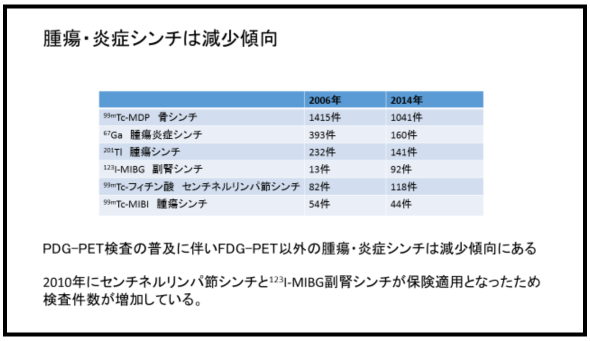
核医学担当業務に必要な知識と技術
－腫瘍・炎症系シンチ－

金沢大学附属病院　放射線部　米山 寛人

1. はじめに

PDG-PET 検査の普及に伴い FDG-PET 以外の腫瘍・炎症シンチは減少傾向にある。2010 年にセンチネルリンパ節シンチと ^{123}I-MIBG 副腎シンチが保険適用となったため検査件数が増加している（図 1）。

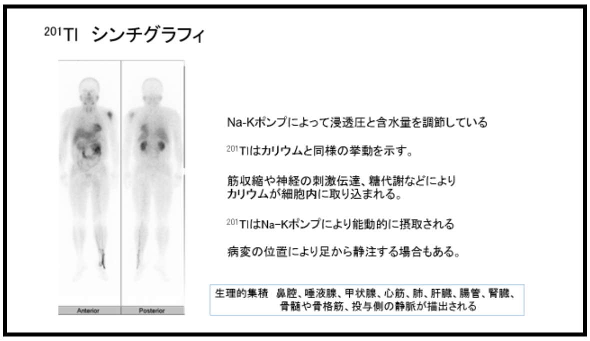


	2006年	2014年
^{99m}Tc-MDP　骨シンチ	1415件	1041件
^{67}Ga　腫瘍炎症シンチ	393件	160件
^{201}Tl　腫瘍シンチ	232件	141件
^{123}I-MIBG　副腎シンチ	13件	92件
^{99m}Tc-フィチン酸　センチネルリンパ節シンチ	82件	118件
^{99m}Tc-MIBI　腫瘍シンチ	54件	44件

（図 1）　腫瘍・炎症シンチの検査件数

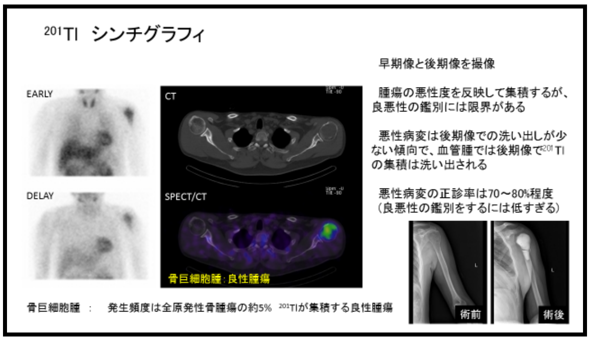
2. ^{201}Tl シンチグラフィ

^{201}Tl シンチでは、早期像に全身像とプラナ像（腫瘍と心臓）、腫瘍の SPECT/CT 像および 3～4 時間後にプラナ像（腫瘍と心臓）、腫瘍の SPECT 像を撮像する。^{201}Tl はカリウムと同様の挙動を示し、筋収縮や神経の刺激伝達、糖代謝などにより Na-K ポンプで能動的に細胞内に摂取される。生理的集積部位は鼻腔、唾液腺、心筋、肺、肝臓、腸管、腎臓、骨盤、骨格筋、投与側の静脈が描出される（図 2）。そのため、病変の位置により足から静注する場合もある。



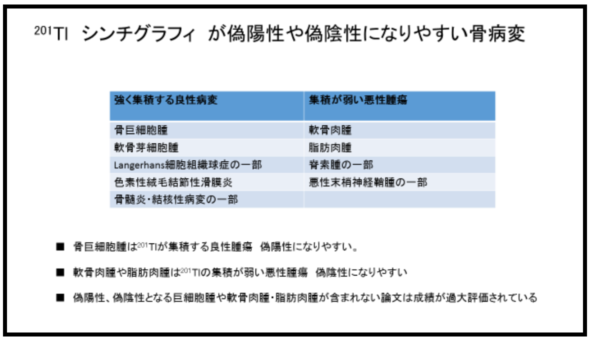
（図 2）　^{201}Tl の集積機序

^{201}Tl は腫瘍の悪性度を反映して集積するが、良悪性の鑑別には限界がある。悪性病変は後期像での洗い出しが少ない傾向で、血管腫では後期像で ^{201}Tl の集積は洗い出される。悪性病変の正診率は 70～80%程度で良悪性の鑑別をするのは難しい（図 3）。



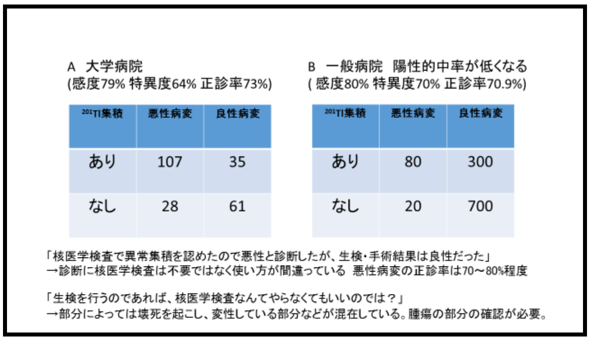
（図 3）　^{201}Tl は早期像と後期像を撮像

骨巨細胞腫は ^{201}Tl が集積する良性腫瘍で偽陽性になりやすい。軟骨肉腫や脂肪肉腫は ^{201}Tl の集積が弱い悪性腫瘍で偽陰性になりやすい（図 4）。



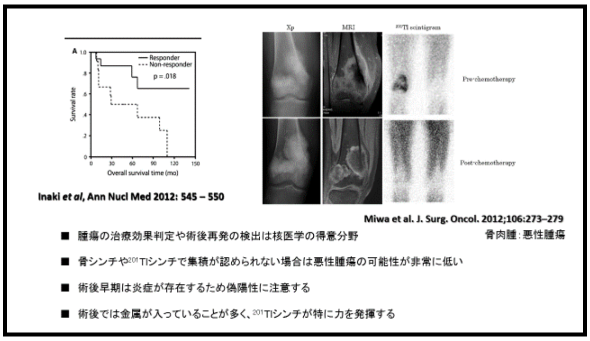
（図 4）偽陽性や偽陰性になりやすい病変

大学病院よりも一般病院の方が良性病変の患者が多く、陽性的中率が低くなる傾向にある。「核医学検査で異常集積を認めたので悪性と診断したが、生検・手術結果は良性だった」という意見が聞かれるが、診断に核医学検査が不要ではなく使い方が間違っている。悪性病変の正診率は 70～80%程度である。「生検を行うのであれば、核医学検査なんてやらなくてはいいのでは？」という意見も聞かれるが、部分によっては壊死を起こし、変性している部分などが混在しているため腫瘍の部分の確認が必要である（図 5）。



（図 5）^{201}Tl による良悪性の鑑別は困難

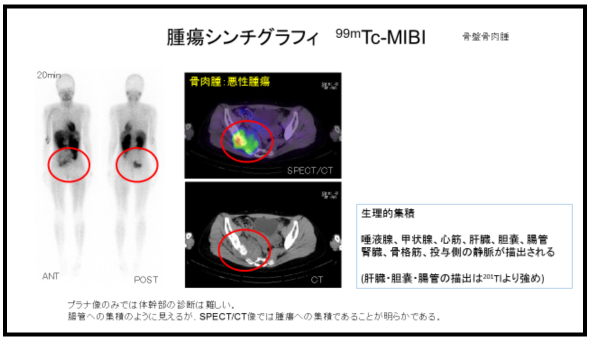
腫瘍の治療効果判定や術後再発の検出は核医学の得意分野である。骨シンチや ^{201}Tl シンチで集積が認められない場合は悪性腫瘍の可能性が非常に低い。術後早期は炎症が存在するため偽陰性に注意する。また、術後では金属が入っていることが多く、^{201}Tl シンチなどの核医学検査が特に力を発揮する（図 6）。



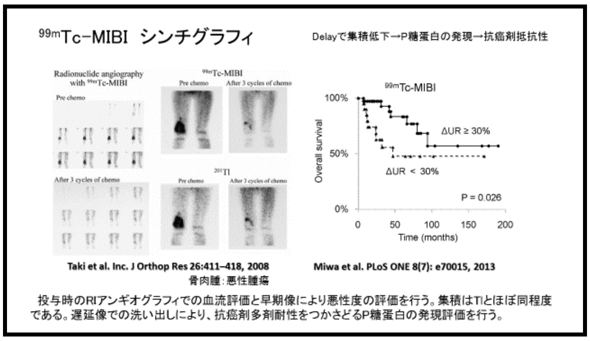
（図 6）^{201}Tl による治療効果判定

3. ^{99m}Tc-MIBI シンチグラフィ

^{99m}Tc-MIBI シンチでは、早期像に RI アンギオグラフィ像とプラナ像（腫瘍と心臓）、腫瘍の SPECT/CT 像および 3～4 時間後にプラナ像（腫瘍と心臓）、腫瘍の SPECT 像および心筋の Gated SPECT を撮像する。プラナ像のみでは体幹部の診断は難しく、SPECT/CT 像により集積部位が明らかになる。生理的集積部位は唾液腺、甲状腺、心筋、肝臓、胆嚢、腸管、腎臓、骨格筋、投与側の静脈が描出される。肝臓や胆嚢、腸管の描出は ^{201}Tl よりも強めである。投与時の RI アンギオグラフィでの血流評価と早期像により悪性度の評価を行う。集積は Tl とほぼ同程度である。遅延像での洗い出しにより、抗癌剤多剤耐性をつかさどる P 糖蛋白の発現評価を行う（図 7,8）。

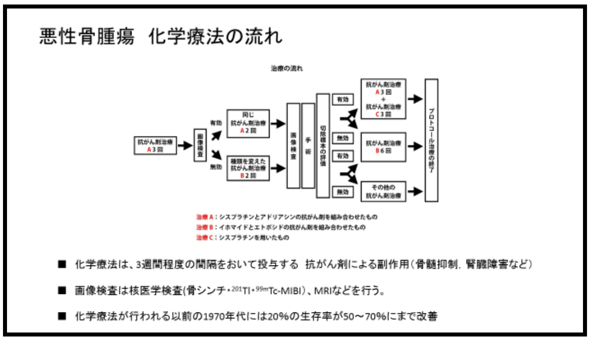


（図 7）^{99m}Tc-MIBI による腫瘍シンチ



（図 8）　^{99m}Tc-MIBI による腫瘍シンチ

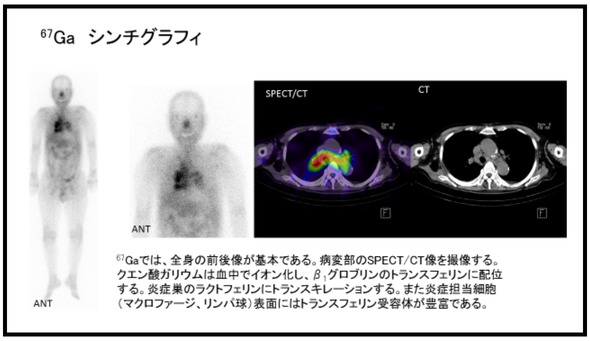
悪性骨腫瘍の化学療法は抗がん剤による副作用の骨髄抑制や腎機能障害を防ぐため 3 週間程度の間隔をおいて投与する。治療効果判定の画像検査は骨シンチ、^{201}Tl、^{99m}Tc-MIBI、MRI などを行う。化学療法の効果が認められない場合は別の抗がん剤に切り替える。化学療法が行われる以前の 1970 年代には 20%程度の生存率であったが現在では 50～70%にまで改善している（図 9）。



（図 9）悪性骨腫瘍　化学療法の流れ

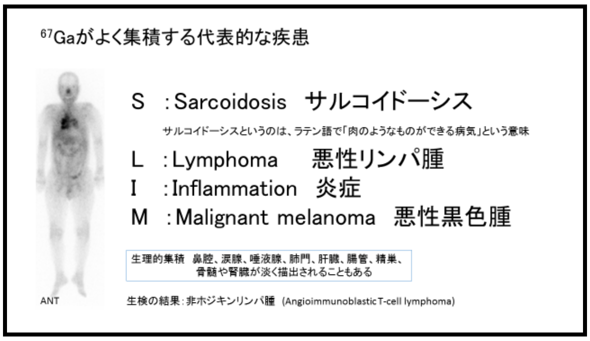
4. ^{67}Ga シンチグラフィ

^{67}Ga シンチは全身像が基本であり、病変があれば SPECT/CT 像を追加する。クエン酸ガリウムは血中でイオン化し、β_1グロブリンのトランスフェリンに配位する。炎症巣のラクトフェリンにトランスキレーションする。また炎症担当細胞（マクロファージ、リンパ球）表面にはトランスフェリン受容体が豊富である（図 10）。



（図 10）　^{67}Ga シンチの集積機序

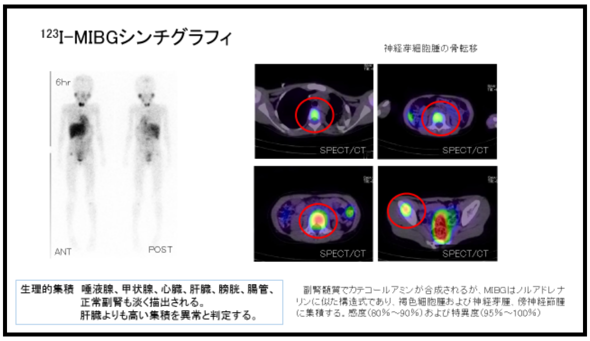
^{67}Ga がよく集積する代表的な疾患として S（Sarcoidosis:サルコイドーシス）、L（Lymphoma:悪性リンパ腫）、I（Inflammation:炎症）、M（Malignant melanoma:悪性黒色腫）があり、生理的集積部位は鼻腔、涙腺、唾液腺、肺門、肝臓、腸管、精巣、骨盤や腎臓が淡く描出されることもある（図 11）。



（図 11）^{67}Ga がよく集積する疾患

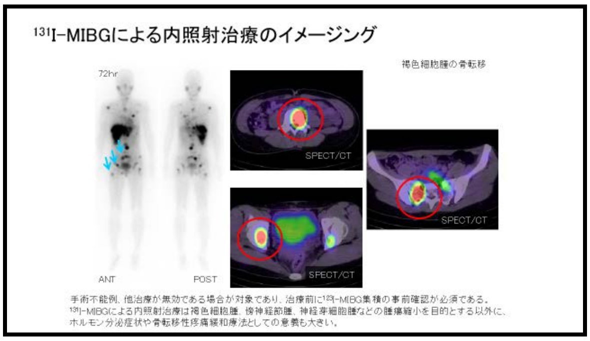
5. ^{123}I-MIBG シンチグラフィ

^{123}I-MIBG シンチでは、全身像を 6 時間後および 24 時間後に撮像し、24 時間後に SPECT/CT 像を撮像する。副腎髄質でカテコールアミンが合成されるが、MIBG はノルアドレナリンに似た構造式であり、褐色細胞腫および神経芽腫、傍神経節腫に集積する。感度は 80～90%および特異度は 95～100%である。生理的集積部位は唾液腺、甲状腺、心臓、膀胱、腸管、正常の副腎も淡く描出される。肝臓よりも高い集積を異常と判定する（図 12)。



（図 12）　^{123}I-MIBG シンチグラフィ

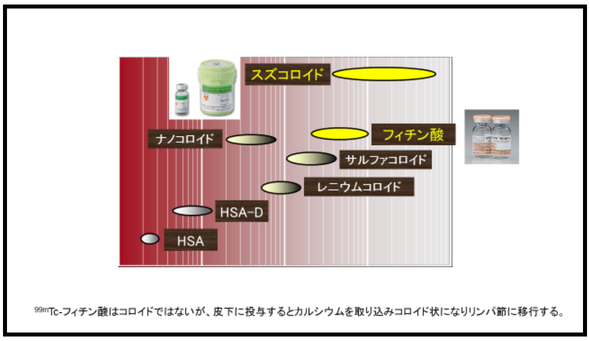
当院では ^{131}I-MIBG による内照射治療を行っており、手術不能例や他の治療が無効である場合が対象であり、治療前に ^{123}I-MIBG 集積の事前確認が必須である。^{131}I-MIBG による内照射治療は褐色細胞腫、傍神経節腫、神経芽細胞腫などの腫瘍縮小を目的とする以外に、ホルモン分泌症状や骨転移性疼痛緩和治療としての意義も大きい（図 13)。



（図 13）　内照射治療のイメージング

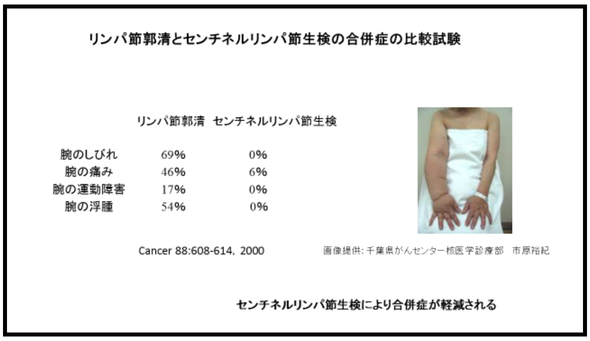
6. センチネルリンパ節シンチグラフィ

^{99m}Tc-フィチン酸センチネルリンパ節シンチでは、プラナ像を 10 分後および 3～4 時間後に撮像し、3～4 時間後に SPECT/CT 像を撮像する。^{99m}Tc-フィチン酸はコロイドではないが、皮下に投与するとカルシウムを取り込みコロイド状になりリンパ節に移行する（図 14)。



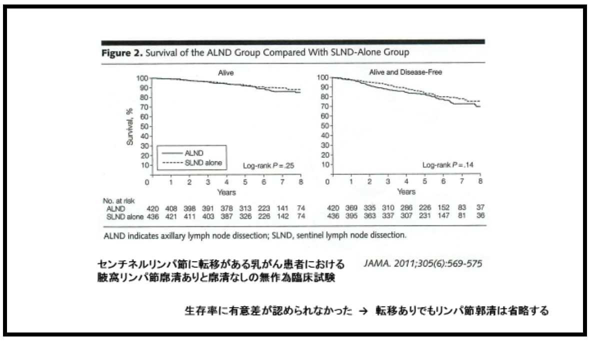
（図 14）　^{99m}Tc-フィチン酸の集積機序

最初に転移する可能性が最も高いセンチネルリンパ節を検索し、生検（病理診断）すれば領域全体のリンパ節の指標となる。リンパ節郭清とセンチネルリンパ節生検の合併症の比較試験では腕のしびれや痛み、運動障害、浮腫などの合併症がセンチネルリンパ節生検により軽減される（図 15)。

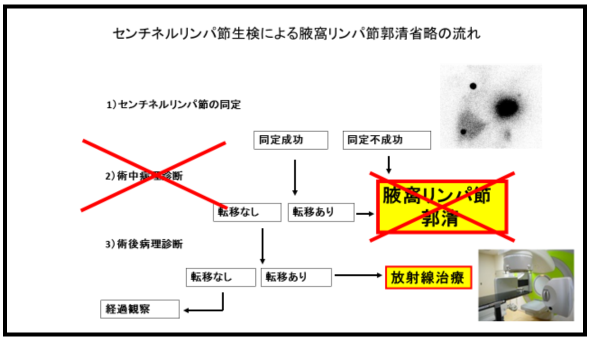


（図 15）センチネルリンパ節生検によるリンパ節郭清の省略で合併症が軽減

センチネルリンパ節に転移がある乳がん患者における腋窩リンパ節郭清ありと郭清なしの無作為臨床試験の結果より、両者の生存率に有意差が認められなかったため、当院では 2014 年より転移のある場合でも腋窩リンパ節郭清を行わず、腋窩部の放射線治療を行うことになった（図 16, 17）。

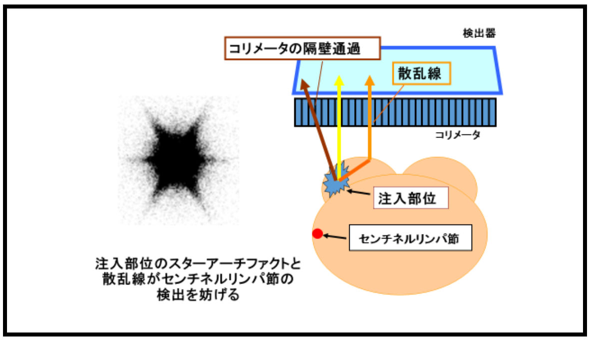


（図 16）　腋窩リンパ節郭清ありと郭清なしの無作為臨床試験

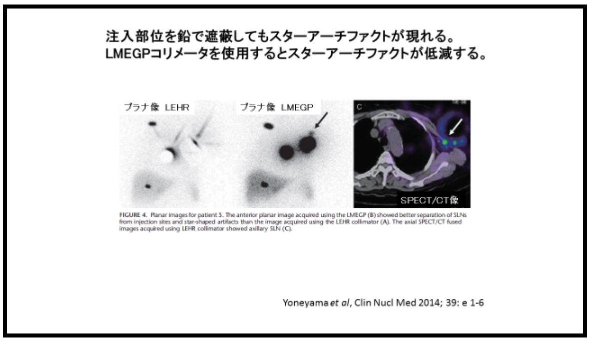


（図 17）　腋窩リンパ節郭清省略の流れ

センチネルリンパ節シンチグラフィにおいて注入部位のスターアーチファクトと散乱線がセンチネルリンパ節の検出を妨げる。そのために注入部位を鉛で遮蔽するが、LEHR コリメータだと注入部位を鉛で遮蔽してもスターアーチファクトが現れる。LMEGP コリメータを使用するとスターアーチファクトが軽減する（図 18, 19）。

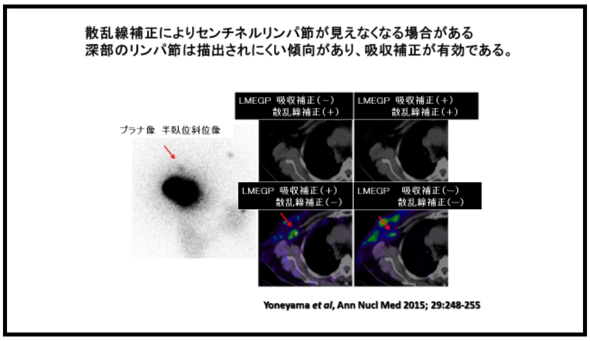


（図 18）注入部位のスターアーチファクト



（図 19）LMEGP コリメータの使用によるスターアーチファクトの低減

SPECT/CT を撮像することによりセンチネルリンパ節の解剖学的位置の同定が容易になるが、散乱線補正によりセンチネルリンパ節が見えなくなることがある。また、深部のリンパ節は描出されにくい傾向があり、吸収補正が有効である（図 20）。



（図 20）散乱線補正により SPECT/CT 像のセンチネルリンパ節が検出できなかった症例

臨床画像による評価ではセンチネルリンパ節の検出率は SPECT/CT 像において散乱線補正なし、吸収補正ありが最も検出率が高くなり、プラナ像よりも検出率が高くなった。しかし散乱線補正をかけることにより注入部位近傍のセンチネルリンパ節のカウントが低下したため検出率は低下した（図 21）。

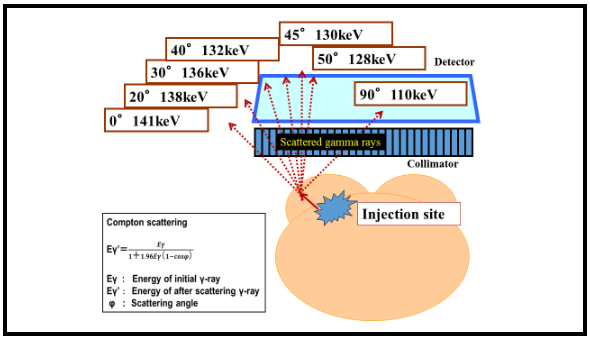
56症例の臨床画像による評価　センチネルリンパ節の検出率

		減弱補正 あり	減弱補正 なし
散乱線補正	あり	78.6% (44/56)	78.6% (44/56)
散乱線補正	なし	★ 98.2% (55/56)	89.3% (50/56)

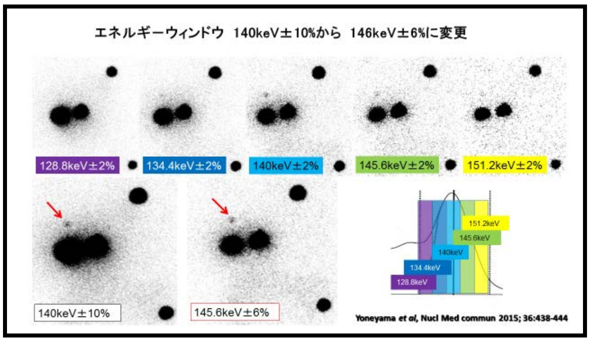
プラナ像 94.6% (53/56)　　Yoneyama et al, Ann Nucl Med 2015; 29:248-255

（図 21）SPECT/CT 像の散乱線・吸収補正とセンチネルリンパ節の検出率の変化

注入部位からの散乱線のエネルギーはその散乱角度により異なる。散乱角度が大きいほど散乱後のガンマ線のエネルギーが低くなる（図 22）。通常のエネルギーウィンドウでは低いエネルギーの部分も含まれているため散乱線が多く含まれる。エネルギーウィンドウを従来の 140keV±10%で撮像していたが、高エネルギー側にややシフトさせた 146keV ±6%を使用することによりコントラストが改善した（図 23）。



(図 22）コンプトン散乱におけるガンマ線のエネルギーと散乱角度の関係



（図 23）エネルギーウィンドウを 140keV±10%から 146keV±6%に変更

7.　まとめ

FDG-PET の普及により FDG-PET 以外の腫瘍核医学検査は減少している。また、核医学検査での腫瘍の良悪性の鑑別には限界がある。しかし、腫瘍の治療効果判定や術後の再発の検出は核医学の得意分野である。適切な SPECT/CT 像の撮像条件を設定することが重要であり、薬剤の集積機序や性質を正しく理解して、正しく使用すれば有用な検査になる。