

Title	びまん性肺疾患の局所肺血流異常の定量的評価に関する研究-二次元極座標表示法の応用-
Author(s)	安井, 光太郎
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1991, 51(4), p. 422-432
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/14901
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

びまん性肺疾患の局所肺血流異常の定量的評価に関する研究

—二次元極座標表示法の応用—

岡山大学医学部放射線医学教室（主任：平木祥夫教授）

安井光太郎

（平成2年11月13日受付特別掲載）

（平成3年2月14日最終原稿受付）

Examination for Quantative Evaluation of Abnormality of Regional Pulmonary Blood Flow in Patients with Diffuse Pulmonary Diseases —An Application of Bull's Eye Analysis—

Kotaro Yasui

Department of Radiology, Okayama University School of Medicine

Research Code No. : 705.2

Key Words : ^{99m}Tc-MAA, Lung perfusion scintigraphy,
Diffuse pulmonary disease, Bull's eye analysis,
Quantative evaluation

Bull's eye analysis was applied to the ^{99m}Tc-MAA lung perfusion scintigraphy (planar or SPECT). Three kind of phantoms were used to examine spatial and density resolution. Filling defect of 3 cm in diameter was detected and 30% difference between one RI concentration and the other was also detected by this method.

^{99m}Tc-MAA lung perfusion scintigraphy was performed in 39, including 28 with diffuse pulmonary diseases and 11 normal subjects.

Bull's eye image with its circumferential profile curve was compared visually with conventional planar or SPECT image. This method was superior or equal to conventional image in 78% (planar) and in 75% (SPECT). Especially in patients with interstitial pneumonia, 94% was superior or equal.

The patient's Bull's eye map was compared with the lower limit of normal (mean-2SD), and the extent score (ES) and the severity score (SS) were calculated. The changes of ES and SS was useful to follow up the clinical course of the patients. This method would be effective to evaluate the regional pulmonary blood flow quantitatively.

はじめに

両肺に広範囲に散布した異常陰影を呈する、びまん性肺疾患¹⁾²⁾に対して、近年CT³⁾⁴⁾を中心とした画像診断の進歩は目ざましく、病理学的所見との対比など多くの報告⁵⁾⁶⁾がみられる。

一方、これらびまん性肺疾患に対する核医学検査も多岐にわたり、肺の諸機能を局所的に検索、

画像化する⁷⁾という点で、一般の呼吸機能検査からは得ることの出来ない情報の収集も可能⁷⁾である。呼吸器核医学の分野のなかで、肺血流シンチグラフィは肺動脈血流分布をイメージ化する方法として、特に肺塞栓症⁸⁾⁹⁾を中心に発展してきた。

びまん性肺疾患に対する肺血流シンチグラフィの応用も過去にいくつか報告¹⁰⁾¹¹⁾がみられるが、

その定量的検討に關しての十分な記載はみられない。今回、びまん性肺疾患の局所肺血流異常の定量的評価を目的とし、²⁰¹Tl心筋シンチグラフィに用いられる二次元極座標表示法¹²⁾¹³⁾を応用した。本法の濃度分解能、空間分解能など基礎的検討を各種ファントムを用いて行い、実際の臨床例に対しても応用し、その有用性を検討したので報告する。

ファントムによる基礎的検討

1. 使用ファントム

まず二次元極座標表示法を用いた場合の異常所見検出能を把握するためファントムによる基礎実験を行った。使用したファントムは京都科学標本株式会社製の IAEA 肝臓ファントム、脳ファントム (Fig. 1) および SPECT 評価ファントム (SP-2型 コールドスポット検出能測定ファントム)

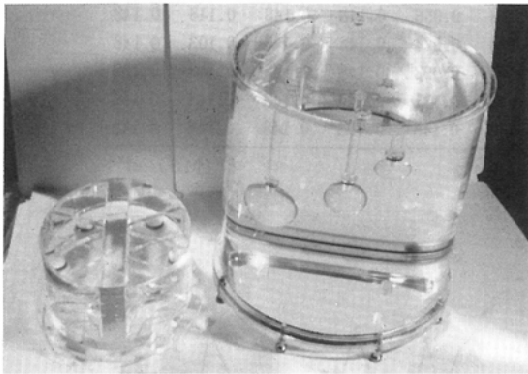


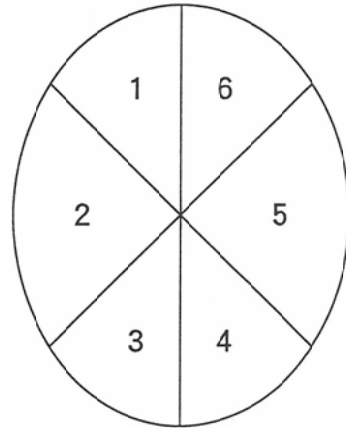
Fig. 1 Phantoms used in this study

(Fig. 1)と RMI 製の肺等価型ファントムである。それぞれのファントムは Table 1 に示す各検討項目に対して使用した。

2. データ収集および処理の方法

データ収集および処理は Table 2,3 に示す条件で行った。

Bull's eye 像の作成は、まず得られた planar



Segment of phantom

Fig. 2 Segments of the phantom to examine density resolution

Table 1 Studies using phantoms

Examination	Phantom
Density resolution	Brain phantom
Spatial resolution	SP-2 type phantom for cold spot
Effect of depth	IAEA liver phantom, Lung phantom

Table 2 Conditions on collecting data

	Planar	SPECT
Collimator	Low energy all purpose	Low energy all purpose
Gamma camera	ZLC 7,500(SIEMENS)	DIAGNOST-C(PHILIPS)
Matrix	64×64	64×64
Others	60 seconds/frame	360° scan, 64 directions, 15 seconds/direction

Table 3 Calculation of scintigraphic data

	Computer	Purpose
Planar	SCINTIPAC-2400(Shimadzu)	Application of Bull's eye method
SPECT	gamma PROCESSOR 673(PHILIPS)	Reconstruction of coronal SPECT image
	SCINTIPAC-2400(Shimadzu)	Application of Bull's eye method

像, または SPECT 冠状断像を同心円にて 3 領域に分割した, さらに同心円の中心点より放射状に, 0 時の方向から 10° ずつ 36 分割し各領域 (3 × 36, 108 領域) に含まれるデータを計算し Bull's eye 表示を行った, circumferential profile curve の作成には, 各領域のうち最大カウントを 100 とした相対値を用いた, また, 次式に示す extent score (ES), severity score (SS) の算出, およびそれぞれの map の作成を行った,

ES =

$$\frac{\text{(異常部位のポイント数)}}{\text{Bull's eye 像上の領域数 (3 × 36 = 108)}}$$

SS =

$$\frac{\text{(異常部位における正常部位との)}}{\text{カウント差の和}} \\ \text{Bull's eye 像上の領域数 (3 × 36 = 108)}$$

3. 結果

1) 濃度分解能

脳ファントムを用いて, Fig. 2, Table 4 に示す $^{99m}\text{TcO}_4^-$ 濃度の組合せをつくった, それぞれの組合せに対して planar 像および SPECT 像を撮像した, その結果, 隣接する 0.148 MBq/ml と 0.103 MBq/ml の, 1 : 0.7 の RI 濃度比率までは Bull's eye 像にて識別可能であった, circumfer-

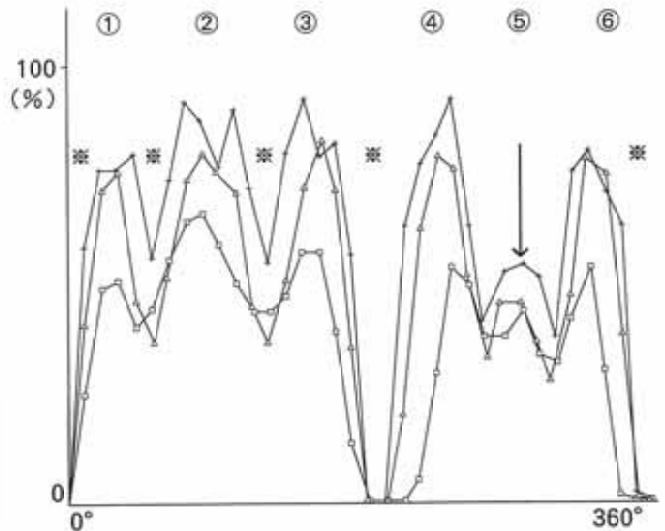
Table 4 Concentration of $^{99m}\text{TcO}_4^-$ filled in each segment

Segment	phantom										
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	0.074	0.148	0.222	0.148	0.148	0.148	0.037	0.148	0.103	0.148	0.148
2	0.074	0.148	0.222	0.148	0.148	0.148	0.056	0.148	0.148	0.148	0.148
3	0.074	0.148	0.222	0.148	0.148	0.148	0.074	0.148	0.148	0.103	0.148
4	0.074	0.148	0.222	0.148	0.148	0.148	0.093	0.148	0.148	0.148	0.103
5	0.074	0.148	0.222	0.133	0.103	0.074	0.111	0.148	0.148	0.148	0.148
6	0.074	0.148	0.222	0.148	0.148	0.148	0.148	0.103	0.148	0.148	0.148

(MBq/ml)



a



b

Fig. 3 Bull's eye image (3a) and circumferential profile curve (3b) of phantom E showed that 30% difference between one RI concentration and the other was detected by this method (arrow). The mark (*) showed the septums of the phantom.

ential profile curveでも同部位は他の部位に比して30%の放射能の低下部位として、識別可能であった (Fig. 3).

3) 空間分解能

SP-2型コールドスポット検出能測定ファントムの球体の周囲に、 $^{99m}\text{TcO}_4^-$ 690MBqを水約6230 mlで希釈したものを注入し planar 像および SPECT 像を撮像した。その結果、直径3cm までの欠損は、Bull's eye 像にても放射能低下部位として識別可能であった (Fig. 4)。

IAEA 肝臓ファントムに740MBqの $^{99m}\text{TcO}_4^-$ 、水約750mlで希釈したものを注入し、その上に肺等価型ファントムを重ねて planar 像の際の深さによる欠損検出能への影響について検討し

た (Fig. 5)。

直径3cmの欠損は20cmの距離を隔てた場合も planar 像にて識別できた。同じ位置での2cm、2.5 cmのものは、やや識別困難であった。

3) 位置の違いによる再現性

脳ファントムの6区画のうち5区画に0.148 MBq/mlの $^{99m}\text{TcO}_4^-$ を、残りの1区画には0.104 MBq/mlの $^{99m}\text{TcO}_4^-$ を充填させ、その位置をかえることにより再現性を検討した。

Bull's eye 像および ES, SS の値において RI 濃度低下部位の位置の違いにおける再現性が認められた。

臨床的検討

1. 対象

1986年4月より1990年7月まで岡山大学医学部付属病院放射線科にて肺血流シンチグラフィを施行したびまん性肺疾患症例28例と健常者11例の計39例を対象とした。患者の内訳は男性11例、女性17例、平均年齢48.6歳、疾患は、びまん性汎細気管支炎 (DPB) 8例、膠原病に伴う間質性肺炎 (IP) 9例、過敏性肺炎 (HP) 4例、好酸球性肺炎 (PIE) 4例、特発性間質性肺炎 (IIP) 3例である。なお、健常者対照群は全例男性で、平均年齢は30.6歳である。

2. データ収集および処理の方法

背臥位にて $^{99m}\text{Tc-MAA}$ 185MBqを肘静脈より静注し、多方向の planar 像は全例に対して撮像し、疾患例10例および健常者7例に対しては SPECT 像も撮像した。疾患例のうち経過を追って複数回肺血流シンチグラフィを施行し得た症例は4例あり、planar 像は延べ33回施行した。

使用した装置およびデータ収集、処理の方法は基礎的検討の項と同様である。ただし、臨床例では planar 像の場合は背面から収集したデータを用い、SPECT 像では冠状断に再構成したデータを用いた。

また SPECT の場合は背側および腹側の末梢1-2スライスを除いた残りのデータを背側、中間部、腹側の3つの部位に分け、各部位別にデータを加算した。得られた3つの加算データを用いてそれぞれの Bull's eye 像を作成した (Fig. 6)。

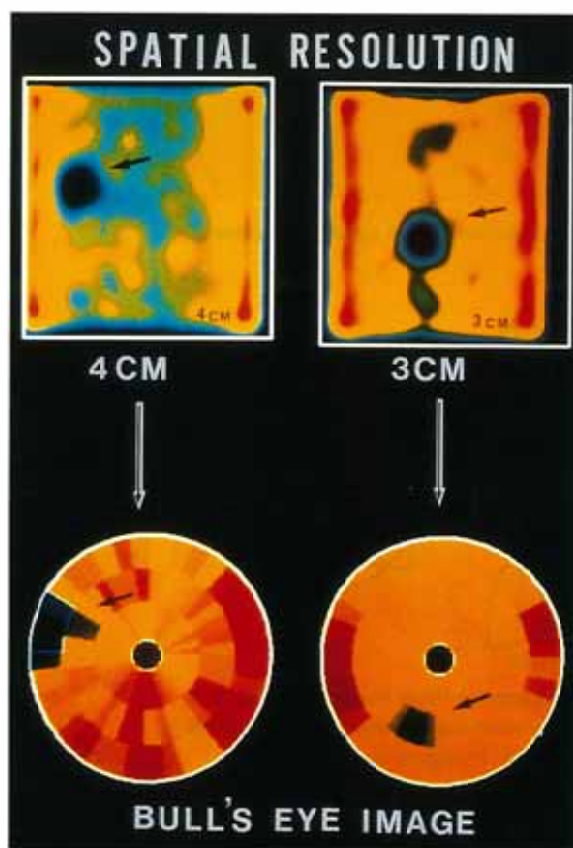


Fig. 4 The SPECT images and Bull's eye images of the phantom to examine spatial resolution. Filling defect of 3cm in diameter was detected in both image.

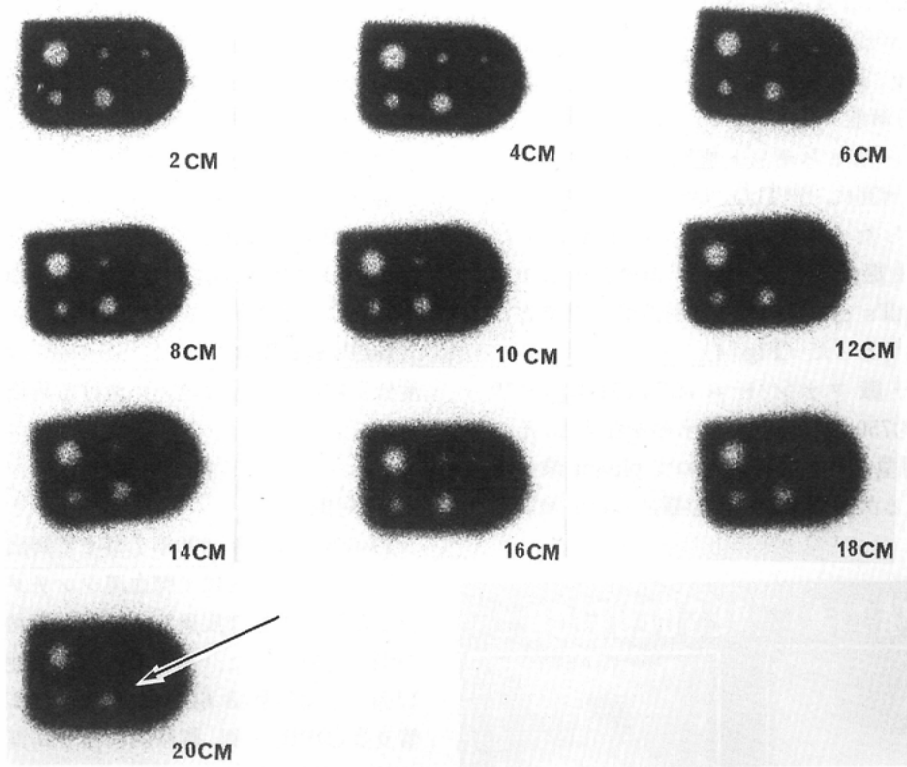


Fig. 5 Filling defect of 3ch in diameter was detected 20cm apart from gamma-camera (arrow).

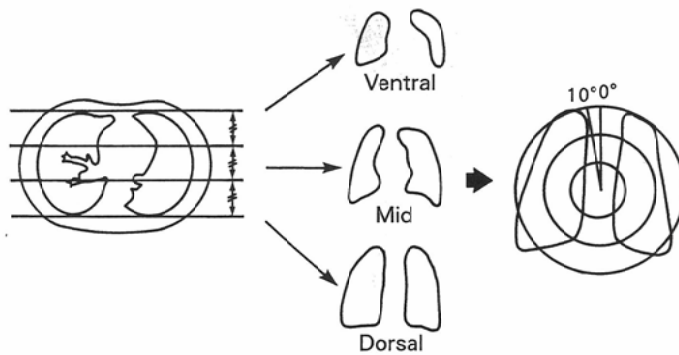


Fig. 6 Coronal SPECT image was reconstructed in three images (ventral, mid, dorsal). Each three image was divided into three regions and radial axes were projected from the center to define 36 sectors, 10 degree each.

extent map の作成には、planar 像では正常健康者11名の、SPECT では正常健康者7名のデータの平均値を用い、健康者の平均-2標準偏差未満の領域を画像上欠損として表示し、severity map

では、extent map の欠損部における重症度を赤から青への連続する色で表示した。

推計学的検討は、student t-test, χ^2 検定を行い、 $p < 0.05$ を有意とし、数値は平均±標準偏差で表

わした。

3. 結果

1) 二次元極座標表示法と通常のシンチグラム (多方向 planar 像, SPECT 像) との視覚的対比

Bull's eye 像と circumferential profile curve の組合と通常のシンチグラムを視覚的に比較して Bull's eye 像と circumferential profile curve の組合せの方が血流低下状態を把握しやすい例を excellent, 同等と思われる例を good, 通常のシンチグラムの方が血流低下状態を把握しやすい例を poor, 以上の3段階に評価することにして4人の放射線科医によって判定した。

Table 5 に視覚的評価の結果を示す。多方向 planar 像との対比では, excellent 16%, good

63%, poor 21%であった。SPECT 像との対比では, excellent 2%, good 73%, poor 25%であった。

疾患別の検討では, 多方向 planar 像との対比において, IP では excellent or good は94%(34/36) を占め他のすべての疾患例に対して有意に (p<0.01) poor の数がすくなかった。

2) 各疾患例における ES, SS

正常健常者のデータから作成した正常パターンをもとに各疾患例において ES, SS を算出した。各疾患別の ES, SS の値を Table 6a, 6b に示す。

3) 臨床経過観察への応用

経過を追って肺血流シンチグラフィを施行し, 2次元極座標表示法を応用できた4症例の ES, SS を Fig. 7 に示す。

4) 症例呈示

Table 5 The results of visual evaluation

Bull's eye image with its circumferential profile curve was compared visually with conventional planar or SPECT images. This method was superior or equal to conventional images in 78% (planar) and in 75% (SPECT). Especially in patients with interstitial pneumonia, 94% was superior or equal.

	evaluation		
	+	±	-
Planar	20/124(16%)	77/124(62%)	27/124(22%)
SPECT	1/40(3%)	29/40(72%)	10/40(25%)

Planar

disease	evaluation	
	+, ±	-
DPB	28	12
IP	34	2*
HP	15	5
PIE	10	6
IIP	10	2

*p<0.01

SPECT

disease	evaluation	
	+, ±	-
DPB	7	1
IP	12	4
PIE	3	1
IIP	8	4

(+ ; excellent, ± ; good, - ; poor)

Table 6 The extent score and severity score of each disease (mean±SD)

a : planar image b : SPECT image

6a

ES and SS

disease	ES	SS
DPB (n=11)	0.056±0.04	4.78±6.04
IP (n=10)	0.11±0.07	11.38±10.54
HP (n=5)	0.10±0.08	10.07±12.46
PIE (n=4)	0.04±0.025	2.80±2.48
IIP (n=3)	0.043±0.02	2.39±1.51

6b

ES (SPECT)

disease	region		
	ventral	mid	dorsal
DPB (n=2)	0.035±0.025	0.14±0.055	0.40±0.05
IP (n=4)	0.022±0.023	0.11±0.053	0.28±0.15
PIE (n=1)	0.05	0.07	0.34
IIP (n=3)	0.033±0.003	0.10±0.008	0.18±0.071

SS (SPECT)

disease	region		
	ventral	mid	dorsal
DPB (n=2)	13.89±13.65	28.02±20	59.39±38.76
IP (n=4)	11.64±1.49	19.93±12.75	51.17±28.50
PIE (n=1)	3.03	4.13	34.96
IIP (n=3)	5.57±7.82	11.90±5.31	18.08±10.24

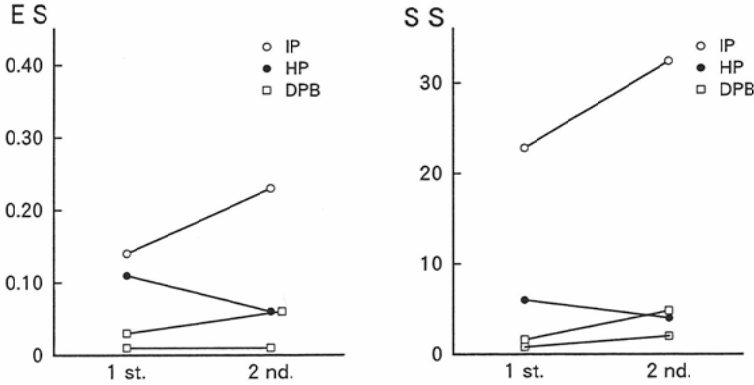


Fig. 7 The extent score and the severity score of four patients' data followed up their clinical course

症例は66歳，男性，慢性関節リウマチ（RA）に伴った間質性肺炎の1例である。1975年頃両手指の疼痛にて発症し，RAの診断をうけ金剤，消炎鎮痛剤投与にて治療されていた。1979年には手首の腱移植術をうけている。1980年頃から労作時呼吸困難を訴え，胸部単純写真上，両側中下肺野に蜂巣肺の所見がみられていた。1980年以降は消炎鎮痛剤のみにて経過観察されている。胸部単純写真上も現在まで大きな変化はみられていない。

1990年6月25日，他疾患にて当院第二内科に入院した。入院時，definite RAでclass II, stage IIIであった。血沈58/103（1hour/2hour），CRP 0.8 mg/dl，リウマチ因子24.7IU/ml（正常値18IU/ml以下）で，呼吸機能については，%VC 102%，FEV_{1.0}%，95.1%だった。また血液ガス所見はpH7.428，PaCO₂ 34.8mmHg，PoO₂ 89.4mmHgであり低酸素血症はみられなかった。入院後の胸部単純写真では（Fig. 8），両側中下肺野に蜂窩肺がみられる。^{99m}Tc-MAA肺血流シンチグラム多方向 planar 像では（Fig. 9），両肺ともRI集積は不均一で不規則な血流低下部位が多発している。SPECT冠状断像（Fig. 10）では，両側上葉での血流低下が planar 像より把握が容易である。SPECT冠状断像を処理した Bull's eye 像および extent map, severity map（Fig. 11）では，局所肺血流状態がより明瞭に描出されている。

考 察

肺血流シンチグラフィはTaplınら¹⁴⁾の報告以

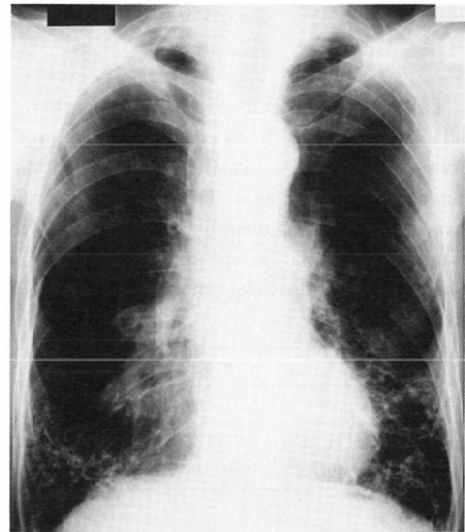


Fig. 8 Chest X-ray in patient with interstitial pneumonia

来，多くの疾患に応用され今日に至っている。肺動脈血流分布に対する定量的評価の試みも等高線表示法などを中心に多くの報告^{15)~17)}が見られる。この局所肺血流異常の定量的評価法の1つとして，心筋シンチグラフィに用いられる二次元極座標表示法¹²⁾¹³⁾を応用した試みが最近報告¹⁸⁾¹⁹⁾されている。平山¹⁸⁾は多断層二次元極座標表示法をファントムを用いて特に区域描出能を中心に検討し，臨床例では肺癌など腫瘍性病変を対象としている。

一方，膠原病肺，びまん性汎細気管支炎など各

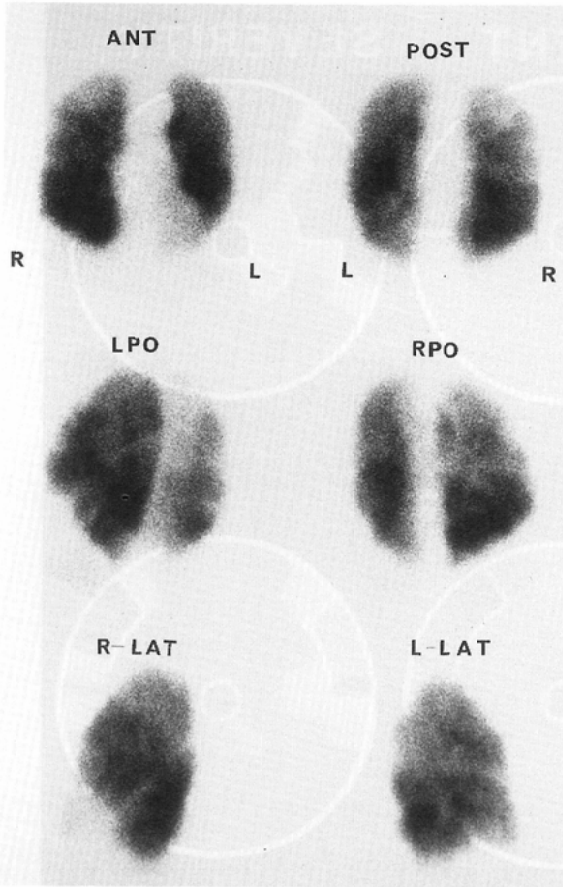


Fig. 9 Planar lung perfusion images

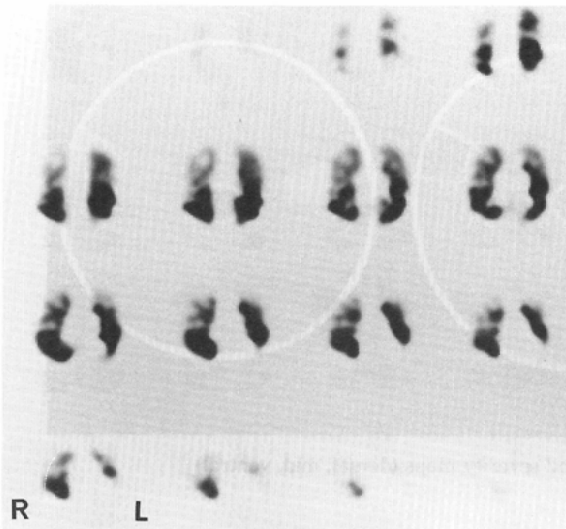


Fig. 10 SPECT (coronal images) lung perfusion images

種びまん性肺疾患では、肺癌や肺塞栓症に比べて、区域的な血流低下をきたすことはむしろ少なく、1つの区域を越えて不均一に血流低下部位が存在する¹⁰⁾¹¹⁾ことが多い。そのため、こういったびまん性肺疾患へ本法を応用する場合、区域描出能の検討のみでは不十分であり、放射能差による濃度分解能や空間分解能の限界などに関して、より詳細な検討が必要である。

今回、各種びまん性肺疾患に本法を応用するにあたって、これまでの報告では十分検討のなされていない基礎的項目についてファントムを用いて検討した。また、本法を肺疾患（主にびまん性肺疾患）に対し応用するにあたっての問題点や有用性につき臨床例での経験もふまえて考察を加えた。

(1) 濃度分解能

まず濃度分解能の実験では、実験上は最小1:0.7の濃度比率が Bull's eye 像において識別可能であった。基準値の平均-2標準偏差未満を異常と判定した場合、RI濃度比率としては1:0.7程度の時に extent map 上欠損として描出された。心筋シンチグラフィでは平均-2標準偏差の基準が広く用いられており²⁰⁾、今回も上記の基礎的検討結果からこの基準を用いた。ただし、この基準の妥当性に関してはさらに多数の臨床例においての検討が必要であろう。

(2) 空間分解能

空間分解能に関する実験では、planar 像において人体の厚みの画像への影響をファントムを用いて再検討した。その理由としては、SPECT 像の planar 像に対する優位性は既に認められているが、日常臨床の場ですべての症例に SPECT が施行されているわけではないため、あえて今回の基礎的検討項目の1つに加えた。実験上は、欠損として描出されるものを用いた場合、背面からの撮像でも腹側20cmの位置にある3cmの大きさも識別可能であり、厚みによる影響は著明ではなかった。ただし、軽度の限局的放射能低下部位（臨床例では血流低下部位）は、planar 像の場合はやはり過小評価される可能性は否定できない。

SPECT に二次元極座標表示法を応用した場合

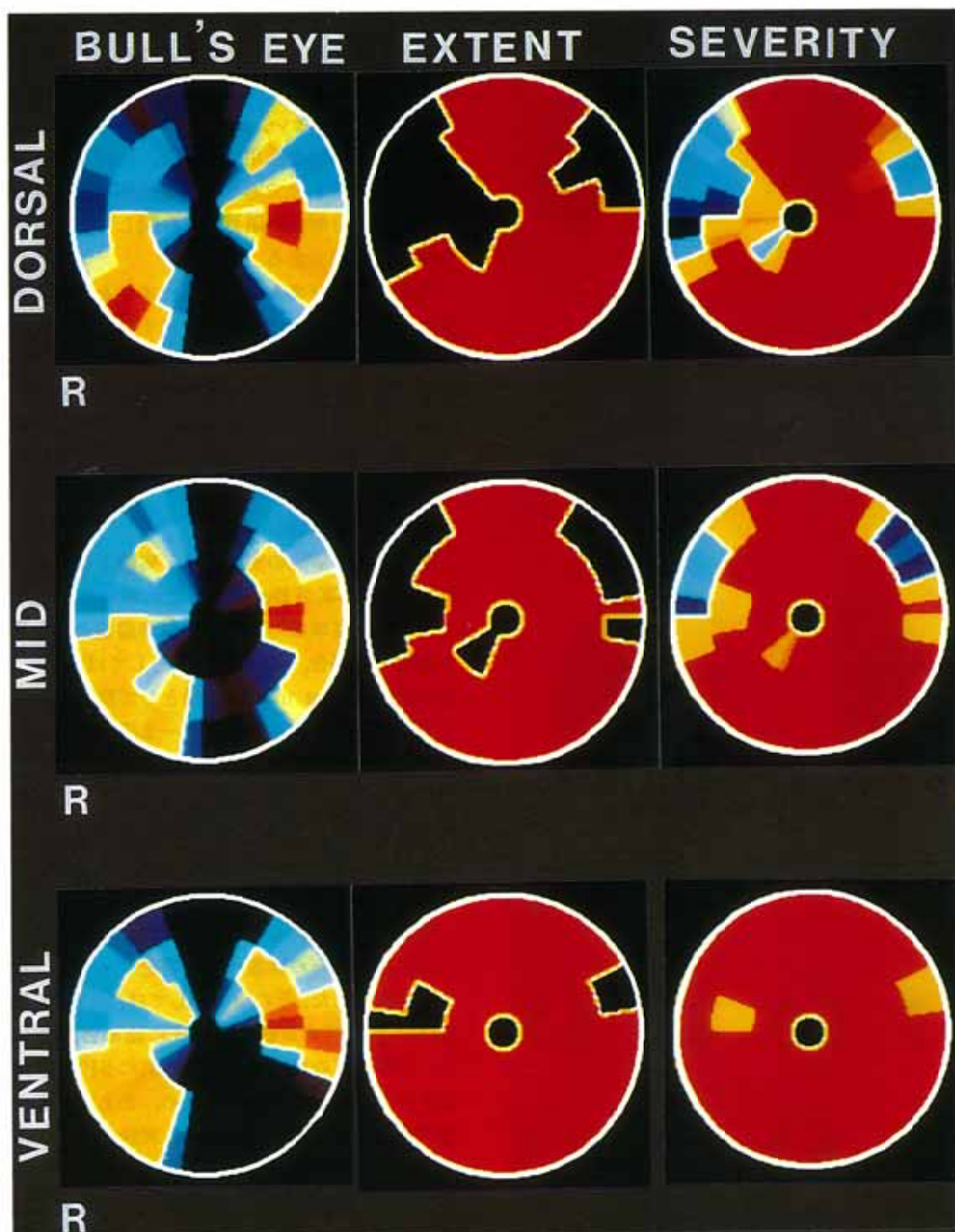


Fig. 11 Bull's eye images, extent maps and severity maps (dorsal, mid, ventral) of SPECT images of the same patient

の欠損部位に対する空間分解能は最小3cmのものが識別可能であった。今回の研究目的は区域欠損の描出に主眼はないが、シンチカメラの空間分解能を考慮しても、本法を臨床応用する上での一応の限界値と考えられる。

(3) 視覚的有用性

二次元極座標表示法を planar 像あるいは SPECT 像に応用した場合、通常のシンチグラムに比して同等あるいは、すぐれている (good or excellent) と判定された症例の比率は前者で 78%、後者では 75% を占め、比率の上では両者に差はみられなかった。一方、視覚的 3 段階評価の内訳に関しては、今回の検討では planar 像と SPECT 像では対象とした疾患群構成が同一ではないため単純な比較はできないが、planar 像に応用した場合に excellent が多い傾向が認められた。これは通常の SPECT 像が視覚的には血流低下部位の検出感度が良好であり²¹⁾、Bull's eye 法では多方向 planar 像、SPECT 像と比較して部位的な異常の検出にやや難があるという結果を反映しているものと思われる。

膠原病肺では二次元極座標表示法が同等あるいはすぐれている (good or excellent) と判定された症例の比率が 94% で、逆に劣っている (poor) とされた症例の比率は 6% であり、他の疾患と比較して poor 症例が有意に少なく、本法を応用する上での有効な対象の一つと考えられた。また、poor とされた症例では、いずれも両肺で全体的に血流低下を生じている症例であり、ES、SS とも最高カウントを 100% とした相対値で算出していることから生じた視覚的検出能低下と考えられた。この問題は、本法を肺疾患に適用するうえで考慮を要する点と思われ、今後さらに検討していく必要がある。

(4) ES、SS による検討

ES、SS は今回の対象例ではいずれも異常値を示すものが多いにもかかわらず肺門型肺癌のように強い血流低下を示す疾患が含まれないため、異常値がめだつた疾患群は認められなかった。

今回の SPECT 施行例においては、その冠状断像のうち画像の不明瞭になる背側および腹側の末

梢 1~2 スライスデータのデータを除外して残りを 3 等分し、腹側、中間部、背側の 3 つの部位に分け、データを加算する方法をとった。これら 3 部位のデータに対しそれぞれの Bull's eye 像ならびに circumferential profile curve を作成して総合的に解析することにより安定した結果が得られた。平山¹⁸⁾の多断層二次元極座標表示法のように 1 枚の画像で判定する方法に比べてやや繁雑とはなるが、次に述べる理由で複数の冠状断像を用いることにした。すなわち、① 1 枚で評価する多断層二次元極座標表示法では画像の中心に位置する肺尖部と外周に位置する肺底部では拡大縮小率が異なるため、血流低下の程度を過小過大評価する可能性があること、② 3 部位に分けてそれぞれ検討することで、より詳細に血流低下の評価が可能となり得ることなどによった。ただし、この評価法の有用性に関しては、今後症例を重ねてさらに検討する必要がある。

(5) 臨床経過観察への応用

ES、SS の算出を中心に臨床例の経過観察へも本法を応用した。病勢によって ES、SS は変化し、これらの値の算出およびそれに基づく map の作成などにより肺血流の低下が定量的に示され、経過観察の一助となることが期待される。過敏性肺臓炎の一例で経過観察にも有用であったことは既に報告¹⁹⁾した。

まとめ

びまん性肺疾患の局所肺血流異常の定量的評価における二次元極座標表示法の有用性を明らかにする目的で、ファントムによる基礎的実験および各種びまん性肺疾患に対する臨床的検討を行い、以下の結論を得た。

1) ファントムを用いた濃度分解能の実験において最小 1 : 0.7 の濃度比率が、空間分解能の実験では最小 3cm の欠損が Bull's eye 像で識別可能だった。

2) 臨床像での検討では、二次元極座標表示法が通常のシンチグラムに比して同等あるいはすぐれている (good or excellent) とされた症例の比率が、planar で 78%、SPECT では 75% を占めた。

3) ES、SS の算出により局所肺血流異常の拡が

りおよび程度の定量的評価が可能であり、経過観察への応用も可能だった。

4) 二次元極座標表示法は、びまん性肺疾患の局所肺血流異常の定量的評価に十分応用可能であり、適用を選べば今後 efficacy の高い手段となり得ると思われた。

稿を終えるにあたり、御指導、御校閲を賜った平木祥夫教授に深甚なる謝意を表すとともに、直接御指導いただいた河野良寛博士、御援助いただいた核医学診療室、永谷伊佐雄技官ならびに放射線医学教室諸兄に深く感謝の意を表します。

なお、本論文の要旨は第49回日本医学放射線学会総会、第30回日本核医学会総会において発表した。

文 献

- 1) Ziskind MM, Weill H, Gerge RB: Diffuse pulmonary disease. *Am J Med Sci* 254: 95—117, 1967
- 2) Crystal RG, Gadek JE, Ferrans VJ, et al: Interstitial lung disease: Current concepts of pathogenesis, staging and therapy. *Am J Med* 70: 518—542, 1981
- 3) Nakata H, Kimoto T, Nakayama T, et al: Diffuse peripheral lung disease: Evaluation by high-resolution computed tomography. *Radiology* 157: 181—185, 1985
- 4) Bergin CJ, Muller NL: CT of interstitial lung disease: A diagnostic approach. *AJR* 148: 9—15, 1987
- 5) 藤堂義郎, 村田喜代史, 伊藤春海, 他: びまん性肺病変のCT像, *日本医放会誌*, 46: 1281—1295, 1986
- 6) 小場弘之, 加藤誠也, 渡辺英明, 他: HRCTを利用した診断法—特発性間質性肺炎—, *臨放線*, 34: 763—771, 1989
- 7) 川上憲司: 呼吸器核医学—生理機能の画像化—, *画像診断*, 7: 160—170, 1987
- 8) Gilday DL, Poulouse KP, Deland FH: Accuracy of detection of pulmonary embolism by lung scanning correlated with pulmonary angiography. *Am J Roentgenol Radium Ther Nucl Med* 115: 732—738, 1972
- 9) McNeil BJ, Holman BL, Adelstein SJ: The scintigraphic definition of pulmonary embolism. *JAMA* 227: 753—756, 1974
- 10) Crystal RG, Fulmen JD, Roberts WC, et al: Idiopathic pulmonary fibrosis. Clinical, histologic, radiographic, physiologic, scintigraphic, cytologic, and biochemical aspects. *Ann Intern Med* 85: 769—788, 1976
- 11) Newman GE, Sullivan DC, Gottschalk A, Putman CE: Scintigraphic perfusion patterns in patients with diffuse lung disease. *Radiology* 143: 227—231, 1982
- 12) Burow RD, Pond M, Schafer W, Becker L: "Circumferential profiles" A new method for computer analysis of thallium-201 myocardial perfusion images. *J Nucl Med* 20: 771—777, 1979
- 13) Garcia EV, Train KV, Maddahi J, et al: Quantification of rotational thallium-201 myocardial tomography. *J Nucl Med* 26: 17—26, 1985
- 14) Taplin GV, Johnson DE, Dore EK, Kaplan HS: Suspensions of radioalbumin aggregates for photoscanning the liver, spleen, lung and other organs. *J Nucl Med* 5: 259—275, 1964
- 15) Lisbona R, Dean GW, Hakim TS: Observations with SPECT on the normal regional distribution of pulmonary blood flow in gravity independent planes. *J Nucl Med* 28: 1758—1762, 1987
- 16) Burton GH, Vernon P, Seed WA: An automated quantitative analysis of ventilation-perfusion lung scintigrams. *J Nucl Med* 25: 564—570, 1984
- 17) Osborne D, Jaszczak RJ, Greer K, et al: SPECT quantification of technetium-99m microspheres within the canine lung. *J Comput Assist Tomogr* 9: 73—77, 1985
- 18) 平山貴伸: SPECTによる肺血流分布の評価—多断層二次元極座標表示の有用性について—, *核医*, 27: 607—618, 1990
- 19) 安井光太郎, 河野良寛, 赤木史郎, 他: ^{99m}Tc -MAA肺血流シンチグラフィにおける二次元極座標表示法の応用, *Radioisotopes*, 39: 386—392, 1990
- 20) 中嶋憲一, 分校久志, 谷口 充, 他: Single photon emission CTを用いたTl-201心筋血流, wash-out, 壁運動, 位相の心機能マップ, *核医*, 23: 251—257, 1986
- 21) 川上憲司, 河合 隆: 肺の核医学検査—SPECTと間質性肺疾患を中心に—, *臨放線*, 33: 235—242, 1988