

《原 著》

心筋 SPECT 像のステレオ・ビュー表示と定量解析法

外山比南子*[○] 松田 宏史** 村田 啓**[□] 秋貞 雅祥*

要旨 TI-201 による心筋 SPECT (Single Photon Emission CT) の 3 次元立体表示 (STEREO-VIEW: STV) 法を開発し, 心筋虚血の定量的評価および表示を試みた. 負荷直後 (early: EX) および 4 時間後 (delayed: DS) の短軸断層像を作成し, 心尖部から心基部までを 10 断面に分割した. 等計数法により各断面ごとに輪郭を求めファイル (SL) を作成した. 各断面を 51 等分して求めた各領域の平均計数, wash out rate (WR) を濃度分布ファイル (CL) に納めた. SL ファイルを使って wire frame 表示し, その表面を CL ファイルの値に応じ色づけし, STV 表示とした. 正常者 11 例から各領域の平均計数, 平均 WR およびそれぞれの標準偏差 (SD) を算出し, 正常下限値を設定した. 労作性狭心症例において, 各部位ごとに正常下限値と比較, その差を STV 表示した. 下限値以下の領域数およびその値の総和から虚血域の広がりと程度を算出した.

I. 緒 言

塩化タリウム (TI-201 chloride) による心筋イメージングは, 回転型ガンマ・カメラによる断層撮影 (Single Photon Emission CT: SPECT) が可能となり, その臨床上的有用性が増大した. そこで, より定量的な診断を行うべく, 解析法や表示法が検討されている.

TI-201 による心筋イメージングでは, 負荷時の early 画像および 4 時間後 (安静時) の delayed 画像を比較して, 虚血性心疾患 (特に労作性狭心症) の診断に用いている. より定量的な解析のために, 両者の比から wash out rate を算出する方法がある¹⁾. われわれは心筋 SPECT 像に対して細かい部位ごとに wash out rate を算出し, 正常値と比較して虚血の程度を定量する方法を開発した.

通常, 心筋 SPECT 像は, 短軸および長軸断層像を作成して, 各部位の診断にあたっている. し

かし, これらの断面像を並列に並べて診断するよりも, もっと単純化したり, 現実に近い形で表示する方がわかりやすい. 単純化した表示法としては, 短軸断層像を心尖部を中心に同心円表示する方法²⁾等が報告されている. より現実に近い形としての表示には 3 次元立体表示法が試みられている^{3,4)}. われわれは, 3 次元立体表示法 (STEREO-VIEW) を開発して, 心筋 SPECT 像の定量的表示・評価を試みた.

II. 方 法

1. 短軸断層像の作成

心筋 SPECT 像は回転型ガンマ・カメラ (GE-Maxi Camera 400 AC/T) を用いて収集した. RAO-45° から LPO-45° までの 180° 回転とし, 角度サンプル数 32, リニア・サンプル数 64 でデータ収集を行った⁵⁾. ここで対象とした正常 11 例, 労作性狭心症例ともに負荷直後の early (EX) 画像および 4 時間後 (安静時) の delayed (DS) 画像を収集した. 1 角度当たりの収集時間は, EX が 30 秒, DS が 50 秒とし, 時間の違いは補正した. 画像再構成は, 重畳積分逆投影法で行い, 吸収補正は行っていない. 横断層像から短軸断層像を作成後, 心尖部から心基部までが 10 断面になるよ

* 筑波大学臨床医学系放射線 [○] 虎の門病院顧問** 虎の門病院放射線科 [□] 沖中記念成人病研究所
受付: 62 年 2 月 17 日

最終稿受付: 62 年 4 月 20 日

別刷請求先: 茨城県新治郡桜村天王台 1-1-1 (☎ 305)

筑波大学臨床医学系

外 山 比南子

	sector 1			sector 2			- - - - -	sector 51		
Slice 1	early(EX)	delayed(DS)	wash out rate (WR)	EX	DS	WR		EX	DS	WR
	Difference between patient and normal			1 SD				1 SD		
	limited lower value (1SD and 2SD)			2 SD				2 SD		
slice 2	EX	DS	WR							
	1 SD									
	2 SD									
slice 10	EX	DS	WR	EX	DS	WR		EX	DS	WR
	1 SD							1 SD		
	2 SD							2 SD		

Fig. 1 Structure of a contents file (CL) for a patient.
EX: early scan, DS: delayed scan and WR: wash out rate

NORMAL DATA BASE	COMPARING FILE	PATIENT FILE
CONTOUR FILE (SL) early (exercise) delay (rest)	CONTOUR FILE (SL) early (exercise) delay (rest)	CONTOUR FILE (SL) early (exercise) delay (rest)
CONTENTS FILE (CL) exercise nC_{EX}	CONTENTS FILE (CL) mean \bar{C}_{EX} $\bar{C}_{EX1} = \bar{C}_{EX} - 1 SD_{EX}$ $\bar{C}_{EX2} = \bar{C}_{EX} - 2 SD_{EX}$	CONTENTS FILE (CL) stress pC_{EX} $pC_{EX} - \bar{C}_{EX1}$ $pC_{EX} - \bar{C}_{EX2}$
rest nC_{DS}	mean \bar{C}_{DS} $\bar{C}_{DS1} = \bar{C}_{DS} - 1 SD_{DS}$ $\bar{C}_{DS2} = \bar{C}_{DS} - 2 SD_{DS}$	rest pC_{DS} $pC_{DS} - \bar{C}_{DS1}$ $pC_{DS} - \bar{C}_{DS2}$
washout rate nW	mean \bar{W} $\bar{W}_1 = \bar{W} - 1 SD_W$ $\bar{W}_2 = \bar{W} - 2 SD_W$	washout rate pW $pW - \bar{W}_1$ $pW - \bar{W}_2$

Fig. 2 File structure for the quantitative STEREO-VIEW display.

$C_{EX} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N nC_{EX}$: mean counts in a sector at early scan for N normal controls.

$C_{DS} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N nC_{DS}$: mean counts in a sector at delayed scan for N normal controls.

$\bar{W} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N nW$: mean wash out rate in a sector for N normal controls.

\bar{W}_1 and \bar{W}_2 : normal lower wash out rate limited by mean wash out rate
-1 SD_W and -2 SD_W, respectively.

Left side suffix n and p mean normal control and patient, respectively.

うに、再び短軸断層像を作成し直した。これは元の短軸断層像を補間して行い、全断面の総計数が保存されるように配慮した。

2. 輪郭ファイルと濃度分布ファイルの作成

最大面積となる短軸断面を選択して、心筋部分を含むグローバルな関心領域 (ROI) を設定する。この ROI 内の最大値を全断面から求め、その45% に対応する値をカット・オフ値として等計数法により心筋外側の輪郭を検出した。その後、輪郭上の各点を心筋断面の中心を原点とする (r, θ) 座標に変換して、5 次フーリエ関数で近似し平滑化後、再び (x, y) 座標に変換した。このとき輪郭上の点の数は 51 個とし、等間隔で与えられている。この輪郭上の点の座標を輪郭ファイル (SL ファイルと呼ぶ) として保存した。輪郭ファイルは early および delayed のデータからそれぞれ作成した。しかし、労作性狭心症例のように負荷時の early 画像で虚血のために欠損像を呈する場合には delayed 画像で算出したフーリエ関数を使用して early 画像の SL ファイルを作成した。すなわち、EX データからは心筋断面の中心のみを求め、そこを原点としてフーリエ関数から輪郭を作成した。

輪郭 SL ファイルと短軸断層像から濃度分布ファイル (CL ファイルと呼ぶ) を作成した。短軸断層像の各断面を、中心と輪郭上のとなり合う 2 点で囲まれる扇形領域に 51 等分し、それぞれの平均計数値を算出した。すなわち、左室心筋を 510 領域 (51×10 断面) に分割してそれぞれの平均計数を求め、CL ファイルに記録した。CL ファイルは各症例ごとに作成した。CL ファイルの構成を Fig. 1 に示した。各断面ごとに EX, DS の計数および wash out rate, それぞれに対応する正常下限値との差を記録した。wash out rate (WR) は次式で算出した。

$$WR = 100 \times (C_{EX} - C_{DS}) / C_{EX}$$

3. データ・ファイルの作成

Figure 2 に示したように 3 種類のデータ・ファイルを作成した。第 1 は正常者のデータ・ベースで各例ごとに輪郭 SL ファイルと濃度分布 CL ファイルから構成されている。CL ファイルには

early, delayed の計数と wash out rate のみが記録されている。第 2 は正常者データ・ベースから作成した比較用のデータ・ファイルである。正常者 11 例のデータ・ベースから 510 個の部位それぞれについて early および delayed の計数, wash

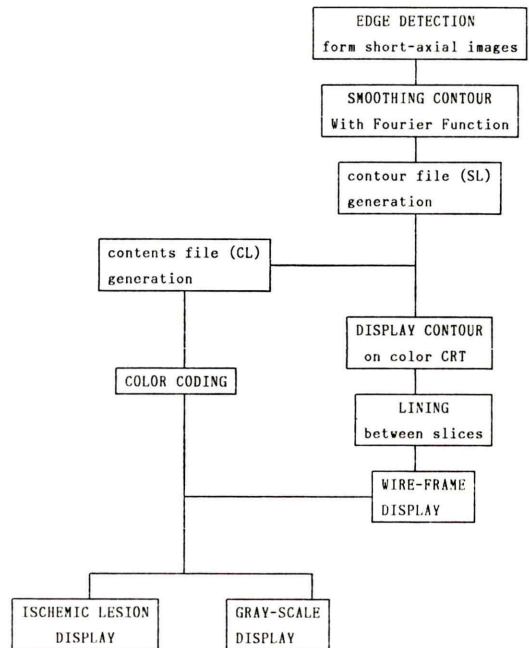


Fig. 3 Flow chart of data processing for STEREO-VIEW display.

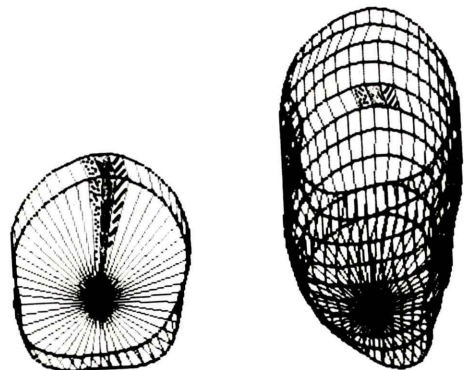


Fig. 4 Coloring on the surface of the wireframe. Color is coded depending on the mean counts or wash out rate in the corresponding sector of the slice.

out rate の正常平均値を算出し CL ファイルに記録した。また、それぞれに標準偏差 (SD) を算出して、正常下限値とするための、平均値 -1 SD、平均値 -2 SD の値も CL ファイルに記録した。第3は対象とする患者のデータ・ファイルである。early, delayed の SL ファイルと CL ファイルから構成されている。CL ファイルは Fig. 1 に示したように early, delayed の計数および wash out rate の値の他に比較用ファイルに記録してある正常下限値との差を記録した。したがって、平均値 -1 SD あるいは平均値 -2 SD を正常下限値とした場合、正であれば正常、負であれば虚血部とみなすことになる。

4. STEREO-VIEW 表示 (STV)

これまでの処理の流れ図を Fig. 3 に示す。SL ファイル, CL ファイルを作成したら、それらを使って STEREO-VIEW 表示を行う。まず, SL ファイルから各断面の輪郭を持ってきて wire frame 表示を行う。wire frame の表面を、対応する断面の扇形領域の計数あるいは wash out rate の値に応じた色でぬりつぶす。STV の表面と心筋断面との関係を Fig. 4 に示した。

early 画像あるいは delayed 画像の計数は、最大値を赤とし、最大値の 30% 以下を黒となるようにし、その間を 128 色のカラーレベルで表示した。wash out rate は 40% 以下を黒、50% 以上を赤、40~45% が青と緑、45~50% が黄色から赤で表示した。これらの計数と wash out rate の STV 表示を濃度分布表示と呼ぶことにする。

濃度分布表示と同様に正常値下限との差も色分けして STV 表示を行った。wash out rate の場合、正の値は 0 から 15% までを黄色から赤、負の値は 0 から -15% までを緑から青で表示した。この表示を病変部表示と呼ぶことにする。

各表示はどの部位の疾患もよく見えるように長軸中心に回転したり、見る方向を変更できるようにした。

虚血部の広がりやの程度を定量するために、病変部表示の際に負の値を持った部位の面積および容量を求め、全体に対する割合を算出した。面積は

負の値となる領域の数を全体の領域数 (510) に対する百分率で求めた。容量は負となる領域の wash out rate 値 (すなわち、正常下限値との差) を加算し、その総和を正常者平均 (全体の平均値 47.6%) における全領域の wash out rate 値 (510×47.6) に対する百分率で求めた。それぞれ虚血面積、虚血容量と呼ぶことにする。

III. 結 果

正常者 11 例の平均 wash out rate の STV 表示を Fig. 5 に示した。左側から右側面 (中隔側)、正面、左側面 (側壁側)、後面から見た像である。心尖部と心基部には黄色で他の赤色部分に比べ低値となっているところがある。全体の平均 wash out rate は $47.6 \pm 5.6\%$ であった。

CAG により LAD (#7) に 90% 狭窄が確認された労作性狭心症例の心筋 SPECT-STV 表示を Fig. 6 に示した。上段に early, delayed の濃度分布表示、下段に wash out rate の濃度分布表示、および病変部表示を示した。正常値下限を平均値 -1 SD としてその差を表示した。LAD (#7) の 90% 狭窄を反映して、前壁から中隔の虚血部が緑から青色で明確に描出されている。虚血面積は 22.4%、虚血容量は 4.9% であった。

Figure 7 に STV 表示と Bull's eye 表示を比較した。本症例は LAD (#6) に 90% の狭窄を確認した労作性狭心症例である。上段の STV 表示では平均値 -1 SD と比較した wash out rate の病変部表示を示した。左側は前面から、右側は後面から見た像である。本例の虚血面積は 42.9%、虚血容量は 9.4% であった。下段の Bull's eye 表示は、GE-Maxi Star システムによるもので、early (左上) および delayed (右上) の濃度分布および wash out rate (左下) を示す。wash out rate は正常下限値より上を白 (すなわち正常部)、それ以下を色をつけて表示し、正常下限値は部位によらず一定 (43%) となっている。正常部位の面積が 49% と算出されている。

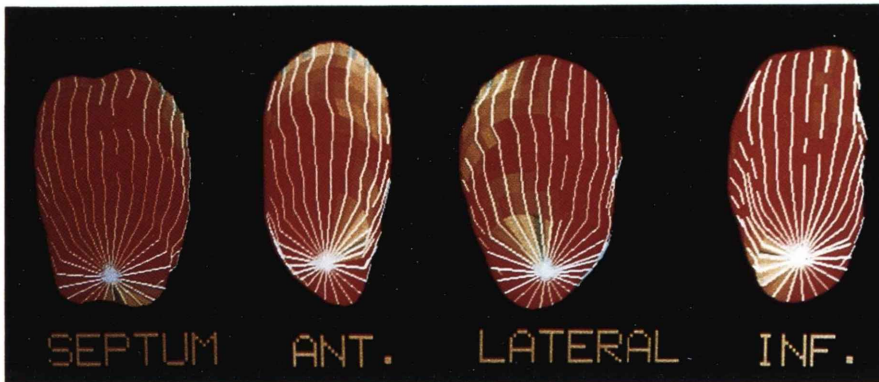


Fig. 5 STV display of mean wash out rate images for 11 normal controls in the views of septal, anterior, lateral and inferior.

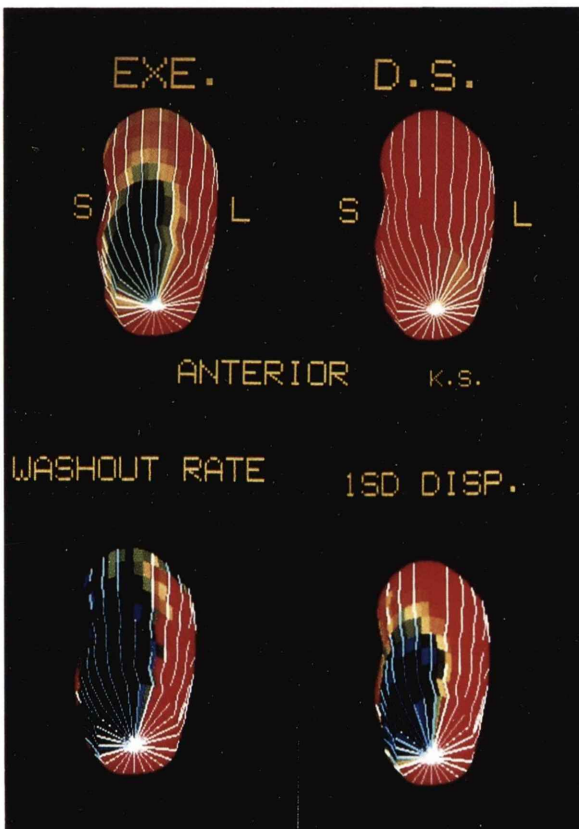


Fig. 6 STV display of Tl-201 counts at early exercise scan and delayed scan, wash out rate and ischemic lesion in a case of LAD (#7) one vessel disease with effort angina pectoris.

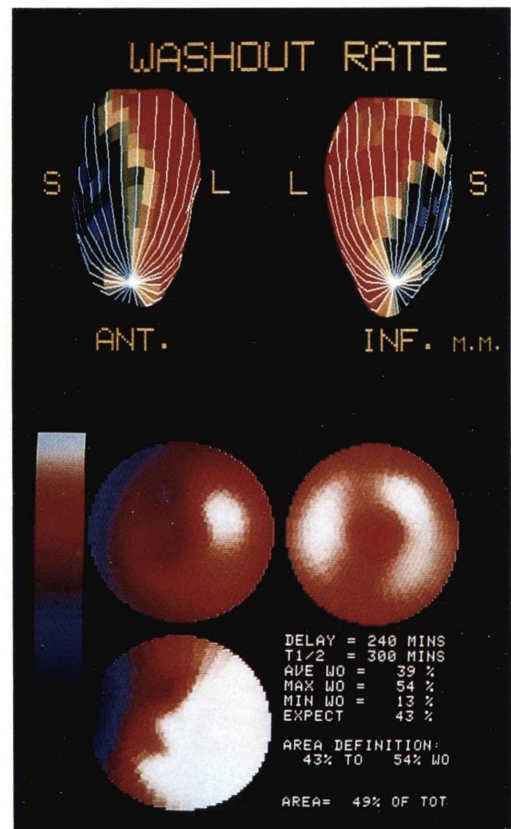


Fig. 7 Comparison between STV display of ischemic lesion and Bull's eye in a case of LAD (#6) one vessel disease with effort angina pectoris.

IV. 考 察

SPECT 像は従来の 2 次元像に比べるとバックグラウンドが少ないために、単純な等計数法でも輪郭が求まる。本法ではフーリエ関数で近似したためより平滑な輪郭となり表示をきれいにした。early 画像で、大きな欠損部を有するような症例では輪郭を得ることが難しい。そこで本法では、delayed 画像で算出したフーリエ関数から early 画像の輪郭を作成した。このフーリエ関数の原点を early 心筋断層像の中心とすることにより、容易に位置合わせできる点がすぐれている。これによって、欠損のかなり大きな症例でも輪郭を求め wash out rate の算出、さらには STV 表示を可能とした。陳旧性梗塞症例等 delayed 画像でも欠損を有するような場合には、自動的に輪郭を出すのは難しくなる。原理的には、欠損部の点を除いてフーリエ近似を行えば、欠損のない輪郭が得られる。

あらかじめ各断面の輪郭 SL ファイルおよび 510 点の濃度 CL ファイルを作成しておくことにより、STV 表示速度を早めることができた。また、症例によって見やすい角度、方向からの表示、カラー・スケールの変更も容易に行える。ここで対象とした狭心症例では、wash out rate 45% (level) を基準にして、 $\pm 5\%$ (window) の領域を 128 レベルに分割した場合、視覚的に納得のいく表示であったため、これを標準とした。しかし、症例によっては level を下げたり、window を広げた方がよい場合がある。一色が何%に対応するかを考慮して level や window を決めることにより、定量的評価を可能とする。

個々の症例を正常者のデータから作成した比較ファイルと各部位ごとに比較するために、短軸断層像のスライス数を 10 スライスになるように調整した。このことによって大きさの情報が失われるが、それは raw データからもわかるので、定量解析のために犠牲にした。各断面を 51 等分したので、外周上で約 5 mm 間隔に分割したことになる。SPECT の分解能 (半値幅) の 1/2 から 1/3

に対応するが、得られた結果が連続的に変化していることから、小さくしたための害はないと思われる。一方、点の数が多いため表示がなめらかで見やすい STV 表示となった。

正常者 11 例から正常者データ・ベースを作成した。今後例数が増大してもすぐに対応できるようなファイル構造にした。正常者ファイルから作成した比較用ファイルでは、各部位の平均値の他に、各部位ごとの標準偏差を作成し、平均値 -1 SD、平均値 -2 SD の正常下限値を求めた。wash out rate の正常下限値は 43.2% から 49.1% であった。部位によって正常者の wash out rate が異なることから、部位ごとに正常下限値を設定して比較することは大切である。Fig. 7 に示した症例で、虚血面積を STV 法と Bull's eye 法で比較してみると、43% と 51% となる。正常下限値を一定とした Bull's eye 法が過大評価をしていることになる⁶⁾。

断層画像の 3 次元立体表示は種々の試みがなされているが^{7,8)} 定量性を考慮した表示は少ない。Bull's eye 表示²⁾は定量性を考慮した表示になっているが、パターン化したためリアル感に欠ける。それに比して、STV 法はリアル感があり、虚血部の位置や広がりをわかりやすく表示し、なおかつ定量的な表示となっている。従来、wash out rate の circumferential 解析において、同じ枝で比較した場合正常下限値以下の面積が冠動脈の狭窄の程度と比較的よく相関していた。ここで算出した虚血容量は circumferential 法を 3 次元的に応用したことになる。虚血面積は虚血部の広がりを、虚血容量はその程度を表わしていると考えられる。Fig. 6, Fig. 7 に示した LAD 7# と 6# の狭窄部位の違いが、面積の違いとして表われている。

病変部表示では、wash out rate のみを対象として症例を示したが、計数の絶対値に対しても同様の表示が可能である。しかし、絶対値表示のためには、投与量や撮影条件を考慮したデータの規格化を行わなくてはならない。その有用性については今後検討したい。

V. 結 論

心筋 SPECT 像のより定量的解析法とその表示法としての STEREO-VIEW 法を開発した。その結果、心筋への Tl-201 のとり込みを肉眼で見るごとく、リアル感を持って、しかも定量的な表示が可能となった。たとえば労作性狭心症例では、wash out rate を正常下限値と部位ごとに比較することにより、虚血部の位置、ひろがりの程度を可視化できた。正常下限値以下の領域から虚血面積、虚血容量を求め定量的に比較できた。

STEREO-VIEW 法は、Bull's eye 法等パターン化した表示法に比べ、リアル感があることが優れている。一方、一度に全領域を見ることはできない。しかし、通常われわれが実際の物を見るごとく複数の方向からみた表示を行うことによって捕える。

謝辞 プログラムの作成および処理に当たってご援助いただいた細羽実氏、清水昇氏に深謝します。本研究の一部は厚生省がん研究助成金 (61-39 久田班) によって行った。

文 献

- 1) Garcia E, Maddahi J, Berman D, et al: Space/Time quantitation of thallium-201 myocardial scintigraphy. *J Nucl Med* **22**: 309-317, 1981
- 2) Garcia EU, Kenneth VT, Maddahi J, et al: Quantification of rotational thallium-201 myocardial tomography. *J Nucl Med* **26**: 17-26, 1985
- 3) 外山比南子, 村田 啓: 三次元画像処理による心室壁運動解析. 臨床心臓図学会 **15**: 729-733, 1986
- 4) 鳥脇純一郎: 最近の医用画像三次元表示の基本手法. 医用電子と生体工学 **24**: 293-303, 1986
- 5) 細羽 実, 和辻秀信, 外山比南子, 他: 心プール SPECT の定量性について——180° スキャンと 360° スキャンの比較——. 核医学 **23**: 849-853, 1986
- 6) 松田宏史, 村田 啓, 西村重敏, 他: タリウム心筋シンチグラフィ—定量解析立体表示法——Bull's eye 表示との比較——. 日本医学放射線学会雑誌 **47**: 186, 1987
- 7) Faber TI, Stokely EM, Willerson JT, et al: A method for 3-D Analysis and Display of gated blood pool tomograms (abstr.). *J Nucl Med* **27**: 918, 1986
- 8) Mullani NA, Ranganah MV, Adler S, et al: 3-D surface mapping of functional PET images for the heart and the brain (abstr.). *J Nucl Med* **27**: 918, 1986

Summary

A Method for Quantitative Evaluation of Myocardial SPECT Images with Three Dimensional Display —STEREO-VIEW—

Hinako TOYAMA*, Hirofumi MATSUDA**, Hajime MURATA**
and Masayoshi AKISADA*

**Institute of Clinical Medicine, Tsukuba University, Ibaraki*

***Division of Nuclear Medicine, Toranomon Hospital, Tokyo*

A method for quantitative three dimensional display—STEREO-VIEW (STV)—of myocardial images with single photon emission CT (SPECT) was developed and applied on the clinical study in cases of effort angina pectoris (AP).

Contour lines for outer edge of myocardium were detected automatically from the slices of short axial images and recorded into the contour line file (SL) after smoothing. A slice was divided into 51 sectors. The mean counts of the sectors were calculated for the images of early and delayed studies and recorded into contents file (CL). Wash out rate was also recorded into CL file. STV display was done by painting the surface of the wire frame, depicted with SL file. Various colors

were coded quantitatively according to the value in the CL file. In the case of effort AP, the differences of wash out rate from normal lower limited values in each sector, which were calculated from 11 normal control images, were depicted on STV. Sectors which have a negative difference value are considered to be abnormal for which the area and volume (sum of the value) are also calculated. In this method extent of stress induced ischemia can be visualized quantitatively on a real representation of heart.

Key words: SPECT, 3-D display, 201-Tl myocardial imaging, Wash out rate, Effort angina pectoris.