

Maximization of Mutual Information を 用いた副甲状腺シンチグラフィの Subtraction SPECT 画像

原 成広^{1,2)} 小野口昌久²⁾ 高山 輝彦²⁾
尾羽根範員³⁾ 宮地 利明²⁾ 吉岡 俊彦⁴⁾
阪口 勝彦⁵⁾ 本田 稔¹⁾

1) 住友病院 診療技術部 放射線技術科

2) 金沢大学大学院医学系研究科保健学専攻

3) 住友病院 診療技術部 超音波技術科

4) 住友病院 泌尿器科

5) 住友病院 内科

Subtraction SPECT Imaging for Parathyroid Scintigraphy Based on Maximization of Mutual Information

Narihiro HARA^{1,2)}, Masahisa ONOGUCHI²⁾, Teruhiko TAKAYAMA²⁾,
Norikazu OBANE³⁾, Toshiaki MIYATI²⁾, Toshiaki YOSHIOKA⁴⁾,
Katsuhiko SAKAGUCHI⁵⁾ and Minoru HONDA¹⁾

1) Department of Radiological Technology, Sumitomo Hospital

2) Department of Health Sciences, Graduate School of Medical Sciences, Kanazawa University

3) Department of Ultrasonic Examination, Sumitomo Hospital

4) Department of Urology, Sumitomo Hospital

5) Department of Internal Medicine, Sumitomo Hospital

(article received : September 30, 2008)

Key words : Hyperparathyroid, SPECT, Subtraction, Double-phase imaging, Laser pointer

INTRODUCTION

副甲状腺の画像診断は、最初に超音波検査が施行される。この検査法は簡便に行え、比較的高い Sensitivity が得られる^{1~4)}。しかし、この検査の Accuracy は著しくオペレーターの技能に影響する。一方、核医学領域では ^{99m}Tc-MIBI が有効な画像診断薬として認められ、このトレーサーが Double-Phase Imaging に活用されて以来、副甲状腺機能亢進症の患者への標準的な検査法として施行されている。なぜなら、満足のいく Sensi-

tivity やコスト効率が得られているからである^{5~9)}。

通常、Double-Phase Imaging の Subtraction 技術 (²⁰¹Tl-^{99m}Tc) は Planar 画像で活用されており、SPECT 画像では行っていない。Double-Phase ^{99m}Tc-MIBI シンチグラフィは副甲状腺病変の検出能で十分な Sensitivity が得られないとの報告がある¹⁰⁾。しかし、SPECT 画像においては、甲状腺と副甲状腺病変の識別や異所性副甲状腺病変の局所的な限定など、異常集積の副甲状腺を検出することで Sensitivity や Accuracy の向上

が見込まれている¹¹⁻¹³⁾。今までシングルトレーサ (^{99m}Tc-MIBI) で異なる時相 (早期・遅延) の Subtraction SPECT 画像の報告がなかった。しかし、我々は、レーザービームと Maximization of Mutual Information (相互情報量最大化法) を活用し、頸部領域における異なる時相の SPECT 画像に対して精度良く Subtraction 処理が行える新しい技術を考案した。そこで、本研究の目的は、Double-Phase SPECT 画像における Subtraction 技術の実用性と副甲状腺病変の検出感度について検証した。

MATERIALS AND METHODS

Patient Population

本研究は、副甲状腺機能亢進症の患者14名 (男性: 10, 女性: 4) を対象とした。年齢は37~74歳 (mean age $\pm$ SD: 58 $\pm$ 8.5 yr) であった。患者14名のうち、11名が週3回の血液透析を施行していた (平均血液透析期間: 170ヶ月, 範囲: 84~300ヶ月)。全ての患者で超音波検査と ^{99m}Tc-MIBI シンチグラフィを施行し、2週間以内に副甲状腺摘出手術を施行した。Table 1 に臨床データを示す。術前の生化学的検査において、大多数の患者で血清カルシウム (Ca 値, 基準範囲: 8.2

~10.2 mg/dl) は正常範囲内であった。しかし、血清無機リン (IP 値, 基準範囲: 2.7~4.4 mg/dl), アルカリホスファターゼ (ALP 値, 基準範囲: 115~359 IU/l) および副甲状腺ホルモン (PTH 値, 基準範囲: 10~60 pg/ml) は高値を示した。術前の生化学的検査において大多数の患者で高値を示していたが、術後、IP 値や PTH 値は改善された。Ca 値において、アデノーマ (腺腫) 患者は高値を示していたが、術後、正常範囲となった。しかし、過形成患者は正常値まで減少しなかった。摘出した副甲状腺44腺のうち、41腺が病理組織検査で過形成と診断された (Table 2)。また、患者2名 (症例3, 5) の3腺は摘出できず、病理組織検査を行わなかった。患者14名のうち、3名 (透析患者以外) が高 Ca 血症であった。また、その患者の副甲状腺3腺を摘出し、病理組織検査でアデノーマと診断され、残りの9腺は摘出できず病理組織検査を行わなかった。

Cervical Ultrasonography

超音波検査は、LOGIQ500 装置 (GE Yokogawa Medical Systems, Tokyo, Japan), 11 MHz リニア型探触子およびBモード (走査モード) で超音波検査技師が施行した。患者の頸部領

Table 1 Summary of the clinical data

Patient No	Age	Sex	Dialysis	Blood test						Internal secretion	
				Ca (mg/dl)		IP (mg/dl)		ALP (IU/l)		PTH (pg/ml)	
				(normal: 8.2-10.2 mg/dl)		(normal: 2.7-4.4 mg/dl)		(normal: 115-359 IU/l)		(normal: 10-60 pg/ml)	
				Pre. S	Post. S	Pre. S	Post. S	Pre. S	Post. S	Pre. S	Post. S
1	37	M	+	8.8	7.0	7.5	3.9	483	889	1,015	10
2	37	M	+	7.1	6.4	4.6	4.3	354	371	274	60
3	54	M	+	9.7	8.4	5.8	3.0	403	626	762	140
4	60	F	+	9.7	8.0	4.6	3.9	298	304	933	136
5	62	M	+	8.2	7.7	4.5	3.8	443	837	778	12
6	58	M	+	9.9	9.8	7.3	3.9	363	584	497	7
7	53	M	+	10.2	7.2	8.5	6.2	175	263	1,258	126
8	63	M	+	9.8	7.8	7.9	4.1	542	748	780	7
9	52	M	+	10.0	8.7	6.1	3.4	273	311	533	12
10	61	M	+	10.0	7.6	6.3	4.3	245	248	490	5
11	59	M	+	9.4	8.7	5.0	3.9	443	439	1,236	10
12	74	F	—	10.9	9.0	3.6	3.1	233	239	180	74
13	64	F	—	11.1	9.0	2.7	2.7	370	327	180	40
14	56	F	—	11.4	9.7	2.9	2.5	287	259	62	39

Pre. S=Presurgery (Data within 2 weeks before surgery); Post. S=Postsurgery (Data within 5 days before surgery).

Table 2 Results of scintigraphy, ultrasonography, and surgery

Patient No	Scintigraphy		US		Surgery/Pathology	
	Location		Size (mm)		HP	Weight (mg)
1	R • U	+	16×15×15	—	Hyp	350
	R • U	+		+	Hyp	1,650
	L • U	+	18×13×11	—	Hyp	800
	L • U	+		+	Hyp	1,100
2	R • U	+	23×10×9	—	Hyp	1,600
	R • U	+		+	Hyp	200
	L • U	+	6×5×5	—	Hyp	1,300
	L • U	+		+	Hyp	300
3	R • U	+	21×14×9	+	Hyp	1,600
	R • U	+	13×11×10	+	Hyp	500
	L • U	+	12×10×6	—	N.E	300
	L • U	—		+	Hyp	
4	R • U	+	10×6×5	—	Hyp	500
	R • U	+		+	Hyp	250
	L • U	+	8×8×7	—	Hyp	450
	L • U	+		+	Hyp	400
5	R • U	—	10×6×5	—	N.E	1,600
	R • U	—		+	N.E	
	L • U	+	16×12×10	—	Hyp	
	L • U	+		+	Hyp	
6	R • U	+	11×10×8	—	Hyp	1,450
	R • U	+		+	Hyp	600
	L • U	+	10×8×7	—	Hyp	2,250
	L • U	+		+	Hyp	700
7	R • U	+	6×6×3	+	Hyp	950
	R • U	+	11×4×3	+	Hyp	350
	L • U	+	12×11×3	—	Hyp	2,050
	L • U	+		+	Hyp	350
8	R • U	+	9×8×8	+	Hyp	1,950
	R • U	+	20×11×14	+	Hyp	300
	L • U	+	11×7×7	+	Hyp	250
	L • U	+	11×11×6	+	Hyp	400
9	R • U	+	20×11×14	—	Hyp	1,500
	R • U	—		+	Hyp	900
	L • U	—		—	Hyp	600
	L • U	—		—	Hyp	200
10	R • U	+	10×8×5	+	Hyp	400
	R • U	+	12×9×7	+	Hyp	700
	L • U	+	6×6×8	+	Hyp	300
	L • U	+	10×10×4	+	Hyp	500
11	R • U	+	8×7×5	+	Hyp	100
	R • U	+	13×9×7	+	Hyp	200
	L • U	+	6×5×4	+	Hyp	50
	L • U	+	17×13×6	+	Hyp	500
12	R • U	—	15×5×3	—	N.E	300
	R • U	—		—	N.E	
	L • U	+		+	A	
	L • U	+		+	N.E	
13	R • U	+	20×7×4	+	A	500
	R • U	—	8×8×4	—	N.E	
	L • U	—		—	N.E	
	L • U	—		+	N.E	
14	R • U	—	6×4×4	—	N.E	300
	R • U	+		+	A	
	L • U	—		—	N.E	
	L • U	—		—	N.E	

US=ultrasonography; HP=Histopathology; R=right; L=left; U=upper; L=lower; Hyp=hyperplasia; A=adenoma; N.E=no excision; +=Positive; -=Negative.

域を広範に検査するため背臥位とし、甲状腺と副甲状腺の走査方向は水平断面と矢状断面とした。所見は、エコー組織、内部構造、形状および場所を考慮して評価した³⁾：正常の副甲状腺（楕円と通常の辺縁）と比較して、相対的に高エコーもしくは無エコーで均一な輪郭を描いた画像を副甲状腺疾患が陽性と評価した。副甲状腺の位置は、甲状腺を4区域（右上極、右下極、左上極、左下極）に分類し、その区域を基準に位置を確認した。また、大きさ（横、縦、長径）も測定した (Table 2)。

Positioning with Laser Beam

早期と遅延 SPECT 収集において、患者を同じポジションで施行する必要がある、その手段として、放射性核種マーカーの代わりに1組のレーザーポインタ (LTC-L38P レーザーテクノ社, 大阪, 日本) を使用した (Fig. 1)。

レーザーポインタの構造：装置から投光される

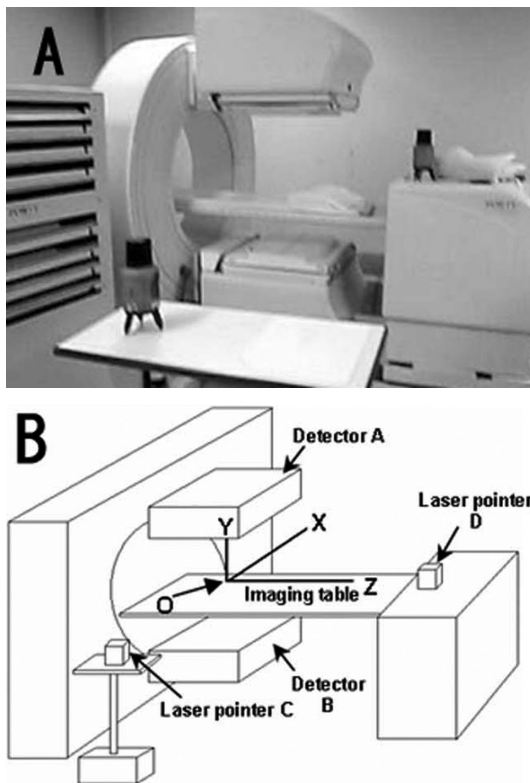


Fig. 1 (A) Appearance, and (B) illustration of the pair of laser pointers aligned at right angles. The point O corresponds to the center of rotation of the detectors.

レーザービームは正確に垂直ラインと水平ラインを同時に投光し、物体などの表面上にクロスマーカー（標準ライン）を描き、ジャイロスコープを搭載し、3つのスタンドで構成されている。

配置方法：レーザーポインタから投光されるクロスマーカーの交点と検出器の回転中心点が一致する場所に配置し、その後、検査室の壁に投光されたクロスマーカーのラインを油性ペンで記載する。壁に記載した箇所に対してレーザーポインタ（レーザービーム）を配置することで、直角に投光されているレーザービームの交点が検出器の回転中心と一致する (Fig. 1B のポイント O)。

検査準備：患者は検査台に対して背臥位とする（検査台は足先から検査装置内に移動する）。患者の鼻根部に対して、レーザーポインタ D から投光されるレーザービームを基準に X 軸上の左右の移動や Y 軸の垂直正中線に一致するように検査台を用いてポジショニングを行う。その後、検査台を Z 軸に沿って移動する。次にレーザーポインタ C から投光される垂直ラインを OM ライン (orbito-meatal line) に一致するように頭の向きを発砲スチロールの枕を使って調整する。その時、検出器の回転中心と一致しているレーザービームの交点を外耳孔に合わせる必要がある。レーザーポインタは早期 SPECT 収集終了まで患者の左側に配置しているが、早期 SPECT 収集後にレーザーポインタを移動する場合がある。その場合、再度、遅延 SPECT 収集前にレーザーポインタを配置し、投光させるクロスマーカーが壁の印と一致して投光されているかを確認し、患者のポジショニングを行う。この手法により異なる時相間でも検査台の患者が同じポジションで施行することが可能となる。

Data Acquisition

核医学検査は、Dual-detector γ -camera 装置 (FORTE; ADAC Laboratories, Milpitas, CA, USA), 汎用型低エネルギーコリメータ (VXGP: Vertex general-purpose parallel collimator) を使用した。Double-Phase $^{99m}\text{Tc-MIBI}$ シンチグラフィは以下に示すプロトコルで施行した。 $^{99m}\text{Tc-MIBI}$ (600 MBq) の静脈注射後、15分より早期 Planar 収集 (anterior view) を施行し、その後、早期 SPECT 収集を施行した。次

に、静脈注射後、120分より遅延 Planar 収集を施行し、その後、遅延 SPECT 収集を施行した。Planar 収集の条件は、収集時間：20分（早期）、25分（遅延）、マトリックス：512×512（1 pixel=0.53 mm）、拡大率：2.19倍とした。また、SPECT 収集の条件は、収集方法：楕円軌道（長軸：26 cm、短軸：20 cm）、収集時間：20 sec/step（早期）、25 sec/step（遅延）、マトリックス：128×128（1 pixel=3.28 mm）、拡大率：1.46倍とした。

Data Processing

収集データの画像再構成は、Filtered Backprojection, Butterworth filter (cutoff = 0.38 cycles/cm, order = 18) および Ramp filter で行い、Transaxial 画像は Coronal と Sagittal 画像を用いて構築した。早期 SPECT 画像の画像再構成領域は、早期 Planar 画像で示す全甲状腺領域に加え、甲状腺の全長約 3 分の 1 の領域を下方に含めて設

定した。例として、**Figure 2** に示すライン13～36の間に甲状腺領域（画像再構成領域）を設定した。**Figure 2** に示すライン間（13～36）の距離は約 7.9 cm（3.28 mm/スライス×24スライス）であった。遅延 SPECT 画像の再構成領域は、早期 Planar 画像で設定した同じ領域とした。画像再構成されたデータは、パーソナルコンピュータ（CF-Y2CW4AXR：パナソニック、東京、日本、以下：PC）のソフトウェア（e-film ver 2.0 iNfocom, 東京、日本）に対してオンラインで転送（DICOM 形式）した。PC 上の画像処理は、フリーウェアのインターフェイスソフト（Interface of NEUROSTAT and Neuroimaging Registration Tool, Japan Medi-Physics Corp, 以下：iNRT）を用いて処理を行い、Fusion 画像（融合画像）と Subtraction SPECT 画像を構築した。また、処理後の副甲状腺の上極と下極の区別（領域判定）は、iNRT ソフトウェアの画像処理後に構築される、早期と遅延 Coronal 画像を用いて評価した。

Visual Image Interpretation

Planar 画像と Subtraction SPECT 画像の評価は、2人の核医学内科医がイメージディスプレイ上で行った。また、Subtraction SPECT 画像の評価は、Fusion 画像（早期・遅延 Transaxial 画像間）において精度良く Coregistration（画像位置合わせ）処理が完了しているかを確認した後に行った。副甲状腺の上極と下極の領域は甲状腺の下方に甲状腺の全長約 3 分の 1 を含め（副甲状腺領域）、放射性トレーサーの残存箇所のスライス位置と副甲状腺領域を基準に病変の位置（左右の上極と下極）を評価した。Subtraction SPECT 画像において放射性トレーサーの残存があった場合、単独（1腺）集積はアデノーマと評価し、2腺あるいはそれ以上の集積は過形成と評価した。

Reproducibility of the technique

我々は臨床研究の前に、技術的な評価（再現性）をアクリルファントムと点線源（直径の 0.5 mm）を用いて行った。その内容は、①ポイントソースと SPECT 再構成の時に表示される横断画像の基準ライン（回転中心ライン）の関係を検討した。その結果、画像上の基準ラインは画像マトリックスの中心と一致していることを確認した。

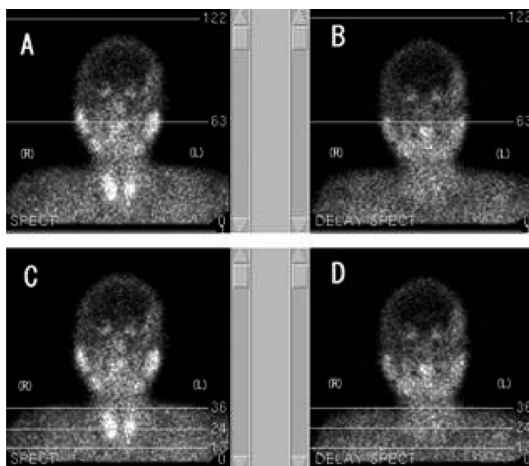


Fig. 2 Planar images used to decide the reconstructed regions for SPECT images. (A) and (C) Early planar images. The line marked 63 in (A) shows the centerline in a 128-matrix. Note that the centerline passes through the bilateral external auditory canal. The region between the pair of lines 13 and 36 is selected as the reconstructed region on SPECT images, excluding the salivary glands. (B) and (D) Delayed planar images. Similarly, the centerline passes through the bilateral external auditory canal. The reconstructed region for the delayed SPECT image is similarly selected between the same lines 13 and 36.

②アクリルファントム内のポイントソースをレーザービーム法と目視によって検出器の回転中心に対して位置合わせを行い, 回転中心からのズレ (再現性) を評価した (測定数: 10回). その評価方法として楕円軌道の回転中心を基準に左・右と上・下方向のポイントソースと基準ライン (回転中心ライン) 間の距離 (mean±SD) を計測した. その結果, レーザビーム法は 1.9 ± 1.0 mm (左右) と 0.9 ± 0.7 mm (上下). 目視においては 4.0 ± 2.4 mm (左右) と 3.7 ± 2.8 mm (上下) であった. 上記の結果からレーザービーム法は目視によるポジショニングに比べて再現性が優れていると実証された.

RESULTS

本研究に先立って予備実験を行い, 目的臓器以外に高レベルの放射能が集積することで Coregistration にミスが生じることが判明した. しかし, 全症例において唾液腺を画像再構成領域に含めずに処理を行うことで異なる時相の画像間

で精度良く Coregistration が可能であった (Fig. 3). 本研究の対象症例は超音波検査で甲状腺結節が伴わないと確認された. 手術において44腺の副甲状腺が異常組織と診断され, 41腺が過形成, 3腺がアデノーマであった. 患者3名の過形成 (9腺) と患者2名のアデノーマ (3腺) は摘出できなかった. 摘出した44病変 (患者11名) のうち, シンチグラフィで40腺, 超音波検査では31腺の過形成が確認できた (Table 3). また, 患者3名のアデノーマはシンチグラフィと超音波検査法で確認できた. 上記からシンチグラフィ (90.9% : 40/44) の Sensitivity は超音波検査法 (70.5% : 31/44) より優れていた.

シンチグラフィで陽性, 超音波検査法で陰性の結果を示した患者7名において, 全ての病変が上方領域 (上極の副甲状腺) を示していた. それとは対照的にシンチグラフィで陰性, 超音波検査法で陽性の結果を示した患者2名において, 2腺の病変のみが下方領域 (下極の副甲状腺) を示した (症例3, 9). 症例9の過形成2腺がシンチグラフィと超音波検査法の両検査で陰性であった. 患者2名の過形成3腺と患者3名のアデノーマ9腺は術中に摘出できなかった (症例3, 5). これらの12腺のうち, 2腺もしくは3腺がシンチグラフィと超音波検査法で陽性と診断し, 病理組織診断検査では証明されなかった. しかし, これらの12腺のほとんどは正常組織と考えられた. 上記からシンチグラフィと超音波検査法の Specificity は, 83.3% (10/12), 75.0% (9/12) であった. シンチグラフィの False-Positive と False-Negative は16.7% (2/12) と4.5% (2/44) で, 超音波検査法では25.0% (3/12) と29.5% (13/44)

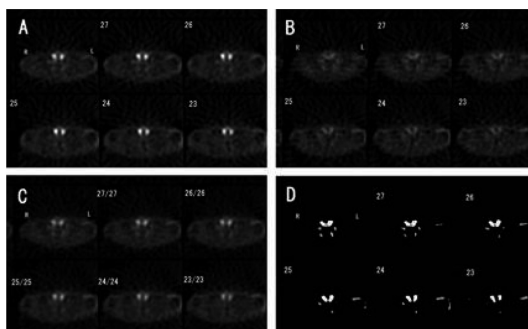


Fig. 3 SPECT images in a patient. (A) Early image, (B) Delayed image, (C) Fusion image, and (D) Subtraction image.

Table 3 Comparison of lesion detection between scintigraphy and ultrasonography

		US (+) (n=31)				US (-) (n=13)			
		R.U	R.L	L.U	L.L	R.U	R.L	L.U	L.L
Scintigraphy (+) (n=40)	R.U	6				5			
	R.L		10						
	L.U			4				6	
	L.L				9				
Scintigraphy (-) (n=4)	R.U								
	R.L		1						
	L.U							1	
	L.L				1				1

US=ultrasonography ; R=right ; L=left ; U=upper ; L=lower.

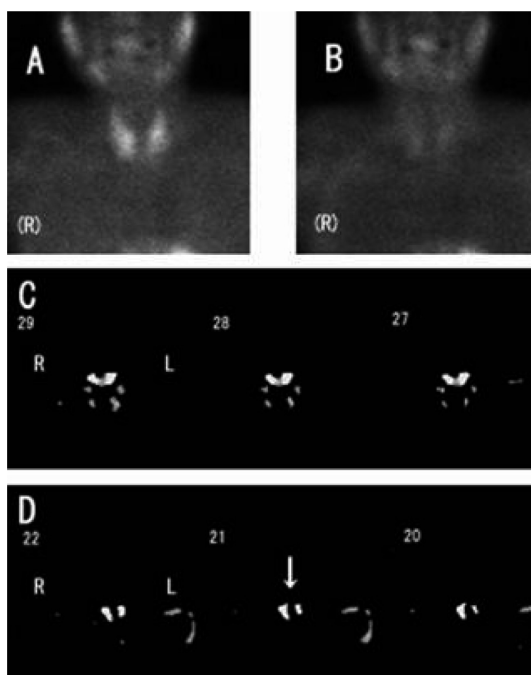


Fig. 4 A 61-year-old man with 4 hyperplastic glands (Case 10). The weight of the glands ranged from 300-700 mg. (A) Early planar image. (B) Delayed planar image. (C) and (D) Subtraction SPECT images. In this case, 24 slices (1-24) were reconstructed. Slice numbers more and less than 24 were considered to represent the superior and inferior parathyroid gland, respectively. (C) and (D) show the upper and lower parathyroid hyperplasia, respectively. The arrow shows the hyperplastic lesion.

であった。結果的にシンチグラフィと超音波検査法の Accuracy は、92.8% (52/56) と 71.4% (40/56) であった。

Figure 4, 5 に過形成とアデノーマの症例を示す (症例10, 12)。Subtraction SPECT 画像は、両症例とも病変を明瞭に示したが、Planar 画像では病変を示さなかった。

DISCUSSION

下極の副甲状腺は上極の副甲状腺よりも局所部位が一定しないことが知られている。下極の副甲状腺は多分裂化されたり (3 腺)、下方への移動や正規の部位に現れず異なった部位 (異所性) に検出される¹⁾。副甲状腺シンチグラフィは異所性

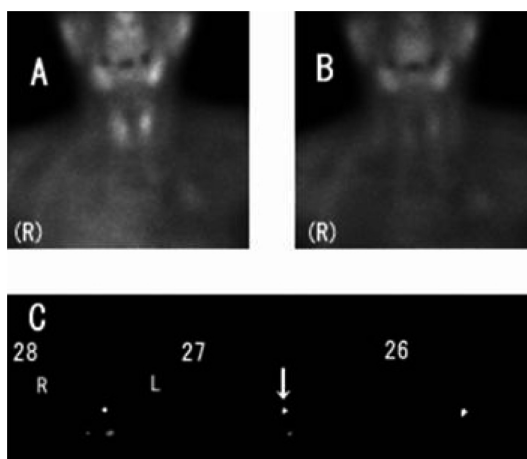


Fig. 5 A 74-year-old woman with adenoma (Case 12). The weight of the lesion was 300 mg. (A) Early planar image. (B) Delayed planar image. (C) Subtraction SPECT images. The lesion (arrow) was seen in the left upper region.

副甲状腺の検出が超音波検査より優れている。なぜなら、シンチグラフィは広範囲で検査が施行できるので異所性副甲状腺の検出ができるからである。Gayed らは、異所性副甲状腺の検出を除いて、通常の SPECT 検査で得られる副甲状腺画像に加えて SPECT 検査と CT 検査間で得られる Fusion 画像がなければ臨床的価値がないと報告した⁸⁾。本研究において我々は、Maximization of Mutual Information を活用し、副甲状腺シンチグラフィにおける Double-Phase Subtraction SPECT 技術を考案した。Subtraction SPECT 画像の構築過程において Coregistration のミスを回避するためには、早期および遅延 SPECT 収集時に同じ収集条件下で検査を施行することが不可欠であり、特に患者を同じポジションで施行することが重要であった。放射性核種マーカーを用いた頸部領域の Coregistration はマーカーの数や固定位置の再現性などの問題で Coregistration が困難である。そこで、この問題を解決するために放射性核種マーカーの代わりにレーザーポインタ (2 個) を用いた。そのレーザーポインタから投光されるクロスマーカー (レーザービーム) の位置を壁に記載し、そのビームが早期および遅延 SPECT 収集において患者の OM ラインに対して垂直に投光するようにポジショニングを行った。この方法は

患者のポジショニングの再現性に有効であった。Subtraction SPECT 画像の構築は iNRT ソフトウェアを使用した。このソフトウェアは脳血流の解析として開発され、その機能の1つとして Coregistration 処理 (Maximization of Mutual Information) が装備されており、それを利用することで各々のモダリティ間でも Coregistration が可能である。画像再構成において、唾液腺など放射性医薬品の高集積領域を含んで画像再構成処理を行い、その画像を iNRT で処理した場合、Fusion 画像にミスマッチが生じて Subtraction SPECT 画像の作成が行えない結果となった。しかし、再構成領域から唾液腺を除外することで容易に解析することに成功した。

一般的に副甲状腺病変の画像診断の検査は、副甲状腺シンチグラフィの単独もしくは超音波検査との併用で行っており、副甲状腺シンチグラフィの検査方法については公表されている⁵⁾。^{99m}Tc-MIBI の組織内集積は、腺の大きさだけでなく組織の血流や構造などにも依存して変化する¹⁴⁾。特に、超音波検査やシンチグラフィによる副甲状腺病変の局在の正確度は、病変の大きさ、場所および機能などで変化する²⁾。多くの著者が超音波検査における副甲状腺病変の Sensitivity を 70~80% と報告している^{1,15)}。しかし、これらのほとんどがアデノーマの検出結果についての報告であった。過形成の腺がアデノーマの腺よりも小さいときは^{99m}Tc-MIBI シンチグラフィは過形成や2次性副甲状腺機能亢進症の患者に役立たない報告がある¹⁾。Ishibashi らは、患者11名の過形成37腺において、^{99m}Tc-MIBI Double-Phase Planar 画像の Sensitivity が78%、Specificity が75%と報告した¹⁶⁾。それとは対照的に本研究の結果では90.9% (40/44) と高い Sensitivity を示した。

副甲状腺病変を確認する上で困難なことがある。それは Planar 画像 (anterior view) 上の副甲状腺は甲状腺の後方に位置することである。この理由から SPECT 検査は検出感度を上げる有効な手法である。Slater らは、病変の検出において SPECT 検査 (73%) が Planar 画像 (62%) より高い Sensitivity であると報告した¹⁷⁾。Gayed らは、SPECT 収集を単独で施行した患者で副甲状腺病変を 89% 確認したと報告した⁸⁾。

Lorberboym らは、早期 SPECT 収集が遅延 Double-Phase 収集より優れていると報告した¹⁸⁾。

腫瘍サイズは副甲状腺シンチグラフィを診断する上で著しく影響を与える。本研究で摘出した副甲状腺腫瘍の重量は 50~2,250 mg、大きさは 6~23 mm であった。また、小さな副甲状腺腫瘍 (≤ 250 mg) においては50%以上の Sensitivity が得られなかった。シンチグラフィでの副甲状腺腫瘍の検出率を左右するのはガンマーカメラの分解能である。本研究で使用したカメラのシステム分解能は FWHM において 7.8 mm (公称値) であった。一般的に、Subtraction 技術には限界がある。なぜなら、データ収集の間に患者の動き (モーションアーチファクト) が Coregistration のミスとなり、偽陽性の結果になるからである¹⁾。その他に、Lorberboym らは、腺の大きさが著しく SPECT の検出能に影響しないと報告した。なぜなら、腺の大きさと副甲状腺摂取率の間に相関関係がなかったからである¹⁸⁾。O'Doherty らは、放射性医薬品 ^{99m}Tc-MIBI の組織内摂取率において、副甲状腺組織 (1 グラム) の摂取率が甲状腺組織 (1 グラム) より高かったと報告した¹⁴⁾。ほとんどの症例における上極腫瘍は希に甲状腺の下方に位置し、下極腫瘍は甲状腺に横たわっており、これらの大多数の報告 (sensitivity) は下極のアデノーマである¹⁾。最近の研究では、少なくとも2次性副甲状腺機能亢進症の ^{99m}Tc-MIBI の摂取率は腺の大きさより細胞周期と関係があると報告されている¹⁾。また、Sandrock らは、検出率、年齢、性別、アデノーマ vs 過形成、解剖学的な局所位置 (upper/lower pole, left/right)、血清副甲状腺ホルモン値あるいは手術前などとの関連づけがないと報告した¹⁹⁾。

CONCLUSIONS

副甲状腺機能亢進症の画像再構成領域から唾液腺を取り除くことで、SPECT 画像 (早期・遅延) の Coregistration が精度良く処理され、この技術の副甲状腺疾患の検出感度は超音波検査法より優れていた。

ACKNOWLEDGMENTS

本論文に際し、ご協力を賜りました住友病院の

医療スタッフの方々に感謝いたします。

尚, 本稿は Hara N, Takayama T, Onoguchi M, et al.: Subtraction SPECT for Parathyroid Scintigraphy Based on Maximization of Mutual Information. *Journal of Nuclear Medicine Technology*, Vol. 35, No 2, June, 2007 に発表した論文の和訳である。

REFERENCES

- 1) Palestro CJ, Tomas MB and Tronco GG: Radionuclide imaging of the parathyroid glands. *Semi Nucl Med*, **35**: 266-276, 2005
- 2) Mariani G, Gulec SA, Rubello D, et al.: Preoperative localization and radioguided parathyroid surgery. *J Nucl Med*, **44**: 1443-1458, 2003
- 3) Kebapci M, Entok E, Kebapci N, et al.: Preoperative evaluation of parathyroid lesions in patients with concomitant thyroid disease: role of high resolution US and dual phase technetium-99m-sestamibi scintigraphy. *J Endocrinol Invest*, **27**: 24-30, 2004
- 4) De Feo ML, Colagrande S, Biagini C, et al.: Parathyroid glands: combination of Tc-99m-MIBI scintigraphy and US for demonstration of parathyroid glands and nodules. *Radiology*, **214**: 393-402, 2000
- 5) Greenspan BS, Brown ML, Dillehay GL, et al.: Procedure guideline for parathyroid scintigraphy. *J Nucl Med*, **39**: 1111-1114, 1998
- 6) Taillefer R, Boucher Y, Potvin C, et al.: Detection and localization of parathyroid adenomas in patients with hyperparathyroidism using a single radionuclide imaging procedure with technetium-99m-sestamibi (double-phase study). *J Nucl Med*, **33**: 1801-1807, 1992
- 7) Gordon L, Burkhalter W and Mah E: Dual-phase ^{99m}Tc-sestamibi imaging: its utility in parathyroid hyperplasia and use of immediate/delayed image ratios to improve diagnosis of hyperparathyroidism. *J Nucl Med Technol*, **30**: 179-184, 2002
- 8) Gayed IW, Kim EE, Broussard WF, et al.: The value of ^{99m}Tc-sestamibi SPECT/CT over conventional SPECT in the evaluation of parathyroid adenomas or hyperplasia. *J Nucl Med*, **46**: 248-252, 2005
- 9) Cengiz D, Isik A, Tarik T, et al.: Efficiency of gamma probe and dual-phase Tc-99m sestamibi scintigraphy in surgery for patients with primary hyperparathyroidism. *Clin Nucl Med*, **28**: 186-191, 2003
- 10) Leslie WD, Dupont JO, Bybei B, et al.: Parathyroid ^{99m}Tc-sestamibi scintigraphy: dual-tracer subtraction is superior to double-phase washout. *Eur J Nucl Med*, **29**: 1566-1570, 2002
- 11) Chen CC, Holder LE, Scovill WA, et al.: Comparison of parathyroid imaging with Tc-99m-pertechnetate/sestamibi subtraction, double-phase Tc-99m-sestamibi and Tc-99m-sestamibi SPECT. *J Nucl Med*, **38**: 834-839, 1997
- 12) Spanu A, Falchi A, Manca A, et al.: The usefulness of neck pinhole SPECT as a complementary tool to planar scintigraphy in primary and secondary hyperparathyroidism. *J Nucl Med*, **45**: 40-48, 2004
- 13) Billotery C, Sarfati E, Aurengo A, et al.: Advantages of SPECT in technetium-99m-sestamibi parathyroid scintigraphy. *J Nucl Med*, **37**: 1773-1778, 1996
- 14) O'Doherty MJ, Kettle AG, Wells P, et al.: Parathyroid imaging with technetium-99m-sestamibi: preoperative localization and tissue uptake studies. *J Nucl Med*, **33**: 313-318, 1992
- 15) Piga M, Bolasco P, Satta L, et al.: Double phase parathyroid technetium-99m-MIBI scintigraphy to identify functional autonomy in secondary hyperparathyroidism. *J Nucl Med*, **37**: 565-569, 1996
- 16) Ishibashi M, Nishida H, Hiromatsu Y, et al.: Comparison of technetium-99m-MIBI, technetium-99m-tetrofosmin, ultrasound and MRI for localization of abnormal parathyroid glands. *J Nucl Med*, **39**: 320-324, 1998
- 17) Slater A and Gleeson FV: Increased sensitivity and confidence of SPECT over planar imaging in dual-phase sestamibi for parathyroid adenoma detection. *Clin Nucl Med*, **30**: 1-3, 2005
- 18) Lorberboym M, Minski I, Macadziob S, et al.: Incremental diagnostic value of preoperative ^{99m}Tc-MIBI SPECT in patients with a parathyroid adenoma. *J Nucl Med*, **44**: 904-908, 2003
- 19) Sandrock D, Merino M, Norton JA, et al.: Ultrastructural histology correlates with results of thallium-201/technetium-99m parathyroid subtraction scintigraphy. *J Nucl Med*, **34**: 24-29, 1993