Studies of Lung Function in Infants and Children

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-04 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/7787

金沢大学十全医学会雑誌　第94巻　第2号　385－402　(1985)

乳幼児及び小児の肺機能測定の研究

金沢大学医学部第一外科学教室（主任：岩　喬教授）
木　原　鴻　洋

(昭和60年3月7日受付)

乳幼児や小児に対し，^{133}Xe ventilation scanning と^{99m}Tc macro-aggregated albumin (MAA) perfusion scanning を併用した肺機能検査法を考案した．^{133}Xe ventilation scanning では，全容量3 lの閉鎖回路を開発した．この回路を用いて^{133}Xe (5 MCI) の吸入・洗い出しを行わせ，肺を6分画し，局所換気分布の定量的評価を行った．肺血流分布は，^{99m}Tc-MAA (1－3 MCI) を静注し，定量的評価を行った．この肺機能検査法を，心肺疾患を有する71例に応用し，臨床的有用性について検討した．71例中2才以下が34例であった．肺高血圧症を伴う心室中隔欠損症例では，局所的な，高度の換気及び血流の低下が認められた．根治手術後の再検査例では，換気及び血流障害は改善しており，この疾患群の肺機能障害の多くが，気道狭搾に伴うものであり，可逆的な障害と考えられた．ファロー四徴症では，換気障害を伴わない局所血流量低下例が認められた．漏斗胸症例では，両下肺野の換気及び血流の低下例が認められた．かつて，肺葉切除や肺区域切除を受けた小児では，術後長期経過例でも，術側肺の換気及び血流の低下が認められた．その際，血流低下の方がより著明であった．これより，肺切除後残存肺は，肺容量は増加回復するものの，肺胞や血管床の増大がそれに伴っていないものと考えられた．これに対して，レ線上，hyperlucent lung を示した例では，局所的換気障害が著明であり，局所の著しい気腫状変化が大きな要因と考えられた．これらの検討より，^{99m}Tc-MAA perfusion scanning を併用した^{133}Xe ventilation scanning は，従来の肺機能検査法が応用しえない乳幼児や小児にとって，有利かつ有用な検査法であることを示した．

Key words　lung function, infants, children, ^{133}Xe ventilation scanning, ^{99m}Tc-MAA perfusion scanning.

乳幼児における先天性心疾患や，肺疾患に対する外科手術や麻酔技術の進歩はめざましく，乳幼児期の手術例が増加している．従来より，これらの疾患において，術前，術後に肺機能障害を伴う事が多い事が指摘されている[1]．しかしながら，これらの予後に重大な影響を及ぼす術前や術後の肺機能障害を判定し得る肺機能検査は少く，わずかに胸部レ線検査や，血液ガス測定にたよっているのが現状である．

生理学的な研究では，body plethysmography や pneumotachography などによる肺気量測定や，気道抵抗などを求める方法が行われている[2][3]．しかし乳幼児や小児において，被検者の協力を得られないことや，対象が小さく，たとえ測定が行い得たとしても，その誤差が大きく，得られた結果の評価が難しいなどの難点が多く[4]，臨床的応用には到っていない．そこで，成人の臨床的肺機能検査法として確立しつつあるラジオアイソトープ (radioisotope, RI) を利用した肺機能検査法の，小児への応用が期待されてきた．現在まで，乳幼児に対する RI を用いた肺機能検査は，患者への侵襲も少ないことなどより，いくつかの報告がなされて来ているが，その多くは定性的な判定にとどまっている．

今回，著者は，従来の成人に対する肺機能検査の応用困難な，乳幼児，小児の心肺疾患患児に対し，RI を利用した定量的肺機能検査を考案，種々の疾患に応用し，多くの有用な知見を得たので，まとめ報告する．

Abbreviations: ASD, atrial septal defect; CT, computed tomography; F_{EV1}, 1 second forced expiratory volume; FRC, functional residual capacity; PDA, patent ductus arteriosus; PH, pulmonary hypertension; PI, perfusion index; RI, radio-isotope; ROI,

対象および方法

I．RI の測定装置

いずれの測定にも，東芝ガンマーカメラ GCA-401 を使用し，低エネルギー用平行型高分解能コリメーターを装着して，測定を行った．同時に，on-line で接続した東芝核医学データ処理装置 DAP-5000N による画像処理及び，データの記録を行った．エネルギー設定は^{133}Xe は 81 KeV±15%，^{99m}Tc は 140 Kev±15% とした．

II．測定システムの計数効率の測定

technetium-99m macro-aggregated albumin (^{99m}Tc-MAA)，xenon-133 (^{133}Xe) 及び thallium-201 chloride (^{201}Tl-Cl) の三種類の核種を用いて，面線源及び容積線源を作製し，種々の条件を設定，カウント数を実測し，測定システムの計数効率について検討した（図1）．

面線源は，内腔の厚さ 1 cm，縦 20 cm，横 10 cm のプラスチック容器内に^{99m}Tc-MAA 及び^{133}Xe の水溶液を密封したものを用いた．

^{99m}Tc-MAA，^{133}Xe とも各々 2 種類の濃度のものについて測定を行った．

容積線源は，大きなプラスチック立方体容器に，^{133}Xe と同等のエネルギーを有する^{201}Tl-Cl の水溶液を入れたものを用いた．カウントは，システムのブラウン管に得られた線源像内に一定の ROI を設定し，各々 1 分間，2 回ずつカウント数を計測した。

測定条件は次の通り行った．

1．面線源を検出器の面に平行に設置し，線源を検出器よりの距離を，0 cm から 25 cm まで変化させた時のカウント数の減衰率を測定した．

2．面線源を検出器より 25 cm の所に固定し，この両者の間に，吸収体として，種々の厚さの水又はアクリル板を置いた時のカウント数の変化を測定した．

3．一定濃度の^{201}Tl-Cl の容積線源を検出器に接して置き，その水溶液の量を変化させた時のカウント数

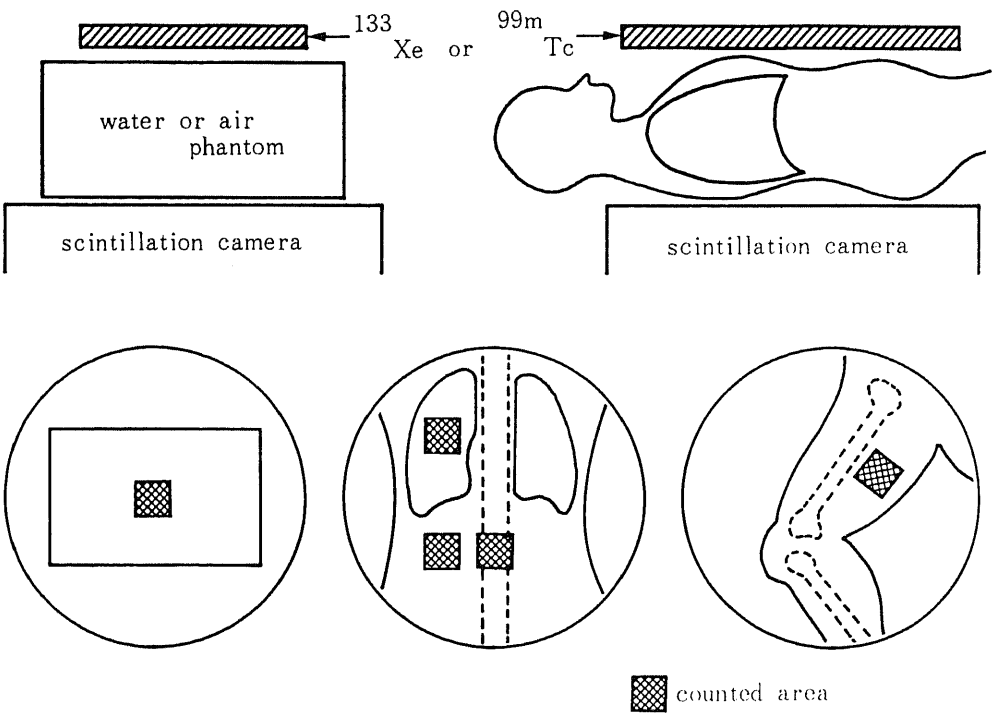


Fig. 1. Schema-ta of transmission scintigraphy of air or water phantom and human body (top), and schema of counted area (ROI) in images (bottom).

---

region of interest ; RV, residual volume ; T 1/2, half time ; ^{99m}Tc-MAA, technetium-99m macro-aggregated albumin ; TLC, total lung capacity ; ^{201}Tl-Cl, thallium-201 chloride ; VC, vital capacity ; VI, ventilation index ; VSD, ventricular septal defect ; ^{133}Xe, xenon-133.

を測定した．

4．5才の小児に相当する腹部及び胸壁ファントムを作製し，その中に^{201}Tl-Cl又は^{99m}Tc-MAAの水溶液を満たし，ファントムの腹部と胸部に相当する部位のカウント比を測定した．

5．面線源によるトランスミッションシンチグラム

^{99m}Tc及び^{133}Xeに対する，人体，特に胸部における減衰特性を知る目的で，2の測定に使用したと同じ^{99m}Tc-MAA及び^{133}Xeの面線源を用いて，3人の健常成人について，胸部，腹部，大腿部の各部位のトランスミッションスキャンを行った．各部位における平均吸収率を求め，2．の計数効率測定に基づき^{99m}Tc, ^{133}Xe各々に対する身体各部位の平均実測吸収係数を求め，ファントムによる測定結果と比較検討した．

更に，肺の吸収係数を推定する目的で，健常な3人について胸部CTスキャンを行い，肺，空気及び水のCT値を求めた．この値と空気及び水の吸収係数を利用して，肺の実測吸収係数を求め，トランスミッションシンチスキャンの結果と合わせ，検討を行った．

III．RIによる乳幼児及び小児の肺機能測定

1．対　象

年令別では，2才以下の乳幼児34人，2才以上12才までの小児37例の計71例について，^{133}Xe及び^{99m}Tcによる局所肺機能検査を行った．

疾患別では，先天性心疾患55例，漏斗胸患者7例，乳幼児期肺切除後症例7例，肺感染症1例であった．これらに，健常児1例を加えて行った．一部の症例では，経過を追って検査を行い，のべ検査回数115回行った．

2．方　法

年少児は，原則として，ケタラール麻酔下（前投薬として硫酸アトロピン0.02 mg/kgの筋注，塩酸ケタミンとして7～10 mg/kgを筋注）で，呼吸の安定している事を確認の上，施行した．患児を背臥位に寝かせ，シンチカメラを背部に固定して測定を行った（図2A）．

1）^{133}Xe ventilation scanning

^{133}Xeの吸入には，独自に考案した回路を用いた．回

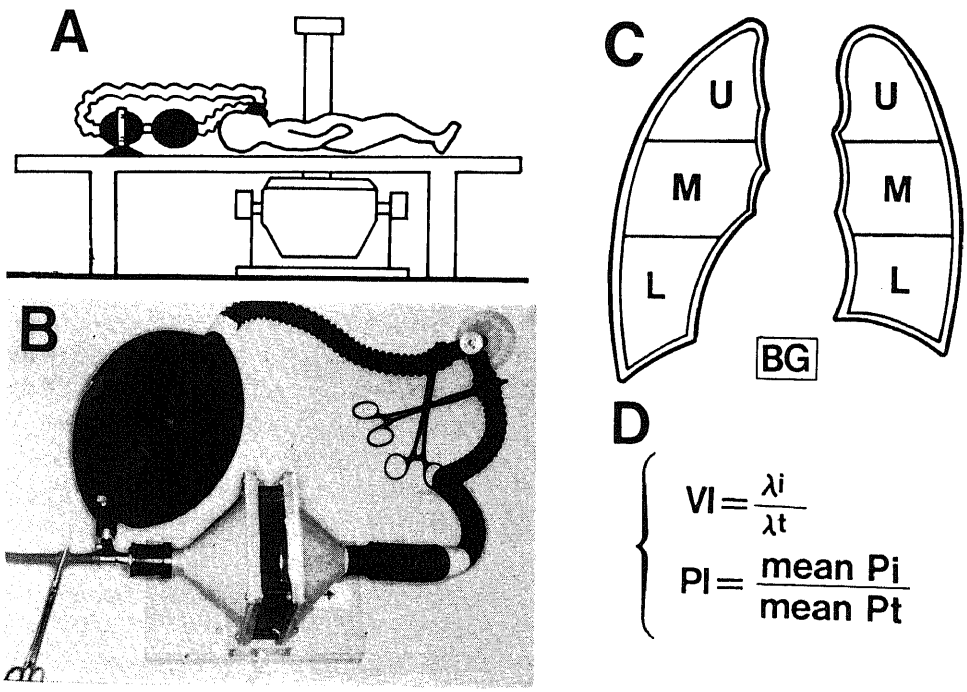


Fig. 2. Schema-ta of ^{133}Xe ventilation scanning (A), the equipment of circulating closed circuit developed by the author (B), and six zones of counting in posterior view (C). Formulas of calculating pulmonary indices were also shown (D). U, upper zone; M, middle zone; L, lower zone; BG, background; λi, ^{133}Xe turn over rate of individual zones, λt, ^{133}Xe turn over rate of total lung field; Pi, counts of individual zones in perfusion scanning; Pt, counts of total lung field in perfusion scanning.

路は，全容量を可及的に小さくするため，リザーバーとしての麻酔用バック（小児用）にブローワーを直結した循環閉鎖回路(図2B)にBennet社のdead spaseの小さなマスクをつけ，最大容量を約3 l とした．この装置を用いて，患児に^{133}Xeの再呼吸を行わせた．更に^{133}Xeを混入するバック内の酸素容量も，年少児では体型に応じて少量とし，肺内^{133}Xe濃度を高く得られるよう工夫した．この回路内に約5 mCiの^{133}Xeを平衡させ，これを患児に60～90秒間再呼吸させ，システム内モニターのブラウン管にて，肺内に^{133}Xeが充分吸入されたのを確認後，これを開放し，肺内に取り込まれた^{133}Xeを，自然呼吸のまゝ，wash-outさせ，この間のカウントを経時的に測定した．

2）^{99m}Tc-MAA perfusion scanning

1）の^{133}Xe ventilation scanning後，患児の位置を変えずに安静呼吸下に末梢静脈内に1～3 mCiの^{99m}Tc-MAAを静注し，^{99m}Tc-MAAが血中から完全に消失し，肺内に集積した時点で，背部よりカウント数を測定した．引き続き，前後及び左右側面の4方向のイメージを撮像した．

3．データ処理及び分析法

患児の背部に固定した検出器から得られたデータは，on-lineで核医学コンピューターに収集した．データ処理装置の陰極線管（CRT）上に表示された肺イメージを図2Cのように6分画し，各区域別のカウント数を求めた．

^{133}Xe ventilation scanningでは，吸入直後より，time-spanを5秒毎として，経時的にカウント数を測定した．これを時間に対する片対数グラフにプロットし，wash-in wash-out曲線を作製して，分析を行った．また，これと同時に，10秒毎25フレームの後面，肺イメージを，イメージャーによりフイルム上に撮像した．

1）^{133}Xe ventilation scanningの分析法

^{133}Xe wash-out curveの分析には，次の2方法を用いた．

i）wash-out初期部分のinitial slopeを評価する方法

ii）compartment analysisを用いる方法

まずi）では，wash-out開始時より，20～25秒直線状に減衰する所を利用し，最小2乗法によりturn-over rate（傾き：λ_l）と半減時間（T 1/2）を求めた．全肺野のturn-over rate（λ_t）に対する局所のturn-over rate（λ_l）の比を，その局所の換気係数（ventilation index, VI）とした．

ii）のcompartment analysisでは，胸壁補正の行わないwash-out curveについてbackward projection methodを用いてfast phaseとslow phaseのtwo compartmentに分け検討を行った．

i），ii）とも，胸壁補正による影響についても，検討を加えた．

2）^{99m}Tc-MAA perfusion scanningの分析法

i）各区域毎に得られた総カウント数（Pi）より，マトリックス当たりの平均カウント（$\bar{P}_i$）を求め，全肺の平均カウント（$\bar{P}_t$）との比を，その区画の血流係数（perfusion index, PI）とした．

ii）左右別の%肺血流量には，全肺に対する左右の総カウント数の比（P_i/P_t）を用いた．

3）換気と血流の相関についての検討

i）上記で得られたVIとPIを利用し，VI/PIを換気血流係数として評価する方法

ii）左右別の換気と血流の相関については，各区画の^{133}Xe吸入平衡時のカウントを$V_{max\text{-}i}$，全肺野のそれを$V_{max\text{-}t}$とした時．

a．$V_{max\text{-}i}/V_{max\text{-}t}$（$V_{max}$%）と$P_i/P_t$（P%）との相関

b．$V_{max\text{-}i} \times VI_i/\Sigma V_{max\text{-}i} \times VI_i$（($V_{max.} \times VI$)%）とP%との相関

の，2者を用いて検討した．

IV．肺機量測定

肺切除後症例では，RIに加え，スパイロメトリーによる肺機量測定を行った．

成　　績

I．肺内に分布したRIに対する測定システムの計数効率についての検討

^{133}Xeの面線源と，検出器の間を徐々に離した時，その距離が20 cmまでは，殆んどカウント率の減衰を認めなかった．

線源と検出器の間に，水を吸収体として置いた時，^{133}Xe，^{99m}Tcとも，水の吸収係数を用いた計算値より，実測値はやや高いカウント率を示した．しかし，その差は小さく，厚さとの相関曲線は，極めて近似したものであった（図3）．

トランスミッションシンチグラムでは，大腿部及び腹部は，同じ厚さの水ファントムの測定値と極めて近い値を示した．胸部では，肺を空気と想定すると，胸壁のみの厚さと同じファントムの実測値より，かなり高い吸収率を示した．

水，空気のCT値を，各々，0，−1000とした時の3人の健常者の肺のCT値は，平均−750であった．

これより，肺実測吸収係数を推定すると^{133}Xeは，0.0449 cm^{-1}，^{99m}Tcは0.0384 cm^{-1}の値が得られた．この値を用いて，胸厚を補正してグラフ上に示す(→印)と，^{133}Xe，^{99m}Tcとも水ファントムの実測値に極めて

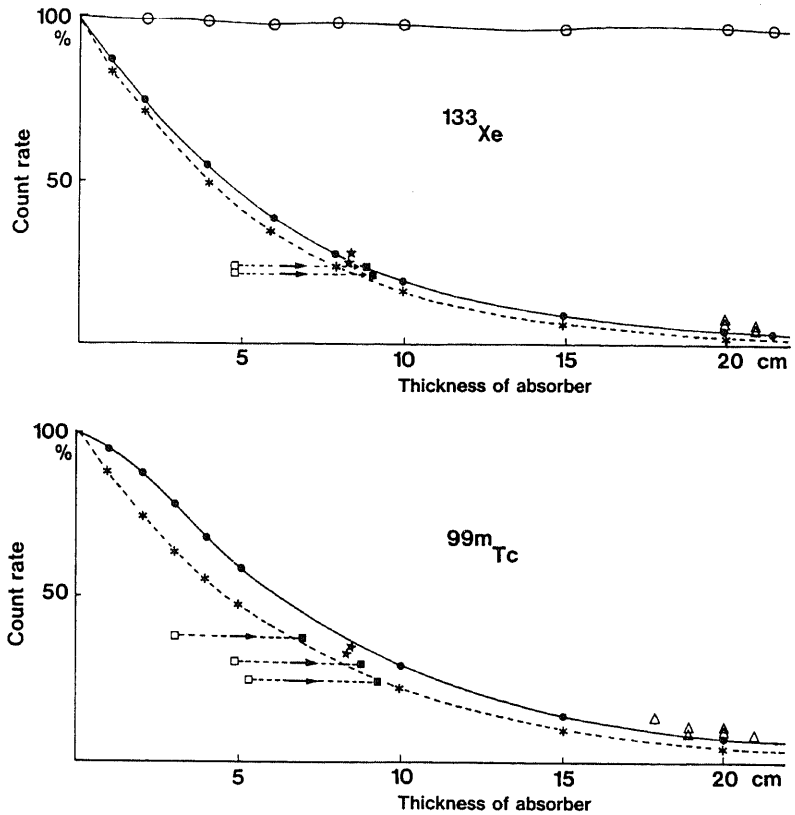


Fig. 3. Relationship between count rate and thickness of absorber using a planar source containing ^{133}Xe (top) or ^{99m}Tc-MAA (bottom). ○—○, in air; ●—●, in water; ＊—＊, theoretical count rate using absorption coefficient of water; □, observed count rate in the chest without correction of the lung absorption, and ■, with correction; △, observed count rate in the abdomen; ★, observed count rate in the thigh.

近い値を示した(図3). ^{201}Tl を用いた容積線源についての結果を，図4に示した．深さ2cmの時のカウント数を基準として，$C=C_0\int_0^x e^{-\mu x}dx$ で求めた計算値の曲線（点線）と，実測値（実線）による曲線は，非常によく一致した．

この結果を用いて，5才児（胸厚8cm）の肺の前後方向での計数効率分布を推定して，次の結果を得た．最もシンチカメラに近い後胸壁側の計数効率を100とすると，8cm離れた前胸壁側の計数効率は，^{133}Xe で68.8%，^{99m}Tc で73.6%であった．また，前後方向で実測されるカウント数は，すべての部位での計数効率を100とした場合と比較すると，^{133}Xe で84%，^{99m}Tc で86%であり，両者に差はなかった．

II．胸壁に溶解する RI の影響についての検討

^{201}Tl-Cl を用いて，5才児の胸部ファントムでの測定結果を表1に示した．

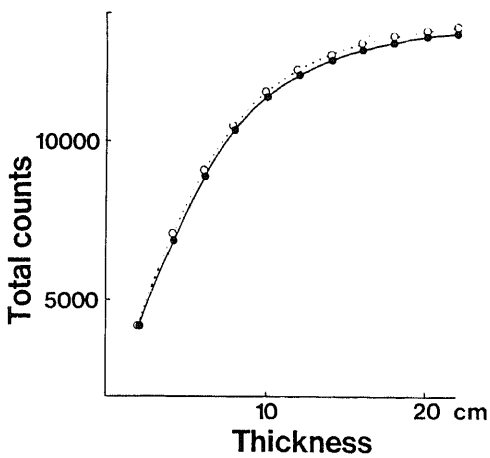


Fig. 4. Relationship between total counts and source thickness of ^{201}Tl-Cl or ^{99m}Tc-MAA. ●—●, observed counts; ○···○, theoretical counts with correction using absorption coefficient of water.

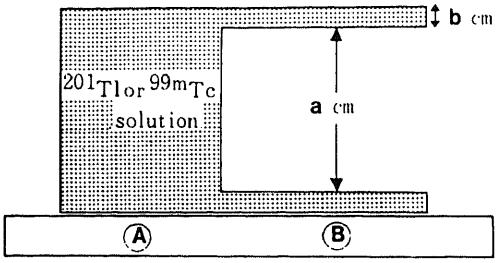


Fig. 5. Schema of evaluation of effect of background using abdominal (A) and chest wall (B) phantom.

Table 1. Relative counts between (A) and (B) obtained from thoraco-abdominal phantom in Fig. 5

solute	Ⓐ	Ⓑ	
^{201}Tl	100	43% (40%)	5-year-old boy phantom a=8 cm b=1.2 cm
^{99m}Tc	100	39% (36%)	
^{99m}Tc	100	48% (42%)	adult phantom a=16 cm, b=2 cm

( ) =corrected values by lung absorption.

腹部に相当する所のカウントを100とすると，胸部は43%であった．これに肺実測吸収係数を用いて補正すると，その値は40%となった．^{99m}Tcは，それよりわずかに低い値を示した．尚，成人のファントムでのデータを併せて示した（図5，表1）．

Ⅲ．乳幼児及び小児の肺機能

1．^{133}Xe ventilation scanningによるwash-in wash-out curve及びその経時的肺イメージ

図6に，典型的な4例についてのwash-in wash-out curveと，同時に撮像した経時的肺イメージを示した．

症例1は，4才女児の心雑音のみの健常児である．左右肺のwash-in curveは，吸入後約30秒で平衡に達した．wash-out curveは，左右及び右上・中・下肺野とも，ほぼ同じ曲線を示し，各肺野のturn-over rate間には，有意の差はなかった．経時的肺イメージでも，全肺野のwash-outは均一であった．左右肺の洗い出し曲線のcompartment analysisではtwo compartmentであった．

症例2は，肺高血圧症（PH）を伴う心室中隔欠損症（VSD）の3才児の症例である．

症例1と異なりcompartment analysisで，左右肺の洗い出し曲線は，three compartmentを示した．経時的肺イメージでは，両上肺野のwash-outの著明な遅延を認め，wash-out後140秒を経ても，^{133}Xeのtrapping像が認められた．

症例3は，同じくPHを伴うVSDの2才男児例である．wash-out curve及び肺イメージで，左肺のwash-out遅延を認めるが，症例2と異り，compartment analysisでは洗い出し曲線は左右肺とも，two compartmentを示した．

症例4は，右下葉の気管支嚢胞に対する，右下葉切除後の4才女児例である．

wash-out後半部は，左右全く同一であるが，初期部分の傾きにわずかの差を認め，両者の λi には，有意の差を認めた．肺イメージでも，右肺のwash-outがわずかに遅れているのが認められた．compartment analysisでは，左右肺ともtwo compartmentであった．

2．対照群におけるVI, PI, VI/PI及びslow compartment(%)

健常者1例に，肺／体・動脈収縮期圧比が40%以下で，胸部レ線検査や肺血管造影上，局所的な異常所見を認めないVSD, ASD軽症例9例を含めた10例を対照群とした．この10例についての各分画のVI, PI, VI/PI及びcompartment analysisより得られたslow compartmentの比率の平均値を，表2に示した．

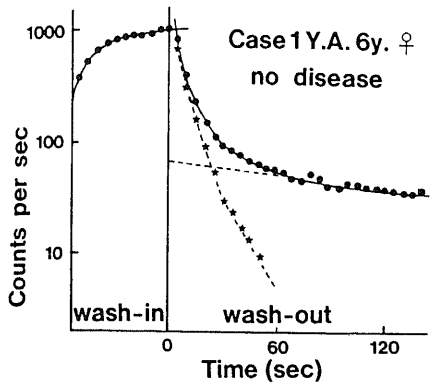
VIでは，ほぼ均一な分布であるが，下肺野が若干低値を示し，上，中肺野と有意の相関を示した．しかし，左右肺には有意の差は認めなかった．

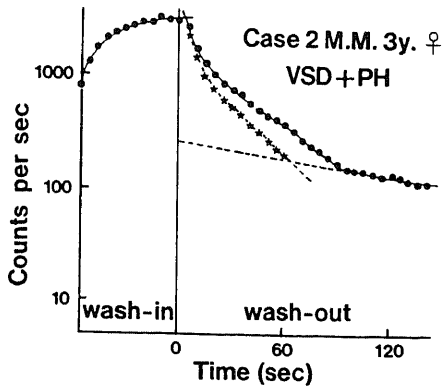
PIは，VIに比してやや不均一な分布を示した．各肺野間及び左右全肺野間に，有意の差が見られた．

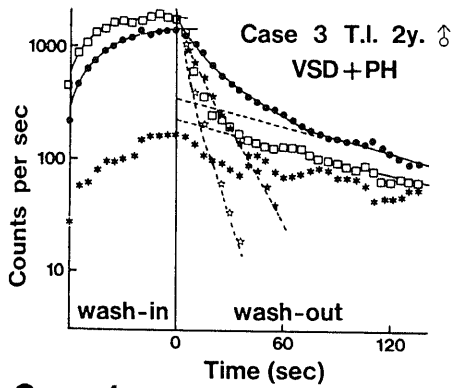
3．年令と半減時間（T 1/2）

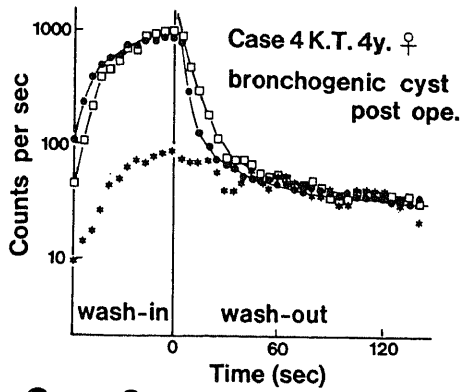
今回換気スキャンニングを行った症例全例について，健常肺野でのT 1/2と年令の関係を，図7に示した．10才を境にして，10才以下と10才以上の間に，T 1/2に有意の差（$p<0.01$）を認めた．1才から10才までには，各年令における有意の差は認められなかった．

Fig. 6. Wash-in and wash-out curve obtained by every 5 seconds data acquisition and images taken every 10 seconds of typical four cases including normal (case 1), VSD with pulmonary hypertension (case 2 and 3) and after partial pulmonary resection for bronchogenic cyst (case 4). Wash-out time (0 and 30 sec) are shown at images. ●—●, left lung; □—□, right lung; *, background; ★—★, fast compartment of left lung; ☆—☆, fast compartment of right lung; ·····, slow compartment of left or right lung; post ope., post operation.

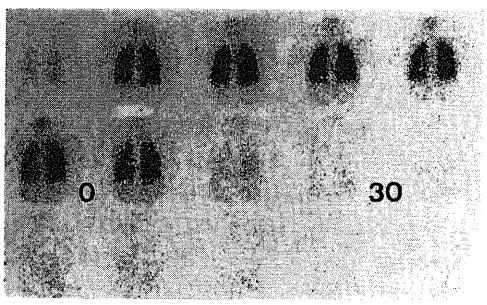




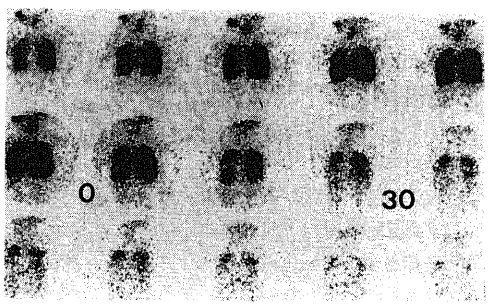




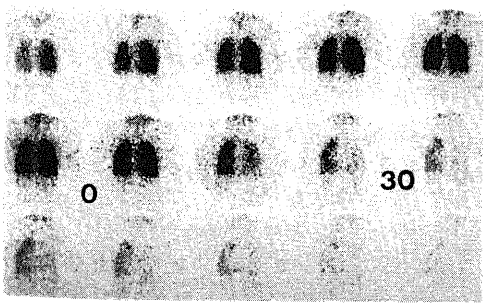
Case 1



Case 2



Case 3



Case 4

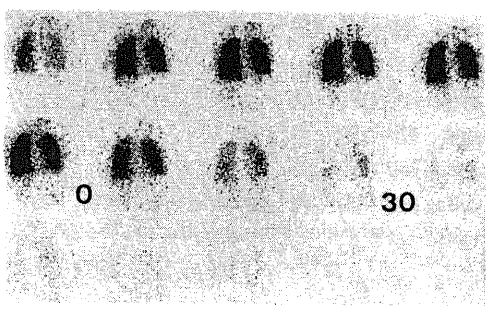


Table 2. Mean value of indices of regional pulmonary function in 10 cases with mild VSD or ASD

	VI		PI		VI/PI		slow compartment(%)	
	R	L	R	L	R	L	R	L
upper zone	1.08±0.12	1.04±0.10	0.87±0.11	0.96±0.06	1.26±0.20	1.09±0.13	12.2±3.5	11.7±1.9
middle zone	1.03±0.10	1.03±0.09	1.19±0.14	1.00±0.13	0.88±0.14	1.04±0.15	10.7±1.9	14.4±5.3
lower zone	0.96±0.10	0.94±0.05	1.06±0.06	0.89±0.08	0.90±0.09	0.98±0.10	12.8±2.5	14.4±4.7
total lung	1.01±0.02	0.96±0.03	1.05±0.07	0.95±0.06	1.05±0.07	0.96±0.07	12.3±1.6	13.7±3.7

R, right lung; L, left lung　　mean±SD

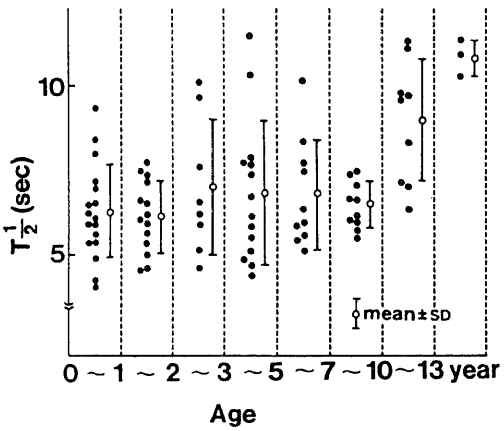


Fig. 7. Comparison of half time (T 1/2) of well ventilated zones and ages in all patients.

4．各疾患群における，換気血流分布

1）肺高血圧症を伴う VSD 群

肺高血圧症を伴う VSD 群の，術前例 10 例の換気血流分布を図 8 の①に示した．VI は，左肺で著明な低下を示している例が多く認められた．10 例中，左肺全体低下例が 4 例，左肺下葉低下例が 3 例，両肺尖低下例が 1 例，右下葉低下例が 1 例であった．PI は，1 例を除いて，VI の低下領域と同じ領域の低下を認めた．上肺野の PI が下肺野の PI より高値を示す，いわゆる上下の血流分布の逆転は，10 例中，左肺にのみ 4 例認められたが，両側の逆転例は 1 例も認めなかった．

banding 術後早期再検例 3 例では，改善例 2 例，不変例 1 例であった．

図 9 に，術前（生後 6 ケ月目）banding 後（生後 1 年 9 ケ月目），根治術後（生後 1 年 11 ケ月目）の，換気血流係数の推移を示した．術前，banding 後，根治術後となるに従い，局所的な換気血流障害が改善して来ているのが認められた．特に根治術後では，換気血流とも，極めて均一な分布を示した．

2）ファロー四徴症

図 8 の②に，ファロー四徴症 6 例についての，換気血流分布を示した．

VSD＋PH 群とは逆に，VI は左右比較的均一な分布を示しているが，PI は，右肺低下例が 3 例認められた．2 例は，局所換気低下を認めなかったが，胸部レ線上 hyperlucent lung を呈した 1 例は VI の低値を示した．T 1/2 は，4 秒前後と短かい例が多かった．

3）PH を伴わない VSD 及び ASD 群

VI, PI, VI/PI とも，ほぼ均一な分布を示すが，左下肺野の VI, PI に，やや低下を示す例が見られた（図 8 の③）．しかし，血流スキャン 4 方向イメージ上，左下肺野の局所的な低下は認められなかった．

4）PDA 群

PDA 症例 6 例について，換気血流分布を示した．今回の症例の中には，著名な PH を伴った例がなく，比較的均一な分布を示した（図 8 の④）．左下肺野の PI は低値を示したが，軽症の VSD や ASD 群と同様，4 方向血流スキャンイメージ上では，局所的な血流低下は認められなかった．

5）漏斗胸群

漏斗胸症例 7 例についての換気血流分布を，図 8 の⑤に示した．

7 例中，両下肺野の VI, PI 低下の例が 1 例，左右下肺野の低下例が各々 2 例づつ認められた．このうち，胸骨翻転術後の 2 例についての再検では，いずれも同部位の VI, PI の上昇を見たが，少数例であるため，有意差は認められなかった．

6）乳幼児期，及び小児期肺切除後症例

乳幼児期又は小児期に，肺切除を受けた 10 例について，術後の換気血流スキャンの結果を表 3 及び図 10 に示した．肺葉切除群と，部分切除群に分けて示した．

肺葉切除群6例の平均VIは，部分切除群の平均より，わずかに高値を示したが，有意差は認めなかった．しかし，肺葉切除群のPIは，有意（$p<0.005$）の低値を示した．

スパイログラフィー（一部は年少児のため，測定不能）では，両群の間に著明な差は認めなかった（図10）．

術側肺の^{99m}Tc血流スキャンより得られた相対的血流量（P%）と^{133}Xe肺スキャン吸入平衡時より得られた相対的肺容量V_{max}%との相関，及びP%とV_{max}×VI%の相関を，図11に示した．P%とV_{max}%は有意

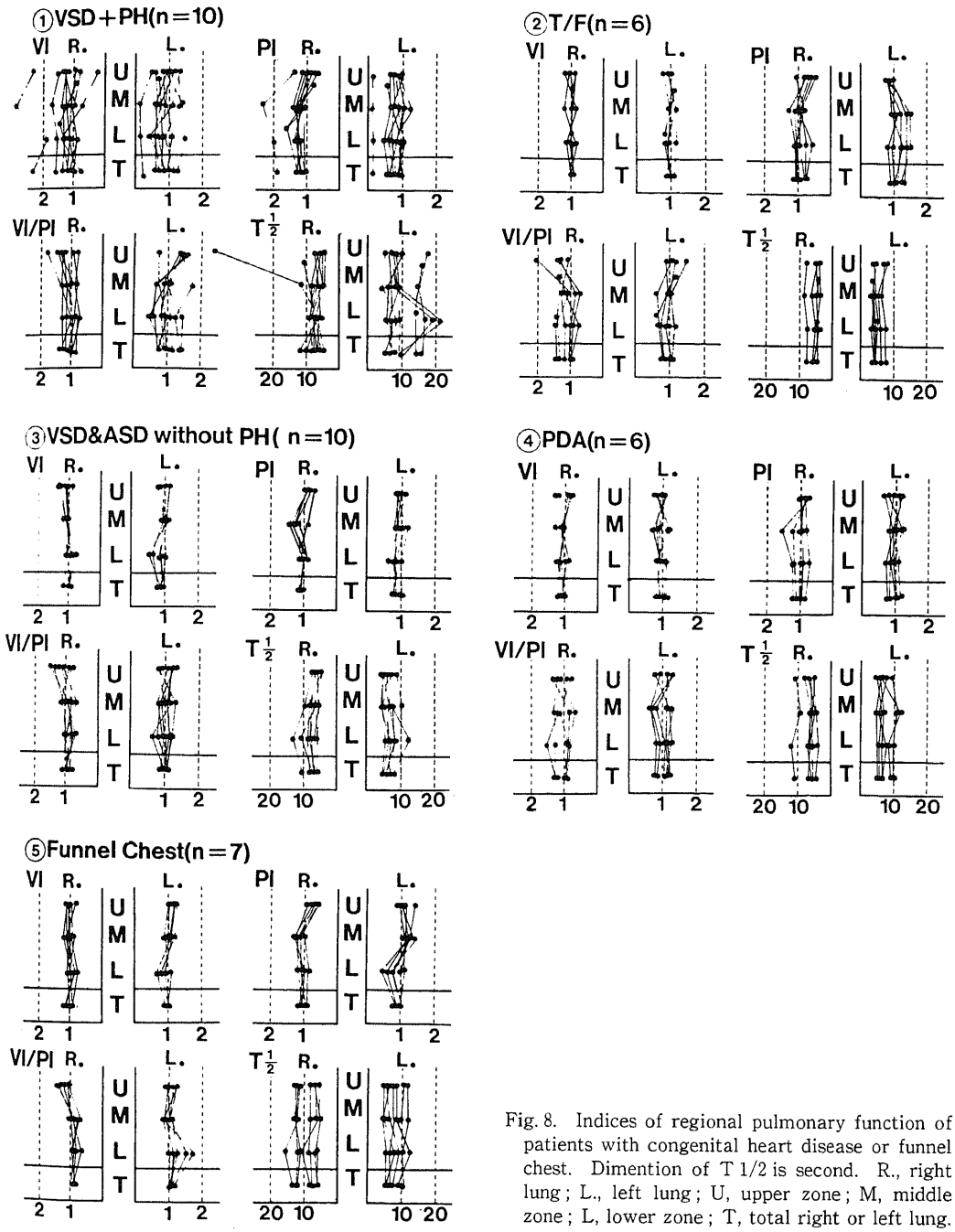


Fig. 8. Indices of regional pulmonary function of patients with congenital heart disease or funnel chest. Dimention of T 1/2 is second. R., right lung; L., left lung; U, upper zone; M, middle zone; L, lower zone; T, total right or left lung.

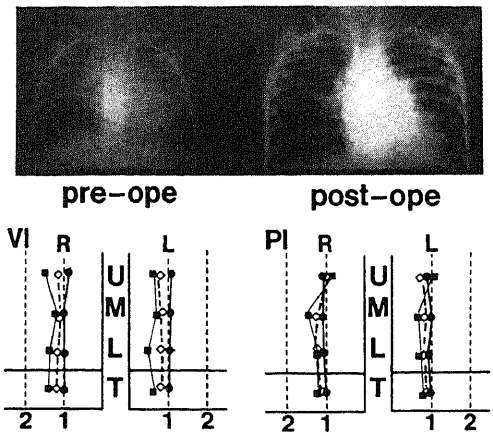


Fig. 9. Chest radiograph and regional pulmonary function indices at pre- and post-operative state of a patient with VSD+PH. ■, pre-operative; ◇, post banding operation; ●, post radical operation; pre-ope, pre-operative; post-ope, post radical operation.

($p<0.005$) に相関し，相関係数は 0.878 であった．

P%と ($V_{max.}\times VI$)%は，更に高い相関 ($r=0.944$, $p<0.005$) を示した．2者の相関係数間の有意差は認めないものの，P%と($V_{max.}\times VI$)%が，極めて近い値を示した．術後経過年数と，術側肺の相対的血流低下との間には，有意の相関を認めなかった．

Table 3. Comparison of relative ventilation and perfusion indices between operated and non-operated sites in the patients with previous pulmonary resection

cases	Vmax.(%) ope.	Vmax.(%) no	Vmax.×VI(%) ope.	Vmax.×VI(%) no	P (%) ope.	P (%) no	operation	post-ope.
1. K.M. 8 y.	40.9	59.1	35.0	65.0	32.9	67.1	lobectomy	8 years
2. M.Y. 13 y.	40.2	59.8	31.3	68.7	30.7	69.3	lobectomy	8 years
3. K.N. 6 y.	38.4	61.6	36.2	63.8	26.2	73.5	lobectomy	5 years
4. E.N. 6 y.	44.3	55.7	32.3	67.8	22.3	77.7	lobectomy	5 years
5. A.T. 15 y.	44.1	55.9	33.4	66.6	33.5	66.5	lobectomy	4 years
6. K.T. 4 y.	43.8	56.2	37.0	63.0	27.3	72.7	lobectomy	2 weeks
7. M.N. 7 y.	44.6	55.4	38.1	61.9	40.9	59.1	partial res.	7 years
8. M.K. 11 y.	53.4	46.4	45.7	54.3	44.1	55.9	partial res.	1 years
9. M.Y. 11 y.	46.4	53.6	38.8	61.2	41.3	58.7	segmentectomy	2 months
10. Y.M. 5 y.	37.4	62.6	27.4	72.6	37.3	62.7	segmentectomy	2 weeks

Patients' ages at ventilation and perfusion study were shown. Vmax. (%), relative peak counts of the regional wash-in curve against peak counts of the wash-in curve of the total lung; P (%), relative counts of the region in perfusion scanning against counts of the total lung; ope., operated site; no, non-operated site; post-ope., time after operation; operation; partial res., partial resection.

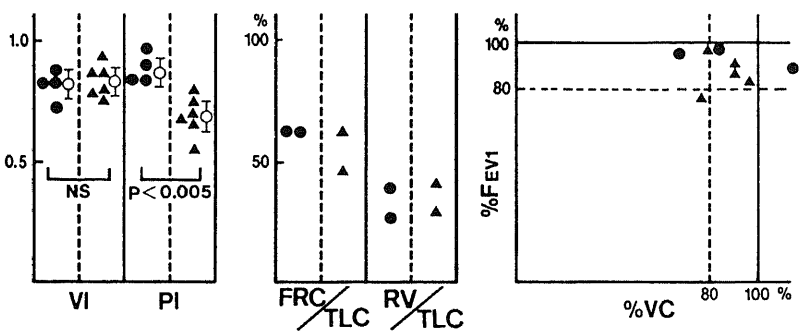


Fig. 10. Indices of post-operative pulmonary function in patients with previous pulmonary resection. ▲, lobectomy; ●, partial pulmonary resection; ⊕, mean±SD.

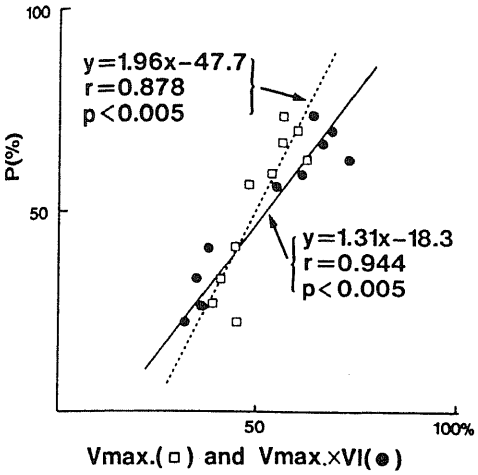


Fig. 11. Correlation between relative ventilation and perfusion values of left lung in the patients with previous pulmonary resection. V_{max}(%) and P% and the same meanings as shown in table 3.

7）hyperlucent lung を呈した症例

図12に，左大葉性肺炎経過中に，左肺の unilateral hyperlucent lung を呈した症例の，胸部レ線写真と，換気血流スキャンのデータを示した．換気スキャンでは，左肺の wash-in wash-out の著しい遅延を示し，血流スキャンで，左肺の著明な血流低下を示した．加療後(図12右)，wash-in wash-out の改善が認められた．他に，胸部レ線上 hyperlucent lung を示した症例は，VSD+PH 群に3例，ファロー四徴症に1例認めた．hyperlucent lung を呈した原因としては，ファロー四徴症の1例を除いて，太い気管支領域の病変によるものであった．これらの症例での RI 所見も，^{133}Xe wash-in wash-out の遅延と^{99m}Tc perfusion scanning で血流減少を示した．

考　　察

成人に対する RI を利用した肺機能検査の歴史は古く，1955年の Knipping ら[5]の報告にはじまる．以後，基礎的な研究[6)~15)]に加え，種々の臨床的応用[16)~18)]がなされている．その多くは成人を対象にしたもので，乳幼児や小児についての報告[19)~21)]は少なく，その多くが，定性的な検討に限られており，定量的分析を行った報告は極めて少ない．従来から成人に用いられて来た定量的方法では，その測定装置そのものが成人用であることに加え，呼吸停止条件など，患者の協力を必要とするものが殆んどである．小児，特に乳幼児に対し，局所換気血流両者の定量的な測定を行うとする試みは，著者らの報告[22]が最初と思われる．鎮静を得るために，ケタラール麻酔という人為的要素は避けられないが，その測定装置及び，測定方法は，新生児より応用可能であり，実際，生後1ケ月以内の患児において，充分な検索が行い得た．最近，金田[23]は，乳幼児に対し，気管内挿管を施し，全身麻酔下に定量的測定の試みを報告しているが，気管内挿管を前提としているため，6ケ月以下の乳児には，応用していない．

RI を用いた定量的肺機能測定上の問題点として，次の2点があげられる．1つは，実際の換気量や，血流量の代わりに，体内に取り込まれた放射性物質から出る放射線を体外から測定しているために，その放射線が検出器に至るまでに，その特性に応じて，吸収，散乱といった影響を受け，検出器より離れた部位程そのカウント数が低下すること．もう1点は体内組織や血液への使用した核種の溶解性の問題があり，定量的測定の際に制約を受ける[24]ことである．吸収，散乱による3次元的影響についての今回の基礎的検討より，5才児の胸厚（肺の最長前後径8 cm）では，^{133}Xe，^{99m}Tc とも，検出器より最も離れた前胸壁側のカウント率は，後胸壁側を100とすると，各々68.8%，78.6%と比較的よく検出されることが示された．又，その際の^{133}Xe と^{99m}Tc の厚さ8 cm の容積線源の計数効率は，ほぼ同等であった．従って，^{133}Xe と^{99m}Tc とは本質的に異ったエネルギー特性を有するものの，その各々の相対量を比較する場合は，そのエネルギー差は，殆んど無視し得ると考えられた．もちろん，検出器より離れた部位のみに病変を有する様な例では，後胸壁にある場合より，測定値に反映されにくいことは念頭に置く必要はあろう．これを補う意味で，著者は，定量的測定後，^{99m}Tc 血流スキャンニングの4方向イメージ像を撮像し，参考としている．

計数効率の問題とは別に，^{133}Xe を血流量測定に用いなかったもう一つの理由は，^{133}Xe の場合，測定中，呼吸停止という条件が必要となるためである．したがって，^{133}Xe では，呼吸停止という非生理的状況下の血流量を測定していることになる．さらに今回の一連の測定結果を見ると，乳幼児，小児に見られる局所肺血流障害の原因の多くは，局所の換気障害によるものであった．その点，^{99m}Tc-MAA は，呼吸停止を必要とせず，自然呼吸下の血流分布の測定が可能であり，ventilation scanning に用いた^{133}Xe とのエネルギー差による計数効率の差の欠点を充分補いうるものと考えている．

より絶体量に近い測定を行うという試みは，久田ら[25]の medical universal human counter を用いた方

法や，Fleming ら[26]や，町田ら[27]の transmission computed tomography が工夫されているが，換気血流動態を経時的に測定する方法は，まだ実用化に至っていない．

^{133}Xe 再呼吸法における換気スキャンニングの最大の欠点は，^{133}Xe が，わずかながら体液に溶解することである．そのために wash-out 後半に，胸壁や肺組織に溶解したものや，再び肺に環ってくる^{133}Xe の影響がでてくる[24]．再呼吸法で^{133}Xe の吸入を行わせる場合，その影響が大きく，その補正を行う必要がある[6)~14)]．その方法には，肺外体部のカウントを測定し，それを差し引く方法と[28)29)]，wash-out curve の後半部を，back projection 法により差し引く方法[10)30)]が行われている．

著者の胸壁ファントムの測定より，胸部のカウントは腰部の 40%の値を得た．これを，臨床例に当てはめ

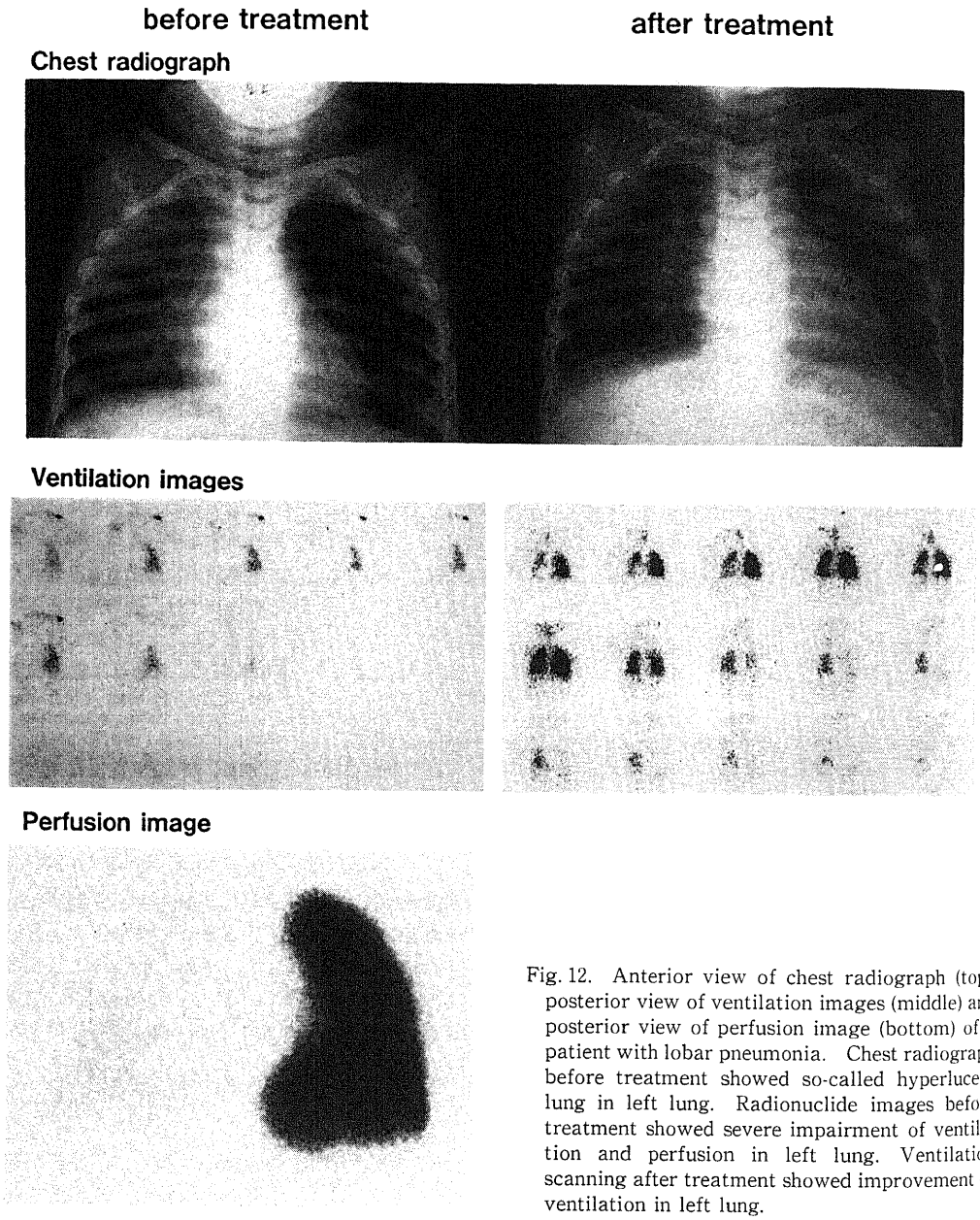


Fig. 12. Anterior view of chest radiograph (top), posterior view of ventilation images (middle) and posterior view of perfusion image (bottom) of a patient with lobar pneumonia. Chest radiograph before treatment showed so-called hyperlucent lung in left lung. Radionuclide images before treatment showed severe impairment of ventilation and perfusion in left lung. Ventilation scanning after treatment showed improvement of ventilation in left lung.

て見ると，Initial slope 法による T 1/2 が，極めてわずか小さくなるが VI の値には影響がなかった．又，compartment analysis で，補正後の slow compartment の比率が換気の良い部位で補正前の，約 50%の低下を見たが，換気不良部位では，補正の影響は極めて小さいものであった．又，今回の様に 1 分間程度の再呼吸では，腰部のカウントは極めて小さく，胸壁補正が必ずしも必要ないと考えられた．ただ，肺外カウントを測定することは，wash-out curve 後半部の評価上，必要であると考えられる．

現在行われている，^{133}Xe を利用した肺機能検査のうち，被検者の協力を得られない小児に応用し得る方法は，再呼吸法によって得られる wash-out curve を分析する方法が唯一の方法であろう．

wash-out curve の分析法には，著者が使用した Initial slope 法や，Zieler[31]や，木村ら[32]の height over area 法（H/A 法）などの noncompartment analysis の他に，compartment analysis 法[28]がある．

wash-out curve は，2 つ以上の指数函数の合成されたものであり[10][28]，従って，洗い出し初期部分の，傾きや T 1/2 は，このいくつかの compartment を包含しており，これらの成分の比率の大きいものから影響を受ける．

しかし，λi や T 1/2 は，その局所を全体としてとらえた時の換気効率と考えて，臨床応用することは，極めて有用なパラメーターと考えられる．又，胸壁補正後の curve が mono-compartment となる様な例では

$$\lambda_i = \frac{\log 2}{T\ 1/2} = \frac{V_{it}}{V_i} \qquad \begin{array}{l} V_i,\ \text{局所肺容量} \\ V_{it},\ \text{局所換気量} \end{array}$$

の関係が成立し，これより局所換気量も推定し得る利点がある．

Secker-Walker ら[29]は，Initial slope 法は洗い出し曲線の初期相にウェイトが置かれるのに対し，H/A 法は洗い出し曲線の全経過を用いて局所換気能を決定できると報告している．しかし，Henriksen ら[30]も指摘している様に，換気障害例では，slow compartment に過剰のウェイトがおかれてくる．又，胸壁補正や判定に用いる時間設定によっても，大きく変動するパラメーターである．

non-compartmant analysis 法は，局所のいくつかの要素を全体としてひとまとめにして，総合的な換気能力指数としてとらえているのに対し，compartment analysis 法は，局所の slow compartment を良くとらえられるという，大きな利点がある[28]．しかし小児では，得られる count 数が小さく，compartment analysis を行うには，測定誤差が大きくなるきらいがある．

しかし著者の装置の様に，充分な^{133}Xe を吸入を行えば compartment analysis も可能となる．金田[23]は compartment analysis を行う際，高い count 数を得るために，全肺野の wash-out curve で分析すべきであると報告しているが，全肺野の wash-out curve の分析を行う際，いくつかの問題点がある．1 つは，RI を利用した肺機能測定における最大の長所である局所的な観点を損なう恐れがある．第 2 に，全肺野の wash-out curve から得られた，第 2，第 3 の compartment といっても，肺内に，この様な単一の compartment が存在するとは限らない点である．これらは，肺各所の種々の値をとる compartment の寄せ集まりであり，更に，気道などによる死腔などの修飾を受けたものである[28]．従って，全肺野の wash-out curve から得られる第 2，第 3 の compartment の意味付けには慎重を期す必要がある．測定方法の改善などにより，局所のカウントを高くする工夫がより必要と思われる．

今回，健常乳幼児の検索は行い得なかったが，対照群とした 10 例についての，換気血流分布を見ると，VI（$\lambda i/\lambda t$）は，ほぼ均等な分布を示したが，肺底部がやや低い傾向を示した．PI は，肺尖及び左下肺野に低値を示したが，これは matrix あたりの平均値を用いたため，心臓などによる，3 次元的な影響が出たものと考えられた．又著者の用いた VI（$\lambda i/\lambda t$）は，局所の肺容量の影響を受けない値であるのに対し，PI の方は局所肺容量の影響の強い値となる．

Bryan ら[13]，Inkley ら[9]の，健常成人での，体位による換気血流分布の研究によると，立位では，肺尖より肺底部にかけ，換気，血流とも増加するが，臥位では均等になると報告している．

Inkley ら[9]は，立位で認められた換気血流不均衡は，臥位では消失すると報告している．又，今回の検索の対象の多くが，心肺疾患を有しており，安全を期するため，回路内ガスは 100%O_2を用いて行ったが，Bryan ら[7]は 100%O_2による換気血流分布への影響を認めなかったと報告している．

従って，対照群とした 10 例についての VI, PI, VI/PI は，成人臥位の所見と本質的な差異はない様に思われた．

全例についての T 1/2 と，年令との関係では，10 才まで，統計上有意差を認めなかったが，これは，各種の疾患が混在していることや，麻酔処置などの影響によるものであろう．

心疾患でのアイソトープを利用した局所肺機能の検討は，主として肺高血圧症を伴う疾患について，血流分布異常を問題にしたものが多い[19][33][34]．

著者の検討した，PH を伴う VSD 例では，他群に比

し，高度の局所の換気血流障害を伴う例が多かった．ほとんどの例で，この疾患群によく見られる肺尖，hyperlucent lung，無気肺などのレ線所見と一致した部位に，局所換気血流の低下が認められた．banding後，根治術後と経過を追って測定し得た例で，この局所的換気血流の低下が改善されている事を考え合わせると，乳幼児におけるPH例の局所換気血流障害は，換気障害が主体であり，血流障害は，それに伴う2次的なものと考えられた．

Sămánek ら[33]もbanding後の症例21例について，術直後より8年にわたって，血流スキャンを施行し，8割に局所的な換気血流障害を認め，その障害は，左肺に多く，血流低下の原因として，換気障害が大きく関与しているのではないかと報告している．

肺高圧症を伴う心疾患では，3才を越える頃より，PHの進行や，加令に従い，上肺野の血流が下肺野に比して高くなり，これらの例での手術成績不良例が多いとの報告もある[34]．今回の10例中には，上下肺野の血流比の逆転例はなく，逆に，換気障害に伴う上肺野の血流低下例が多かった．

上下肺野の血流逆転はEisenmenger化を示唆するものであり，乳幼児期にEisenmenger化する例もあり[35]，VSD＋PHの手術適応決定にRIを利用した肺スキャンによる評価が有用と思われる．

ファロー四徴症では，T 1/2の短い例が多く認められたが，これはcyanosisに伴う多呼吸によるものであろう．局所的な所見として，2例に肺血管の発育異常によると思われる血流低下を認め，1例は全く換気障害を伴っておらず，この疾患群の特徴と考えられた．

小川ら[34]は，ファロー四徴症における血流障害と，術後予後との関連について報告し，血流分布障害のない例では，術後経過良好であったが，右肺や両側肺に局所的な血流障害を認める時は，一次的根治手術の予後は極めて不良であったと，報告している．

ファロー四徴症に対する，^{99m}Tc肺スキャンニングは，(1)右左シャント率の測定[36]，(2)肺局所血流障害の有無より手術術式の選択，(3)術後経過や種々の合併症の診断[34]等の点において，極めて有用である．心カテーテル法などを違って，侵襲も少なく，術前術後反復して行えることより，今後更に用いるべき方法と考えている．

漏斗胸例では下肺野の換気血流の低下例が多く認められ，術後検索した2例とも，下肺野の各係数の上昇が認められた．この疾患群の胸郭異常により，両下肺野の胸厚の扁平化，縦隔の偏位による左下葉の圧排，呼吸時の胸郭運動の変化などが，その要因と考えられる．

漏斗胸患者の全肺機能についての報告は，かなり以前からある[37]．その障害については，報告者により若干差はあるが，その多くは肺容量は変わらないが肺活量が減少し，残気量が大きくなるという報告がある[38][39]．Weg ら[40]は，最大換気量が低下すると報告している．Hansen ら[37]は，今回の2例と同様，術前，術後の肺機能を比較し，術後，肺機能の改善を見たと報告している．しかし，局所肺機能についての報告は見当たらない．今後，更に局所肺機能的見地からの検討を加えるべきと思われる．

乳幼児及び小児期の外科的対象となる肺疾患は，かつて，肺感染症，結核に対するものが主流をなしていたが，内科的治療の進歩に伴い，これらは姿を消し，肺嚢胞性疾患が主体となって来た[1][41][42]．

心疾患同様，これらに対する乳幼児期における手術療法の安全性は高くなっているが，術後長期の肺機能については，報告も少なく，又その評価も必ずしも充分なものとは言えない．今回の肺切除術後長期例についての測定結果より，その残存肺の長期予後についての様態が，明らかになった．すなわち，手術時年令に関係なく，その切除範囲が大きい程，長期予後においても，術側肺の機能低下が著しい事が明らかとなった．又，肺容量は比較的改善を示すものの，換気量や血流低下が著明であった．このことは，乳幼児期の肺葉切除例でも，残存肺は単に，肺容量を増すのみで，肺胞や血管床の増加が伴っていないものと推定された．

小児期に肺全剔術例の肺機能予後については，過激な運動を行わない限り，残存肺が心肺機能をよく代償し，比較的予後良好との報告[43]もあるが，植田ら[42]は，新生児期の肺全剔例で，身体及び知能に著しい障害をきたした1例を報告している．新生児期，乳児期の肺全剔術は，万難を排して避けるべきであることは，論を待たない．

肺葉切除の予後に関しては，比較的予後良好との論文が多い．Engel[44]は，5才以下で肺葉切除が行われた例では，新たな肺胞が形成され，残存肺は十分発育するが，5才以上では，肺胞は膨脹するが，数は増加しないと報告している．小川ら[45]は，肺切除後の肺血流スキャンニングを検討して，同様の所見を得たと報告している．しかし秋山ら[46]は血流スキャンニングより，肺葉切除例で，血流障害が長期にわたって残存している症例を報告している．

既に渡辺ら[41]が報告している様に，乳幼児期においても，肺切除は可及的小範囲にとどめるべきであり，今回の結果は，それを強く支持する所見といえる．

結　　論

乳幼児や小児に対し，RIを利用した肺機能検査を考

案し，基礎的及び臨床的検討を行い，以下の結論を得た．

1)肺の実測吸収係数は，^{133}Xe で 0.0449 cm^{-1}，^{99m}Tc で，0.0384 cm^{-1}であった．5 才児の胸厚(約 8 cm)で，後胸壁側の検出器に対する計数効率を 100 とすると，前胸壁側の計数効率は^{133}Xe で 68.6%，^{99m}Tc では 73.6%であった．これより 8 cm の容積線源での，^{133}Xe と^{99m}Tc の計数効率は，各々84%と 86%で，その差は極めてわずかであった．

2)著者が開発した循環閉鎖回路により，^{133}Xe の高い肺濃度が得られ，6 分画肺の wash-out curve の分析が充分に行い得た．

3)胸壁ファントムにおいて，^{133}Xe についての腰部と胸壁とのカウント比は，1：0.4 であった．これを用いて胸壁補正を行うと，wash-out curve の slow compartment が最大 50%の減少を見たが，fast compartment や T 1/2 への影響は少なかった．

4) ^{133}Xe wash-out curve の分析上，Initial slope 法は，換気障害の程度の判定に有用であり，compartment analysis 法は，障害の型分類に有用であった．

5)PH を伴う VSD 例では，他群に比し，高度の局所の換気及び血流障害を認める例が多かった．その際，換気障害が主体をなしており，血流障害は，それに伴う二次的変化と考えられた．根治術後再検例では，両者とも改善を見た．

6)ファロー四徴症では，T 1/2 の短い例が多く，血管の発育異常によると思われる局所血流低下例が認められた．

7) PH を伴わない VSD, ASD 及び PDA 群では，比較的均一な換気血流分布を示した．

8) 漏斗胸症例では，胸郭の変形，縦隔の偏位に伴い，両下肺野の換気及び血流の低下例が認められた．

9) 乳幼児期に肺切除を受けた症例では，術後長期経過例でも，術側肺の換気及び血流の低下が認められ，切除範囲の大きいもの程，その低下が著明であった ($p<0.005$)．その際，血流低下がより著明であり，術側肺の相対的肺血流量は，相対的肺容量と換気係数との積と有意の相関を示した ($p<0.005$)．

10) レ線上，hyperlucent lung を示した例では，その局所の換気及び血流の低下が認められたが，特に換気の低下が著明であった．

以上の結果より，著明の考案した^{133}Xe ventilation scanning と^{99m}Tc perfusion scanning を併用した肺機能検査法は，新生児から応用可能であり，従来の肺機能検査法の応用しえない乳幼児や小児にとって，極めて有利かつ有用な検査法であることが分った．

謝　　辞

稿を終えるにあたり，御指導と御校閲を賜わりました恩師岩　喬教授に深甚なる謝意を表します．又，本研究に御助言，御指導をいただいた第一外科学教室渡辺助教授，並びに核医学教室分校，油野両講師，中嶋助手の諸先生方に厚く感謝の意を表します．

尚，本論文の要旨の一部は，第 14 回日本小児外科学会総会 (1977 年)，第 16 回日本小児外科学会総会 (1979 年)，第 17 回日本小児外科学会総会 (1980 年) において発表した．

文　　献

1) **岩　喬・石田卓也・田口善作・杉木健司・和田寿郎**：新生児期，乳幼児期における胸部外科的疾患と呼吸障害．小児外科・内科，**1**, 29-39 (1969).

2) **Doershuk, C. F., Domns, T. D., Matthews, L. W., Lough, M. D.**: A methods for ventilatory measurement in subjects 1 month to 5 years of age. Normal results and observations in disease. Pedia. Res., **4**, 165-174 (1970).

3) **雉本忠市・近藤信哉**：新生児の肺機能．小児医学，**7**, 517-539 (1974).

4) **小田禎一**：小児の呼吸・循環生理の基本問題．呼と循，**25**, 1067 (1977).

5) **Knipping, V. H. W., Venrath, H, Valentein, H., Ludes, H. & Endler, P.**: Eine neue Method zur Prufung der Herz und Lungen Function. Dtsch. Med. Mschr., **80**, 1146-1147 (1955).

6) **Ball, W. C., Stewart, P. B., Newshaw, L. G. S. & Bates, D. V.**: Regional pulmonary function studied with xenon^{133}. J. Clin. Invest., **42**, 519-531 (1962).

7) **Bryan, A. C., Bentivoglio, L. G., Beerel, F., MacLeish, H., Zudulka, A. & Bates, P. V.**: Factors affecting regional distribution of ventilation and perfusion in the lung. J. Appl. Physiol., **19**, 395-402 (1964).

8) **Loken, M. K. & Westgate, H. D.**: Using Xenon-133 and a scintillation camera to evaluate pulmonary function. J. Nucl. Med., **9**, 45-49 (1968).

9) **Inkley, S. R. & MacIntyre, W. J.**: Dynamic measurement of ventilation-perfusion with Xenon-133 at resting lung volume. Am. Rev. Resp. Dis., **107**, 429-441 (1973).

10) **木村敬二郎・長谷川鎮雄・杉本　徹・有水　昇**：Xe-133 を用いた換気 steady state 法による局所肺機能測定法の検討(1)．Radioisotopes, **24**, 689-699 (1975).

11) **Anthonisen, N. R. & Millic-Emili, J.**: Distribution of pulmonary perfusion in erect man. J. Appl. Physiol., **21**, 760-766 (1966).

12) **Kaneko, K., Millic-Emili, J., Dolovich, M. B., Dawson, A. & Bates, D. V.**: Regional distribution of ventilation and perfusion as a function of body position. J. Appl. Physiol., **21**, 767-777 (1966).

13) **Bryan, A. C., Millic-Emili, J., Macklem, P. T. & Pengelly, D.**: Effect of the gravity on the distribution of pulmonary ventilation. J. Appl. Physiol., **21**, 778-784 (1966).

14) **Millic-Emili, J., Henderson, J. A. M., Dolovich, M. B., Trop, D. & Kaneko, K.**: Regional distribution of inspired gas in the lung. J. Appl. Physiol., **21**, 749-759 (1966).

15) **Sutherland, P. W., Katsura, T. & Millic-Emili, J.**: Previous volume history of the lung and regional distribution of gas. J. Appl. Physiol., **25**, 566-574 (1968).

16) **Bentivolgio, L. G., Beerel, F., Bryan, C., Stewart, P. B., Rose, B. & Bates, D. V.**: Regional pulmonary function studied with Xe-133 in patients with bronchial asthma. J. Clin. Invest., **42**, 1193-1200 (1963).

17) **Dollery, C. T. & West, J. B.**: Regional uptake of radioactive oxygen, carbon monoxide and carbon dioxide in the lungs of patients with mitral stenosis. Circul. Res., 8, 765-771 (1960).

18) **Dowson, A., Kaneko, K. & McGreger, M.**: Regional lung function in patients with mitral stenosis studied with Xe-133 during air and oxygen breathing. J. Clin. Invest., **44**, 999-1008 (1965).

19) **Gordon, I., Helms, P. & Fazio, F.**: Clinical applications of radionuclide lung scanning in infants and children. Brit. J. Radiol., **54**, 576-585 (1981).

20) **内山 暁・杉本和夫・堀田とし子・有水 昇**：Kr-81m による小児気管支喘息の肺換気能検査．日医放会誌，**39**, 499-505 (1979).

21) **後呂みゑ・中島英彦**：呼吸器疾患のアイソトープ診断．小児外科，**11**, 929-934 (1979).

22) **木原鴻洋・細川 治・寺中正昭・土屋和弘・上山武史・岩 喬・分校久志・久田欣一**：乳幼児肺機能の測定ーとくに乳幼児先天性心疾患について．日小外会誌，**13**, 234 (1977).

23) **金田正徳**：Xe-133 を用いた小児肺機能検査法の開発と乳幼児開心術症例への応用．日胸外会誌，**30**, 1924-1939 (1982).

24) **Matthews, C. M. E. & Dollery, C. T.**: Interpretation of Xe-133 lung wash-in and wash-out curves using an analogue computer. Clin. Sci., **28**, 573-590 (1965).

25) **Hisada, K., Ohba, S. & Matsudaira, M.**: Isosensitive radioisotope scanning. Radiology, **88**, 124-128 (1967).

26) **Fleming, F. S., Goddard, B. A. & Rayner, D. L.**: Regional ventilation assessment by transmission scintigraphy. A preliminary report. Acta. Radiol., **12**, 416-424 (1973).

27) **町田喜久雄・西川潤一・大獄 達・飯尾正宏**：動態肺トランスミッションシンチグラムの Temporal Fourier Transform. Radioisotopes, **31**, 195-196 (1965).

28) **山田公二・杉田 実・杉本 亮・目島幸子・木村和文・久住佳三**：肺局所 Xe-133 洗い出し曲線の解析ーシミュレーションモデルの導入ー．核医学，**12**, 261-271 (1975).

29) **Secker-Walker, R. H., Alderson, P. O., Wilhelm, J., Hill, R. L., Markham, J., Baker, J. & Potchen, E. J.**: The measurement of regional ventilation during tidal breathing ; a comparison of two methods in healthy subjects, and patients with chronic obstructive lung disease. Br. J. Radiol., **48**, 181-189 (1975).

30) **Henriksen, O., Lonborg-Jensen, H. & Rasmussen, F. V.**: Evaluation of a method for determination of mean transit time of Xe-133 in the lungs. J. Nucl. Med., **21**, 333-341 (1980).

31) **Zieler, K. L.**: Equations for measuring blood flow by external monitoring of radioisotopes. Circ. Res., **16**, 309-321 (1965).

32) **木村敬二郎・長谷川堯・渡辺 宏・長谷川鎮雄・大島統男・秋貞雅祥**：Xe-133 安静換気法，静注法による平均洗い出し時間及び肺機能分布図の臨床的評価．日胸疾会誌，**19**, 252-259 (1981).

33) **Šamánek, M., Fišer, B., Ruth, C., Tůma, S. & Hučín, B.**: Pulmonary blood flow distribution after banding of pulmonary artery. Brit. Heart J., **37**, 37-45 (1975).

34) **小川恭一・石川 昇・宮田 亮・中村 敬・長谷川護・両山章二**：循環器疾患のアイソトープ診断．小児外科，**11**, 935～943 (1979).

35) **岩 喬・馬原文彦・宇野弘昌・沢田晃治・和田寿郎**：乳幼児心臓手術 324 例の知見．胸部外科，**22**,

575-582 (1969).

36) **瀬戸　光・松平正道・久田欣一**：等感度スキャンニングによる心内右ー左短絡率の定量的測定法. Radioisotopes, **27**, 579-583 (1978).

37) **Hansen, J. L. & Jacoby, O.**: The respiratory function before and following surgery in cases of funnel chest. Acta Chirurgica Scandinavica, 111, 226 (1956).

38) **Ravitch, M. M.**: Congenital deformities of the chest wall and their operative correction, p 127-144, W. B. Saunders, Philadelphia, 1977.

39) **Fink, A., Rivin, A. & Murray, J. F.**: Pectus excavatum: An analysis of 27 cases. Arch. Intern. Med., **108**, 427-437 (1961).

40) **Weg, J. G., Krumholz, R. A. & Harkleroad, L. E.**: Pulmonary dysfunction in pectus excavatum. Am. Rev. Resp. Dis., **96**, 936-945 (1967).

41) **渡辺祥宇・木原鴻洋・般木芳則・船田　隆・山田哲司・岩　　喬**：小児の嚢胞性肺疾患に対する外科治療. 日小外会誌, **15**, 101-108 (1979).

42) **植田　隆・川上厚志・正岡　昭・佐谷　稔・大隈義彦・上田　武・岡本英三・関　保平・鯨岡　寧**：先天性肺嚢胞症についてー2例（生後13日のpneumonectomy例と生後5ケ月のlobectomy例のfollow upをもとにしてー. 胸部外科, **20**, 678-689 (1967).

43) **Giammona, S. T., Mandelbaum, I., Battersby, J. S. & Daly, W. J.**: The late cardiopulmonary effects of childhood pneumonectomy. Pediatrics, **37**, 79-88 (1966).

44) **Engel, S.**: Lung structure, Springfield, III, p 145-154, Charles C., Thomas, 1962.

45) **小川恭一・山本哲郎・麻田　栄・岩井誠三・木村健・松本陽一**：小児肺切除後の予後. 小児外科, **10**, 1081-1086 (1978).

46) **秋山　洋・澤口重徳・佐伯守洋・山登淳伍・菊地清子・内藤達男**：新生児・乳児期における肺に起因する外科的疾患. 外科, **37**, 1366-1378 (1975).

Studies of Lung Function in Infants and Children

Koyo Kihara, 1st Department of Surgery, School of Medicine, Kanazawa University, Kanazawa 920 — J. Juzen Med. Soc., **94**, 385—402 (1985).

Key words: lung function, infants, children, ^{133}Xe ventilation scanning, ^{99m}Tc-MAA perfusion scanning

Abstract

A new pulmonary function test for infants and children was devised using simultaneously ^{133}Xe ventilation scanning and ^{99m}Tc macro-aggregated albumin (MAA) perfusion scanning. A circulating closed-circuit with a small total volume of 3 liters was developed for ventilation scanning. Distribution of regional ventilation in six zones of the lung was quantitatively assessed during inhalation and wash-out phase of ^{133}Xe administered at a dose of 5 mci. Distribution of lung perfusion was also estimated after intravenous injection of 1-3 mci of ^{99m}Tc-MAA. Clinical usefulness of the method was evaluated in 71 children with various cardio-pulmonary diseases. Of these, 34 cases were under 2 years old. In patients with ventricular septal defect (VSD) associated with pulmonary hypertension, a marked regional decrease in ventilation and perfusion was observed. The impaired function was improved after redical operation, suggesting that it was mainly due to the stricture of the air way and reversible change. In patients with tetralogy of Fallot, regional perfusion was reduced without any impairment in ventilation. Children with funnel chest showed a decreased ventilation and perfusion in both lower lung zones. In children who had received a lobar or segmental lung resection, decreased ventilation and perfusion persisted for a long time after operation. The reduction of perfusion was more prominent than that

of ventilation in these patients. This indicates that the residual lung volume may expand, but pulmonary alveoli and vascular beds do not appear to increase after operation. By contrast, chest radiograph of patients with hyperlucent lung revealed impaired regional ventilation, which seemed to be caused by a marked regional emphysematous change. The new method of ^{133}Xe ventilation scanning concomitant with ^{99m}Tc MAA perfusion scanning proved to be a safe and useful procedure for the assessment of pulmonary function in infants and children, to whom conventional tests were not applicable.