

特集 小児の肺機能の画像による評価／臨床的応用と最近の進歩

1. RI局所肺機能検査と術後肺機能

石田 治雄

都立清瀬小児病院 外科

Regional Pulmonary Function Studied with ^{133}Xe and $^{99\text{m}}\text{Tc-MAA}$ in Children after Thoracic and Cardiovascular Surgery

Haruo Ishida

Department of Surgery, Tokyo Metropolitan Kiyose Children's Hospital

Abstract

Pulmonary function tests are used for evaluation after thoracic operation and cardiovascular surgery. But most of these tests measure over-all lung function, and are not used for infants and children. Regional pulmonary function test with ^{133}Xe and $^{99\text{m}}\text{Tc-MAA}$ can be used in new born infants and is able to show local differences of ventilation and perfusion on the ventilation map, perfusion map, functional map and V-dot/Qdot map, respectively. Various results of RI regional pulmonary function test of cases after operation for pulmonary diseases, mediastinal tumor, congenital diaphragmatic hernia, eventuation of diaphragm and congenital heart diseases were shown to emphasize the usefulness of this test in children.

Key words : Regional pulmonary function test, Radioisotope, Thoracic surgery, Children

はじめに

肺機能検査は胸部の手術適応のみならず術後の経過観察にも欠くことのできない検査であり、spirometryが一般に行われている。しかし気管内挿管や気管切開のある場合や、検査に十分な協力が得られない場合には測定不能あるいは結果が不正確という欠点も生じ、特に、10歳以下の小児ではその値に信頼性が問われてくる。RI局所肺機能検査は他の人や他の時点での検査結果を比べる共通の値を算出することが難しいという欠点はあるが、気管内挿管や気管切開のある場合でも新生児からでも検査が可能で、検査時の局所肺野の換気・血流状態を知る

ことができるので小児の術後肺機能検査としては適した検査である。小児の外科領域でも術前術後に肺機能が大きく関与してくる疾患は数多くあり、また同じ疾患でも形態、合併奇形の有無、年齢、術式など肺機能に関与してくる要素も多く絡み合い、千差万別、個々別々といった結果を示してくる。今回は術後肺機能に影響を及ぼしてくる疾患の中で症例を選び、その結果を提示することで術後RI局所肺機能検査の占める意味を強調したい。

RI局所肺機能検査

小児のRI局所肺機能検査は成人におけるものとは若干異なった方法にて行っている。小児

を仰臥位とし、diazepam, ketaminなどや補助具を適時使用してベッドに固定し、体動を抑制する。安静呼吸下にて閉鎖回路内の¹³³Xeガスを反復吸入させ、肺野内が平衡状態になったところで回路を開き洗い出しを行う。次いで^{99m}Tc-MAAを静脈内に投与し、この両者の体内動態を肺野を中心に設置したガンマカメラにて背部よりデータ収集を行う(Fig.1)。¹³³Xeガスの平衡時よりV-MAP、洗い出し部よりFunc-

tional MAP, ^{99m}Tc-MAAの平衡時よりQ-dot-MAPなどの6枚のマップ表示と設置した関心領域内の値を全肺野に対する%値とした表を表示する(Fig.2, 3)。

術後症例

1. 肺疾患

1) 肺葉切除術

症例1 : 5歳, 女児。

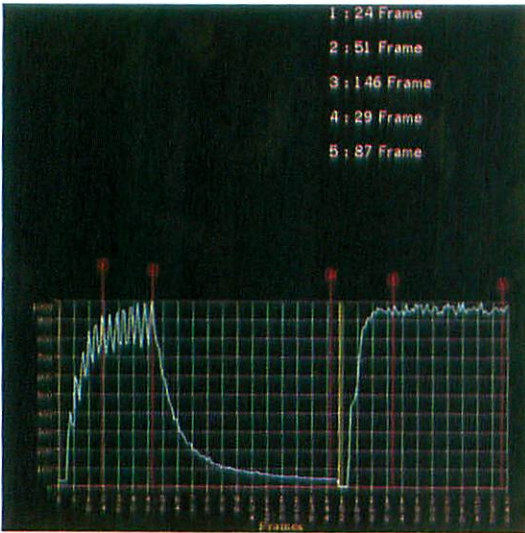


Fig.1 Time activity curve of the ¹³³Xe gas and ^{99m}Tc-MAA in the lung

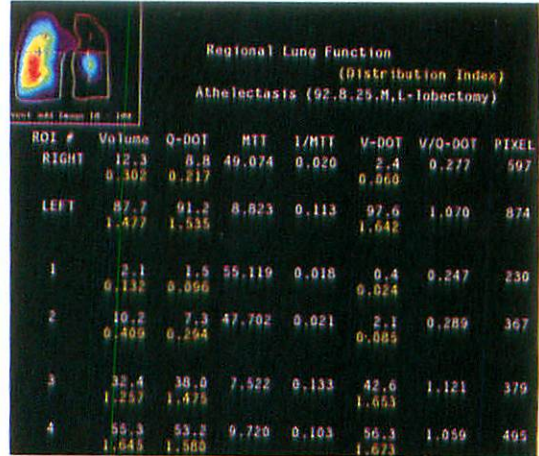


Fig.3 Calculation results of this test
The accumulation rate of ventilation and perfusion, the difference of mean transit time and V/Q ratio were shown.

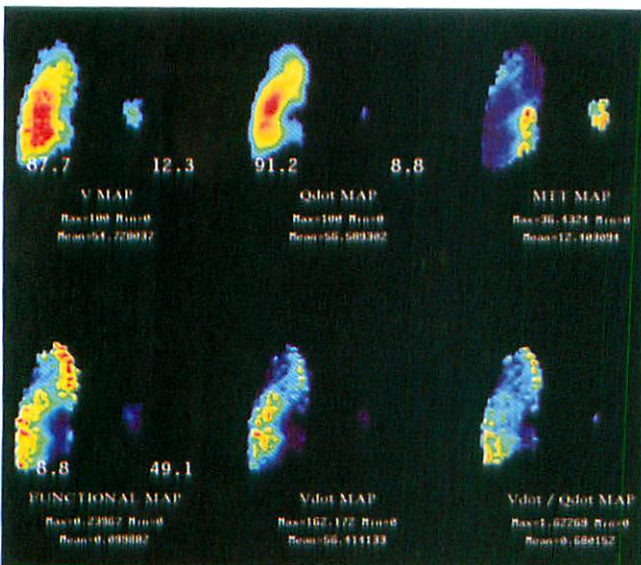


Fig.2 Map reports of 11-year-old boy after lobectomy of right middle and lower lobe for athlectasis. Marked hypoventilation and perfusion were showed.

右下肺野に嚢胞があり、右下葉内の気管支性嚢胞の診断にて4歳時に右下葉切除術を受けた。術後の経過は良好で、術後1年目の検査である。V-MAPでは¹³³Xeガスは均等に分布しており、左右肺の含気量も右49.3%、左50.7%と差はない。Q-dot-MAPでは右肺の形が左に比べてやや小さく、血流量も右42.4%、左57.6%と右がやや少ないが、肺内の分布は均等である。しかし平均通過時間は右9.4秒、左8.2秒と右はやや遅く、Functional MAPでは右下肺野に換気の遅れが描出されている(Fig.4)。

症例2：11歳，男児。

喘鳴，呼吸障害が強くなり来院。ピーナッツの誤飲を考えたが異物はなく右中下葉の無気肺を呈していた。3歳時に肺感染症，無気肺の診断にて右中下葉切除を受けた。術後喘鳴，呼吸障害は軽快し，現在X線写真上右上葉も伸展し，学校にて水泳なども行っている。術後7年目の検査である。V-MAPでは¹³³Xeガスは左右肺の含気量が左87.7%、右12.3%と右肺にはほとんど入らず，左肺野でも上肺野への分布が低下している。Q-dot-MAPでは右肺の形が描出されず，血流量も左91.2%、右8.8%と右肺は極端に低下している。左肺も分布が不均一で，V-MAPともやや異なる。平均通過時間は右

49.1秒，左8.8秒と右が延長しており，右肺の強い換気血流障害が示されているが，Functional MAPでは左肺野にも換気不均一があり，左中肺野と下肺野内側に換気の遅れが描出されている(Fig.2)。

2. 縦隔疾患術後

1) 縦隔腫瘍

症例4：9歳，女児。

11ヵ月時に呼吸困難にて来院。前縦隔左側よりの胸腺原発腫瘍のため腫瘍摘除術を受けた。術後症状はなく成長，発育は正常である。術後8年目の検査である。V-MAPでは¹³³Xeガスは右上肺野がやや少ないが，左肺では均等に分布しており，左右肺の含気量も右50.3%、左49.7%と差はない。Q-dot-MAPでは右肺の形は正常で，RIの分布も均等であるが，左肺は小さく，血流量も右61.4%、左38.6%と左が少ないが，肺内の分布は均等である。平均通過時間は右6.2秒，左6.1秒と左右差はなく，Functional MAPでも両肺野ともにほぼ均等に機能していることが読みとれる(Fig.5)。

2) 気管支原性嚢胞

症例5：15歳，男児。

1,220gの未熟児で呼吸器感染を繰り返して

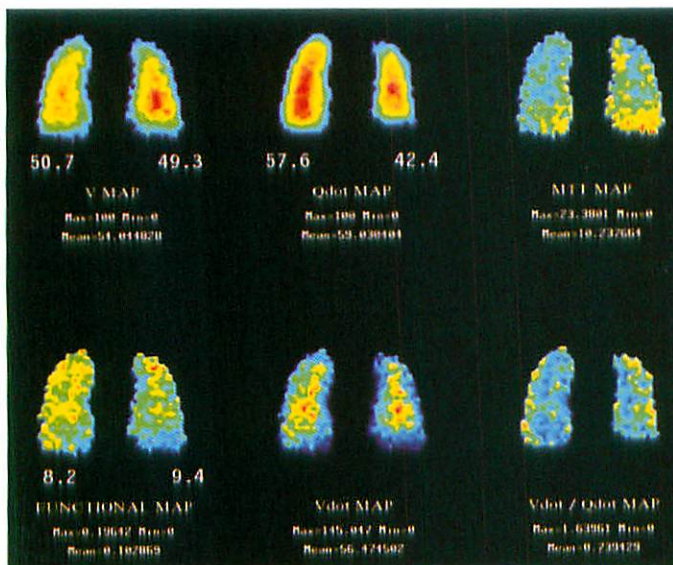


Fig.4 Map report of 5-year-old girl after right lower lobectomy for bronchial cyst of right lower lobe.

いたが、X線写真上左肺野の透過性が増してきた。気管支鏡検査などにより左主気管支の狭窄と診断され、CTにて左主気管支部の気管支原性嚢胞による圧迫と診断された。3歳時に嚢胞摘除術を受けた。術後12年目の検査である。V-MAPでは¹³³Xeガスは左右肺野では均等に分布しており、左右肺の含気量も右50.5%、左49.5%と差はない。Q-dot-MAPでは右肺の形はほぼ正常で、RIの分布も均等であるが、左肺はV-MAPと比べ小さく描出され、血流量も右60.2%、左39.8%と左が少ないが、肺内の分布は均等である。平均通過時間は右10.7秒、左

12.9秒と左肺の換気低下を認め、Functional MAPでも特に左上肺野の換気低下を認める (Fig.6)。

3. 横隔膜疾患

1) 横隔膜ヘルニア

* 新生児症例

症例6 : 9ヵ月, 女児.

出生直後より呼吸障害があり、左側横隔膜ヘルニアの診断にて根治手術を受けた24時間以内発症症例である。術後経過は順調で、術後9ヵ月目の検査である。V-MAPでは¹³³Xeガスは

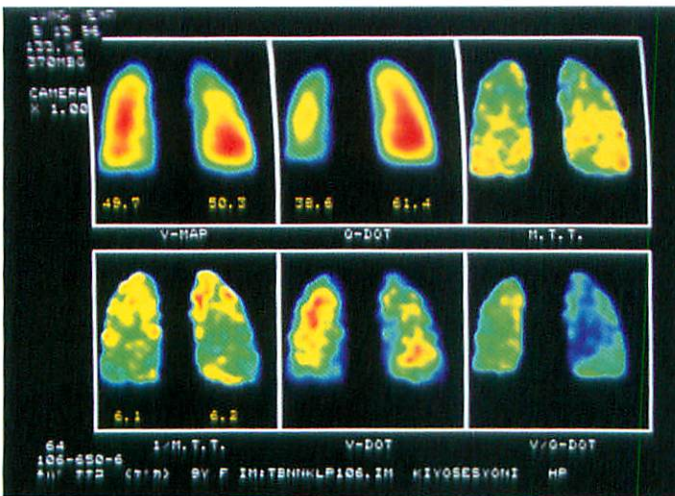


Fig.5 Map report of 9-year-old girl after removal of mediastinal tumor. Normal ventilation and slight hypoperfusion were shown.

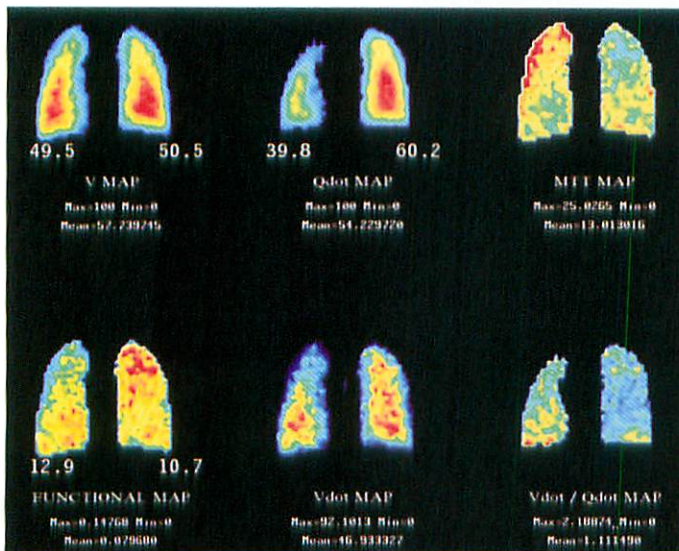


Fig.6 Map report of 15-year-old boy after removal of bronchogenic cyst on the left main bronchus. Normal ventilation and slight hypoperfusion were shown.

均等に分布しているが、左横隔膜が下方に引き下げられ固定されているため左肺が大きくなっており、左右肺の含気量も右42.5%、左57.5%と左がやや多い。Q-dot-MAPでは右肺の形が左に比べてやや小さいのに反し、血流量は右54.9%、左45.1%と右がやや多いが、肺内の分布は均等である。しかし平均通過時間は右5.2秒、左7.0秒と左はやや遅く、Functional MAPでは左下肺野に換気の遅れが描出されて

いる(Fig.7)。

症例7：生後4ヵ月、女児。

出生直後より強い呼吸障害があり左側横隔膜ヘルニアの診断にて根治手術を受けた24時間以内発症症例である。術後も呼吸障害が強く長期の集中呼吸管理を要したが、漸次改善してきた。術後4ヵ月目の検査である。V-MAPでは左横隔膜が下方に引き下げられ固定されているため左肺が大きくなってはいるが、左右肺の含気量

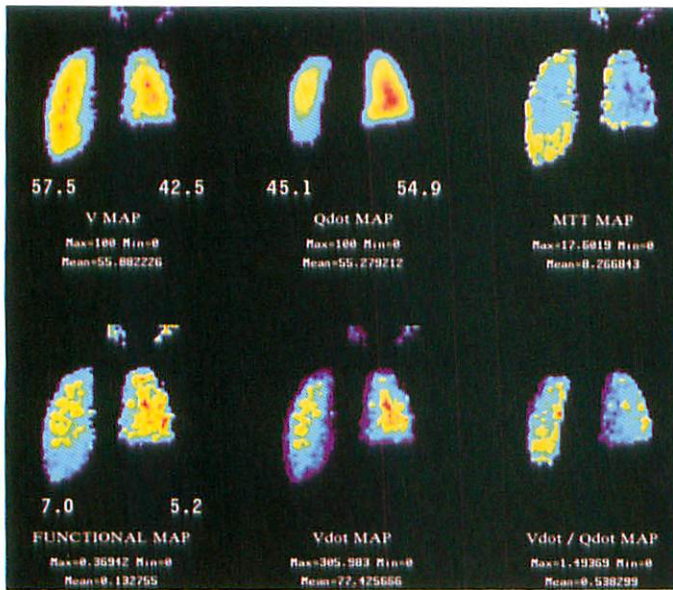


Fig.7 Map report of 9-month-old girl after operation for left congenital diaphragmatic hernia.

Ventilation and perfusion were within normal limit.

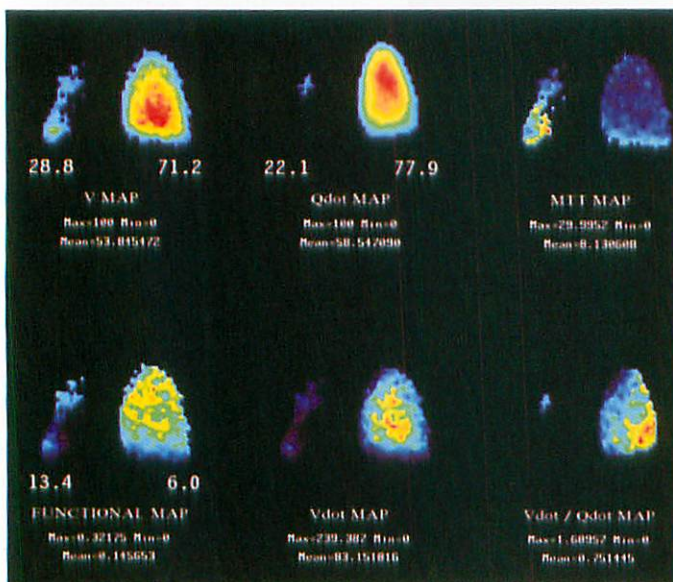


Fig.8 Map report of 4-month-old girl after operation for left congenital diaphragmatic hernia.

Severe hypofunction of ventilation and perfusion were shown in the left lung.

は右71.2%, 左28.8%と左にはほとんど分布しておらず, ^{133}Xe ガスは右肺内は均等に分布しているが, 左肺は下肺野が多い. Q-dot-MAPでは左肺の形がほとんど描出されず, 血流量は右77.9%, 左22.1%と右肺に偏在しており, 右肺内の分布は均等である. しかし平均通過時間は右6.0秒, 左13.4秒と左肺の呼出時間が延長しており, Functional MAPとMTT MAPでは左下肺野に換気の遅れが描出されている(Fig.8).

症例8 : 11歳, 女児.

出生直後より強い呼吸障害があり, 右側横隔膜ヘルニアの診断にて根治手術を受けた24時間以内発症症例である. 術後も呼吸障害が強く長期の集中呼吸管理を要したが, 漸次改善してきた. 術後11年目の検査である. V-MAPでは右横隔膜が下方に引き下げられ固定されているため右肺がやや大きくなってはいるが, 左右肺の含気量は右52.3%, 左47.7%と左右差はほとんどなく, ^{133}Xe ガスは両肺内ともに均等に分布している. Q-dot-MAPでは右肺の形がほとんど描出されず, 血流量は右24.9%, 左75.1%と左肺に偏在しており, 左肺内の分布はほぼ均等である. しかし平均通過時間は右15.8秒, 左10.8秒と右肺の呼出時間が延長しており,

Functional MAPとMTT MAPでは右下肺野に換気の遅れが描出されている(Fig.9).

*年長児症例

症例9 : 11歳, 男児.

5歳時に胸部X線写真上の異常陰影にて当院を受診し, 右横隔膜ヘルニアと診断され根治手術を受けた年長児発症症例である. 術前, 術後ともに呼吸障害はなく, X線写真上右肺の伸展も良好で, 術後も順調に経過している. 術後5年目の検査である. V-MAPでは ^{133}Xe ガスは左肺は均等に分布しているが右肺は下肺野に多く, 左右肺の含気量も右47.9%, 左52.1%と差はない. Q-dot-MAPでは右肺の形が左に比べてやや小さく, 血流量も右39.4%, 左60.6%と右がやや少ないが, 肺内の分布は均等である. しかし平均通過時間は右12.1秒, 左7.7秒と右はやや遅く, Functional MAPでは右下肺野に換気の遅れが描出されている(Fig.10).

2) 横隔膜挙上症

症例10 : 4歳, 男児.

生下時より呼吸障害があり, 両側の横隔膜挙上症と診断された. 呼吸困難が続くため乳児期に左側のみ横隔膜縫縮術を受けた. 術後呼吸困難は改善し順調に経過している. 術後4年目の検査である. V-MAPでは左肺がやや伸展され

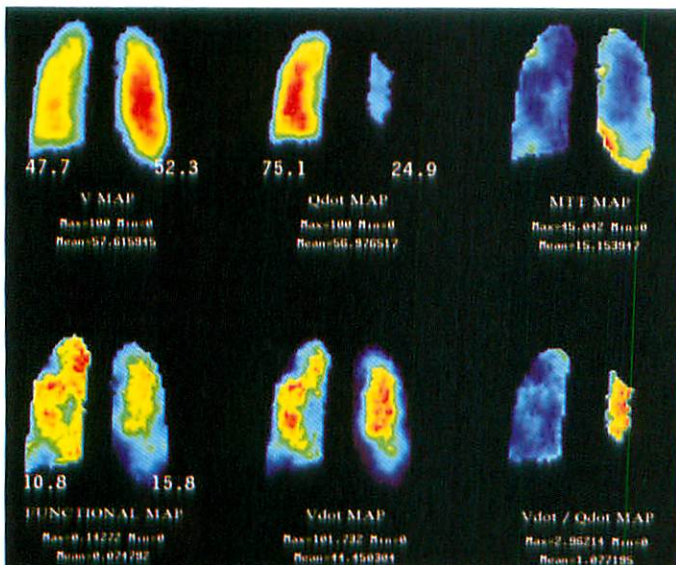


Fig.9 Map report of 11-year-old girl after operation for right congenital diaphragmatic hernia.

Normal ventilation and severe hypofunction of perfusion were shown in the right lung.

ているが、 ^{133}Xe ガスは右は上肺野が、左は下肺野がやや乏しい分布を示しており、左右肺の含気量も右53.1%、左46.9%と差はない。Q-dot-MAPでは右肺の形が左に比べてやや小さいが、血流量も右56.2%、左43.8%と右がやや多く、肺内の分布は左下肺野が乏しい。しかし平均通過時間は右11.6秒、左13.2秒と左はやや遅く、Functional MAPでは左下肺野に換気の遅れが描出されており、右肺内のばらつきも示している(Fig.11)。

症例11：2歳，男児。

生下時より呼吸障害があり、左側の横隔膜挙上症と診断された。呼吸困難が続くため乳児期に左側の横隔膜縫縮術を受けた。術後漸次改善しているものの呼吸困難は残っている。術後2年目の検査である。V-MAPでは左肺が伸展されており ^{133}Xe ガスは右肺には均等に分布しているものの、左肺には乏しく、左右肺の含気量も右61.2%、左38.8%と右に偏在している。Q-dot-MAPでは右肺の形が左に比べてやや小

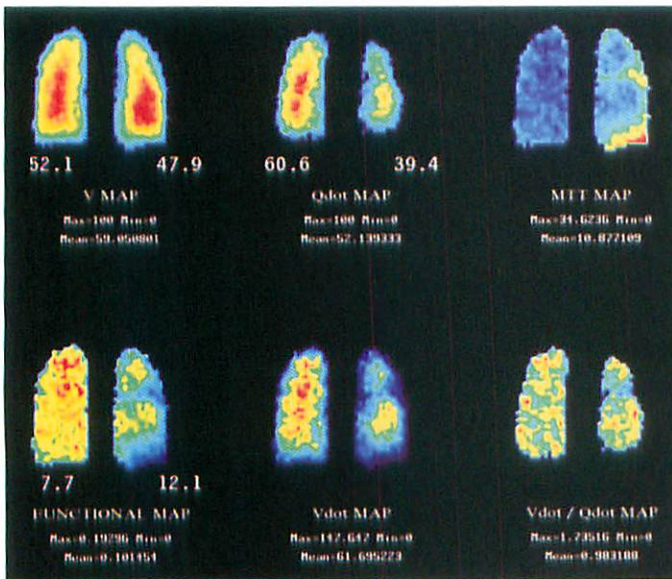


Fig.10 Map report of 11-year-old boy after operation for right congenital diaphragmatic hernia. Normal ventilation and moderate hypofunction of perfusion were shown in the right lung.

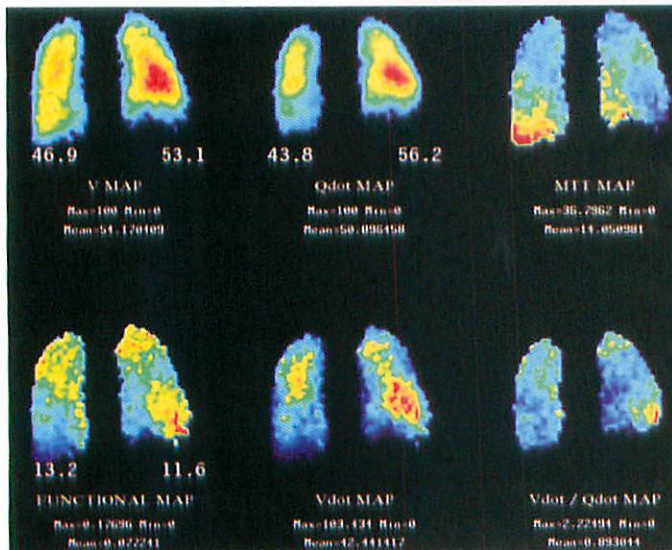


Fig.11 Map report of 4-year-old boy after operation for left sided eventuation of diaphragma. Normal ventilation and slight hypofunction of perfusion were shown in the left lung.

さいが、血流量も右68.9%、左31.1%と右肺に偏在し、肺内の分布は左肺野では均等である。しかし平均通過時間は右4.3秒、左4.2秒と左右差はなく、Functional MAPでは両下肺野に換気の遅れが描出されている(Fig.12)。

4. 先天性心疾患

1) 心房中隔欠損症

症例12：8歳、女兒。

心房中隔欠損症の診断で根治手術を受けた術後3週目の検査である。V-MAPでは¹³³Xeガ

スは左肺野の分布に不均等があり、左右肺の含気量も右53.6%、左46.4%と差は少ない。Q-dot-MAPでは左下肺野への集積は乏しく、血流量も右54.1%、左45.9%と左がやや少ないが、左肺内の分布は不均等である。しかし平均通過時間は右10.0秒、左9.2秒と左右差はなく、Functional MAPでは右肺外側と左下肺野内側に換気の遅れが描出されている(Fig.13)。

2) 心室中隔欠損症

症例13：1歳、女兒。

心室中隔欠損症の診断で欠損部のパッチ閉鎖

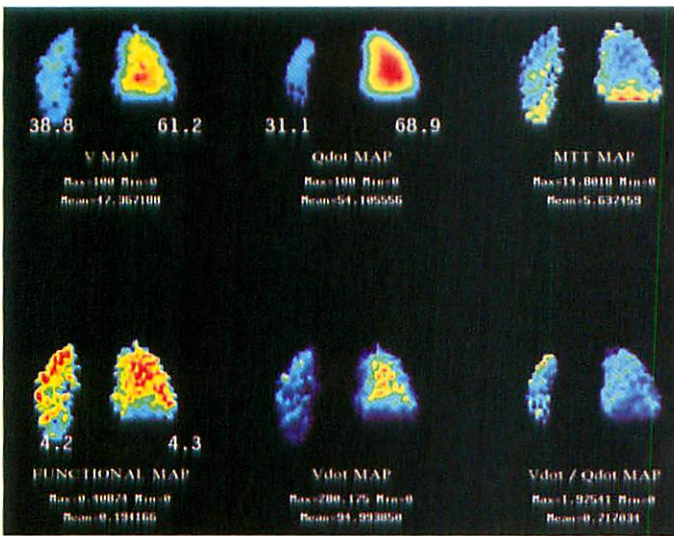


Fig.12 Map report of 2-year-old boy after operation for left sided eventuation of diaphragm. Severe hypofunction of ventilation and perfusion were shown in the left lung.

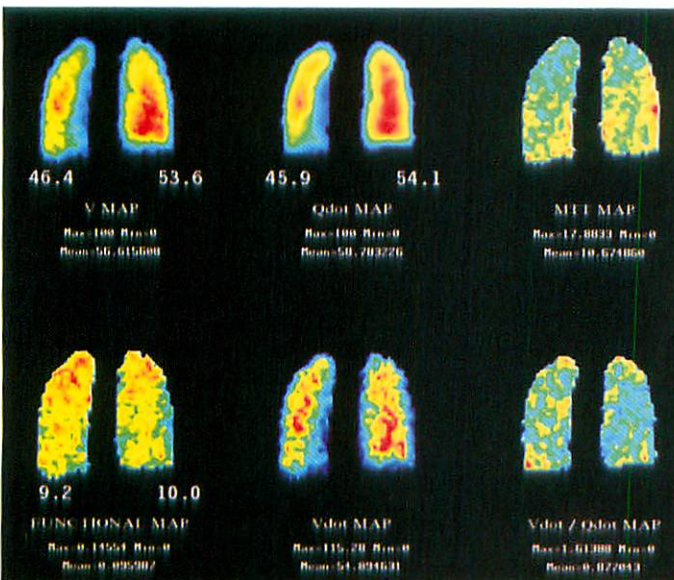


Fig.13 Map report of 8-year-old girl after operation for ASD. Function of ventilation and perfusion were within normal limit.

術を受けた術後3週目の検査である。V-MAPでは¹³³Xeガスは均等に分布しており、左右肺の含気量も右53.5%、左46.5%と差はない。Q-dot-MAPでは血流量も右53.7%、左46.3%と差は少ないが、肺内の分布は右肺は上肺野が、左肺は下肺野内側が乏しく不均等である。しかし平均通過時間は右6.8秒、左6.2秒と均等で、Functional MAPでは換気の不均等は見られない(Fig.14)。

3) Fallot四徴症

症例14: 8ヵ月、男児。

Fallot四徴症の診断にて左側のB-Tシャント術を受け、根治手術待ちの検査である。V-MAPでは¹³³Xeガスはほぼ均等に分布しており、左右肺の含気量も右56.4%、左43.6%と差は少ない。Q-dot-MAPでは左肺の形が右に比べてやや小さく、血流量も右62.5%、左37.5%と左が少なく、肺内の分布は右は均等であるが、左側は不均等で下肺野の分布が乏しい。しかし平均通過時間は右6.1秒、左6.1秒と左右差はなく、Functional MAPでは両下肺野に換気の遅れが描出されている(Fig.15)。

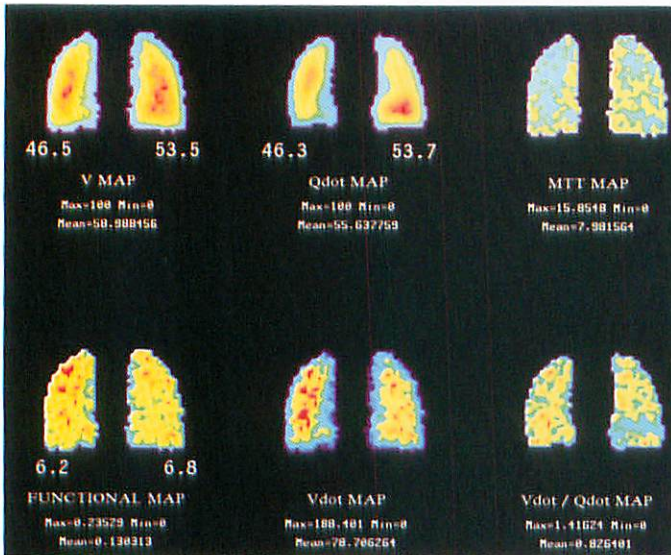


Fig.14 Map report of 1-year-old girl after operation for VSD.

Function of ventilation and perfusion were within normal limit.

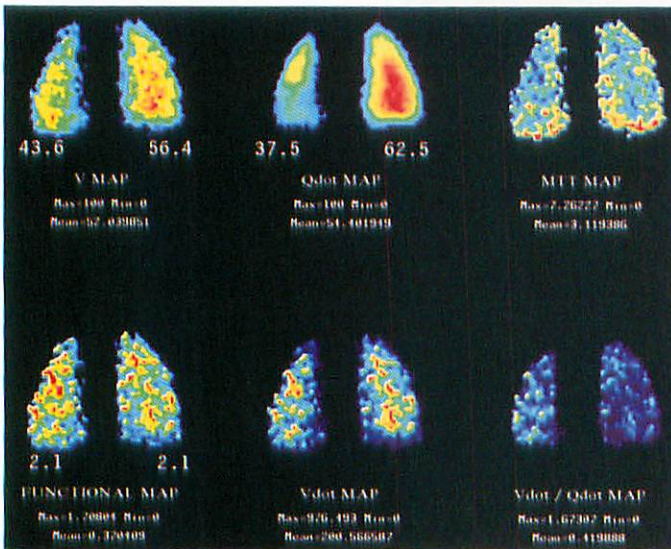


Fig.15 Map report of 8-month-old boy after left-sided B-T shunt for tetralogy of Fallot.

Slight hypoventilation and moderate hypoperfusion were shown in the left lung.

症例15 : 11ヵ月, 女児.

Falot四徴症の診断にて左側のB-Tシャント術を受け, 症例14と同じく根治手術待ちの検査である. V-MAPでは左右肺野の形態は同じだが, ^{133}Xe ガスの分布はやや不均等で, 左右肺の含気量も右59.0%, 左41.0%と左がやや少ない. Q-dot-MAPでは左肺の形が描出されず, 血流量も右83.4%, 左16.6%と左が極端に少なく, 肺内の分布は右は均等である. しかし平均通過時間は右3.2秒, 左3.0秒と左右差はなく, Functional MAPでは換気の不均等はない (Fig.16).

症例16 : 1歳, 男児.

Falot四徴症の診断にて根治手術を受け, 術後1ヵ月目の検査である. V-MAPでは左右肺の形態はほぼ正常であるが, ^{133}Xe ガスは右肺では均等に分布しているが左肺では不均等で, 左右肺の含気量も右58.9%, 左41.1%と差がある. Q-dot-MAPでは左肺の形が右に比べてやや小さく, 血流量も右64.0%, 左36.0%と左が少なく, 肺内の分布は右は均等であるが, 左側は不均等で下肺野の分布が乏しい. しかし平均通過時間は右5.1秒, 左5.2秒と左右差はなく, Functional MAPでは左下肺野に換気の遅れ

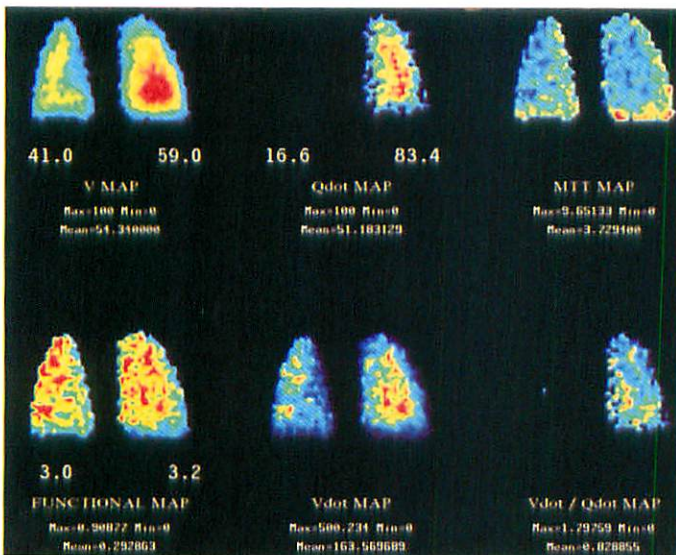


Fig.16 Map report of 11-month-old boy after left-sided B-T shunt for tetralogy of Fallot.

Slight hypoventilation and severe hypoperfusion were shown in the left lung.

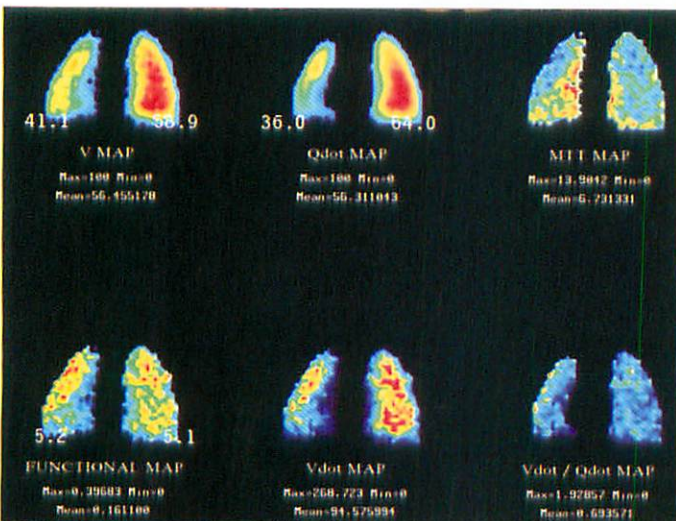


Fig.17 Map report of 1-year-old boy after radical operation for tetralogy of Fallot.

Slight hypoventilation and moderate hypoperfusion were shown in the left lung.

が描出されている(Fig.17).

4) 複雑心奇形

症例17: 3歳, 女児.

DORV, 左室形成不全, 肺動脈閉鎖, 左上大静脈遺残の診断でFontan型の根治手術を受けた. したがって肺動脈へ流入する血液は右鎖骨下静脈からの血液は肺動脈右側に, 左鎖骨下静脈からの血液は肺動脈左側に, 下大静脈からの血液は心房内の導管と上大静脈根部を経て上

記の右側吻合の下方から肺動脈右側にそれぞれ流入している. 術後の肺機能と肺血流動態の検索を目的に検査を行った. V-MAPでは¹³³Xeガスは均等に分布しており, 左右肺の含気量も右51.2%, 左48.8%と差はない. また, 平均通過時間は右3.6秒, 左3.6秒と左右差はなく, Functional MAPでは均等な換気状態を示している. 右腕の静脈内に投与された^{99m}Tc-MAAによるQ-dot-MAPでは右肺の形態のみ

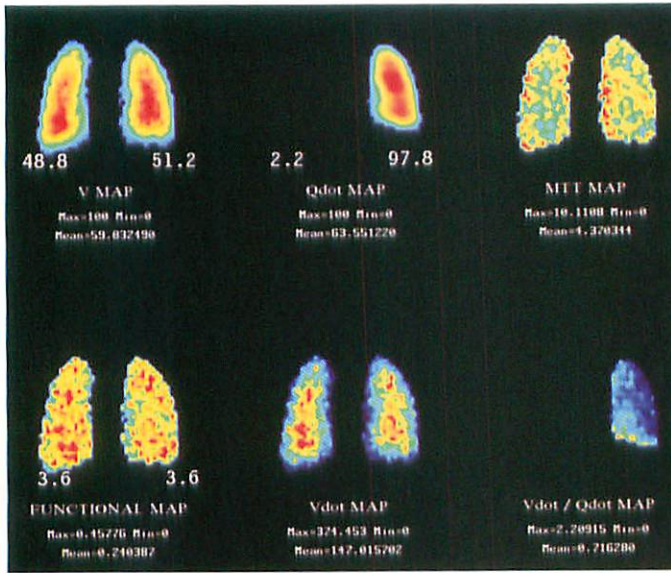


Fig.18 Map report of 3-year-old girl after Fontan operation for DORV, hypo LV, PA-atresia.

Normal ventilation was shown, and ^{99m}Tc-MAA injected from right arm accumulated in the right lung only.

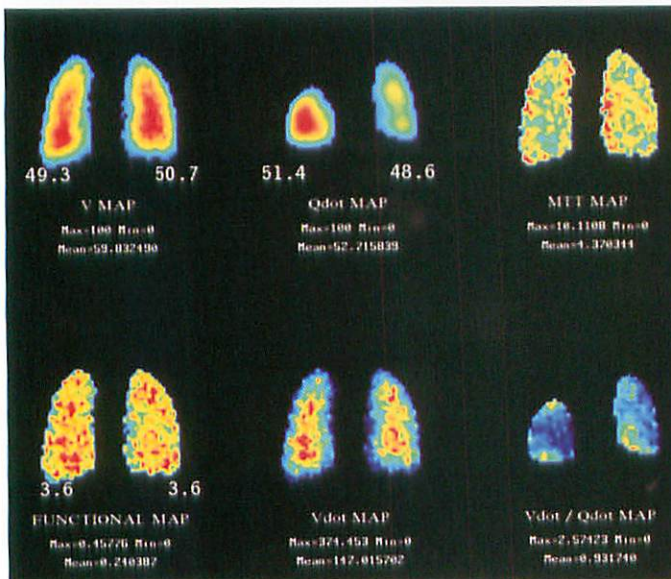


Fig.19 The same case as Fig.18 ^{99m}Tc-MAA injected from right and left arms were accumulated in the right lung and the lower lobe of left lung.

が描出され、血流量も右97.8%、左2.2%と右肺のみに流入しているが、右肺内の分布は均等である(Fig.18)。ついで左腕の静脈内に投与された^{99m}Tc-MAAを加えたQ-dot-MAPでは右肺に加え左下肺の形態も描出されてきた。血流量も右48.6%、左51.4%と左肺の流入が優位となっているが、左肺内では下肺野のみに分布している(Fig.19)。ついで下肢の静脈内に投与された^{99m}Tc-MAAを加えたQ-dot-MAPではFig.19と比べると左肺の形態が強く描出さ

れてきた。血流量も右64.3%、左35.7%と今回は右肺の流入が優位となっており、左肺内では下肺野のみに分布している(Fig.20)。画像処理によりFig.19からFig.18を差し引いて描出した左腕からのQ-dot-MAPでは左肺の下肺野の形態のみが描出されてきた。血流量も右12.0%、左88.0%と左肺の流入が優位となっており、左肺内では下肺のみに分布している(Fig.21)。ついで行った画像処理によりFig.20からFig.19を差し引いて描出した下肢からのQ-

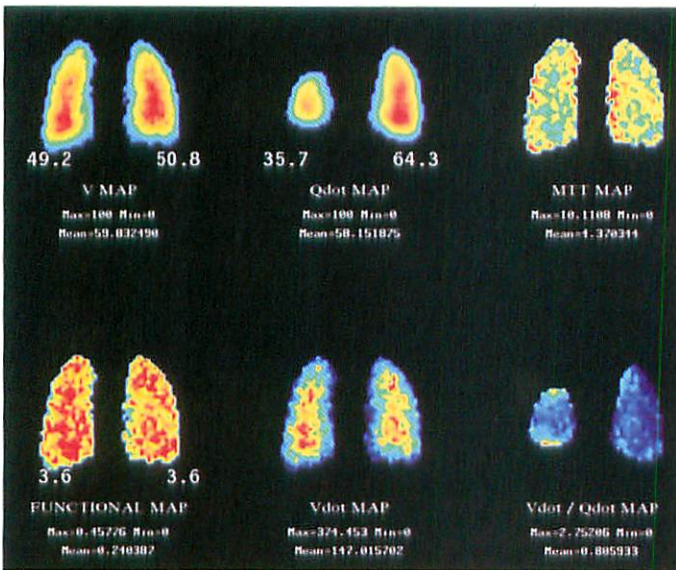


Fig.20 The same case as Fig.18. ^{99m}Tc-MAA injected from right and left arm and leg were accumulated on the right lung and the lower lobe of left lung.

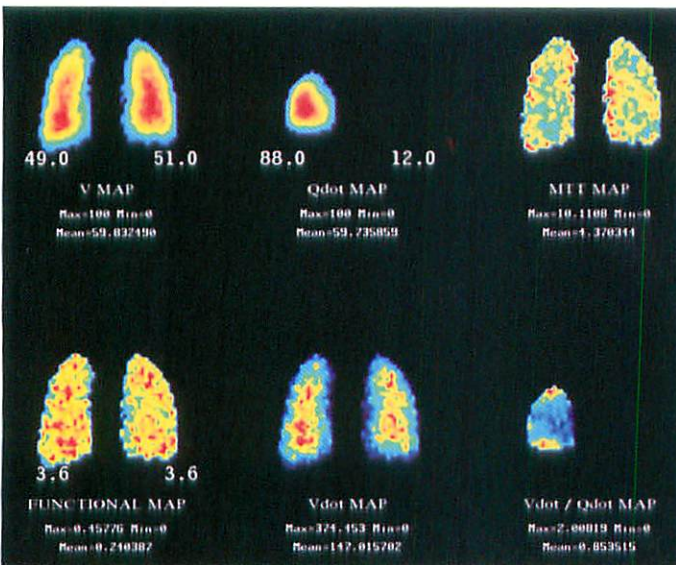


Fig.21 The same case as Fig.18. On the subtraction image (Fig.18, 19), ^{99m}Tc-MAA accumulated in the lower lobe of left lung only.

dot-MAPでは右肺の形態のみが描出されてきた。血流量も右85.4%，左14.6%と右肺の流入が優位となっており、右肺内では下肺が優位に分布している(Fig.22)。

まとめ

術後の肺機能は経過観察や予後の予想などに有益な情報を提供してくれるが、原疾患、施行手術はもとより同時に起こっている気管・気管支や肺血管の病変、胸郭・横隔膜の影響、術後呼吸管理の善し悪し、成長・発育の影響などが複雑に影響してくるので、各疾患における傾向などをまとめることは至難の業である。

肺切除例では幼児期初期の手術で術後合併症がなければ、症例1のように成長とともに肺胞は発育し、正常値に近づくことも期待できるが、X線写真や臨床上ではほぼ正常に改善してきてても症例2のようにかなり厳しい呼吸障害が局所に残っており、症状が出てきてからでは予後不良に陥ることも考えられる。早めに、適切な管理、治療を行う上でも定期的なRI検査が必要となってくる。

縦隔腫瘍は、ことに良性のものであれば摘除すれば一件落着と考える傾向にある。しかし提示症例も術後換気機能はすぐに改善している

が、肺血流の回復は遅れ、換気血流のミスマッチとなっている。開胸手術の影響も考えられるが、術前の換気不良の状態、期間の影響が強いものと思われる。横隔膜疾患でも術後の肺機能は症例により異なっている。

先天性横隔膜ヘルニアでは術後の肺機能低下は圧迫された肺の肺低形成によると言われているが、半数ぐらいいは症例6のように術後早期から機能は正常に近く回復する。一方、臨床上好とんど問題にはされていない年長児横隔膜ヘルニアでは症例9のように術後臨床症状は現れてこないが、かなりの呼吸障害を残していることが多い。また、症例7のように換気、血流ともに回復の悪いもの、症例8のように換気は改善したものなど多彩である。先天性横隔膜ヘルニアでは30~40%に気管・気管支の異常を合併していることも分かってきているが、この肺の原疾患だけでなく、術後の感染などの合併症、呼吸管理、生活状況、成長・発育などが絡みあって来るので、臨床症状とX線検査だけでは解明できない事柄があり、RI検査も含め細やかな術後管理が求められてくる。

先天性心疾患ではさらに複雑である。ASDはこうでVSDはどうだと言えるものはない。左下肺野に換気血流の影響があることが多く、

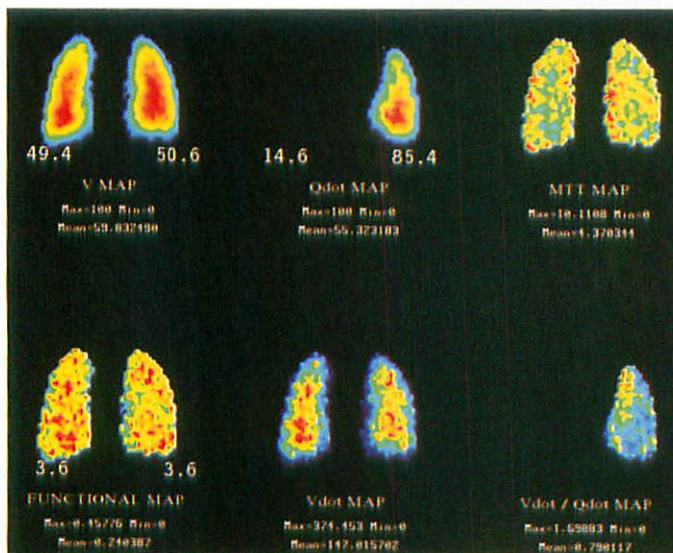


Fig.22 The same case as Fig.18. On the subtraction image (Fig.20-Fig.19), The most ^{99m}Tc -MAA accumulated in the right lung.

これは肥大した心臓による圧迫の影響と思われるが、個々の症例により程度はまちまちである。肺の血流動態はシャントの程度、形態により微妙に変わるもので換気動態よりもさらに複雑である。症例14, 15のように同じ疾患に同じ手術を行ったものでも検査結果は異なってくる。また、Fontan手術のような血流路変換手術後ではその動態を知ることはさらに難しくなる。現在の病態をよく理解し、血流を想定し^{99m}Tc-MAAの投与は何ヵ所から行うかから考え、またRI検査の特徴を考え、得られた結果をどう解釈するか非常に興味深いところである。

術後のRI局所肺機能の解釈には機能画像の読影だけでなく、この変化を数値化して判断することも重要である。今回は画像を中心にし、これに左右差を数値にて示したのみにとどめたが、この数値化による術後経過観察も臨床的に

大いに役立つてくる。

おわりに

RI画像は動態機能画像でありX線写真やCTなどの形態画像と異なり、肺胞内の空気が多いか少ないかだけでなく良く機能しているかどうかを描出され、肺胞毛細管への血流が多いか少ないかを描出するものであることは周知の事実である。また、肺胞への換気状態と肺血流とはお互いに影響しあって働いていることも周知の事実である。しかし小児においては検査がしづらいこともあってか、^{99m}Tc-MAAのみで結論を求める傾向があることは残念である。術後肺機能の解釈には¹³³Xeと^{99m}Tc-MAAを用いたRI局所肺機能検査が必要かつ不可欠であるので、新生児からどこでも、気軽に検査が行えるようになることを期待したい。