件においてオーバーラップ同時収集法と単独ウィンドウ収集で得られた、ON-PW 画像同士、OFF-PW 画像同士はそれぞれ計数値、FWHM、FWTM、コントラスト値、均一性について同等の値が得られた。また、オーバーラップ同時収集法によって得られた ON-PW 画像と OFF-PW 画像を比較すると、OFF-PW 画像に対してこれまでわれわれが報告してきたような、計数値、FWTM、コントラストについての画質の向上も確認できた。従って本法は臨床検査においても十分応用できると考えられる。

最近、Tl-201 イメージングについて、われわれが提案する OFF-PW 設定と同様なエネルギーウィンドウ設定 ($77 \text{ keV} \pm 15\%$) を推奨する論文が海外でも報告されるようになった⁶⁾。また、国内においても OFF-PW 設定に 167 keV ウィンドウを追加することにより、従来の ON-PW 単独収集よりもさらに Tl-201 の計数率を 30% 向上させることができると報告されており⁷⁾、今後 Tl-201 の ON-PW 設定を見直す必要があると思われる。これからの課題として、様々な立体ファントムを用いた SPECT イメージングにて、オーバーラップ同時収集法を用いた基礎的検討を行い、腫瘍シンチグラフィや心筋シンチグラフィなどの臨床検査において、OFF-PW 設定の有用性について検討していきたい。

5. 結 語

マルチエネルギーウィンドウ・オーバーラップ同時収集機能を有するガンマカメラを用いて、Tl-201 シンチグラフィにおける off-peak window 設定と on-peak window 設定による 2 つの画像を同時に得る方法についてファントム実験により検討した。その結果、Philips 社ガンマカメラ

SKYLight では on-peak window 設定による視野感度均一性の低下はほとんどないことと、オーバーラップ同時収集法により得られた両設定画像は、それぞれ単独で得られた画像と同等であることがわかった。今後、Tl-201 による臨床検査イメージングにおいてこのオーバーラップ同時収集法を用いれば、一回の検査で off-peak window 画像の有用性を on-peak window 画像と比較しながら検証することが可能であると思われる。

参考文献

- 1) Browne E, Firestone RB: Table of radioactive isotopes, John Wiley & Sons, Inc., New York, 201-2, 1986
- 2) 古嶋昭博, 松本政典, 大山洋一, 他: Tl-201 イメージングのための Hg-201 特性 X 線ピーク領域におけるエネルギースペクトル解析. 核医学, **34**(2): 95-103, 1997
- 3) Kojima A, Takaki A, Noguchi T, et al: Optimum energy window setting on Hg-201 x-rays photopeak for effective Tl-201 imaging. Ann Nucl Med, **19**(7): 541-547, 2005
- 4) 村上智紀, 古嶋昭博, 高木昭浩, 他: Tl201 イメージングにおける on-peak window 画像の同時収集法の考案. 核医学技術, **27**: 201-209, 2007
- 5) Ogawa K, Harata Y, Ichihara T, et al: A practical method for position-dependent Compton scatter correction in single photon emission CT. IEEE Trans Med Image, **10**(3): 408-412, 1991
- 6) Kalantari F, Rajabi H, Yaghooi N: Optimized energy window configuration for ^{201}Tl imaging. J Nucl Med Technol, **36**(1): 36-43, 2008
- 7) Kikuchi A, Onoguchi M: Examination of image using off-peak energy window for 71 and 167 keV photo peak in ^{201}Tl myocardial perfusion SPECT: Evaluation using phantom and clinical studies. J Nucl Med, **49**(Supplement 1): 420p, 2008