

肺動脈分枝狭窄のカテーテル治療に伴う局所肺血流量変化 Dynamic肺血流SPECTによる検討

林 憲一¹⁾, 佐藤 順一²⁾, 梶野 浩樹¹⁾, 津田 尚也¹⁾
秀毛 範至³⁾, 真鍋 博美¹⁾, 藤枝 憲二¹⁾

旭川医科大学医学部小児科¹⁾, 旭川医科大学付属病院放射線部²⁾
旭川医科大学医学部放射線科³⁾

Key words :

肺血流シンチ, 局所肺血流量, バルーン,
ステント, 末梢性肺動脈狭窄

Variation in the Quantity of Regional Pulmonary Blood Flow after Catheter Intervention for Branch Pulmonary Artery Stenosis: A Study Using Dynamic Pulmonary Perfusion SPECT

Kenichi Hayashi,¹⁾ Junichi Sato,²⁾ Hiroki Kajino,¹⁾ Naoya Tsuda,¹⁾ Noriyuki Syuke,³⁾
Hiromi Manabe,¹⁾ and Kenji Fujieda¹⁾

¹⁾Department of Pediatrics, Asahikawa Medical College, ²⁾Department of Radiology, Asahikawa Medical College Hospital,

³⁾Department of Radiology, Asahikawa Medical College, Japan

Background: Conventional methods of evaluating pulmonary circulation cannot quantitatively show right and left pulmonary blood flows.

Methods: We recently developed a new method of quantifying regional pulmonary blood flow (PBF) using dynamic pulmonary perfusion SPECT. We studied regional and total PBF before and after catheter intervention (CI) in two cases of branch pulmonary artery stenosis (BPS). Regional PBF before, soon after, and one year after CI were calculated by this method in each case.

Results: Soon after CI, in a case of unilateral procedure, contralateral and total PBFs showed significant variation in quantity, as did ipsilateral PBF. In a case of bilateral procedure, regional PBFs did not necessarily vary quantitatively, being consistent with the assessment of the effects of CIs by hemodynamic and angiographic data. One year after CI, regional PBF varied differently over time in each case. We could not detect these variations in regional PBF in detail using only the ratio of left-to-right lung perfusion obtained from a conventional pulmonary perfusion scan.

Conclusion: Regional and total PBF varied significantly after CI for BPS. This simple, noninvasive radionuclide method is useful for evaluating hemodynamics in pulmonary circulation after CI in cases undergoing BPS.

要 旨

背 景：従来の肺循環評価法では、局所肺血流量を知ることはできない。

方 法：近年、われわれはdynamic肺血流SPECTを用いて局所肺血流量を絶対量として定量する方法(以下本法)を考案し臨床応用している。本法を用いて、肺動脈分枝狭窄(以下BPS) 2例(片側および両側各1例)のカテーテル治療(以下CI)に伴う局所肺血流量変化を検討した。本法により算出した局所肺血流量(以下PBF)を、術前・術直後・1年後で比較した。

結 果：術直後のPBFは、片側施行例では、施行側PBFのみならず対側および全PBFも有意に変化していた。また両側施行例では、CI時の心臓カテーテル検査所見と本法による局所PBF変化は必ずしも一致しなかった。1年後では、症例ごとに時間に伴い異なる変化を示した。従来の肺血流シンチPlanar像からの左右カウント比のみでは、これらの変化を詳細に捉えることができなかった。

結 論：BPSのCIに伴い、局所および全PBFは症例ごとにさまざまに変化している。本法は非侵襲的で簡便な肺血流評価の手法であり、BPS例におけるCI直後および遠隔期の肺循環動態評価に有用である。

平成13年12月4日受付
平成14年6月3日受理

別刷請求先：〒232-8555 横浜市南区六ツ川2丁目138番地の4
神奈川県立こども医療センター循環器科 林 憲一

1. はじめに

小児の肺動脈分枝狭窄(以下BPS)に対するカテーテル治療(以下CI)として、バルーン血管形成術およびステント留置術が一般に行われている¹⁻⁵⁾。従来、BPSに対するCIの成否に関する効果判定は、血管径¹⁻⁴⁾および狭窄部における圧較差^{1,2)}を術前後で比較することにより行われてきた。また心臓カテーテル検査(以下心カテ)以外の評価法として、肺血流シンチPlanar像からの左右カウンtr比^{3,4)}も効果判定の手段として用いられてきた。

BPSに対するCIは、孤発例のみならず他の心疾患合併例やその術後例にも行われる。これらの症例ではBPSが片側のみならず両側に存在する例もあり、さらに右室流出路の狭窄や逆流を合併することも多い。以上よりBPSにおける肺循環動態は症例により多様であることが予想され、CIによる局所肺血流量の変化を適切に評価する必要がある。しかし、従来の検査法単独では、局所肺血流量を絶対量として定量することはできない。

近年、われわれは^{99m}Tc-MAA(MAA: microaggregated albumin)によるdynamic肺血流SPECT(SPECT: single photon emission computed tomography)を用いて、局所肺血流量を絶対量として定量する方法⁶⁾(以下本法)を考案し臨床応用している。この方法は簡便かつ非侵襲的で繰り返し施行が可能であるため、BPSに対するCIの効果判定に有用である可能性がある。本法により評価したBPS例を提示し、BPSのCIに伴う局所肺血流量変化について報告する。

2. 本法の妥当性

1) 理論

^{99m}Tc-MAAは肺動脈内に流入すると前毛細血管を一時的に塞栓する性質を持つ。トレーサーが^{99m}Tc-MAAの場合、入力側の血液プールと出力側の組織コンパートメントである肺のあいだに、一方向性の単純なコンパートメントモデル、いわゆるマイクロスフェアモデル^{7,8)}が成立すると仮定した。入力側の血液プールは、肺への血液を供給する右心室に代表させた。収集したSPECTデータから、入力側の血液プール(右心室)における入力関数 $C\alpha(t)$ (γ counts/voxel)と出力側の肺における時間放射能曲線 $C\beta(t)$ (γ counts)が得られる。

なお1 voxel当たりの体積を用いて、voxelは体積としてmlにて表示することができる。

入力関数および出力側の時間 t における $C\beta(t)$ は $C\alpha(t)$ に依存し、以下の式が成立する。

$$C\beta(t) = K1 \int_0^t C\alpha(t) dt$$

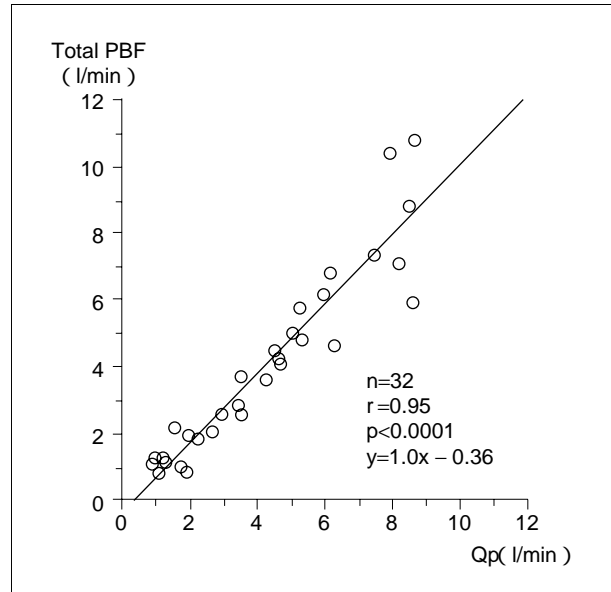


Fig. 1 Correlation analysis of total PBF and Qp.

$$\therefore K1 = C\beta(t) / \int_0^t C\alpha(t) dt$$

K1は速度定数であり、その単位はml/minである。マイクロスフェアモデルの場合、移行定数K1が血流量(ml/min)に相当し、K1を求めることで、実際に肺血流量を絶対量として求めることができる。以下、本法により算出した肺血流量のみを限定してPBFと表記する。

2) データ収集およびPBF算出

臥位にて^{99m}Tc-MAAを末梢静脈より1分間で定速静注した。投与開始と同時に、3方向検出器である東芝GCA 9300A/D(10秒/回転)により、5分間(30回転)のdynamic SPECTデータを収集した。再構築ののち得られた短軸像から、右心室および左右それぞれの肺に関心領域を設定し、1)の式を用いて局所(左右)のPBFを算出した。全PBFは、左右おのおののPBFより算出した。

3) 妥当性の検討

肺動脈狭窄および逆流を含む短絡のない小児心疾患32例(年齢: 0.3 ~ 18.3歳, 中央値7.5歳, 体表面積: 0.31 ~ 1.87m², 中央値0.85m²)について検討した。本法による全PBF(l/min)と心カテ時のFick法による肺血流量Qp(l/min)は、 $r=0.95$ で優れた相関を示した(Fig. 1)。また心カテの造影所見から得られた第1分枝直前の肺血管断面積をPA areaとし、これを本法によるPBFと比較すると、全・右・左について、PBFとPA areaはそれぞれ $r=0.80, 0.78, 0.74$ (いずれも $p<0.0001$)で有意に正の相関(1次回帰)を示した。

Table 1 Patient characteristics

Case	Age (y)	Diagnoses	CI	Side	Diameter (mm)			Pressure gradient (mmHg)			Assessment
					Pre	Post [post:pre ratio (%)]		Pre	Post [post:pre ratio (%)]		
1	17.3	TOF, PA, s/p ICR, LPAS	SI	left	5.5	8.0	145	36	2	6	success
2	4.7	DORV, PS, s/p ICR, Bil PAS	BA	right	7.6	11.0	145	50	26	52	unsuccess
			BA	left	2.7	5.6	207	51	34	67	success

SI: stent implantation, BA: balloon angioplasty, S/P: status post, ICR: intracardiac repair, TOF: tetralogy of Fallot, PA: pulmonary atresia, DORV: double-outlet right ventricle, PS: pulmonary stenosis, LPAS: left pulmonary artery stenosis, Bil PAS: bilateral pulmonary artery stenosis, TGA: transposition of the great arteries

3. CIに伴う局所肺血流量変化

本法を用いて、BPS 2例(片側および両側各1例)のCIに伴う局所肺血流量の変化を検討した。Table 1に症例のプロフィールおよびCI時の心カテ所見を示す。2例とも先天性心疾患術後例であり、心内短絡はなかった。また2例とも右室流出路における狭窄および逆流を合併していた。CIの成否に関する心カテ上のCI効果判定について、本検討では、狭窄部径が術前の150%以上あるいは狭窄部の圧較差が術前の50%以下となった場合をCI成功と定義した¹⁾。

CIに伴う局所肺血流量 (l/min/m²) に関して、症例ごとに治療直前・直後 (CI後3日以内) および1年後 (CI後平均0.7年) のPBFを、各症例ごとにつみ上げ横棒グラフ上で検討した。棒グラフ内には、CI片側施行例では施行側 (灰色) および対側 (白色) のPBFを、両側施行例では右側 (灰色) および左側 (白色) のPBFを示した。両方を加えたものが全PBFとなる。グラフ右には、従来の肺血流シンチPlanar像からの情報として左右カウント比 (%) を示した。なお本法におけるPBF変化の評価に関して、本論文では±20%以上のPBF変化を認めた場合を有意な変化とみなした。これは原発性肺高血圧症における薬物負荷試験において、心拍出量 (肺血流量) に関しては、一般に10ないし30%以上の増加^{9, 10)}を認めた時に有意としている点を考慮したためである。

1) 症例 1 (Fig. 2) 片側施行例

フォロー四徴兼肺動脈閉鎖術後、左肺動脈狭窄例、左ステント留置術。

i) 術直後PBF

施行側PBFは0.6 → 2.2 (+267%) と著明に増加したが、対側PBFは1.5 → 0.9 (-40%) と逆に減少した。各PBFを比較すると、術前は施行側 < 対側であったが、術後は施行側 > 対側と逆転していた。全PBFとしては2.1 → 3.1 (+48%) と有意に増加しており、臨床症状は著明に改善した。

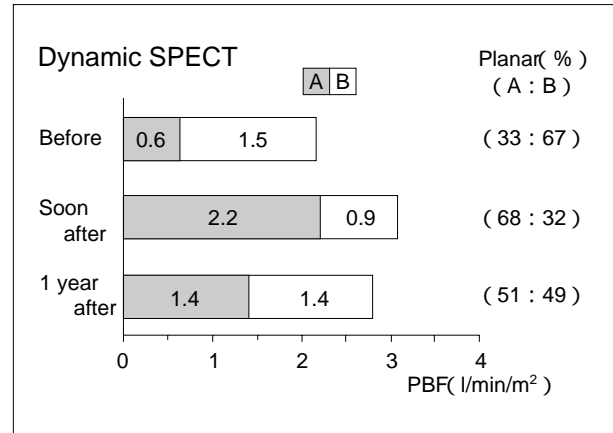


Fig. 2 Case 1. Stent implantation (unilateral). A: Ipsilatera (left), B: Contralatera (right)

ii) 1年後PBF

術直後と比較して全PBFには有意な変化がなかった。しかし左右血流不均衡が是正されるように、施行側PBFは2.2 → 1.4 (-36%)、対側PBFは0.9 → 1.4 (+56%) と有意に変化した。

iii) Planar像左右カウント比との比較

カウント比からは各時相における施行側と対側PBFの大小の比較は可能であるが、それぞれのPBF変化の程度を的確に捉えられなかった。例えば術直後の施行側カウントは33 → 68と2.1倍の変化にとどまるのみであったが、実はPBFとしては0.6 → 2.2と3.7倍もの変化を得られていた。術直後の対側カウントについてもPBFとカウント比の変化の程度は異なっていた。全PBFに関しても、CI前と比較し1年後には2.1 → 2.8と1.3倍もの変化を得られているが、カウント比のみではこの全PBFの情報を全く知ることができない。

2) 症例 2 (Fig. 3) 両側施行例

両大血管右室起始術後、両側肺動脈狭窄、両側バルーン血管形成術。

i) 術直後PBF

心カテ上はCI無効と判定された右側PBFは2.1 → 2.7

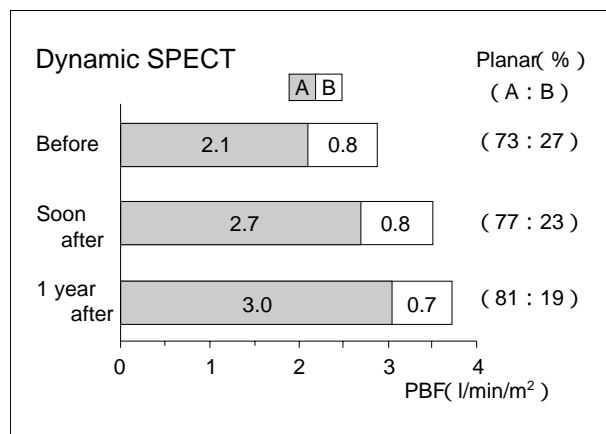


Fig. 3 Case 2. Balloon angioplasty(bilateral)
A: Right, B: Left

(+29%)と有意に増加し、一方、CI有効と判定された左側PBFには0.8 0.8と変化がなかった。全PBFとしては2.9 3.5(+21%)と有意に増加していた。本法による評価では、心カテにおけるCI有効側にPBFの変化はなく、CI無効側のPBFは有意に増加し、心カテ上の判定と異なる結果を示した。

ii) 1年後PBF

術直後に比較し右側PBFは2.7 3.0(+11%)、左側PBFは0.8 0.7(-12%)と変化したが、いずれも有意な変化ではなかった。全PBFも直後と比較し3.5 3.7(+6%)と有意な変化はなかった。

iii) Planar像左右カウント比との比較

症例1と同様、それぞれのPBFの変化を的確に捉えられなかった。例えば1年後の右側カウントはCI前に比較し73 81と1.1倍の増加にとどまっていたが、右側PBFは2.1 3.0と1.4倍まで増加していた。またCI直後の左側カウント比は27 23と減少しているものの、左側PBFには0.8 0.8と変化がなかった。全PBFに関しても、CI前と比較し1年後には2.9 3.7と1.3倍もの変化を得られているが、カウント比のみではこの全PBFの情報を全く知ることができない。

4. 考 察

1) 局所肺血流評価の重要性

BPS例のCIによる臨床的改善は、左右肺血流不均衡の是正や全肺血流の増加によって得られる。したがって、CIの効果判定の際には、臨床症状に直結する局所肺血流の変化を重視すべきと考えられる。

BPSの肺循環動態は症例により多様である。狭窄が片側のみならず両側に存在したり、右室流出路狭窄あるいは逆流を合併している場合もある。したがって、このように多様なBPS例に対し、臨床症状に直結する肺血

流動態を絶対量で定量することができれば、肺循環動態の評価をより適切にしようと考えられる。

2) 局所肺血流評価における従来法の限界

従来、BPSに対するCIの成否に関する効果判定には、心カテ¹⁻⁴⁾および肺血流シンチ^{3,4)}が用いられてきた。心カテでは狭窄部における血管径¹⁻⁴⁾および圧較差^{1,2)}を、肺血流シンチでは左右カウント比^{3,4)}を術前後で比較することにより、CIに伴う肺循環動態を評価してきた。しかし、以上の方法では局所肺血流の評価に限界がある。

まず一般的な心カテでは全肺血流量のみしか知ることとはできない。左右血管径の測定は可能であるが、血管径と血流量は全く同じではない。また従来の肺血流シンチで得られる左右カウント比は、半定量的な評価法である。複数の検査から局所肺血流量を算出することは可能であるが、侵襲的あるいは煩雑になる可能性が高い。以上のように、従来の検査法では局所肺血流量を絶対量として定量することはできない。単独の検査で非侵襲的かつ簡便に局所肺血流量を絶対量として定量できる新しい肺循環評価法が必要である。

3) 本法の利点

現在、コンパートメントモデル^{7,8)}を用いてSPECTより局所脳血流量を算出する核医学的手法が一般に用いられている^{11,12)}。しかし局所肺血流量を定量する手法はこれまで開発されていなかった。近年、われわれはdynamic肺血流SPECTを用いて、マイクロスフェアモデル^{7,8)}より局所肺血流量を絶対量として定量する方法を考案し臨床応用している⁶⁾。肺に関する関心領域を任意の区域に設定することで、他の検査では得られない局所肺血流量を容易に知ることができる。本法にて得られる全PBFは、心カテより得られる全肺血流量と優れた相関を示しかつその絶対値も近似しており、肺循環評価法として妥当と考えられる。なお本論文では肺動脈狭窄および逆流を合併する症例も含んで、心内短絡のない症例における本法の妥当性を示した。肺動脈および右室流出路の問題にかかわらず、本法は使用可能である。

Dynamic SPECTの収集時間は約5分と短時間で簡便であり、末梢静脈より^{99m}Tc-MAAを静注するのみで被曝量も少なくほぼ非侵襲的である。また局所脳血流を求める場合には、方法によっては入力関数を求めるために採血を必要とする場合もある^{11,12)}が、本法にはその必要がない。以上の点から、本法は繰り返し施行が可能であり、術後遠隔期の評価にも有用であると考えられ

る。従来の評価法に加え本法を用いることにより、CIに伴う肺循環動態の変化をより適切に評価しうると考えられる。

4) CI直後の肺血流動態(片側例)

本論文では、本法を用いてBPS例のCIに伴う肺循環動態をCI直後と1年後について検討した。従来の検討と異なる点は、局所肺血流量を絶対量の変化として検討し、さらに施行側PBFのみならず、対側および全PBFの変化も検討した点である。

まず術直後のPBFは、片側施行の場合、施行側のみならず対側PBFも有意に変化していた。CIに伴う対側PBFの増減は症例によりさまざまであり、その程度は施行側に劣らず変化している可能性がある。

片側施行例におけるCI直後のPBF変化の成因には、以下の2点が関与しているとわれわれは考えている。まずBPS例の左右PBFのバランスは、施行側狭窄部近位での血流に対する抵抗(狭窄による物理的な抵抗+狭窄部遠位の末梢肺血管抵抗)と対側末梢血管抵抗のバランスに依存していると考えられる点である。CIが有効となれば、術後の施行側末梢の肺血流量は増加するが、これは狭窄による物理的抵抗が解除されるためである。したがってCI直後に得られる左右PBFのバランスは、施行側末梢血管抵抗と対側末梢血管抵抗のバランスに依存していると考えられる。

CI直後のPBF変化の成因に關与する2点目は、末梢肺動脈より近位で全肺血流量が増加する変化が起こりうる点である。これには圧負荷の軽減による右室収縮性の改善や主肺動脈圧低下による右室流出路での逆流の減少が関与している。今回の検討では、各症例で右室流出路での狭窄および逆流がさまざまであり、この点について詳しく評価できなかった。

症例1において、上記の2点について考察する。まずCI直後に施行側PBFは著明に増加し、逆に対側は減少して左右の血流比が逆転してしまった。術前は、(狭窄による物理的抵抗+施行側末梢血管抵抗)>対側末梢血管抵抗であったが、もともと施行側末梢肺血管抵抗<対側末梢血管抵抗であったため、狭窄による物理的抵抗が解除されることにより施行側PBF<対側PBFの血流バランスが生じたと予想される。さらにCIにて右室収縮性の改善および右室流出路での逆流の減少により全PBFとしても増加したと考えられる。以上のように、片側施行例の場合、CI施行側のみならず、対側および全肺血流量も大きく変化する可能性があることに留意すべきである。

5) CI直後の肺血流動態(両側例)

本法では結果が絶対量で得られることから、両側施行例でも局所PBF変化の解釈に誤りが少ないと考えられる。両側施行の場合は、狭窄による物理的抵抗の解除の程度が左右それぞれで異なることが予想され、これが術後の血流バランスに最も大きく関連していると考えられる。これ以外の点については片側施行の場合と基本的に同様であり、左右および全PBFがそれぞれさまざまに変化しうると考えられる。

両側施行例の場合、心カテによるCIの効果判定と局所肺血流量変化は必ずしも一致していなかった。最終的に得られる主肺動脈圧は片側ではなく両側のCIに影響されることから、両側施行例の圧較差の評価では片側例以上に慎重を要する。本法では、局所肺血流量の変化を個別に評価することが可能である。

6) CI 1年後の肺血流動態

CI 1年後のPBFに関しては、症例ごとに異なる変化を示した。再狭窄出現の有無のみならず、施行側末梢血管床・左右末梢肺血管抵抗バランス・心室収縮性および右室流出路の逆流等の時間的変化がさまざまに関与し、症例ごとに異なって変化していくと考えられる。CI直後と比較して期待したい遠隔期の結果は、直後に比べさらに左右血流不均衡が是正され、かつ全肺血流量も増加していることである。症例1の左右血流不均衡は、1年後には大きく改善していた。

7) 本法と肺血流シンチ従来法との比較

従来の肺血流シンチPlanar像から得られる左右カウント比は、左右肺血流不均衡の簡便な判定法であり臨床的に有用である。しかし、一側ごとに得られる数値は局所肺血流量を表すものではなく、あくまでも全肺血流量に対する左右それぞれの肺血流量の割合を%にて表示しているに過ぎない。従来の検討では、肺血流シンチをCIの成否に関する効果判定の手段として使用する場合、施行側のカウント比(%)が20%以上改善した場合を有効としている^{3,4)}。しかし、カウント比の増減の程度で経時的に評価を行う際には、全肺血流量が経過中に変化のないことが前提と考えられる。そうでなければ、一側ごとのカウント比の変化は厳密には血流量の変化とはならず、不的確な評価となる可能性がある。カウント比のみでは詳細なPBF変化を知ることができず、本法による評価と全く解釈が異なる場合もあり得る。全肺血流量が減少していない症例では、左右血流不均衡の是正を目標とすれば臨床症状の改善に直結する可能性が高く、従来法は今後ともきわめて有用な

評価法である。しかし、従来法の肺血流シンチの場合、以上に述べた問題点を含んでいることを考慮して結果を解釈すべきである。

本法は従来法に劣らず簡便かつ非侵襲的である。また、ある程度回転数の早いガンマカメラであれば本法を用いることは可能である。データ収集後の解析は従来法より煩雑ではあるが、検査自体に特殊な手法は必要とせず、SPECTの施行できる医療施設で十分施行可能な方法である。本法は従来法に比較し得られる情報が多く、BPSにおけるCIの効果判定に試みてよい手法と考えられる。

8 本法の限界

本法では、右心室の血液プールから入力関数を得る際に誤差を生ずる可能性がある。まず体表面積の小さい例では、検出器の分解能が影響し画像上に右心室の関心領域を設定しにくい場合がある。また短絡例に本法を用いる場合には、血液プールとしての右心室内で、部位による入力関数の差が生じる可能性がある。

われわれの最近の検討⁶⁾では、短絡のある例でも、本法にて算出したPBFと心カテによるQpは、短絡のない例と比べるとその程度は弱いものの有意に相関していた。臨床的には個々の症例内で経時的な比較をすることが多く、この場合、同一症例内であるため同様の関心領域の設定になる可能性が高く、症例間で比較を行う場合よりも誤差が少なく評価しうると考えられる。本法を用いる場合、症例の体表面積・循環動態等を十分考慮し、生じる可能性のある問題点を念頭に置いて評価すべきである。

5. まとめ

Dynamic SPECTを用いて局所肺血流量を絶対量で定量する手法により、BPSのCIに関する肺循環動態を検討した。本法を用いて、CIに伴う局所および全PBFの変化を詳細に知ることができた。本法は非侵襲的で簡便な肺血流評価の手法であり、CIの効果判定および遠隔期の肺循環動態評価に有用であると考えられる。

【参考文献】

- 1) 中西敏雄：カテーテル治療。高尾篤良，門間和夫，中澤誠，中西敏雄編：臨床発達心臓病学，第3版，東京，中外医学社，2001，pp265-285
- 2) Rocchini AP, Kveselis D, Dick M, et al: Use of balloon angioplasty to treat peripheral pulmonary stenosis. *Am J Cardiol* 1984; 54: 1069-1073
- 3) Moore P, Lock JE: Catheter intervention: Balloon angioplasty: Experimental studies, technology and methodology, in Lock JE, Keane JF, Perry SB (eds): *Diagnostic and interventional catheterization in congenital heart disease*, second edition, Norwell, Kluwer Academic publishers, 2000, pp119-149
- 4) Zeevi B, Berant M, Blieden LC: Midterm clinical impact versus procedural success of balloon angioplasty for pulmonary artery stenosis. *Pediatr Cardiol* 1997; 18: 101-106
- 5) Kreutzer J, Perry SB: Stents, in Lock JE, Keane JF, Perry SB (eds): *Diagnostic and interventional catheterization in congenital heart disease*, second edition, Norwell, Kluwer Academic publishers, 2000, pp221-243
- 6) Hayashi K, Sato J, Kajino H, et al: Noninvasive quantification of regional pulmonary blood flow in congenital heart disease using dynamic pulmonary perfusion SPECT. *J Nucl Med* 2001; 42 (supplement): 344
- 7) 向井孝夫：核医学データ処理。小西淳二編：核医学ハンドブック，東京，金芳堂，1996，pp31-43
- 8) 棚田修二：脳血流シンチグラフィ 定量解析法。利波紀久，久保敦司編：最新臨床核医学，第3版，東京，金原出版，1999，pp103-111
- 9) Weir EK, Rubin LJ, Ayres SM, et al: The acute administration of vasodilators in primary pulmonary hypertension. Experience from the National Institutes of Health Registry on primary pulmonary hypertension. *Am Rev Respir Dis* 1989; 140: 1623-1630
- 10) 佐地 勉，中山智孝，石北 隆，ほか：肺高血圧症の治療 - 原発性肺高血圧症に対するプロスタサイクリン持続静注療法 - . *小児診療* 1999; 62: 683-691
- 11) Kuhl DE, Barrio JR, Huang SC, et al: Quantifying local cerebral blood flow by N-isopropyl-p-[¹²³I] iodopamphetamine (IMP) tomography. *J Nuc Med* 1982; 23: 196-203
- 12) 犬上 篤，相沢康夫，三浦修一，ほか：脳血管障害の診断におけるN-isopropyl-p-[¹²³I] iodopamphetamineの有用性の評価 - とくに脳血流量の定量的測定。医のあゆみ 1985; 134: 53-57