

《原 著》

¹²³I-IMP 脳血流 SPECT の Modified Bull's Eye 表示による 半定量的評価法

水村 直* 汲田伸一郎* 大石 卓爾* 隈崎 達夫*

要旨 ¹²³I-IMP 脳血流 SPECT 多断層面を一画像上に集約するための Modified Bull's Eye (MBE) 表示法を開発した。同表示法では個体間を比較するために SPECT 水平断層像の長軸短軸比を変え大脳半球を円形に近似する。この円形に近似した断層像に Circumferential Profile Analysis (CPA) を施行し、この CPA から極座標表示 (Bull's Eye 表示) を行った。このとき血流欠損の重症度評価の指標として Severity Score を心筋 SPECT と同様に算出した。次いで 5 断層像を抽出し各断層面を 12 分割、各領域の欠損の程度を視覚的にスコア化し (0-3 点)、その総和を Severity Point とした。Severity Score と Severity Point を臨床症例 29 例と健常男性 6 例について比較検討したところ相関係数 0.86 ($p < 0.001$) と良好な相関を認めた。MBE 表示は SPECT 多断層像を一画面に集約するため読影は容易になり、また心筋 Bull's Eye 作成とほぼ同等の時間にて処理可能であるため、臨床的に有用な表示法であると思われた。

(核医学 30: 283-293, 1993)

I. はじめに

N-isopropyl-p-[1-123]-iodoamphetamine (¹²³I-IMP) の初期分布は脳血流を反映するため Single Photon Emission Computed Tomography (SPECT) 装置での撮像により脳全体の血流分布が 3 次元的に捉えられるようになった。しかし、病変部の全体像を把握するには脳血流 SPECT で得られる画像の数が多いため、読影が煩雑になり易く、多数の断層像を繰り返し検討しなければならない。一般に個々の症例の SPECT 像間の比較や同一症例の SPECT 像の経時的変化の観察には実際の脳血流の測定が必要であり、この測定を行わない場合には客観性に乏しい。一方、1985 年 Garcia ら¹⁾ の報告した ²⁰¹Tl 心筋 SPECT の極座標 (Bull's Eye) 表示法は多数の断層像を一画像上に集約表

現しているため、病変の空間的広がりの把握に役立ち日常検査でも一般的なものになっている。そこで脳血流を測定しない場合の SPECT 検査でも簡便かつ客観的になるように脳血流 SPECT 像の極座標表示である Modified Bull's Eye (MBE) 表示法を開発、検討した。

II. 対象および方法

1) 対 象

対象は健常男性 6 例 (28~34 歳, 平均 29.8 歳) および臨床症例 29 例 (脳梗塞 8 例, モヤモヤ病 6 例, クモ膜下出血 5 例, 脳出血 3 例, 中大脳動脈閉塞症 2 例, 硬膜下出血 2 例, 大動脈炎症候群 1 例, 痴呆症 1 例, てんかん 1 例) である。

2) ¹²³I-IMP SPECT 撮像

安静閉眼下で ¹²³I-IMP 111 MBq (3 mCi) を静注し, early image は 15 分後から, delay image は 3 時間後から one step 40 秒, 6°ごとに 60 方向からデータ収集を行い, 画像再構成を施行した。使用機器は東芝社製回転型ガンマカメラ GCA-602A およびデータ処理装置 GMS-550U である。

* 日本医科大学放射線科

受付: 4 年 5 月 13 日

最終稿受付: 5 年 1 月 14 日

別刷請求先: 東京都文京区千駄木 1-1-5 (☎ 113)

日本医科大学放射線科

水村 直

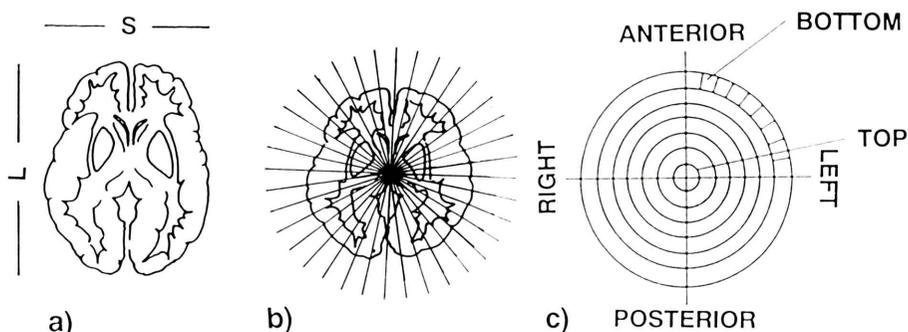


Fig. 1 a) Measurement of the occipitofrontal diameter (bar L) and the temporal diameter (bar S) on oblique images. b) Circumferential profile analysis of round-shaped oblique images. It was constructed from the maximal counts of 36 radii spaced at 10 degrees intervals plotted. c) MBE display. Innermost ring represents the cortex in the most superior slice in the SPECT images, while the outermost ring demonstrates the cortex in the most inferior slice.

3) SPECT 間比較のための水平断像の画像処理

OM-Plane に平行な水平断像を画像再構成したのち、この断層像の長軸 (L)、短軸 (S) の 2 方向の大腦半球の最大径を計測し (Fig. 1a)、最大長軸短軸比を算出する。この比から長軸の短縮を行い、大腦半球水平断像の形状を円形に近似させた。こうして円形に近似させた水平断像に対して $^{201}\text{TlCl}$ 心筋 SPECT 像の極座標表示と同様に、各水平断像の中心から 10° ごとの放射線上での最大カウントによる Circumferential Profile Analysis (CPA) を施行する (Fig. 1b)。MBE 表示では頭頂部から脳底部までを 15 から 18 枚のスライス (1 スライス厚 4.4 mm) の Circumferential Profile Curve (CPC) を中心から外周に向かって順に並べて表示した (Fig. 1c)。

時として視床、基底核等の中心構造物が大腦皮質と同程度の集積を示すことがあるが、今回の検討では視床、基底核が大腦皮質より著しく高集積となる症例は対象症例から除外してこの影響を無視している。

4) SPECT 像の視覚的評価と MBE 表示における半定量的評価

SPECT 像の視覚的評価のために MBE 表示に

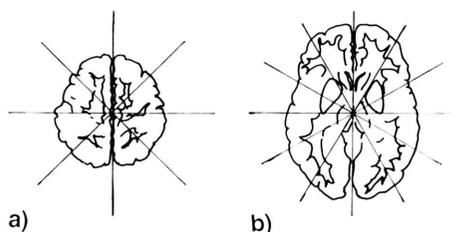


Fig. 2 Subdivision for visual evaluation. a) Eight divided areas in the most superior slice. b) Twelve divided areas in the other slices.

用いた水平断像から基底核中心を通るスライスの上方 39.6 mm, 26.4 mm, 13.2 mm, 0.0 mm, -8.8 mm の 5 つのレベルの各断面が等分割になるように最上断面を 8 分割、他断面を 12 分割した (Fig. 2)。これらの水平断像を 2 名の放射線科医が SPECT 像のみから読影し、大腦皮質の血流低下についてポイントをつけた (血流欠損: 3, 高度血流低下: 2, 軽度血流低下: 1, 正常血流: 0)。ここで視覚的評価の指標として、血流低下範囲を Extent Point (視覚的な血流欠損・低下の見られた領域の数) とし、その重症度を Severity Point (視覚的な血流低下のポイント数の総和) とした。

大腦皮質は機能的相違によって局所脳血流が領域により異なり均一な分布を示さないの、正常

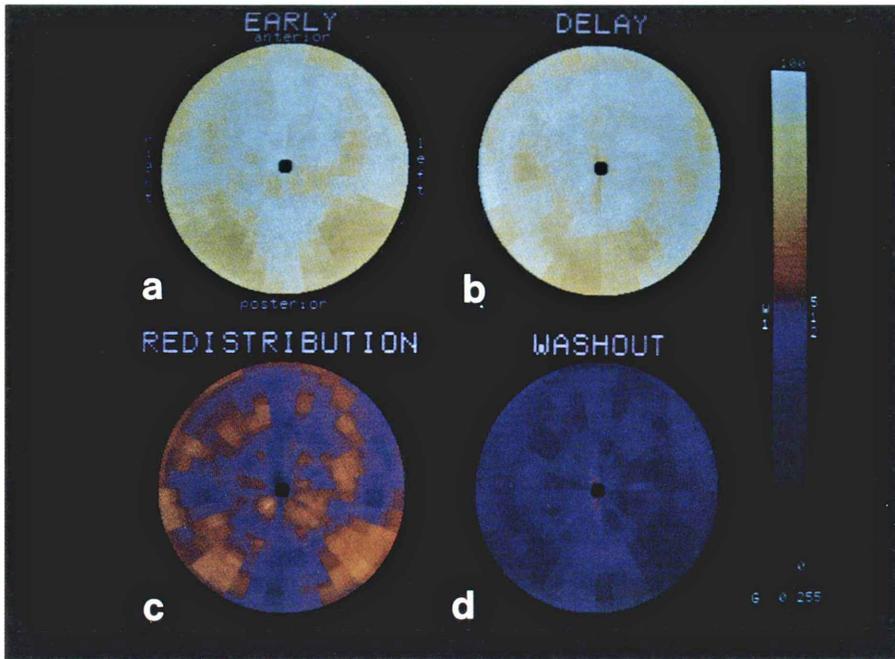


Fig. 3 Normal MBE display. a) Early Image Map. b) Delay Image Map. c) Redistribution Image Map. d) Washout Image Map.

男性 6 例を積算平均した正常パターンの CPC を作成して MBE 表示の標準化を行った。ここで半定量的評価の指標として、この標準化した MBE 表示上の分布と比較した血流低下の範囲を Extent Score (正常集積の Mean-2 S.D. 以下の領域数/全領域数) とし、その重症度を Severity Score (正常集積の Mean-2 S.D. 以下の領域と正常集積とのカウント差の総和/全領域数) とした。

これらの SPECT 像の視覚的評価と MBE 表示における半定量的評価との比較を行った。

III. 結 果

1. MBE 表示

正常男性 6 例の SPECT 像を積算平均した CPC から作成された MBE 表示を Fig. 3 に示す。脳血流分布を最も反映する Early Image Map では前頭葉を中心に相対的に血流が高く、反対に後頭葉下部には血流が低い。Delay Image Map ではこのような血流分布の差が減少する。

Redistribution Image Map では Early Image Map 上で生理的な低灌流部位で高い値を示し、Washout Image Map では生理的な高灌流部位で高い値を示している。すなわち、低灌流部位では晩期に血流の流入がみられ、高灌流部位では早期に洗い出しが見られることを示していると考えられる。

Early Image Map (Fig. 3a) および Delay Image Map:

Early Image, Delay Image をそれぞれの画像データの最大カウント値が 100 となるように標準化した極座標表示。

Redistribution Image Map:

再分布あるいは逆再分布を示す表示で Early Image data と Delay Image data との差に 50 を加えた data の極座標表示。

Washout Image Map:

トレーサの洗い出しを示す表示で、Early Image data と Delay Image data との差を Early Image data で割り、100 を掛けた data の極座標表示。

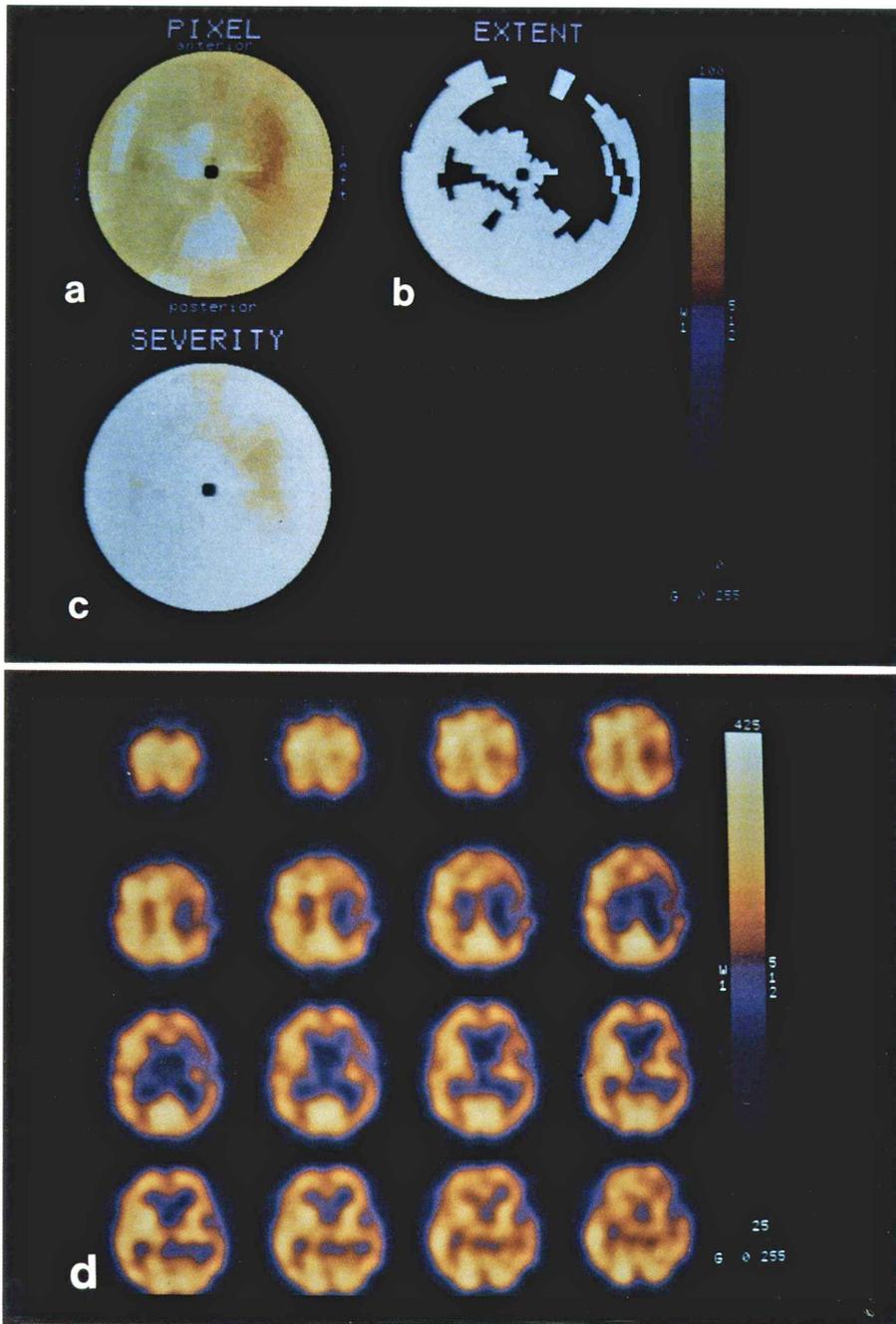


Fig. 4 Case 1. Fifty-year-old man with Left middle cerebral arterial stenosis.

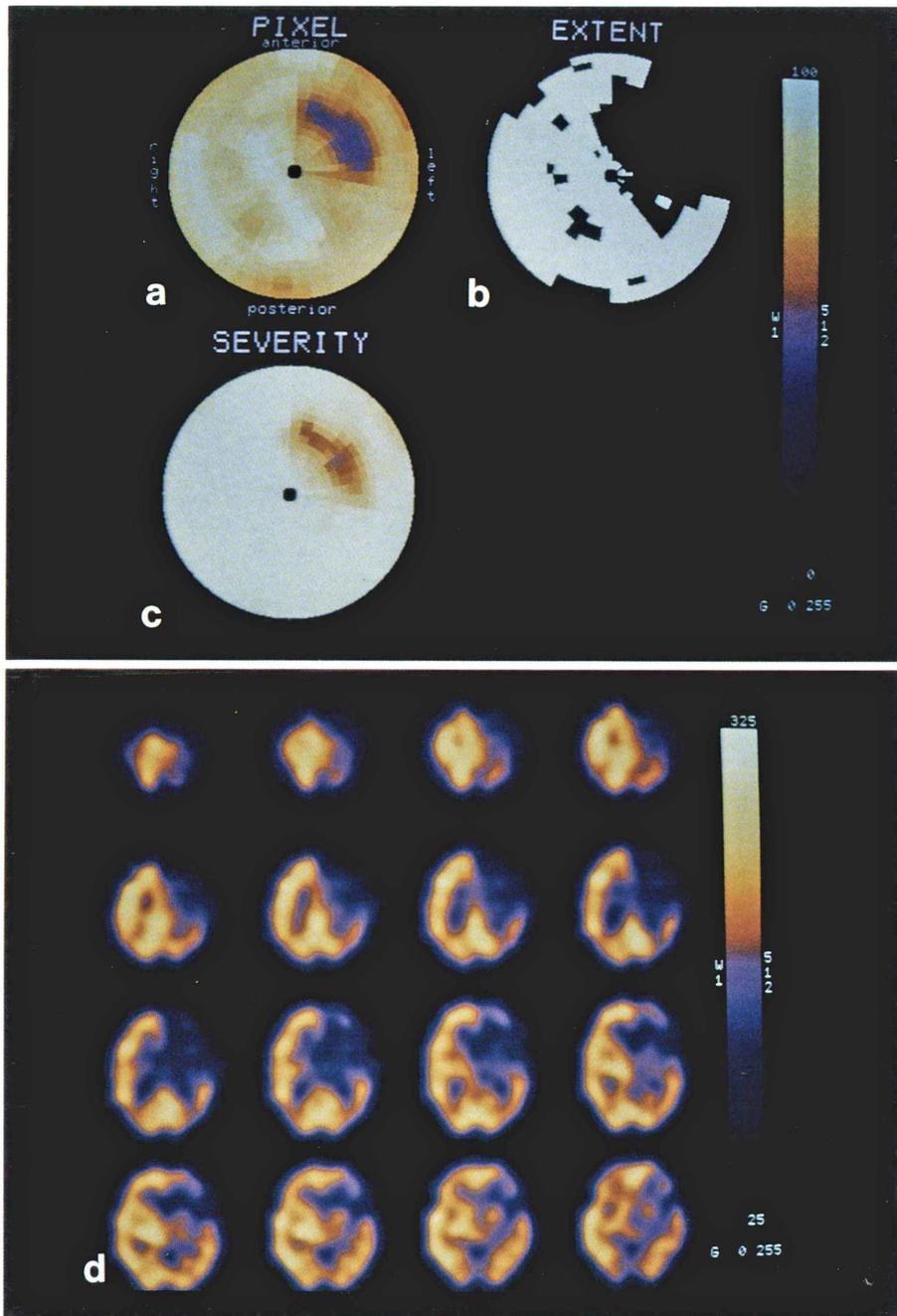


Fig. 5 Case 2. Twenty-two-year-old man with multiple cerebral infarctions.

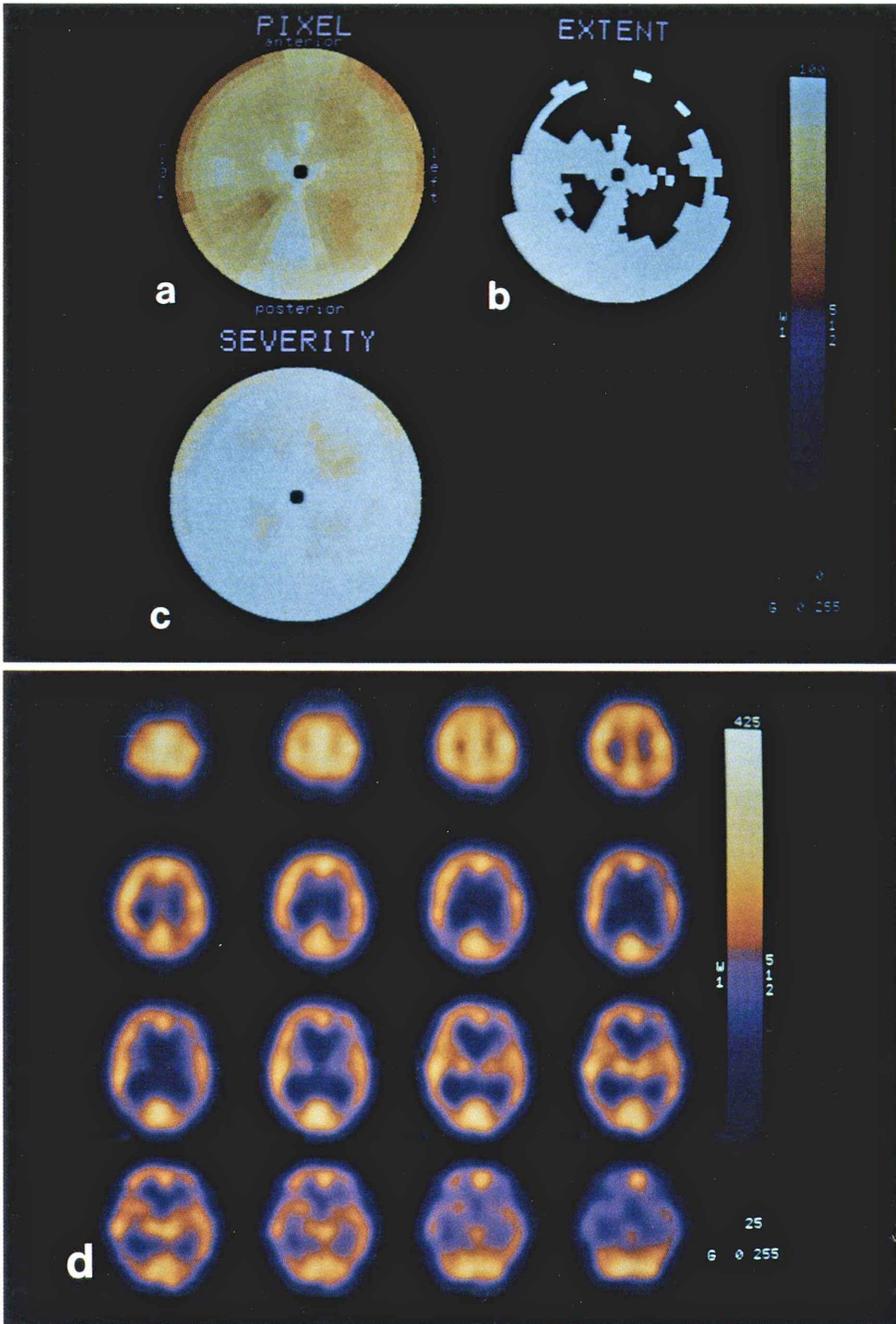


Fig. 6 Case 3. Forty-seven-year-old woman with Moya-moya disease. While a) pixel map and d) SPECT image show the homogeneous activity of cortex, b) extent map and c) severity map demonstrate the inhomogeneous activity because of comparison of normal distribution of cerebral blood flow.

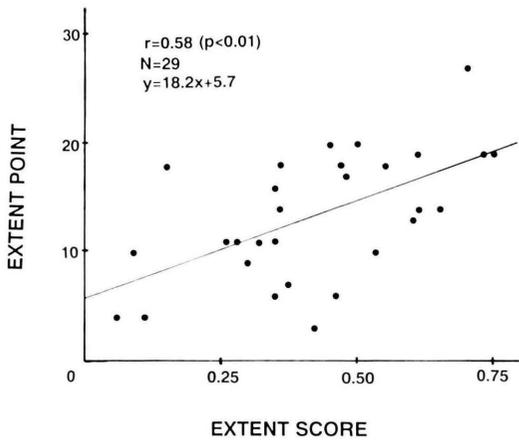


Fig. 7 The relation between extent score (visual evaluation) and extent point (semi-quantitative evaluation).

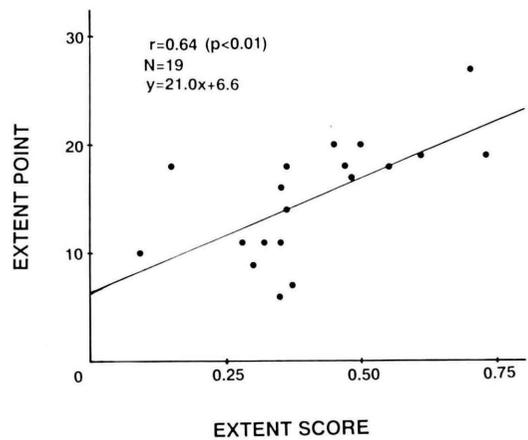


Fig. 9 The relation with focal hypoperfusion between extent score (visual evaluation) and extent point (semi-quantitative evaluation).

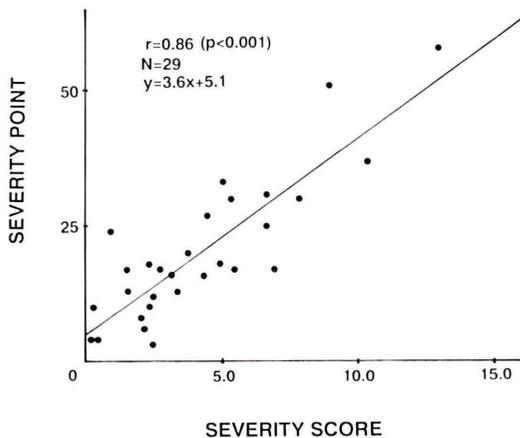


Fig. 8 The relation between severity score (visual evaluation) and severity point (semi-quantitative evaluation).

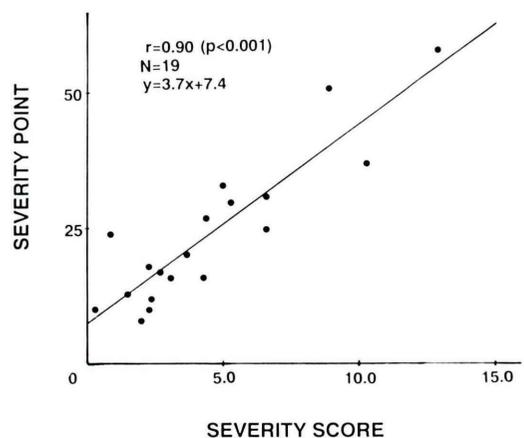


Fig. 10 The relation with focal hypoperfusion between severity score (visual evaluation) and severity point (semi-quantitative evaluation).

症例 1 50 歳男性 中大脳動脈狭窄症 (Fig. 4)

(a) Pixel Map で左前頭葉から側頭葉にかけて広範な中等度の血流低下を認める。(b) Extent Map と (c) Severity Map では周囲の軽度血流低下部も異常集積領域として捉えられる。(d) SPECT 像では Pixel Map と同様の所見が得られる。

症例 2 22 歳男性 多発性脳梗塞 (Fig. 5)

(a) Pixel Map で左前頭葉に広範な中等度血流低下がみられその中心には重度の集積低下部が存

在する。(b) Extent Map と (c) Severity Map でも Pixel Map と (d) SPECT 像同様の病変の範囲、重症度がみられる。

症例 3 47 歳女性 モヤモヤ病 (Fig. 6)

(a) Pixel Map では後頭葉の一部を除き大脳皮質全体の集積低下がみられるが異常集積範囲が判然としない。(d) SPECT 像においては小脳、基底核との比較で集積低下領域の判定の目安となるが、異常集積範囲は明瞭とはいえない。一方、

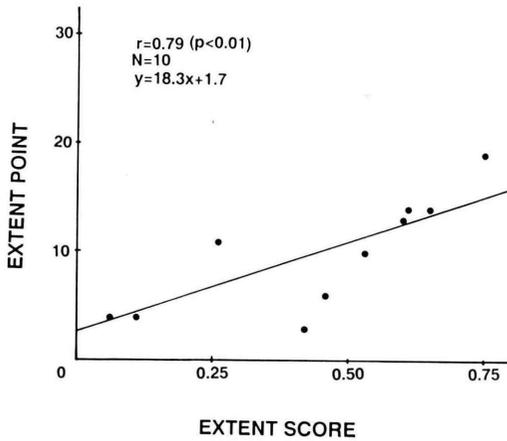


Fig. 11 The relation with diffuse hypoperfusion between extent score (visual evaluation) and extent point (semi-quantitative evaluation).

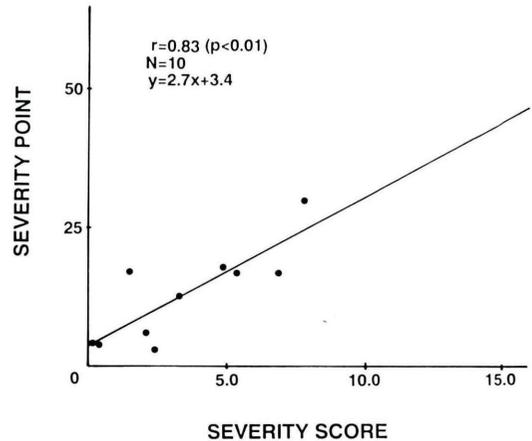


Fig. 12 The relation with diffuse hypoperfusion between severity score (visual evaluation) and severity point (semi-quantitative evaluation).

(b) Extent Map と (c) Severity Map では正常脳血流分布を考慮して評価するために、生理的に高灌流な前頭葉、頭頂葉での集積の低下が示唆される。

Pixel Map: 最大カウント値を 100 として標準化した極座標表示。

Extent Map: 正常血流の Mean-2 S.D. 以下の集積低下部位を 0, それ以外の部位を 100 とした極座標表示。

Severity Map: 正常血流の Mean-2 S.D. 以下の集積低下部位のカウントと正常血流部位のカウントとの差に 100 を加えて示した極座標表示。

2. MBE 表示における半定量的評価と SPECT 像の視覚的評価との比較

全 29 症例での Extent Score と Extent Point および, Severity Score と Severity Point との相関係数はそれぞれ 0.58 ($p < 0.01$) (Fig. 7), 0.86 ($p < 0.001$) (Fig. 8) が得られた。

また, 明らかな限局性の血流低下を示した 19 例と瀰漫性の血流低下を示した 10 例に限ってみた場合には, 前者では Extent Score と Extent Point および, Severity Score と Severity Point との相関係数はそれぞれ 0.64 ($p < 0.01$) (Fig. 9), 0.90 ($p < 0.001$) (Fig. 10) であり, 後者ではそれぞれ 0.79

($p < 0.01$) (Fig. 11), 0.83 ($p < 0.01$) (Fig. 12) であった。

IV. 考 察

$^{123}\text{I-IMP}$ は脳血流の定量的な検討として, microsphere model に基づいた動脈血持続採血法による定量化が Kuhl²⁾, 松田^{3,4)}, 犬上⁵⁾ らなど多数報告され, さらに松田ら^{6,7)} によって静脈採血のみでの定量化の開発もなされており, 脳血流の定量化が普及してきている。また, SPECT 像上に関心領域 (ROI) を設定して得た, 病巣と健常部のカウント比による半定量的評価方法も従来より多用されている。これらのいずれの手法においても脳血流の定量には SPECT 像上に ROI をとることが必要である。一方, ROI を設定する手技を用いずに脳表全体の表示を一画像上で表現する表示法がいくつか報告されている。

1990年 Lamoureux らは $^{123}\text{I-IMP}$ 脳血流 SPECT を geographic mapping technique から equatorial map, hemispheric map の表示法を用いて健常者の経時的な血流変化の観察を行っている⁸⁾。また, 1988年 Lord らは心筋 SPECT 像の極座標表示法をそのまま $^{99\text{m}}\text{Tc-HMPAO}$ SPECT に流用して, 総頸動脈狭窄症を内膜剝離術前後で比較している⁹⁾。1990年 Greyson らも同様に $^{99\text{m}}\text{Tc-HMPAO}$

SPECT の極座標表示を施行している¹⁰⁾。しかし、いずれの場合にも極座標表示するにとどまり定量的検討がなされていない。CPA を用いた脳血流の定量的検討では、1990年 Maurer が総頸動脈内膜剝離術の前後の比較を行い¹¹⁾、1990年 Weber が¹²³I-IMP 静注後の視覚刺激でも血流分布の経時的变化がないことを示しているが¹²⁾、一断面のみの解析にとどまり脳表全体についての評価は行っていない。

今回、著者らは脳血流の採血測定を施行しない場合にも可能な限り客観的に SPECT 像間の比較ができるように、脳血流 SPECT 像の脳表部分だけを一画像上に集約する表示を試みた。このためには、大脳半球の多様な形態の差異を均一にすることと脳表面に垂直に CPA を施行して複数の灌流領域を重複して評価せぬようにすることが必要となる。この二点を解決するために CPA を施行する前に水平断像を円形に近似する処理を加えた。

また、大脳皮質の最大カウントによる相対的な比によって表示した場合には個々の voxel 当たりのカウントのばらつきもあって実際の SPECT 像とかけ離れた画像を作り出すことも考えられる。そこで、小脳、基底核を参照して SPECT 像の視覚的評価の指標を作成し、MBE 表示における半定量的な指標との相関をとってその妥当性を検討した。この MBE 表示における半定量的評価の指標と SPECT 像の視覚的評価の指標とでは血流低下の重症度に良好な相関がみられ、この評価が妥当なものと考えられた。

病変範囲の評価については重症度の評価に比べて劣るが、これは CPA が概括的な手法であるのに対し正常血流の Mean-2 S.D. 以下を異常血流低下と一律に設定するには 1 voxel 当たりのばらつきが大きすぎるものと考えられ、この点は MBE 表示の弱点と思われる。

心筋 SPECT 像の Bull's Eye 表示では冠動脈三枝病変は一枝病変、二枝病変に比べて虚血性病変の検出率が低くなるが¹³⁾、脳血流 SPECT 像でも同様な現象が予想される。さらに大脳では虚血が生じて主幹動脈以外の側副血管から血流を受け

ることも多く、注意が必要である。このため、広範な病変や軽度の血流異常についての評価には、心筋 SPECT の Bull's Eye 表示の場合と同様に、Washout の遅延なども判定に加えることが読影の一助となると考えられる。

SPECT 像の読影には window level の設定によって集積のコントラストが大きく変動してしまうが、MBE 表示ではこうした影響を考える必要がない。SPECT 像上の所見とも著しい解離も見られず、均一でない正常血流分布を配慮した評価ができるので脳血流 SPECT の補助画像として有効である。また MBE 表示の画像作成についても既存のソフトウェアで長短軸方向の長さの計測という短時間でできる処理を加えるのみなので、処理時間は心筋 Bull's Eye 表示とほぼ同じであり日常検査にも利用できる。さらに、MBE 表示は同一症例の経過観察や CO₂、acetazolamide などの負荷試験前後の血流変化の評価に有効である。残された課題としては、reactive hyperemia の存在する症例では高灌流による異常を検出できず正常領域を低灌流として表示してしまうことである。この点については最大カウントを 100 として基準に置くのではなく、任意の部位、例えば小脳半球や病変と対側の大脳皮質などを基準に設定して高灌流領域を評価すればこの点は解決できると考えられる。異常集積亢進の評価をすることで、同一症状を持つ機能的疾患群の血流分布を示したり、賦活試験での血流の変化を空間分解能の範囲内で SPECT 像上に表示するなどの応用も今後期待される。

V. まとめ

1. SPECT 像間の比較ができるように¹²³I-IMP 脳血流 SPECT 水平断像を円形に近似して一画像上に示す極座標表示 (MBE 表示) を試みた。

2. MBE 表示は心筋 SPECT 像 Bull's Eye 表示の処理に長軸短軸比を変える処理を加えるのみであり、処理時間も短く臨床応用が可能な表示法と思われた。

3. MBE 表示により得られた脳血流低下の範

困・重症度の半定量的評価は視覚的な脳血流評価をよく反映しており、MBE表示は有効な補助画像であると思われた。

文 献

- 1) Garcia E, Van Train K, Maddahi J, Prigent F, Friedman J, Areeda J, et al: Quantification of rotational Thallium-201 myocardial tomography. *J Nucl Med* **26**: 17-26, 1985
- 2) Kuhl DE, Barrio JR, Hunang SC, Selin C, Ackermann RF, Lear JL, et al: Quantifying local cerebral blood flow by N-isopropyl-p-I-123 iodoamphetamine (IMP) tomography. *J Nucl Med* **23**: 196-203, 1982
- 3) 松田博史, 関 宏泰, 石田博子, 久田欣一, 古林秀則, 林 実, 他: N-Isopropyl-p-[¹²³I]iodoamphetamineによる局所脳血流測定. *核医学* **21**: 445-448, 1984
- 4) Matsuda H, Seki H, Sumiya H, Tsuji S, Tonami N, Hisada K, et al: Quantitative cerebral blood flow measurement using N-isopropyl-(Iodine 123)p-iodoamphetamine and single photon emission computed tomography with rotating gamma camera. *Am J Physiol Imag* **1**: 186-194, 1986
- 5) 犬上 篤, 相沢康夫, 三浦修一, 菅野 巖, 村上松太郎, 宍戸文夫, 他: 脳血管障害の診断におけるN-isopropyl-[¹²³I]iodoamphetamineの有用性の評価——とくに脳血流の定量的測定. *医学のあゆみ* **134**: 53-57, 1985
- 6) Matsuda H, Higashi S, Tsuji S, Seki H, Sumiya H, Fujii H, et al: A new noninvasive quantitative assessment of blood flow using N-isopropyl-(Iodine 123)p-iodoamphetamine. *Am J Physiol Imag* **2**: 49-55, 1987
- 7) 松田博史, 隅屋 寿, 辻 志郎, 大場 洋, 寺田一志, 今井恵子, 他: ¹²³I-IMPによる新しい非侵襲的脳血流定量化. 第2回パーヒューザミン研究会記録集: 25-28, 1987
- 8) Laumoureux G, Dupont RN, Ashburn WL, Halpern SE: "CORT-EX:" A Program for Quantitative Analysis of Brain SPECT Data. *J Nucl Med* **31**: 1862-1871, 1990
- 9) Lord RSA, Yeates M, Fernandes V, Nash PA, Raj TB, Zhang HQ, et al: Cerebral perfusion defect, dysautoregulation and carotid stenosis. *J Cardiovasc Surg* **29**: 670-475, 1988
- 10) Greyson ND, Wilmot DN, Wilmot JE: A Bull's-eye Display of Regional Perfusion of Brain. *Clin Nucl Med* **16** (3): 149-152, 1991
- 11) Maurer AH, Siegel JA, Comerota AJ, Morgan WA, Johnson MH: SPECT Quantification of Cerebral Ischemia Before and After Carotid Endoarterectomy. *J Nucl Med* **31**: 1412-1420, 1990
- 12) Weber DA, Cabahug C, Klieger P, Volkow ND, Wong C, Sacker D, Ivanovic M: Effect of Stimulation on the Redistribution of Iodine-123-IMP in the Brain Using SPECT Imaging. *J Nucl Med* **32**: 1866-1872, 1991
- 13) 植原敏勇, 西村恒彦, 片渕哲朗, 山上英利, 汲田伸一郎, 林田孝平, 他: ²⁰¹Tl心筋SPECT展開図を用いた冠動脈支配領域の定量解析法と画像表示法の開発(第2報)——臨床診断における有用性の検討——. *核医学* **27**: 579-591, 1990

Summary

Semi-Quantitative Evaluation of Cerebral Blood Flow with Modified Bull's Eye Display Using ^{123}I -IMP SPECT

Sunao MIZUMURA, Shin-ichiro KUMITA, Takuji OISHI and Tatsuo KUMAZAKI

Department of Radiology, Nippon Medical School

We developed Modified Bull's Eye (MBE) display to demonstrate ^{123}I -IMP SPECT images on a single map. To compare the difference of some SPECT images, we changed the ratio of the occipitofrontal diameter to the temporal diameter of oblique SPECT images and transformed the oblique images to round-shaped images. After circumferential profile analysis (CPA) was performed on the round-shaped oblique images, the data were mapped into a polar representation (MBE display). The severity score, as the index of severity of the perfusion defect, was calculated in the same way as the myocardial SPECT. We selected five slices from the round-shaped SPECT images and divided each slice into 12 areas. The severity of the perfu-

sion defect was scored (0–3 points) visually, and the total score was defined as the “severity points”. We compared the severity score with the severity points for 29 patients and six normal male volunteers. The correlation coefficient of the severity score and the severity points was 0.86 ($p < 0.001$). The MBE display makes it easy to evaluate SPECT images because it is represented on a single map, and it takes no more time to construct than the myocardial bull's eye display. It should be useful display.

Key words: ^{123}I -IMP, Cerebral blood flow SPECT, Bull's eye display, Circumferential profile analysis.