

## 《原 著》

肝腫瘍検出における肝 Single Photon Emission  
Computed Tomography (SPECT) に関する研究

一 矢 有 一\*

**要旨** 回転型ガンマカメラ方式の SPECT 装置を用いて、肝腫瘍検出における肝 SPECT の意義について検討した。基礎的検討では、本装置の基本特性について検討するとともに、肝 SPECT の至適撮像条件を設定した。臨床的検討では371例を対象として、planar imageのみとそれに SPECT を加えた場合とでの腫瘍検出能を比較した。その結果、SPECT を加えた場合の方が sensitivity, specificity ともに有意に高く、SPECT の有用性が認められた。しかしながら、SPECT を加えることにより情報が追加できた症例は47例(12.7%)にしかすぎず、SPECT の有用例は限られたものであった。SPECT が有用であった症例の大部分は、planar image で判定に迷う症例と、肝硬変症例とに含まれていた。SPECT の適応をこれらの症例に限れば、効率よい検査が可能となる。逆に、肝硬変症を除く非腫瘍例では SPECT の有用性は認められなかった。

## I. はじめに

肝シンチグラフィは肝腫瘍の検索や肝障害の評価に、簡便かつ非侵襲的な検査法として広く用いられている。しかしながら肝腫瘍の検索を目的とする場合、従来より用いられている planar image は、概観像であるため前後の重なりがあり、時に space occupying lesion (S.O.L) の検出が困難なことがある。それに対して single photon emission computed tomography (SPECT) は断層像であるので、前後の重なりを除くことができ、S.O.L の検索に際しては、検出能の向上や位置関係のより正確な把握が期待できる<sup>1,2)</sup>。

このような観点から、回転型ガンマカメラ方式の SPECT 装置を用いて、肝腫瘍検出における SPECT の有用性についての基礎的ならびに臨床的検討を行った。基礎的検討では、各種ファントムを用いて本装置の基本性能の評価を行い、得ら

れる SPECT 像への影響、ならびに至適検査条件について検討した。

ガンマカメラ方式による肝 SPECT の臨床利用についてはすでいくつかの報告があるが<sup>3-7)</sup>、いずれも planar image と SPECT それぞれ単独の場合での比較データである。Planar image は SPECT に比べると、簡便であることに加えて概観像であるという特徴があり、肝や脾の形態や大きさ、あるいは脾や骨髄の描出程度をみる上で、また経過観察の上で有用であり、捨てがたい撮像法である。したがって今回の検討では、planar image はルチーンに撮るものとして、planar image のみの場合とそれに SPECT を加えた場合とでの比較を行った。また今までの報告は対象症例が37-141例<sup>3,6)</sup>と比較的少ない。後述するように肝 SPECT が役立つ症例はかなり限られたものであるので、SPECT の有用例やその適応についての検討には大きな母集団での検討が必要である。今回の検討は planar image と SPECT の両方を行った371例を対象として、planar image のみと SPECT を加えた場合とでの比較を行い、SPECT は有用かどうか、有用であるならば、それはどのような症例においてかを明らかにし、ひいては

\* 九州大学医学部放射線科学教室

受付：59年5月7日

最終稿受付：59年7月25日

別刷請求先：福岡市東区馬出 3-1-1 (☎812)

九州大学医学部放射線科学教室

一 矢 有 一

SPECT の適応についてより詳細な検討を目的としたものである。

## II. 基礎的検討

### A. 装 置

SPECT 装置は 360 度回転型ガンマカメラ方式による島津製 LFOV-E を、島津製データ処理装置 scintipac 1200 に接続して用いた。コリメータは低エネルギー用超高分解能コリメータ (Ultra High Resolution, UHR), または低エネルギー用汎用コリメータ (Low Energy All Purpose, LEAP) を用いた。なお両コリメータの感度比は、 $^{99m}\text{Tc}$  による測定では LEAP を 1 とすると UHR は 0.26 であった。

マトリックス数は、データ採取および再構成は  $64 \times 64$  で行い、画像表示は空間分解能とスライス厚さの検討は  $128 \times 128$ , 他は  $64 \times 64$  で行った。画像再構成は Filtered back projection 法により行い、Shepp & Logan のフィルターを使用した。また吸収補正は Sorenson の方法により行い、吸収係数 ( $\mu$ ) は  $0.15/\text{cm}$  を使用した。なお、吸収補正は均一性の検討でのみ行っており、他では行っていない。また画像再構成は、肝ファントムでの検討では 3 ピクセルずつ重ね合わせたが、他は 1 ピクセルずつで行った。

### B. 方 法

#### 1. 空間分解能

テフロンチューブ (内径 1.6 mm) に  $^{99m}\text{Tc}$  水溶液 ( $50 \mu\text{Ci/ml}$ ) を入れた線源をスライス面に垂直に置き、その SPECT 像より Full Width at Half Maximum (FWHM) 値を求めた。

#### ① 回転中心とコリメータ間距離 (回転半径)

線源を検出器の回転中心におき、回転中心とコリメータ間距離 (回転半径) 20, 25, 30 cm で SPECT を撮像した。10 度ごと 36 方向より、一方向あたり 30 秒間で行った。また線源とコリメータ間距離 1~30 cm で planar image も撮像し、planar image での FWHM 値も求めた。

#### ② 回転中心と線源間距離

線源を回転中心、それより外側へ 4~16 cm ず

らせて置いた場合で行った。回転中心とコリメータ間距離 20 cm, 10 度ごと 36 方向より、一方向あたり 30 秒間で行った。

#### ③ データ採取方向数

データ採取方向数 18, 24, 36, 60, 90, 180 方向 (それぞれ 20, 15, 10, 6, 4, 2 度ごと) で行った。線源は回転中心に置き、回転中心とコリメータ間距離は 18 cm で、データ採取時間は総データ採取時間が 18 分間になるように設定した。コリメータは LEAP を使用した。

#### 2. スライス厚さ

プラスチックチューブ (内径 1.0 cm) に  $^{99m}\text{Tc}$  水溶液 ( $300 \mu\text{Ci/ml}$ ) を入れた線源をスライス面に垂直に置き、それを垂直方向に 2 mm ずつ移動させて、繰り返し撮像した。得られた一連の SPECT 像より、線源を移動させた範囲の中央部のピクセルのカウントを求め、その差分曲線より FWHM 値を求めた。線源の位置は回転中心、それより 5, 10, 15 cm 外側に置いた場合で行った。

#### 3. 均 一 性

プラスチック製の円筒 (直径 22 cm) に  $^{99m}\text{Tc}$  水溶液 16 mCi ( $1.3 \mu\text{Ci/ml}$ ) を入れた線源を、スライス面に垂直に、線源の中心と回転中心が一致するように置き、SPECT を撮像した。得られた SPECT 像より、線源の中心部を通る profile 曲線を求めた。回転中心とコリメータ間距離 25 cm, 10 度ごとに 36 方向より、一方向あたり 30 秒間で行った。

#### 4. 肝ファントム

$^{99m}\text{Tc}$  水溶液 ( $2.7 \mu\text{Ci/ml}$ ) を入れた肝ファントムの深部に直径 2, 3, 4 cm のアクリル球を置き、その planar image と SPECT を撮り、欠損の識別能をみた。SPECT は回転中心とコリメータ間距離 20 cm, 10 度ごと 36 方向より、一方向あたり 30 秒で行った。Planar image は、37 万カウントの preset count で前後左右の 4 方向より撮像した。

また  $^{99m}\text{Tc}$  水溶液濃度  $17 \mu\text{Ci/ml}$  で、一方向あたりのデータ採取時間 5, 10, 15, 20, 25 秒で、異なった情報密度の SPECT を撮った。コリメータは UHR を使用した。得られた SPECT 像より

再構成画像における至適情報密度を検討した。

### C. 結 果

#### 1. 空間分解能

##### ① 回転中心とコリメータ間距離 (回転半径)

SPECT の FWHM 値は UHR コリメータでは、20 cm では 11 mm、25 cm では 12 mm、30 cm では 13 mm であり、LEAP コリメータではそれぞれ 19, 22, 29 mm であった (Fig. 1)。LEAP コリメータでは、距離がはなれるにつれて空間分解能の劣化が著しかったが、UHR コリメータでは少なかった。この傾向は、planar image における場合と同様であった。

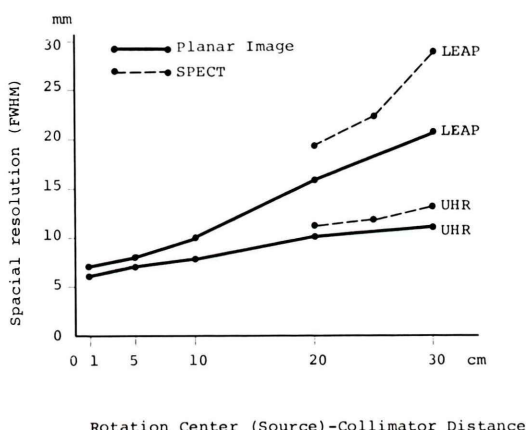


Fig. 1 Spatial resolution (FWHM) by center (source)-collimator distance.

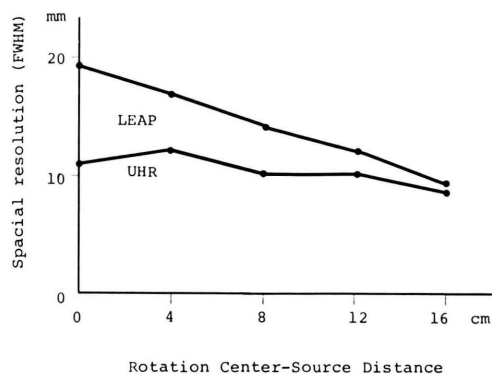


Fig. 2 Spatial resolution (FWHM) by center-source distance.

##### ② 回転中心と線源間距離

線源が回転中心 (スライス面の中心) からはなれるにつれて FWHM 値は小さくなった (Fig. 2)。この傾向は LEAP コリメータで著明であり、中心部では 19 mm、それより 16 cm 外側では 9 mm であった。これに対して UHR コリメータではそれぞれ 11 mm、8 mm であった。

##### ③ データ採取方向数

データ採取方向数が変化しても FWHM 値は 15-17 mm とほとんど変わらなかった。しかしながらデータ採取方向数が増えるにつれて、線源より外側に向かって生じる放射状の障害影が減少した。なお、36 方向 (10 度ごと) より撮像した場合、線源中心部のカウント数に対して、障害影のカウントは最大 5% であった。

#### 2. スライス厚さ

LEAP コリメータを使用した場合のスライス厚さは線源が回転中心 (スライス面の中心) に近いほど厚く、中心での FWHM 値は 29 mm、それより 15 cm 外側では 11 mm であった (Fig. 3)。一方、UHR コリメータを使用した場合は、線源の位置にかかわらず、11~12 mm とほぼ一定であった。

#### 3. 均一性

吸収補正を行わない場合の、1 ピクセルあたりのカウントは、線源の辺縁部から中央部にいくほど低くなり、辺縁部のカウントに対して、中央部

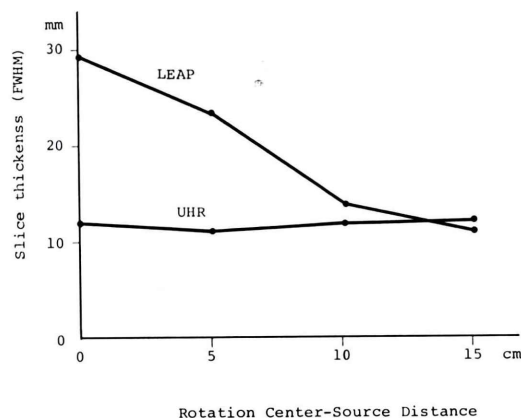


Fig. 3 Slice thickness by center-source distance.



は44%であった。吸収補正を行った後は、平均144カウントで、最大偏差は25%、変動係数は7.4%であった。

#### 4. 肝ファントム

Planar image でも SPECT でも、UHR コリメータ使用の場合は、2 cm の欠損まで識別できた (Fig. 4). LEAP コリメータ使用の場合は、3 cm の欠損は識別できたが、2 cm の欠損は識別できなかった。

SPECT における至適情報密度の検討では、1ピクセルあたりの最高カウントが68 (一方向あたりのデータ採取時間5秒) および140カウント (10秒) では画像のばらつきが目立ったが、211カウ

ント (15秒) では少なくなり、286 (20秒) と370カウント (25秒) では、ほとんど変わらなかった。以上より SPECT 像における情報密度は最低200、できれば300カウントが望ましいと考えられた。

### III. 臨床的検討

#### A. 対象

対象は同時に planar image と SPECT の両方の検査を行っている症例で、肝に関する診断の得られた371例である (Table 1). 年齢は6歳から88歳までで、そのうち肝腫瘍例は、肝細胞癌91例、胆管癌4例、転移性肝腫瘍65例の計160例である。転移性肝腫瘍の原発巣は胃癌、大腸癌などの消化器癌が47例と多くを占めている。なお、肝細胞癌症例の大部分は肝硬変症を合併していた。一方、肝腫瘍のない症例は肝硬変症75例、正常肝を含めて肝硬変症以外の症例136例の計211例である。肝硬変症例は食道静脈瘤の術前検査の目的で、または肝細胞癌の合併が疑われて検査した症例である。肝硬変症以外の症例は、大部分は他臓器の悪性腫瘍例で、肝転移の検索のため検査したものである。

診断の方法であるが、肝腫瘍例では肝細胞癌91例中46例、胆管癌4例中3例、転移性肝腫瘍65例中19例は、手術または剖検による組織学的診断例であるが、残りは臨床診断例である。一方、肝腫瘍のない症例のうち、肝硬変症75例は、全例他臓器の悪性腫瘍の合併がなく、かつ血管造影により肝細胞癌が否定されているものである。肝硬変症以外の136例については、110例は手術時の視診触診にて、68例はCTにて、17例は血管造影にて転移を認めておらず、いずれの症例も上記事項のう

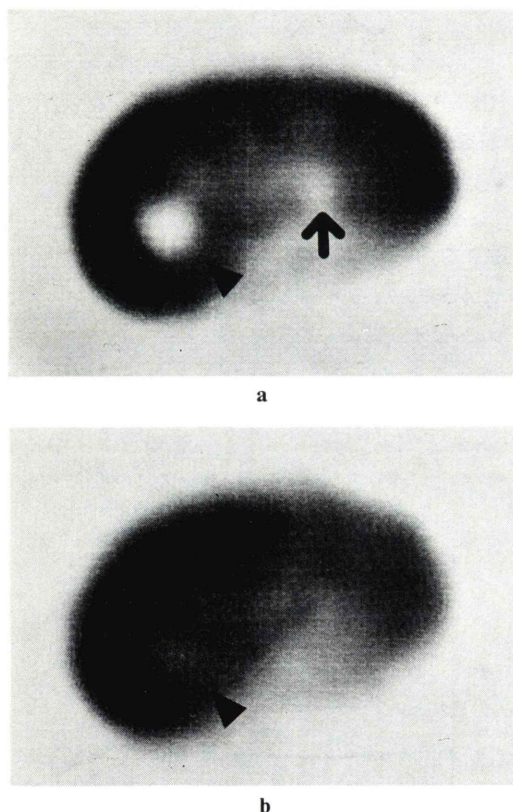


Fig. 4 SPECT images of a liver phantom. Round masses, 2 cm (arrow) and 3 cm (arrow head) in diameter, were clearly demonstrated on the UHR collimator image (a). Only the larger mass could barely be appreciated on the LEAP collimator image (b).

Table 1 Materials

Tumor group	160
Hepatocellular carcinoma	91 (46)
Cholangiocarcinoma	4 (3)
Metastatic liver tumor	65 (19)
Non-tumor group	211
Liver cirrhosis	75
Others	136
Total	371

( ): Histologically proven cases



ちの2つ以上, または1年以上の追跡にて肝腫瘍のなかった症例である。

肝細胞癌の大きさは, 25例は手術による切除標本により, 1例は剖検標本により, 残り65例は血管造影により計測した。肝シンチグラフィ施行時との間隔は, いずれも1か月以内であった。2個以上の病変が散在して存在する場合は, もっとも大きな病変をとったが, 集簇して存在する場合は, 全体を一つとして計測した。

### B. 検査方法

放射性医薬品は $^{99m}\text{Tc}$ -phytateを成人量で5 mCi 使用した。

SPECTには前述の装置に, UHR コリメータを装着して用いた。マトリックス数は $64 \times 64$ で, データ採取は10度ごとに36方向より, 一方向あたり40秒間計24分間行った。画像再構成および吸収補正は, 前述の方法で, 体を楕円として近似し, 3スライスずつを重ね合わせて行った。画像表示は10-15%の cut off level で下限を設定し, 横断像と冠状断像をルチーンとしたが, 必要に応じて矢状断像も追加した。なお再構成画像における1ピクセルあたりの最高カウントは, 多くの症例では300程度であったが, 高度の肝硬変症例では150程度のものであった。

Planar imageには東芝製 GCA 401 型ガンマカメラ(低エネルギー用高分解能コリメータ装着)を使用し, 前後左右の4方向より撮像した。肝の大きさにより前面像を32-44万(平均37万)カウントの preset count で撮影し, その他の方向の撮像は前面像と同一の濃度が得られる32-46万カウントの範囲で撮像した。

### C. 検討方法

シンチグラムの読影は, retrospective に当科の核医学スタッフ3人の合議により行った。患者に関する臨床情報をふせて, はじめは planar image のみについて読影し,

(2+): 肝腫瘍が確実にあると思われるもの,

(1+): 疑わしい所見があり, おそらくあるもの,

(1-): 疑わしい所見があるが, おそらくな

いもの,

(2-): 肝腫瘍を示唆する所見が全くないもの,

の,

の4段階に分類した。また, (2+), (1+), および

**Table 2** Comparison of the scintigraphic diagnosis in cases with liver tumors

#### a. All cases (160 cases)

Planar image + SPECT	Planar image				Total
	(2+)	(1+)	(1-)	(2-)	
(2+)	112	12	3	0	127 (79.4%)
(1+)	0	12	4	0	16 (10.0%)
(1-)	0	0	14	0	14 (8.7%)
(2-)	0	0	0	3	3 (1.9%)
Total	112 (70.0%)	24 (15.0%)	21 (13.1%)	3 (1.9%)	160 (100%)

#### b. Hepatocellular carcinoma (91 cases)

Planar image + SPECT	Planar image				Total
	(2+)	(1+)	(1-)	(2-)	
(2+)	61	8	2	0	71 (78%)
(1+)	0	7	2	0	9 (10%)
(1-)	0	0	9	0	9 (9%)
(2-)	0	0	0	2	2 (2%)
Total	61 (67%)	15 (17%)	13 (14%)	2 (2%)	91 (100%)

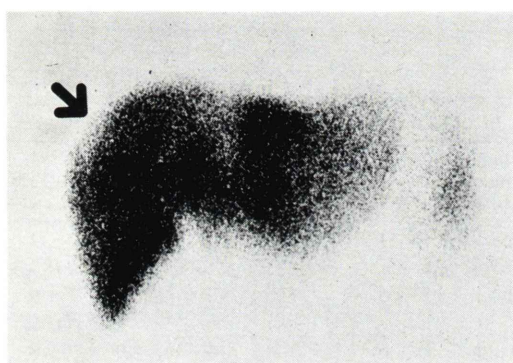
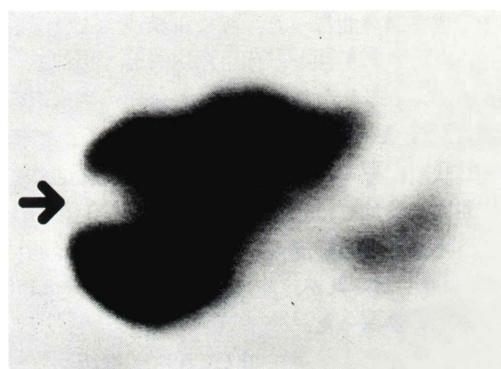
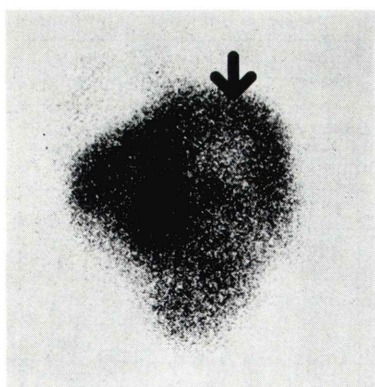
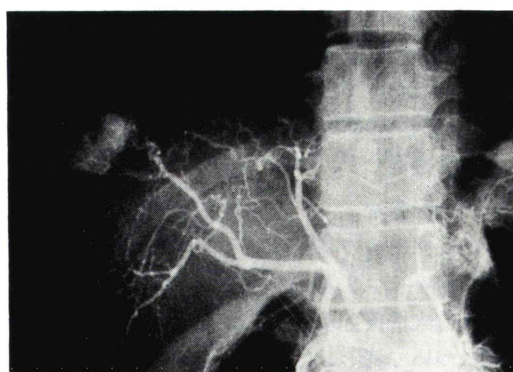
#### c. Metastatic liver tumor (65 cases)

Planar image + SPECT	Planar image				Total
	(2+)	(1+)	(1-)	(2-)	
(2+)	49	4	1	0	54 (83%)
(1+)	0	4	2	0	6 (9%)
(1-)	0	0	4	0	4 (6%)
(2-)	0	0	0	1	1 (2%)
Total	49 (75%)	8 (12%)	7 (11%)	1 (2%)	65 (100%)

**Table 3** Hepatocellular carcinoma cases with judgement altered by SPECT

Case	Age Sex	Planar image	Planar image + SPECT	Size (cm)	Location	Histological confirmation	Comment
1	54 M	1—	1+	5×5	AI	+	Cirrhotic pattern
2	61 M	1—	1+	5×5	AI	—	Cirrhotic pattern
3	62 M	1—	2+	6×6	AI & PI	—	Cirrhotic pattern
4	69 M	1—	2+	7×6.5×6.5	Caud	+	
5	52 M	1+	2+	3×3×2.5	AS	+	
6	54 M	1+	2+	3.3×3.3×2.6	Med	+	
7	53 F	1+	2+	3.8×3.8×3.6	PS	+	Cirrhotic pattern
8	56 M	1+	2+	4×3×3	PS	+	Cirrhotic pattern
9	63 M	1+	2+	5×3.7×3.5	AI	+	Cirrhotic pattern
10	51 M	1+	2+	5×4	AI	+	Cirrhotic pattern
11	49 M	1+	2+	7×7	PI	+	Cirrhotic pattern
12	57 M	1+	2+	8×8	AS	—	Cirrhotic pattern

\* AS: anterior superior segment, AI: anterior inferior segment, PS: posterior superior segment, PI: posterior inferior segment, Med: medial segment, Caud: caudate lobe

**a****c****b****d**

**Fig. 5** 52 year-old male with hepatocellular carcinoma (3×3×2.5 cm). A defect vaguely seen on planar images (a, b) was clearly demonstrated on SPECT image (c). Hepatic arteriogram (d).

(1-) の症例については、その部位も記載した。ついで planar image に SPECT を加えて読影し、先ほどと同様の判定を行い、両者の場合における判定結果を対比検討した。なお正診率を求めるにあたっては、前述の (2+) と (1+) を肝腫瘍あり、(2-) と (1-) をなしとして検討した。

#### D. 結 果

##### 1. 肝腫瘍症例

肝腫瘍例160例のうち、planar image のみの場合と SPECT を加えた場合とで判定が変わった症例が19例 (12%) あり、いずれもより正診例への変化であった (Table 2-a)。両者を比較すると、SPECT を加えた場合の方が有意に優れていた ( $p < 0.005$ )<sup>注1)</sup>。

##### (1) 肝細胞癌

肝細胞癌91例では、SPECT を加えると判定が変わった症例が12例 (13%) あり、SPECT を加えた方が有意優にれていた ( $p < 0.01$ )<sup>注1)</sup> (Table 2-b)。これら判定が変わった症例の内訳を Table 3 に示す。病変の大きさは、最小  $3 \times 3 \times 2.5$  cm (Fig. 5)、最大  $8 \times 8$  cm であった。部位別にみると、6例は肝門部近く (Fig. 6)、5例は肝表面近く、1例は深部 (尾状葉) の病変 (Fig. 7) であった。また9例は肝硬変型のシンチグラムを呈しており、肝内の RI 分布は全体に不均一であった。これら12例が planar image のみでは検出不能ないし困難であった原因は、比較的小さい病変 (case 5-8, Fig. 5)、肝硬変型シンチグラム (case 1-3, 9-12, Fig. 6)、肝門部近くの病変 (case 1-3, 10-12, Fig. 6)、深部の病変 (case 4, Fig. 7) と考えられた。

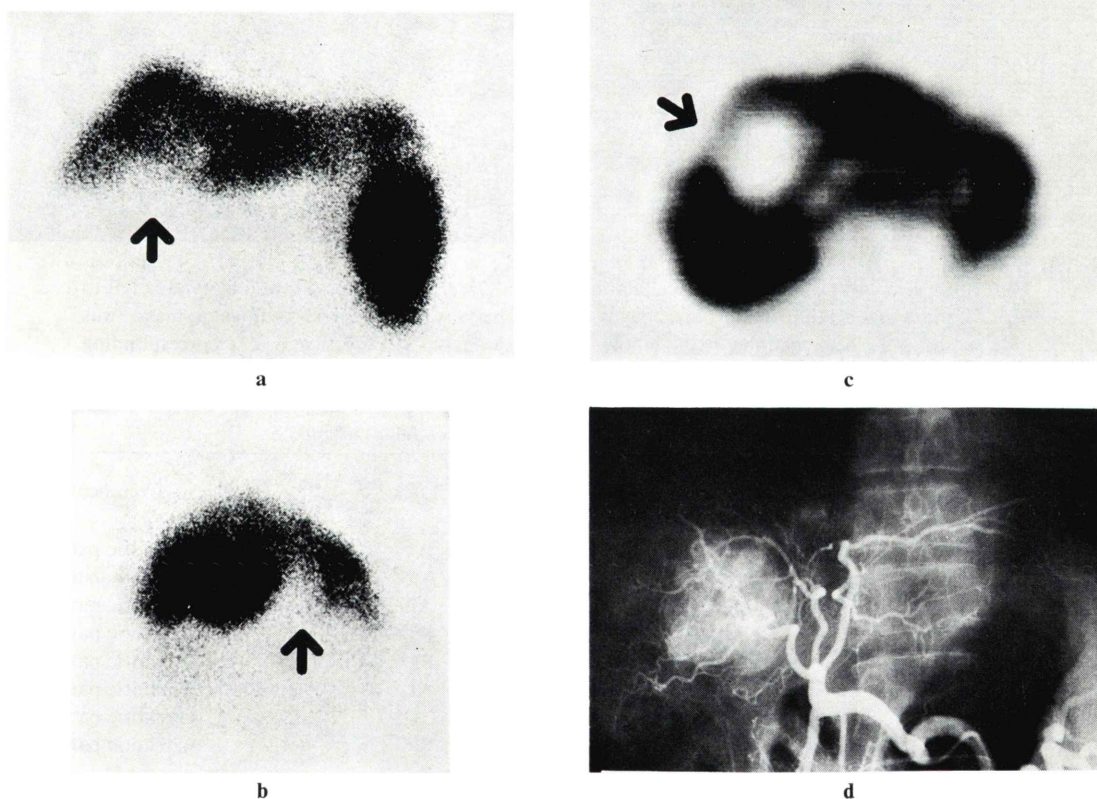
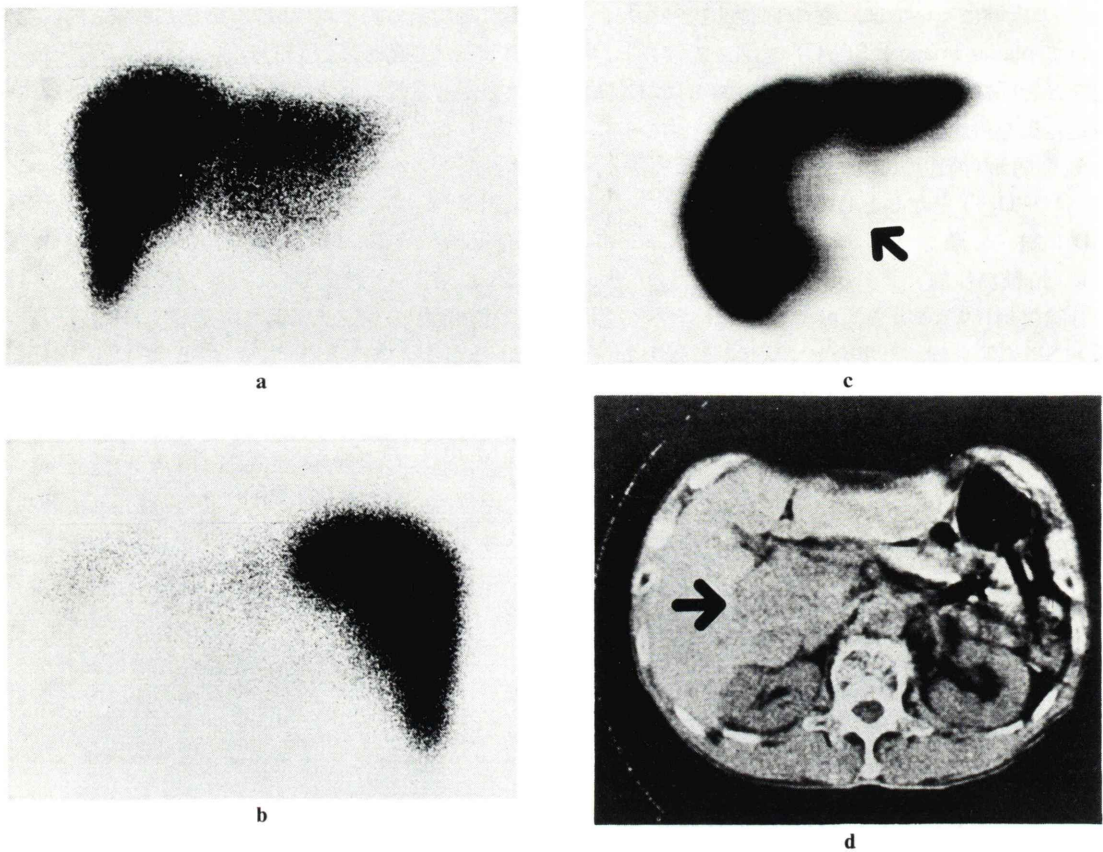


Fig. 6 62 year-old male with hepatocellular carcinoma ( $6 \times 6$  cm). Planar images (a, b) showed a low activity area in the hepatic hilum, but it was not interpreted as a mass because of coexisting cirrhotic pattern. SPECT image (c) proved it to be a definite mass. Hepatic arteriogram (d).





**Fig. 7** 69 year-old male with hepatocellular carcinoma (7×6.5×6.5 cm). A low activity area left to the hepatic hilum on planar images (a, b), which was not interpreted as a mass, was shown to be a definite mass in the caudate lobe on SPECT image (c). Corresponding X-ray CT image (d).

**Table 4** False negative cases with hepatocellular carcinomas

Case	Age Sex	Planar image	Planar image +SPECT	Size (cm)	Location	Histological confirmation	Comment
1	45 M	2—	2—	0.9×0.8×0.8	AI	+	Cirrhotic pattern
2	61 M	1—	1—	1×1	Med	—	Cirrhotic pattern
3	58 F	1—	1—	1.3×1.1	AI	+	Cirrhotic pattern
4	69 F	1—	1—	1.5×1.5	PS	—	Cirrhotic pattern
5	55 M	1—	1—	1.8×1.6	PI	+	Cirrhotic pattern
6	54 M	1—	1—	1.9×1.6	AI	+	Cirrhotic pattern
7	51 M	1—	1—	2×2×2	PS	+	Cirrhotic pattern
8	57 M	1—	1—	2.2×2.2	PI	+	Cirrhotic pattern
9	44 F	2—	2—	4×3	PS	—	
10	62 M	1—	1—	6×4	AI	—	Cirrhotic pattern
11	46 F	1—	1—	diffuse		—	Cirrhotic pattern

AI: anterior inferior segment, PS: posterior superior segment, PI: posterior inferior segment, Med: medial segment

SPECT を加えても検出できなかった症例は11例であった (Table 4). 大きさは最小  $0.9 \times 0.8 \times 0.8$  cm から最大  $6 \times 4$  cm であり, その他 diffuse type が1例あった. 検出できなかった原因は小さい病変8例 (case 1-8), 肝門部の病変2例 (case 9, 10), 肝硬変の合併1例 (case 11) と考えられた.

病変の大きさ別による判定結果を Table 5 に示す. 2 cm 以下の7例と 8 cm 以上の43例では, SPECT を加えても判定は変わらなかった. 2-5 cm の18例と 5-8 cm の23例では, それぞれ8例 (44%), 4例 (17%) で判定が変わり, 検出率はそれぞれ78%から89%へ, 87%から96%へと向上した.

## (2) 胆管癌

胆管癌4例では, planar image のみの場合でも SPECT を加えた場合でも, 判定は全く変わらず, (2+) は2例, (1+) は1例, (1-) は1例であった. (1-) の1例は, 肝門部の4 cm 大の腫瘍であった.

## (3) 転移性肝腫瘍

転移性肝腫瘍65例のうち, SPECT を加えると判定が変わった症例は7例 (11%) であり, SPECT を加えた方が有意に優れていた ( $p < 0.025$ )<sup>注1)</sup> (Table 2-c). これらの症例の内訳を Table 6 に示す. これらの病変の大きさは 3.5-7 cm で, 肝硬変の合併例と肝深部の病変がそれぞれ1例ず

**Table 5** Comparison of the scintigraphic diagnosis by tumor size (hepatocellular carcinoma)  
a. Less than 2 cm (7 cases)

	(2+)	(1+)	(1-)	(2-)	Sensitivity
Planar image	0	0	6	1	0
Planar image+SPECT	0	0	6	1	0

b. 2-5 cm (18 cases)

	(2+)	(1+)	(1-)	(2-)	Sensitivity
Planar image	4	10	3	1	78%
Planar image+SPECT	10	6	1	1	89%

c. 5-8 cm (23 cases)

	(2+)	(1+)	(1-)	(2-)	Sensitivity
Planar image	16	4	3	0	87%
Planar image+SPECT	20	2	1	0	96%

d. More than 8 cm (43 cases)

	(2+)	(1+)	(1-)	(2-)	Sensitivity
Planar image	41	1	1	0	98%
Planar image+SPECT	41	1	1	0	98%

**Table 6** Metastatic tumor cases with judgement altered by SPECT

Case	Age Sex	Primary tumor	Planar image	Planar image+SPECT	Size
1	57 M	Gastric cancer	1-	2+	4.5 cm, multiple
2	57 M	Lung cancer	1-	1+	5 cm, multiple
3	51 F	Pancreas cancer	1-	1+	3.5 cm
4	57 M	Rectal cancer	1+	2+	4 cm
5	72 M	Colon cancer	1+	2+	7 cm
6	59 M	Gastric cancer	1+	2+	5 cm, multiple
7	67 M	Esophageal cancer	1+	2+	3.5 cm

つ (case 1, case 5) あった. SPECT を加えても検出できなかった症例は 5 例あり, 大きさはいずれも 2.5 cm 以下であった.

## 2. 肝腫瘍のない症例

肝腫瘍のない症例 211 例では, SPECT を加え

**Table 7** Comparison of the scintigraphic diagnosis in cases without liver tumors

### a. All cases (211 cases)

Planar image + SPECT	Planar image				Total
	(2+)	(1+)	(1-)	(2-)	
(2+)	1	1	1	0	3 (1.4%)
(1+)	1	8	1	0	10 (4.7%)
(1-)	2	9	60	3	74 (35.1%)
(2-)	0	0	10	114	124 (58.8%)
Total	4 (1.9%)	18 (8.5%)	72 (34.1%)	117 (55.5%)	211 (100%)

### b. Liver cirrhosis (75 cases)

Planar image + SPECT	Planar image				Total
	(2+)	(1+)	(1-)	(2-)	
(2+)	0	1	0	0	1 (1%)
(1+)	1	4	1	0	6 (8%)
(1-)	2	9	46	1	58 (78%)
(2-)	0	0	2	8	10 (13%)
Total	3 (4%)	14 (19%)	49 (65%)	9 (12%)	75 (100%)

### c. Others (136 cases)

Planar image + SPECT	Planar image				Total
	(2+)	(1+)	(1-)	(2-)	
(2+)	1	0	0	0	1 (0.7%)
(1+)	0	4	1	0	5 (3.7%)
(1-)	0	0	14	2	16 (11.8%)
(2-)	0	0	8	106	114 (83.8%)
Total	1 (0.7%)	4 (2.9%)	23 (16.9%)	108 (79.5%)	136 (100%)

ると判定が変わった症例が 28 例 (13%) あり, SPECT を加えた方が有意に優れていた ( $p < 0.025$ )<sup>注1)</sup> (Table 7-a).

## (1) 肝硬変症

肝癌の合併のない肝硬変症 75 例では, SPECT を加えると判定が変わった症例は 17 例 (23%) であり, そのうちの 14 例はより正診側へ, 3 例は誤まった側への変化であった (Table 7-b). SPECT を加えた方が有意に優れていた ( $p < 0.025$ )<sup>注1)</sup>. これら判定が変わった症例は, いずれも肝内 RI 分布はきわめて不均一であり, それに関する判定の変化によるものであった (Fig. 8).

## (2) 肝硬変症以外の非腫瘍例

肝硬変症以外の非腫瘍例 136 例のうち, SPECT を加えると判定が変わった症例は 11 例 (8%) であり, そのうち 8 例は正診側へ, 3 例は誤まった側への変化であった (Table 7-c). Planar image のみの場合と比べて統計的有意差はなかった<sup>注1)</sup>. 判定の変化した原因については, (1-) から (1+) への例は, 左横隔膜腫瘍による肝の圧排を肝内腫瘍と誤ったものであった. 残り 10 例はいずれも肝門部, 肝静脈流出部, 肋骨による圧排に対する判定の変化であった. SPECT を加えた場合の false positive 例は 6 例であった. 誤診の原因は肝外腫瘍 (横隔膜腫瘍, 右副腎腫瘍, 右腎のう腫) による肝の圧排が 3 例, 胆のうおよび拡張した肝内胆管によるものが 2 例, 不明が 1 例であった.

## 3. SPECT を加えて判定が変わった頻度

Planar image のみの場合と SPECT を加えた場合とで, 判定が変わった頻度について検討した (Table 8). 判定が変わった症例は, 全症例 371 例のうち 47 例 (12.7%) であった. なお, そのうちの 41 例はより正診側への変化であった.

疾患別頻度についてはすでにそれぞれの項で述べたが, 肝硬変症では 23% とそれ以外のものに比べて有意に高く ( $p < 0.005$ ), また肝硬変症以外の非腫瘍例では, 8% と他に比べて有意に低かった ( $p < 0.05$ )<sup>注2)</sup>.

Planar image のみの場合の判定別にみると, (2+) の症例では 116 例中 3 例 (3%), (1+) では 42



Table 8 Rates of judgement altered by SPECT

	Planar image				Total
	(2+)	(1+)	(1-)	(2-)	
Tumor group					
Hepatocellular carcinoma	0/61	8/15	4/13	0/2	12/91 (13%)
Cholangiocarcinoma	0/2	0/1	0/1	0/0	0/4 (0%)
Metastatic liver tumor	0/49	4/8	3/7	0/1	7/65 (11%)
Subtotal	0/112 (0%)	12/24 (50%)	7/21 (33%)	0/3 (0%)	19/160 (12%)
Non-tumor group					
Liver cirrhosis	3/3	10/14	3/49	1/9	17/75 (23%)
Others	0/1	0/4	9/23	2/108	11/136 (8%)
Subtotal	3/4 (75%)	10/18 (56%)	12/72 (17%)	3/117 (3%)	28/211 (13%)
Total	3/116 (3%)	22/42 (52%)	19/93 (20%)	3/120 (3%)	47/371 (12.7%)

例中 22 例 (52%), (1-) では 93 例中 19 例 (20%), (2-) では 120 例中 3 例 (3%) であった。その頻度は, (2+) および (2-) の群では, それぞれ他に比べて有意に低く (それぞれ  $p < 0.001$ ), また (1+) および (1-) の群では有意に高かった ((1+) 群:  $p < 0.001$ ), (1-) 群:  $p < 0.01$ )<sup>注2)</sup>。

#### 4. 正診率

##### (1) 有病正診率

肝腫瘍 160 例における有病正診率は, planar image のみでは 85.0%, SPECT を加えると 89.4% であった (Table 9-a)。SPECT を加えて検出できた症例が 7 例あり, SPECT を加えた方が有意に優れていた ( $p < 0.025$ )<sup>注3)</sup>。

疾患別にみると, 肝細胞癌 91 例ではそれぞれ 84%, 88% であり, 転移性肝腫瘍 65 例では 88%, 92% であった。両者とも有病正診率は SPECT を加えた場合の方が高かったが, 統計的有意差はなかった<sup>注3)</sup>。

##### (2) 無病正診率

肝腫瘍のない 211 例における無病正診率は, planar image のみでは 89.6%, SPECT を加えると 93.8% であった (Table 9-b)。SPECT を加えると

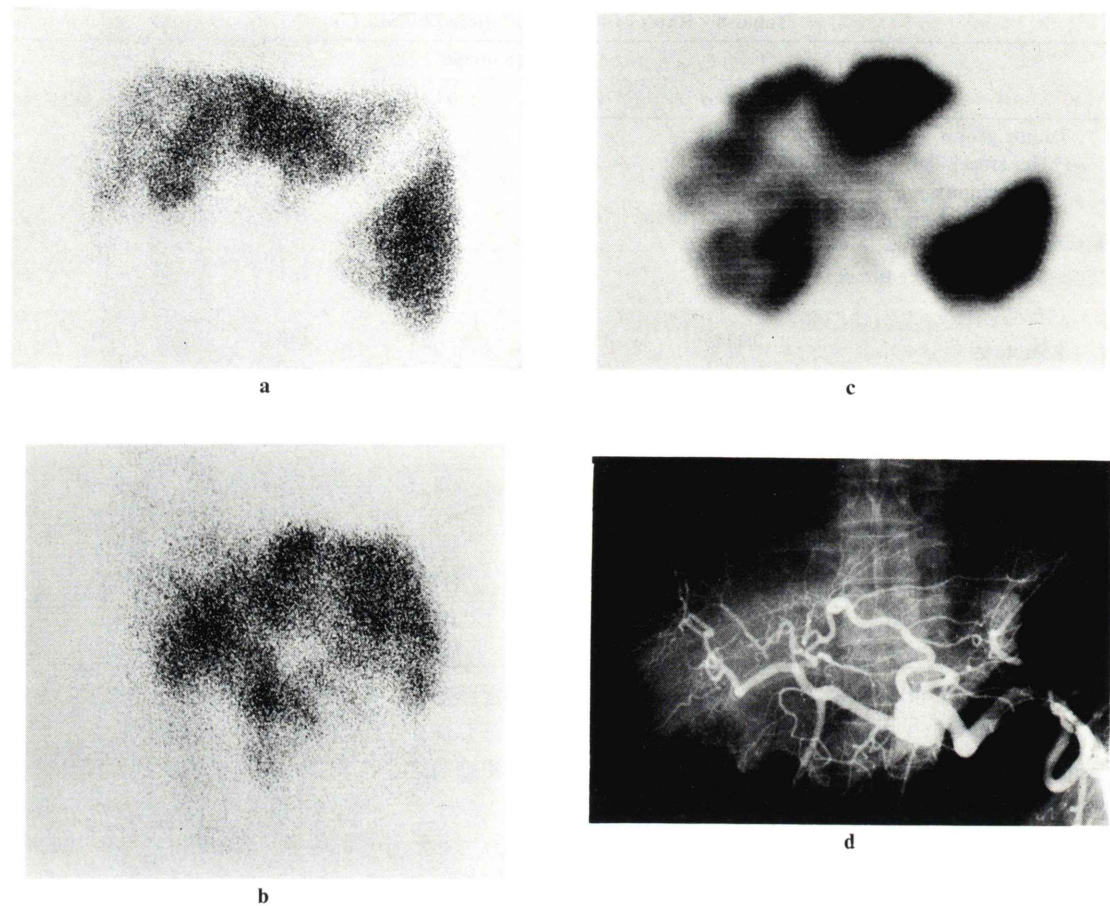
判定が変わった症例は 13 例であり, SPECT を加えた方が有意に優れていた ( $p < 0.05$ )<sup>注3)</sup>。

疾患別にみると, 肝硬変症 75 例ではそれぞれ 77%, 91% であり, SPECT を加えた方が有意に優れていた ( $p < 0.05$ )<sup>注3)</sup>。肝硬変症以外の 136 例では 96.3%, 95.6% であり, 有意差はなかった<sup>注3)</sup>。

#### IV. 考 察

SPECT の試みは比較的早くより行われており, 1963 年 Kuhl ら<sup>8)</sup> の報告にはじまる。その後今までに種々の装置が開発されているが<sup>1)</sup>, 現在実用化されている装置として, 今回使用した回転型ガンマカメラ方式<sup>9~12)</sup> と小さな検出器をリング状に配列した多結晶方式とがある。前者は回転半径を自由に変えることができるので, 頭部のみならず肝のような体部臓器にも用いることができる。また本方式では検出感度は悪いものの同時に多スライス像が得られることは, 肝のように大きい臓器に用いる場合には好都合となる。さらに本方式は従来のガンマカメラに付属して用いる装置であり, planar image にも利用できる利点もある<sup>1)</sup>。

はじめにも述べたように, 今回の基礎的検討は



**Fig. 8** 46 year-old female with liver cirrhosis. Planar images (a, b) showed multiple defects, which were erroneously interpreted to be masses. SPECT image (c) proved that the defects are representative of atrophy caused by liver cirrhosis, because of ill-defined margins, wedge-like shapes, and superficial and hilar locations. Celiac angiogram (d).

**Table 9** Sensitivity and specificity

a. Sensitivity (160 cases)			b. Specificity (211 cases)		
	Planar image	Planar image +SPECT		Planar image	Planar image +SPECT
Hepatocellular carcinoma	76/91 (84%)	80/91 (88%)	Liver cirrhosis	58/75 (77%)	68/75 (91%)
Cholangio-carcinoma	3/4 (75%)	3/4 (75%)	Others	131/136 (96.3%)	130/136 (95.6%)
Metastatic liver tumor	57/65 (88%)	60/65 (92%)	Total	189/211 (89.6%)	198/211 (93.8%)
Total	136/160 (85.0%)	143/160 (89.4%)			

本装置の基本特性が、得られる肝 SPECT 像に与える影響について検討するとともに、肝 SPECT の至適データ採取条件の設定を目的としたものである。

SPECT の空間分解能は検出器と線源間の距離が大きくなるほど劣化する (Fig. 1)。スライスの中心部 (回転中心) における FWHM 値でみると、この傾向は UHR コリメータに比べて LEAP コリメータで顕著であった。しかしながら、実際に肝 SPECT を行う場合の距離である 20-25 cm の範囲ではその変化は少なく、臨床利用する場合の回転半径の差異による肝 SPECT 像への影響は少ないと考えられた。これは西川<sup>5)</sup> の LEAP コリメータを用いての報告と同様の結果であった。

一方、同一距離における UHR と LEAP コリメータでの FWHM 値を比較すると 20-25 cm の範囲では、LEAP コリメータでは UHR コリメータの 1.7-1.8 倍と大きな差がみられた。山田ら<sup>9)</sup> も測定条件の詳細な記載はないが、高分解能と高感度コリメータを比較し、それぞれ 20, 35 mm と大きな差があったことを報告している。SPECT の撮像は planar image 撮像の場合と比べると、線源と検出器との距離が大きくなるので、planar image の場合以上に両コリメータの差が大きく影響してくると思われた。

また SPECT は再構成画像であるので、その空間分解能は planar image の場合よりも悪くなることが予想されたが、同一距離における FWHM 値を比べると両者にそれほど大きな差はなく、この点はあまり問題にならないと考えられた。

また空間分解能はスライス内の位置により異なり、LEAP コリメータではスライスの辺縁に近いほどよかったが、UHR コリメータでは位置にかかわらず、ほぼ一定であった (Fig. 2)。先にも述べたように両コリメータの空間分解能はスライスの中心部では大きな差があったが、辺縁に近づくにつれて両者の差は少なくなった。以上の結果は、肝 SPECT においてもスライスの中心部に近い肝深部の病変よりも表在病変の方がより検出しやすいこと、UHR コリメータは LEAP コリメータに

比べると深部病変の検出において特に優れており、表在病変においては両コリメータの差は少なくなること示すものであった。肝 SPECT の目的の一つが planar image では検出困難な深部病変の検出にあることを考えると、この差は重要である。また肝ファントム像 (Fig. 5) においても両者に明らかな差がみられており、臨床利用には感度は劣るものの UHR コリメータを使用した。

空間分解能はデータ採取方向数とは関係せず、ほぼ一定の値であった。これは同様の検討を行っている西川<sup>5)</sup>、山田ら<sup>9)</sup> および山本ら<sup>2)</sup> の報告と同じ結果であった。しかしながら、データ採取方向数が増加するにつれて放射状の障害影は減少するが、画像再構成の処理時間が長くなる。この点を加味して臨床利用では 10 度ごと 36 方向で十分と考えた。

スライス厚さとスライス内の位置との関係は空間分解能における関係と似ていた (Fig. 4)。すなわち、LEAP コリメータでは、スライスの中心部ほどスライス厚さは厚くなり、中心部での値は 15 cm 辺縁部の 2.7 倍であった。一方 UHR コリメータでは、位置にかかわらずほぼ一定の値があった。このようにスライスの中心部に近づくほど空間分解能は悪くなり、またスライス厚さも厚くなる傾向は、今回検討したような病変の検出という定性的評価の場合にはそれほど問題にならないとしても、脳などを対象として定量的評価を行う場合には大きな問題となる。その目的には UHR コリメータのような位置による変化の少ないコリメータはきわめて有用と考える。

至適情報密度の検討では、再構成画像における最高ピクセルカウントが 300 程度あれば十分と考えられたが、臨床利用にあたってこの情報密度を得るためには、<sup>99m</sup>Tc-phytate 5 mCi 使用し、UHR コリメータを用いた場合には、一方向あたり 40 秒計 24 時間のデータ採取時間が必要であった。UHR コリメータは LEAP コリメータに比べて感度が悪いので、このように検査時間が長くなり、またこの条件でも肝硬変症では十分な情報密度が得られない場合があることの問題があり、複数個



の検出器の配列<sup>10)</sup>や、UHR コリメータよりも感度のよい高分解能コリメータの使用<sup>9)</sup>などによる感度の向上を検討する必要があると思われた。

すでに述べたように、ガンマカメラ方式による肝 SPECT の腫瘍検出能についてはいくつかの報告がある<sup>3-7)</sup>。それらは planar image と SPECT それぞれ単独の場合での比較データであり、今回の検討とは方法のちがいはあるが、いずれも SPECT の有用性を指摘している。今回の検討でも正診率でみると、planar image のみの場合に比べて SPECT を加えると、sensitivity は 85.0% から 89.4% へ、specificity は 89.6% から 93.8% へと有意に向上し、肝 SPECT の有用性が認められた。今までの報告では統計的有意差が得られていないのに、今回の検討では有意差があったのは、371 例と大きな母集団での検討であったことと、上述のような検討方法のちがいのためであろう。

また今回行った 4 段階の評価は、2 段階の評価では表現できない読影者の判定への確信度をも加味できるものであるが、当然ながら腫瘍例、非腫瘍例ともに SPECT を加えた方が有意に優れており、この点でも SPECT の有用性が認められた。

ところでこのように SPECT は肝腫瘍検出に有用な方法であるが、それが役立つ症例はかなり限られたものである。ちなみに SPECT を加えることにより 4 段階の判定が変わった症例は 371 例中 47 例 (12.7%) にしかすぎず、残りの多くの症例は SPECT を加えても正診率のみならず、読影者の判定への確信度の点でも変わっておらず、SPECT は役立っていない症例である。したがって SPECT が有用であった症例を検討することは SPECT の適応を決定する上で重要である。

この点に関しての疾患別の検討は、今までの報告では症例数が少ないこともあってか、ほとんどされていない。今回の検討では、腫瘍例の肝細胞癌と転移性肝腫瘍とでは、SPECT を加えた場合に判定が変わる頻度および検出能の向上のいずれについても、両者の間に差はみられなかった。しかしながら、非腫瘍例の肝硬変症例とそれ以外の症例では明らかな差がみられた。西川<sup>5)</sup>も SPECT

が有用であった肝硬変症の一例を呈示しているが、今回の検討では肝硬変症例では、SPECT を加えることによる判定の変わる頻度および検出能の向上は、他に比べて有意に高かった。これは、肝硬変症ではしばしば肝への RI 分布が不均一となり、planar image では腫瘍との鑑別が困難なことがあるが、SPECT ではその欠損の部位と形から、腫瘍と萎縮とをある程度鑑別できたためと考えられる。すでに述べたように、肝硬変症例では肝への RI 摂取が低く、十分な情報密度の SPECT 像が得られていない症例もかなり含まれていた。この点が解決すれば、今回の検討以上に有用性が得られる可能性もある。また逆に肝硬変症以外の非腫瘍例では、SPECT を加えても判定が変わる頻度は低く、また検出能の向上もほとんどなかった。これは臨床例についてあてはめて考えると、肝転移の検索を目的として行う症例では、SPECT を加えても specificity の向上は少ないことを意味している。

次に planar image における判定別にみると、SPECT を加えることにより判定が変わる頻度は、(1+) と (1-) 群では有意に高く、(2+) と (2-) 群では有意に低く、明らかな差があった。西川<sup>5)</sup>は planar image で確実に腫瘍があると思われる症例では、SPECT を加えても有用性は少ないことを報告しているが、今回の検討はそれに加えて、確実に腫瘍がないと思われる症例においても、SPECT の有用性は少ないことを示すものであった。

また planar image で (1+) と (1-) との症例を比べると、判定が変わる頻度は (1+) の症例の方が高かった。このことは SPECT を加えた場合でも、腫瘍があるとする判定への方が腫瘍なしとする判定へよりも、より容易であることを示している。

肝腫瘍例における病変の大きさ別検討はすでに山本ら<sup>6)</sup>が報告しており、1.7-6 cm と比較的小さな病変で有用であったとしている。これは肝細胞癌における今回の検討でも同様の結果であり、3-8 cm 程度の病変で有用であった。このうち比

較的大きい病変での有用例の多くは、高度の肝硬変の合併例であった。このことはすでに述べた肝硬変症における結果と合致する。また部位別にみると深部病変の描出は、planar image に比し SPECT が優れていることはすでに報告されている通りであり、今回の検討でも有用例があった。

SPECT の適応に関しては、今までに2通りの考え方があり、前田ら<sup>4)</sup> および山本ら<sup>6)</sup> はルチーンの使用を勧めているのに対して、西川<sup>5)</sup> は先にも述べたように planar image で病変が強く疑われた場合は SPECT は不要であると、適応を限定している。今回の検討では、今まで述べてきた SPECT の有用例の検討から、SPECT は全例に行う必要はなく、その適応はかなり限定できると思われる。すなわちその適応の一つは planar image のみでは病変の有無が確実といえず判定に迷うことのある症例であり、もう一つは肝硬変症症例である。ちなみに今回の症例において SPECT の適応を planar image で (1+) または (1-) と判定されたものと肝硬変症との2つに限ると、肝細胞癌症例は全例肝硬変を合併していたとすると、SPECT は371例中210例 (57%) に施行することになる。その結果、全例に行った場合に判定が変わった47例のうち、2例が適応例から欠落するが、sensitivity および specificity は全く変わらないことになる。今回の検討対象は、診断の確定した症例という点から症例が選択されており、実際の臨床例では肝硬変症以外の非腫瘍例の数が相当多いので、日常臨床での SPECT の適応頻度はこれよりかなり低くなると思われる。以上 planar image における所見から SPECT の適応について検討したが、何らかの理由で肝腫瘍が疑われるのに planar image で描出されていない場合は、その適応となることは当然である。

## V. ま と め

肝腫瘍検出における回転型ガンマカメラ方式を用いた肝 SPECT について基礎的臨床的検討を行った。基礎的検討では本装置の特性、および至適データ採取条件について以下の結論を得た。

1. 空間分解能 (FWHM 値) は線源と検出器間距離が大きくなるにつれて劣化したが、回転半径が 20-25 cm の範囲ではその変化は少なかった。

2. LEAP コリメータでは、スライスの中心部に近いほど空間分解能は劣化し、またスライス厚さも厚くなったのに対して、UHR コリメータでは部位にかかわらず、ほぼ一定であった。この点から、UHR コリメータは深部病変の検出を目的とする肝 SPECT にはきわめて有用と考えられた。

3. 空間分解能はデータ採取方向数とは関係しなかった。

4. 肝ファントムの実験では、UHR コリメータでは 2 cm の球状の欠損が識別できた。

5. 再構成画像における至適情報密度は1ピクセルあたりの最高カウント200以上、できれば300カウント望ましいと考えられた。

6. 以上の検討結果により肝 SPECT の臨床利用には、<sup>99m</sup>Tc-phytate 5 mCi を投与して、UHR コリメータを使用し、データ採取は36方向より、一方向あたり40秒(計24分間)行えば十分と考えられた。

臨床的検討では371例を対象として planar image に SPECT を加えることの有用性を検討するとともに、有用であった症例をもとにして SPECT の適応について検討し、以下の結論を得た。

1. 有病正診率は planar image のみでは85.0%、SPECT を加えると89.4%であり、無病正診率はそれぞれ89.6%、93.8%であった。いずれも SPECT を加えた場合の方が有意に高く、SPECT の有用性が認められた。

2. しかしながら SPECT を加えて判定が変わる頻度は、4段階の判定でみた場合でも371例中47例 (12.7%) と低く、SPECT の有用例はかなり限られたものであった。

3. 有用例の大部分は planar image で (1+) または (1-) と判定された症例と、肝硬変症症例とであった。

4. 病変の大きさでは比較的小さい病変、部位では深部や肝門部の病変で有用例があった。肝硬

変を除く非腫瘍例では SPECT の有用性は認められなかった。

5. 以上の結果より, SPECT は全例に行う必要はなく, その適応は planar image で腫瘍病変の確診に迷う症例と, 肝硬変症症例に限ってよいと考えられた。

注 1) Wilcoxon 符号付順位和検定

注 2)  $\chi^2$  検定

注 3) McNemar 検定

稿を終わるにあたり, 終始ご指導とご校閲をいただきました本教室松浦啓一教授に深甚の謝意を表しますとともに, 症例のご紹介をいただいた本学第一外科学教室(主任: 中山文夫教授), 第二外科学教室(主任: 井口潔教授), 第三内科学教室(主任: 井林博教授)の教職員各位に深く感謝致します。また本研究の遂行にあたり, 多大のご指導とご協力をいただきました現九州中央病院放射線科鴨井逸馬部長, 現国立福岡中央病院放射線科鷺海良彦部長, 本教室増田康治助教授, 同僚の和田誠, 桑原康雄, 綾部善治の諸氏, 本学放射線部樫秀樹氏に心より感謝致します。また論文作成にあたっては中山優子さんにお手伝いいただきました。心から御礼申し上げます。

## 文 献

- 1) Goodwin PN: Recent developments in instrumentation for emission computed tomography. *Sem Nucl Med* 10: 322-334, 1980
- 2) Ell PJ, Jarritt P, Cullum I: Present trends of single photon radionuclide tomography. *Fortschr Röntgenstr* 136: 330-336, 1982
- 3) 小山田日吉丸, 福喜多博義, 照井頌二, 他: 回転椅子方式による肝の横断シンチグラフィについて. *核医学* 18: 63-73, 1981
- 4) 前田裕子, 河合武司, 福田徹夫, 他: 肝 ECT の有用性について. *核医学* 18: 1249-1253, 1981
- 5) 西川潤一: 限局性肝疾患におけるエミッション CT と肝シンチグラムの検討. *日本医放会誌* 41: 1091-1104, 1981
- 6) 山本和高, 百々義廣, 向井孝夫, 他: 回転型ガンマカメラによる肝 ECT の検討——(2) 臨床的検討——. *核医学* 19: 935-941, 1982
- 7) Strauss L, Bostel F, Clorius JH, et al: Single-photon emission computed tomography (SPECT) for assessment of hepatic lesions. *J Nucl Med* 23: 1059-1065, 1982
- 8) Kuhl DE, Edwards RQ: Image separation radioisotope scanning. *Radiology* 80: 653-662, 1963
- 9) 山田健嗣, 板垣信也, 大苗 敦, 他: ガンマカメラ回転型 Emission Computed Tomography の画像評価. *Radioisotopes* 30: 566-568, 1981
- 10) Murphy PH, Tompson WL, Moore ML, et al: Radionuclide computed tomography of the body using routine radiopharmaceuticals. I. System characterization. *J Nucl Med* 20: 102-107, 1979
- 11) Soussaline FP, Todd-Pokropek AE, Zurowski S, et al: A rotating conventional gamma camera single-photon tomographic system: Physical characterization. *J Comput Assist Tomogr* 5: 551-556, 1981
- 12) 山本和高, 向井孝夫, 藤田 透, 他: 回転型ガンマカメラによる肝 ECT の検討——(1) 基礎的検討——. *核医学* 19: 929-934, 1982



## Summary

### Evaluation of Single Photon Emission Computed Tomography for Detecting Liver Tumors

Yuichi ICHIYA

*Department of Radiology, Faculty of Medicine, Kyushu University*

The advantages of single photon emission computed tomography (SPECT) for detecting liver tumors were estimated using a rotating gamma camera device (Shimadzu LFOV-E).

The physical property of the SPECT device and suitable condition for data acquisition were examined.

Three hundred and seventy-one patients (160 with liver tumors, 211 without liver tumors) were included in the study. Both conventional liver scintigraphy (planar image) and SPECT with 5 mCi of  $^{99m}\text{Tc}$ -phytate were performed for each patient. Scintigraphic diagnosis with planar images alone and that in combination with SPECT images were retrospectively compared.

Results were as follows:

1. Sensitivity and specificity of planar images alone were 85.0% and 89.4%, respectively. Values with a combination of SPECT images were 89.4% and 93.8%. Combined with SPECT images, there was an improvement in both sensitivity and specificity, and SPECT proved to be a useful

modality for detection of liver tumors.

2. However, there were only 47 cases (12.7%), in which the scintigraphic diagnosis was altered by a combination of SPECT images.

3. The majority for whom SPECT altered the diagnosis were included among the cases with equivocal findings on planar images and with liver cirrhosis.

4. Regarding to tumor size and location, SPECT was useful to detect relatively small lesions, centrally located lesions and lesions in the hepatic hilum.

5. SPECT was not useful in those without liver tumors, except for patients with liver cirrhosis.

In conclusion, SPECT studies are not deemed necessary for all cases, and this modality should be limited to cases with equivocal findings on planar images and for those with liver cirrhosis.

**Key words:** SPECT, Liver scintigraphy, Liver tumor.