

《原 著》

201Tl 同心円表示のサブトラクション法の試み (第 1 報)

——視覚的判定との対比検討——

進藤 真* 玉木 長良* 高橋 範雄* 大谷 弘*
 米倉 義晴* 小西 淳二* 野原 隆司** 神原 啓文**
 河合 忠一** 吉岡 克則*** 寺岡 悟見***

要旨 運動負荷 201Tl 心筋 SPECT 上の Tl 分布の変化を定量的に描出するため同心円サブトラクション (BS) マップを作成した。正常例 10 例と虚血性心疾患例 33 例 (計 215 区域) につき、本法を利用し、BS マップ上の再分布の程度と SPECT 上の視覚判定と対比検討した。正常例では全 50 区域が BS マップ上 15% 未満であった。虚血性心疾患では固定性欠損 27 区域のうち 20 区域 (74%) が 10% 未満、6 区域 (22%) が 10~15% であった。完全ないし不完全再分布と判定された 34 区域のうち 25 区域 (74%) が 15% ないし 20% 以上を示し、残りの 9 区域はすべて 10% 以上であった。BS マップと SPECT 上の視覚的判定法との一致率は高く、BS マップ上 10% ないし 15% をもって再分布の有無の判定が可能と思われた。本法は運動負荷 Tl 心筋 SPECT 上の再分布の程度を定量的に解析できる手法として有用と考えられた。

I. はじめに

運動負荷 201Tl 心筋 SPECT は虚血性心疾患の有用な診断、評価法である。が、その視覚的判定は観察者間のばらつきがあり、虚血部位判定の検出能や客観性を高めるため様々な定量的な解析法が報告、利用されてきた¹⁻⁷⁾。分布の変化を定量化するものとして洗い出しの解析があるが負荷時最大心拍数、肺心筋の 201Tl 摂取比の影響を大きく受けることが知られている^{8,9)}。分布の相対的变化を定量化する方法として、SPECT 読影時と同様に初期像、遅延像の最高カウントを 100% に標準化し分布の改善を % として表示する同心円サ

ブトラクション法を考案した。本法による再分布の定量解析と従来から報告してきた視覚的再分布の程度と対比検討を行った。

II. 方 法

1) 対 象

正常例としてなんらかの心筋虚血、心筋障害を疑い、運動負荷 201Tl 心筋シンチグラフィを施行したが、運動負荷にて胸痛なく安静時、負荷時共に心電図異常を認めず、かつ、201Tl 心筋 SPECT 正常所見である 10 例を選んだ。一方、虚血性心疾患例は冠動脈造影にて 50% を越えた有意の狭窄を有する 33 例でそのうち臨床上新心筋梗塞の既往を持つのは 18 例であった。

患冠動脈病変は、1 枝病変 10 例、2 枝病変 10 例、3 枝病変 13 例であった。(男性 32 例、女性 11 例)

2) 運動負荷 201Tl 心筋 SPECT

運動負荷は自転車エルゴメータを使い、25 W より 3 分毎 25 W ずつ増加させる多段階運動負荷を用い、胸痛または ECG 変化を指標として、最

* 京都大学医学部放射線核医学科

** 同 第三内科

*** 横河メディカルシステム

受付: 2 年 11 月 26 日

最終稿受付: 3 年 3 月 13 日

別刷請求先: 京都市左京区聖護院川原町 54 (☎ 606)

京都大学医学部核医学科

玉 木 長 良

大負荷時に ^{201}Tl 74 MBq (2 mCi) を静注し、さらに1分間運動を持続した。静注後10分以内および3時間後に回転型ガンマカメラを用い、 $\text{LPO}45^\circ$ から $\text{RAO}45^\circ$ まで 180° 回転 (30 秒 \times 32 方向) しデータを収集した。 ^{201}Tl 心筋 SPECT 像は体軸横断断層像のほか短軸断層像や長軸断層像を作成した。

3) 同心円サブトラクション (BS) マップ

^{201}Tl SPECT 像作成後、心尖部より心基部までの短軸断層像を同心円表示する Bull's eye 機能画像を作成。初期像、遅延像それぞれの最高カウントを 100% 表示し、遅延像より初期像を差し引いた値を Bull's eye subtraction polar (BS) score とし、+40% から -40% まで 5% 毎に色分けし、同心円表示する同心円サブトラクション (BS) マップを作成した。

4) ^{201}Tl 心筋 SPECT と BS マップとの対比

得られた ^{201}Tl 心筋 SPECT 像より、左室心筋を前壁、中隔、心尖部、下壁、側壁の5区域に区分。再分布の程度を視覚的に判定して4段階に分類。初期像で分布の低下を認め遅延像で分布の正常化したものを完全再分布、分布の明かな改善の見られたものを不完全再分布、既報のように⁷⁾ 同心円表示の SD マップで 2 SD 以上の改善を認めたものを微少再分布、全く改善を認めないものを固定性欠損とした。

BS マップも同様に左室心筋を5区域に区分しおのおの区域の 1/3 以上の BS score がそれぞれ 20% 以上、15% 以上、10% 以上、10% 未満の4段階に分類して区域毎に SPECT 上の再分布の視覚的判定法と比較検討した。

III. 結 果

1) 正常例での比較

正常例 10 症例 50 区域のうち BS 上 10% 未満は 48 区域 (96%)、10% 以上は 2 区域 (4%) のみであり、全ての区域が 15% 未満を示していた。

2) 虚血性心疾患での比較

虚血性心疾患 33 例 165 区域では SPECT にて正常と判定された 85 区域のうち BS 上 10% 未満は

75 区域 (88.3%)、10% 以上は 7 区域 (8.2%)、15% 以上は 3 区域 (3.5%) であり、15% 未満が 96% 以上を占めた (Table 1)。

一方、完全ないし不完全再分布と判定された 34 区域のうち BS 上 15% ないし 20% 以上の区域は 25 区域 (74%)、残りの 9 区域は全て 10~15% であった。他方、SPECT にて固定性欠損と判定された 27 区域のうち BS 上 10% 未満は 20 区域 (74%)、10% 以上は 6 区域 (22%)、15% 以上は 1 区域のみであった。

逆に、BS score 上 15% 以上を示す 39 区域のうち、SPECT 上 25 区域 (64%) で完全ないし不完全再分布を認め、10 区域 (26%) に微小再分布を認めた。BS score 上 10% 未満の 100 区域中 75 区域 (75%) が健常部、20 区域 (20%) が固定性欠損と判定された。

3) 症例提示

次に ^{201}Tl 心筋 SPECT 像にて正常、再分布、固定性欠損のそれぞれを示した症例を供覧する。

【症例 1】49 歳、女性、高脂血症にて加療中。狭心症疑いにて運動負荷 ^{201}Tl 心筋 SPECT 施行。心電図変化なく、胸痛なし。SPECT は運動負荷直後、遅延像共に欠損を認めず。(Fig. 1) BS はすべて 10% 未満であった (Fig. 2)。

【症例 2】42 歳、男性、狭心症。冠動脈造影上左前下行枝に完全閉塞、左回旋枝に 50% の狭窄を認めた。運動負荷 ^{201}Tl 心筋 SPECT にて前壁に不完全再分布、中隔、心尖部に完全再分布を認めた (Fig. 3)。BS では同部位に 20% 以上の分布の改善を認めた (Fig. 4)。

【症例 3】57 歳、男性、心筋梗塞。冠動脈造影

Table 1 Relation of quantitative analysis on BS map with qualitative redistribution (RD) analysis

Qualitative analysis	BS quantitative analysis			
	<10%	10-15%	15-20%	20% \leq
Normal	75	7	3	0
Persistent defect	20	6	1	0
Minimal RD	5	4	10	0
Incomplete RD	0	9	13	6
Complete RD	0	0	2	4

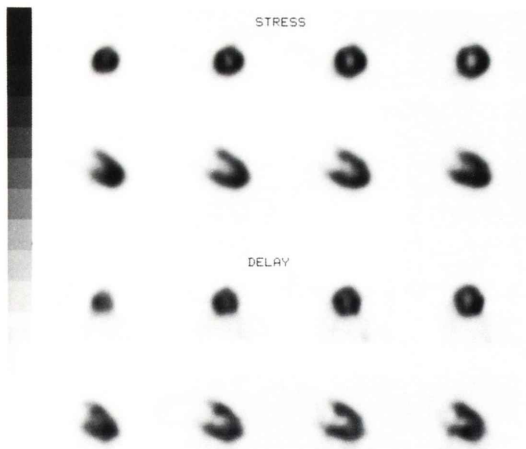


Fig. 1 The four contiguous short-axis slices (top) and vertical long axis slices (bottom) of stress and delayed Tl-SPECT images of a normal subject. Homogenous thallium distribution is observed.

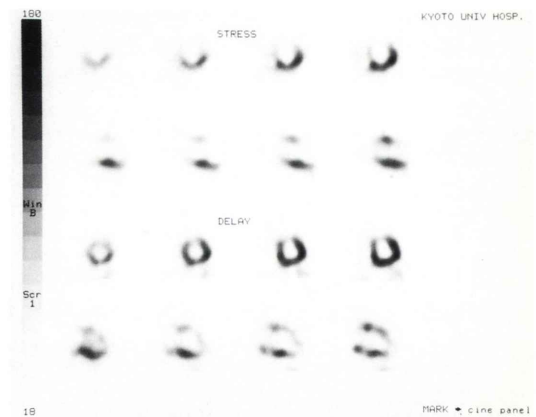


Fig. 3 The four contiguous short-axis slices (top) and vertical long axis slices (bottom) of stress and delayed Tl-SPECT images of a patient with angina pectoris. Perfusion defect with significant redistribution is observed in anterior, apical and septal regions.

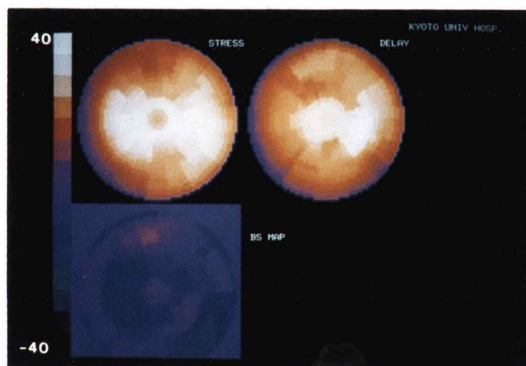


Fig. 2 The bull's eye polar map display of normalized stress (top left) and delayed (top right) distribution and the subtraction polar map (bottom left) of the same case as Fig. 1. The subtraction map shows homogenous distribution with the value less than 10%.

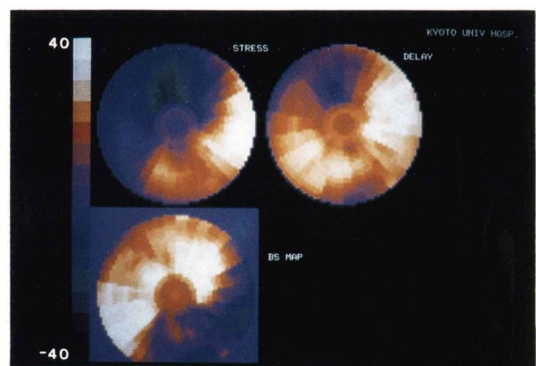


Fig. 4 The bull's eye polar map display of normalized stress (top left) and delayed (top right) distribution and the subtraction polar map (bottom left) of the same case as Fig. 3. The distribution map suggests improvement of the distribution in anterior, apical and septal regions. The subtraction map also demonstrates improvement with the value above 20% in the same areas.

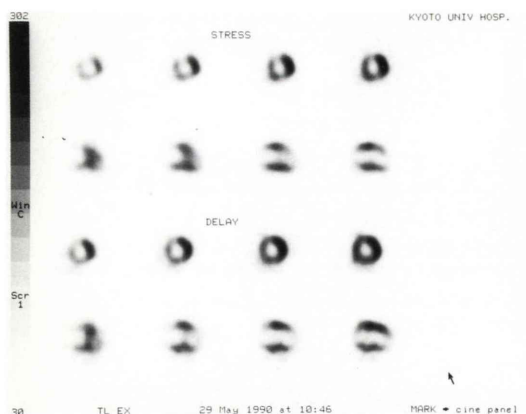


Fig. 5 The four contiguous short-axis slices (top) and vertical long axis slices (bottom) of stress and delayed TI-SPECT images of a patient with anterior MI. These images show perfusion defect in anterior and apical regions with incomplete redistribution in anterior and apical regions.

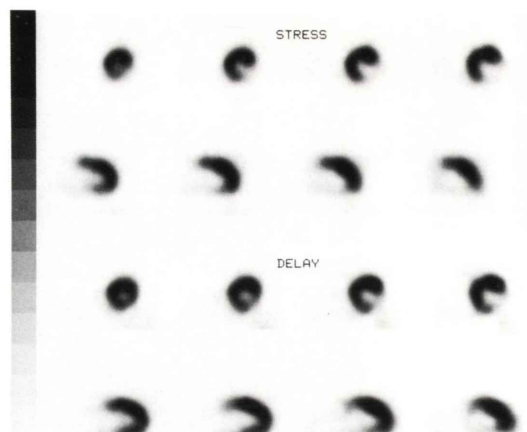


Fig. 7 The four contiguous short-axis slices (top) and vertical long axis slices (bottom) of stress and delayed TI-SPECT images of a patient with angina pectoris. Persistent perfusion defect in infero-lateral wall without redistribution is observed.

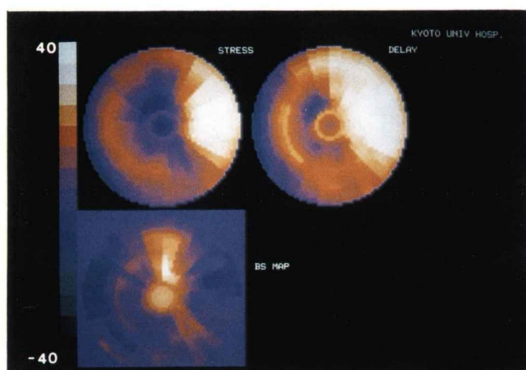


Fig. 6 The bull's eye polar map display of normalized stress (top left) and delayed (top right) distribution and the subtraction polar map (bottom left) of the same case as Fig. 5. The subtraction map clearly demonstrates improvement of the distribution in anterior and apical regions with the value above 15%.

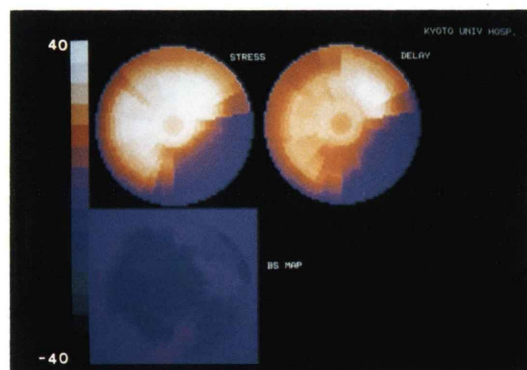


Fig. 8 The bull's eye polar map display of normalized stress (top left) and delayed (top right) distribution and the subtraction polar map (bottom left) of the same case as Fig. 7. The subtraction map shows homogenous distribution with the value less than 10%.

上左前下降枝に完全閉塞を認めた。運動負荷 ^{201}Tl 心筋 SPECT にて前壁に不完全再分布を認めた (Fig. 5)。BS では同部位に 15% 以上の分布の改善を認めた (Fig. 6)。

【症例 4】 72 歳，男性，狭心症。冠動脈造影上右冠動脈完全閉塞，左前下降枝 75%，左回旋枝完全閉塞のある症例。運動負荷 ^{201}Tl 心筋 SPECT にて下壁，側壁に固定性欠損を認めた (Fig. 7)。BS ではすべて 10% 未満であった (Fig. 8)。

IV. 考 察

^{201}Tl 像で再分布の有無を判定する場合，初期像と遅延像の最大カウントを 100% に標準化した後，相対的分布の改善の有無を評価する。今回作成した BS マップはこの概念に基づいて作成された同心円表示法である。今回の検討では同心円サブトラクションマップにおける BS score と SPECT 上の視覚判定はきわめてよい一致を見た。BS 上 15% 以上の区域はそのほとんど (35/39=89%) がなんらかの再分布を示しており，10% 未満の区域はそのほとんど (95/100=95%) が健常部ないし固定性欠損部であり，10% 前後度のある程度のばらつきはあるものの，BS 上 10 ないし 15% をもって再分布の有無の判定が可能と思われた。

^{201}Tl SPECT 上の再分布の視覚判定の場合初期像の最高カウント部を基準にカウント低下部位の遅延像における ^{201}Tl 分布の相対的变化によって虚血，梗塞の診断がなされる。カウント低下部の ^{201}Tl 分布に変化がなければ梗塞心筋と判定され， ^{201}Tl 分布に改善を認めれば虚血心筋と判定される^{10,11)}。初期像，遅延像における最高カウント部を 100% 表示し，そこを基準に分布の変化を定量化する同心円サブトラクション法は SPECT 上の視覚的判定法に近いものといえる。また，再分布の程度を定量的に評価できる点でも意義がある。

^{201}Tl 分布の定量化として ① PLANAR 像，SPECT 像における circumferential profile analysis⁵⁾ にての取り込み低下の広がり程度と定量化 ② ^{201}Tl 分布の洗い出しの定量化としての洗い出

し表示^{4,6)}，③ 同心円表示，展開図表示によるその可視化等の工夫がなされてきた²⁾。再分布等の分布の変化を定量化するものとして洗いだし率があるが洗い出し率は (EX-DL)/EX の式により初期像遅延像間のカウントの差の比率をみるため，SPECT 読影時のようにカウントの分布の差を見るものではない。また，負荷時最大心拍数，負荷時肺心筋 ^{201}Tl 摂取比の影響をうけ時に視覚判定による狭窄冠動脈診断の specificity を低下させることもある⁹⁾。

一方，Klein ら¹²⁾ は初期像遅延像おのおのを normalize したものを引算し，分布の変化を定量化し，サブトラクションマップとして同心円表示する方法を開発した。彼らはそのサブトラクションマップについても標準化し相対的な改善として表示した。また，再分布の判定は s.d. map との併用で 1.5 s.d. 以上の改善をもって再分布陽性としている。われわれの手法は引算した値を絶対値 (%) として表示する方法であり，今回得られた再分布の値 (%) は視覚的再分布の程度とよく相関し，BS のみで再分布の判定が可能であった。また，BS score が負の値を示す場合，いわゆる逆再分布^{13,14)} の定量的描出も可能と考えられる。

同心円表示を行う場合，スライス選択や角度などのいずれにより誤差を生じやすい。とりわけその引き算した画像にはその誤差が加算される可能性がある。今回の検討では左室を大きく 5 つの区域に分け，その 1/3 以上の変化を有意ととり，誤差をできるだけ少なくした。また，誤差の生じやすい心基部の判定には十分な注意を払った。BS は上述したように初期像遅延像の変化を見るため，健常部や梗塞部のように初期像遅延像間で差のない区域は同様に描出される。したがって，初期像と遅延像の同心円表示との併用表示が必要と考えられる。

初期像と遅延像の 2 つの画像間の分布の差を定量化する BS は施行日の異なる検査間にも応用可能と思われる。今後，この表示法を用いて血行再建術前後での検討を行い，その意義について検討を加える予定である。

V. 結 論

運動負荷 ^{201}Tl 心筋 SPECT 施行例に対して同心円サブトラクション法を用いて分布の変化について定量解析を行った。

1) 同心円サブトラクションマップにおける BS score と SPECT 上の視覚判定はきわめてよい一致を見た。

2) BS 上 10% 未満の区域はそのほとんどが健康部ないしは固定性欠損部であった。

3) BS 上 15% 以上の区域のほとんどが完全ないし不完全再分布を示していた。

以上より同心円サブトラクション法 (BS) により運動負荷 ^{201}Tl 心筋 SPECT 施行例において分布の変化の定量化が可能であると考えられた。

文 献

- 1) Tamaki N, Yonekura Y, Mukai T, et al: Stress Thallium-201 Transaxial Emission Computed Tomography: Quantitative Versus Qualitative Analysis for Evaluation of Coronary Artery Disease. *J Am Coll Cardiol* 4: 1213-1221, 1984
- 2) Garcia EV, VanTrain K, Maddahi J, et al: Quantification of Rotational Thallium-201 Myocardial Tomography. *J Nucl Med* 26: 17-26, 1985
- 3) DePasquale E, Nody A, DePuey E, et al: Quantitative rotational thallium-201 tomography for identifying and localizing coronary artery disease. *Circulation* 77: 316-327, 1988
- 4) Maddahi J, Garcia EV, Berman DS, et al: Improve Noninvasive Assessment of Coronary Artery Disease by Quantitative Analysis of Regional Stress Myocardial Distribution and Washout of Thallium 201. *Circulation* 64: 924, 1981
- 5) Burow RD, Pond M, Scafer W, et al: "Circumferential Profiles" A new method for computer analysis of thallium-201 myocardial perfusion images. *J Nucl Med* 20: 771, 1979
- 6) Beller GA, Pohost GM: Time course and mechanism of resolution of thallium-201 defect after transient myocardial ischemia (abstr). *Am J Cardiol* 41: 379, 1978
- 7) 大谷 弘, 玉木長良, 山下敬司, 他: 運動負荷 ^{201}Tl 心筋 SPECT の定量的解析法による心筋 viability の評価. *核医学* 26: 1389-1398, 1989
- 8) 西村恒彦, 植原敏勇, 林田孝平, 他: 運動負荷心筋スキャンにおける健康心筋部位の washout rate に関する検討. *核医学* 22: 989-997, 1985
- 9) 成田充啓, 栗原 正, 村野謙一, 他: 虚血性心疾患の診断と運動負荷時心筋タリウム Washout Rate——Washout rate に影響する因子——. *核医学* 25: 141-149, 1988
- 10) Pohost GM, Zir LM, Moore RH, et al: Differentiation of transiently ischemic from infarcted myocardium by serial imaging after a single dose of thallium-201. *Circulation* 55: 294-302, 1977
- 11) Rozanski A, Berman DS, Gray R, et al: Use of thallium-201 redistribution scintigraphy in the pre-operative differentiation of reversible and non-reversible myocardial asynergy. *Circulation* 64: 936-944, 1981
- 12) Klein JL, Garcia EV, DePuey E, et al: Reversibility Bull's-Eye: A New Polar Bull's-Eye Map to Quantify Reversibility of Stress-Induced SPECT Thallium-201 Myocardial Perfusion Defects. *J Nucl Med* 31: 1240-1246, 1990
- 13) Tanasecud, Berman DS, Stainloff H, et al: Apparent worsening of thallium-201 myocardial defect during redistribution. What does it mean? *J Nucl Med* 20: 688, 1979
- 14) 西村恒彦, 他: 運動負荷心筋スキャンにおける逆再分布現象——冠血行再建術における検討——. *核医学* 22: 1679-1683, 1985

Summary

A Bull's Eye Subtraction Polar Map for Assessing Thallium Redistribution

(1) Comparison with Quantitative Redistribution

Makoto SHINDO*, Nagara TAMAKI*, Norio TAKAHASHI*, Hiroshi OHTANI*,
Yoshiharu YONEKURA*, Junji, KONISHI*, Ryuji NOHARA**, Hirofumi KAMBARA**,
Chuichi KAWAI**, Katsunori YOSHIOKA*** and Satomi TERAOKA***

**Department of Radiology and Nuclear Medicine, **The Third Division,
Department of Internal Medicine, Kyoto University Faculty of Medicine, Kyoto*

****Yokogawa Medical System, Tokyo*

A new bull's eye subtraction polar (BS) map has been developed for quantitative assessment of redistribution on stress-delayed thallium-201 SPECT studies. BS map was created after subtraction of a normalized stress bull's eye polar map from a normalized delayed polar map in 10 normal subjects and 33 patients with coronary artery disease to compare BS map with qualitative redistribution scores.

The BS map showed $<15\%$ in all of the 50 segments in the normal subjects. Of 27 segments exhibiting persistent defect without redistribution, the BS map showed $<10\%$ in 20 segments (74%)

and 10–15% in 6 segments (22%). On the other hand, of 34 segments exhibiting redistribution, the BS map showed $\geq 15\%$ in 25 segments (74%) and 10–15% in the remaining 9 segments (26%). Thus, significant redistribution was evident in the areas showing ≥ 10 –15% on the BS map. We conclude that the BS map is valuable for quantitative assessment of redistribution on stress-delayed thallium-201 SPECT imaging.

Key words: Emission computed tomography, Thallium-201, Ischemic heart disease, Redistribution, Bull's eye map.