The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	99mTc-MAA肺血流SPECTを用いた肺切除術後残存呼吸機能の予測
Author(s)	細川, 敦之; 田邉, 正忠; 佐藤, 功 他
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1995, 55(6), p. 414-422
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/20434
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

^{99m}Tc-MAA 肺血流 SPECT を用いた肺切除術後残存呼吸機能の予測

細川　敦之[1)]　田邉　正忠[1)]　佐藤　功[1)]　高島　均[1)]
大川　元臣[1)]　前田　昌純[2)]　玉井　豊理[3)]　児島　完治[4)]

1）香川医科大学放射線医学教室　2）同第二外科学教室　3）キナシ大林病院放射線科　4）香川労災病院放射線科

Prediction of Postoperative Pulmonary Function using ^{99m}Tc-MAA Perfusion Lung SPECT

Nobuyuki Hosokawa[1)], Masatada Tanabe[1)], Katashi Satoh[1)], Hitoshi Takashima[1)], Motoomi Ohkawa[1)], Masazumi Maeda[2)], Toyosato Tamai[3)] and Kanji Kojima[4)]

In order to predict postoperative pulmonary function, ^{99m}Tc-MAA perfusion lung SPECT and spirometry were performed preoperatively in 52 patients with resectable primary lung cancer; 44 underwent lobectomy, eight pneumonectomy. Local pulmonary function (called local effective volume) was evaluated according to the degree of radionuclide distribution of each voxel in the SPECT images. The total effective volume was defined as the sum of the local effective volume, and the residual effective volume was the total effective volume excluding loss after operation. Predicted pulmonary function (VC and FEV1.0) was calculated by the following formula: Predicted value = preoperative value×percent of the residual effective volume. Postoperative pulmonary function was predicted in the same patients by means of ^{99m}Tc-MAA perfusion lung planar scintigraphy and X-ray CT. The patients were reinvestigated with spirometry at one and four months after surgery, and the values were compared with the predicted values. The correlations between the predicted values using SPECT and measured postoperative pulmonary function were highly significant (VC: r=0.867, FEV1.0: r=0.864 one month after operation; VC: r=0.860, FEV1.0: r=0.907 4 months after operation). The predicted values calculated using SPECT were accurate compared with the predicted values calculated using planar scintigraphy or X-ray CT. The patients with predicted FEV1.0 of less than 0.8 liter required home oxygen therapy. This method is valuable for the prediction of postoperative pulmonary function before the surgical procedure.

Research Code No.: *722*

Key words: *^{99m}Tc-MAA Lung perfusion study, SPECT, Postoperative pulmonary function, Preoperative prediction*

Received Oct. 25, 1994; revision accepted Dec. 14, 1994

1) Department of Radiology, Kagawa Medical School／2) Second Department of Surgery, Kagawa Medical School／3) Department of Radiology, Kinashi Ohbayashi Hosiptal／4) Department of Radiology, Kagawa Rosai Hospital

はじめに

非小細胞肺癌の最も確実な治療法は手術療法であるが，肺癌の罹患者は高齢者に多く，また慢性呼吸器疾患を合併していて術後呼吸機能に不安がある症例が少なくない．手術適応の決定には，残存呼吸機能が悪いために起こる術後合併症の発生率をできるだけ減少させ，少なくとも日常生活に支障がない呼吸機能を残す必要がある．しかし逆に，術後の合併症や呼吸機能不足を恐れるあまり治癒の可能性を逃すことがあってはならない．術前に術後呼吸機能を正確に予測できれば，このような問題は解消されるものと考えられる．特に，高齢者や呼吸機能に障害のある患者では術後どの程度の呼吸機能が保たれるかが，手術適応や切除範囲を決定するうえできわめて重要である．

術後の呼吸機能を術前に予測する方法は過去にいくつか報告されているが，方法や精度について検討の余地があった．核医学検査を用いる場合の利点は非侵襲的に肺の局所機能が検出できる点である．すでに^{99m}Tc macroaggregated albumin (MAA) 肺血流 SPECT を用いた予測法の報告はあるが，私どもはさらに局所肺血流分布の多寡を機能的体積に反映した術後呼吸機能の予測法を考案し，本法の信頼性を基礎的にファントムを用いて検討し，臨床例に用いた．臨床例では SPECT を用いた予測法以外に，X 線 CT 像を用いた予測法および従来報告されている^{99m}Tc-MAA 肺血流プラナー像を用いた予測法を同一症例に行い，本法の結果と比較することで，本法の有用性について検討した．

基礎的検討

肺の局所呼吸機能は均一なものではなく局所ごとに異なっているため，単に肺の体積を測定し実測呼吸機能に対比させただけでは術後呼吸機能を正確に予測することはできない．私どもの考案した肺の局所機能を反映した予測法とは，SPECT 像をボクセルごとに細分し，各ボクセルに RI 分布の程度に応じた体積（以下，有効体積）を与え，全肺の有効体積の総和をスパイロメトリで測定した実測呼吸機能に対比させる方法である．有効体積の算出方法は，

再構成された全SPECT画像のボクセルからRI分布が最高カウント（Cmax）となるボクセルを求め，RI分布がCmaxのp％（最高値）より大きいボクセルはボクセルの体積Vを与え，b％（閾値）よりも小さいボクセルは体積を0として，RI分布がb%からp％の間のボクセルには比例式を用いて有効体積を決定した（Fig. 1）．以上の手法で求めた，RI分布の程度に応じて重み付けした有効体積は実際の局所機能をより正確に反映した機能的体積であると考えた．最適な最高値pおよび閾値bを決定するためにファントム実験を施行した．

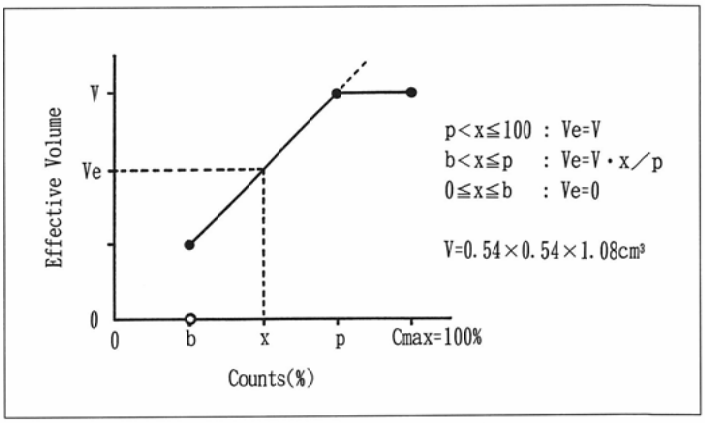


Fig. 1　Correlation between effective volume and counts ratio

方法

装置は東芝社製GCA-90Bに低エネルギー汎用型コリメータを装着して用いた．ファントムを測定する場合のSPECTの収集条件は，回転半径25cm，1ステップ6度，360度回転で1ステップの収集時間は10秒とした．再構成のフィルタにはShepp & Loganを用い，均一補正および吸収補正を行った．線吸収係数として0.10を用いた．ピクセルの1辺の長さは0.54cmであり，再構成画像のスライスの厚さは1.08cmとした．すなわち単位体積である1ボクセルの体積V＝0.54×0.54×1.08cm³である．

ファントムは容積1.04 lのプラスチック製円筒容器を2個用い，その間に水を入れたビニール袋を挟めて固定したものを作成し用いた（Fig. 2）．最初に，おのおの円筒容器に等濃度の^{99m}Tcパーテクネテイト水溶液を満たして測定し，次いで一方の容器の濃度を他方の90％から30％まで10％ごとに濃度を変えて測定した．なお，一連の測定は基準となる最初の^{99m}Tcパーテクネテイトの濃度を37.0MBq/l，55.5MBq/l，74.0MBq/lと3回変えて行った．pおよびbの最適値を求めるために，pとbにそれぞれ，80％と25％，85％と20％および90％と20％の組み合わせをあてはめて有効体積を求めた．2個の容器の有効体積は別々に計算し，pおよびbの値は高濃度の容器のものを共通に用いた．容器の有効体積の真の値として低濃度の容器の濃度が高濃度の容器の濃度のa%の場合，低濃度の容器の有効体積は（a/100）×1.04 lとして求め，測定値と比較した．

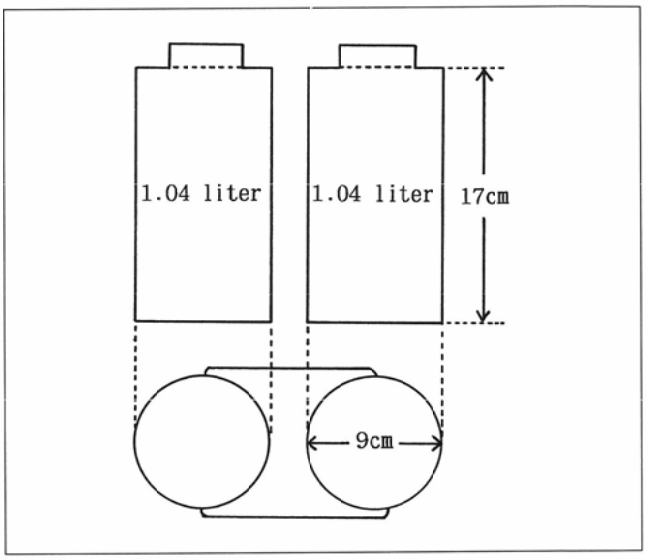


Fig. 2　Chest phantom

結果

計算式から求めた容器の真の有効体積と，SPECTを用いて測定した有効体積から1次回帰直線を求めた（Fig. 3）．pとbの組み合わせが80％と25％，85％と20％，90％と20％の場合で，いずれの場合でも良好な相関を認め，相関係数が0.998～0.999でほぼ同じ値であるため回帰直線の傾きが1に最も近いp＝90％，b＝20％の組み合わせを採用し，以後臨床例に用いた．

臨床例における検討

対象および方法

1990年2月から1992年12月までに，香川医科大学第二外科で肺切除を予定され施行された原発性肺癌患者52例を対象とした．男性33例，女性19例で年齢は42歳から80歳（平均67.6歳）であった．切除部位は，右上葉切除17例，右上・中葉切除2例，右中・下葉切除2例，右下葉切除5例，右肺全摘3例，左上葉切除8例，左下葉切除10例，左肺全摘5例であった．術後1カ月以内の死亡症例はなかった．

手術施行前1カ月以内に胸部X線CT検査，^{99m}Tc-MAA肺血流プラナーシンチグラフィおよび^{99m}Tc-MAA肺血流SPECTを施行し，また同時期にスパイロメトリによる呼吸機能測定を行った．術前に当院で胸部CTを施行した症例は48例，プラナーシンチグラフィを施行した症例は50例，SPECTを施行した症例は50例であった．術前に施行した胸部CT，プラナーシンチグラフィ，SPECTと術前の呼吸機能（肺活量：VC，1秒量：FEV 1.0）を用いてそれぞれの方法による術後呼吸機能の予測値を算出し，術後1カ月目と4カ月目にスパイロメトリを用いて測定した実測呼吸機能と比較検討した．術後1カ月目に呼吸機能を測定できたのは38例，4カ月目は42例であった．術後低肺機能となり在宅酸素療法が必要になった症例が3例あった．

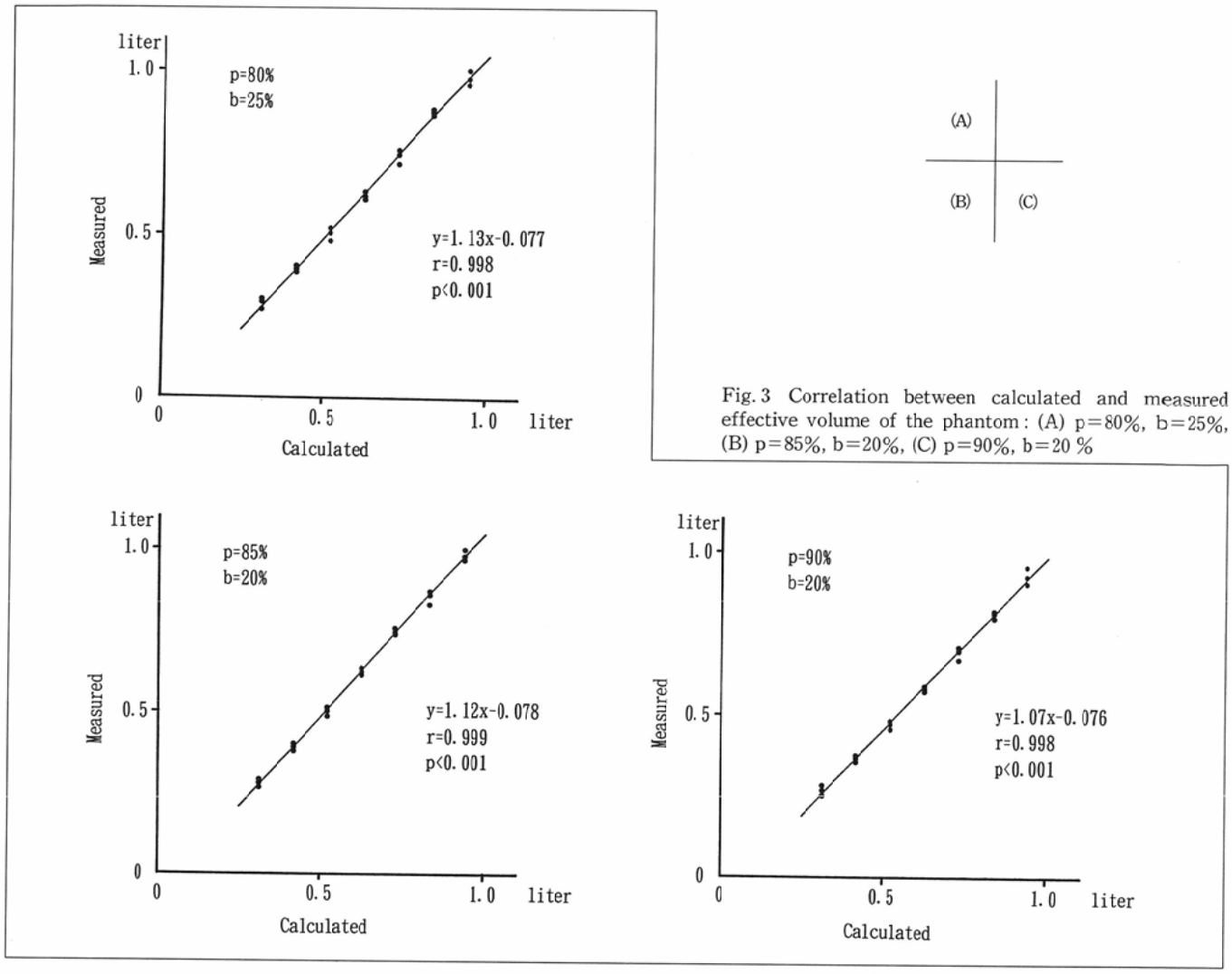


Fig. 3 Correlation between calculated and measured effective volume of the phantom: (A) p=80%, b=25%, (B) p=85%, b=20%, (C) p=90%, b=20 %

(a) X線CT像を用いた術後呼吸機能の予測法（CT法）

術前にルーチン検査として施行している胸部X線CT像を用いて肺の体積を測定し，術後の呼吸機能予測値を算出した．装置はGE社製CT-9800と横河社製CT-9200を用いた．術前に施行した1.0 cmスライス厚のCT像の肺野の部分をCT装置のモニター画面上でトレースし，各スライスの肺野面積を求め，これから全肺の体積と切除予定肺野を除いた残存肺の体積を求めた．この際，腫瘍部分，無気肺領域，肺門領域の太い血管，陳旧性炎症巣，肺嚢胞等の明らかに呼吸機能に寄与していないと考えられる領域は肺体積から除外した．術後呼吸機能の予測値は次式で算出した．

術後呼吸機能予測値（VC, FEV1.0）＝術前実測呼吸機能（VC, FEV1.0）×残存肺体積／全肺体積

(b) プラナー像を用いた術後呼吸機能の予測法（プラナー法）

プラナー像を用いた術後呼吸機能の予測法は1980年Aliら[1]によって報告されている．私どももこの方法に準じて施行した．185MBqの^{99m}Tc-MAAを仰臥位で静注後，肺血流プラナー像を撮像し健側肺と患側肺のカウント比を求めた．装置は東芝社製GCA-90Bを用い，座位で撮像し，カウント比は前面像と後面像の平均値を採用した．術後呼吸機能の予測値は以下の式を用いて算出した．

肺全摘の場合：

術後呼吸機能予測値（VC, FEV1.0）＝術前実測呼吸機能（VC, FEV1.0）×健側肺カウント比

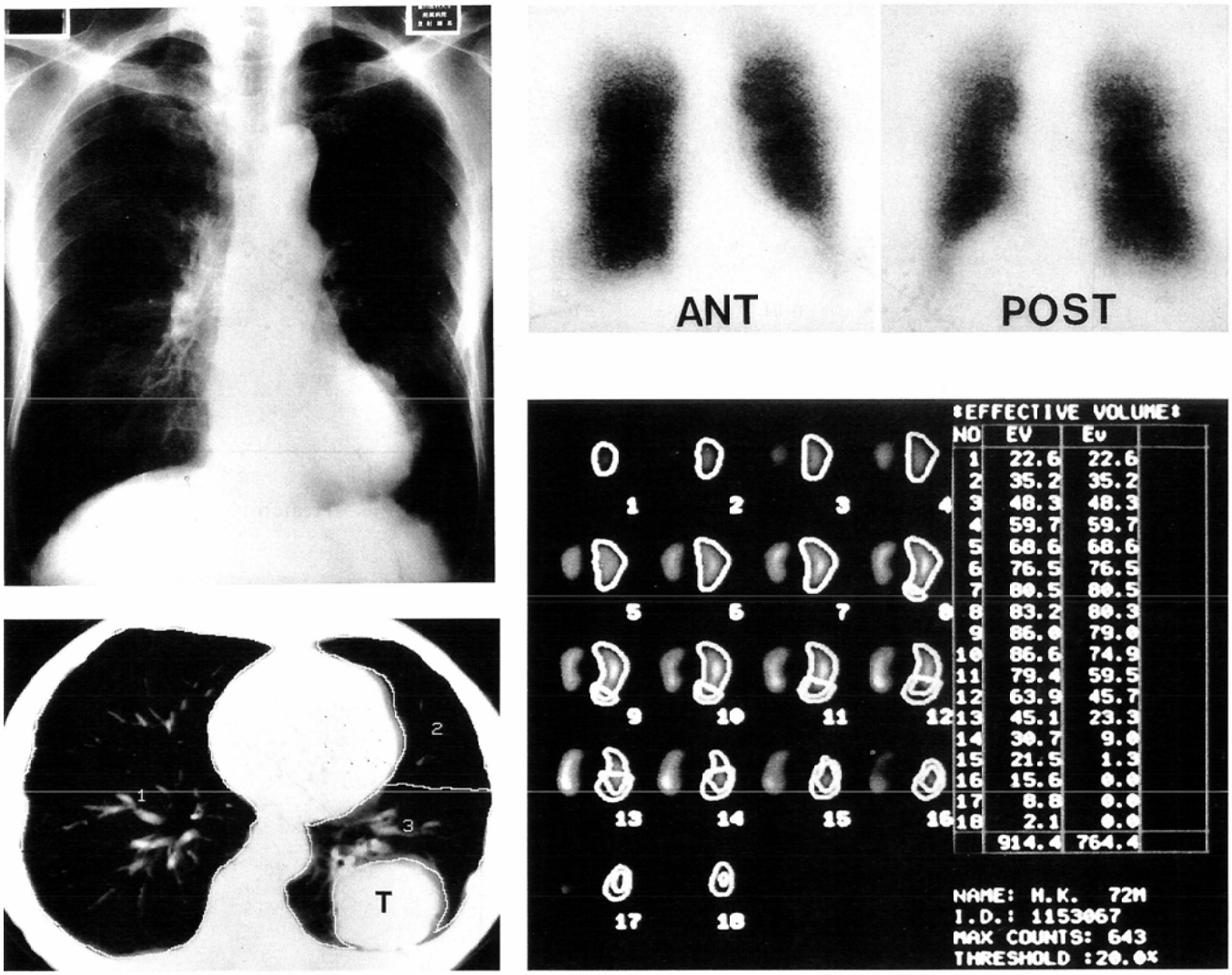
葉切除の場合：

術後呼吸機能予測値（VC, FEV1.0）＝術前実測呼吸機能（VC, FEV1.0）×（1－患側肺カウント比×切除予定肺区域数／患側肺区域数）

(c) SPECT像を用いた術後呼吸機能の予測法（SPECT法）

SPECTのデータ収集は^{99m}Tc-MAA 185MBqを仰臥位で静注後施行した．装置は東芝社製GCA-90Bを用い，回転半径は患者の体格に合わせて23～29 cmでできるだけ体表面に近接させ，収集時間は1ステップ30秒で，6度ステップ，360度収集を行った．再構成にはShepp & Loganフィルタを用い吸収補正は行わなかった．平滑化は9点スムージングを再構成前後に1回ずつ行った．

術後呼吸機能予測値の算出はまずSPECT像を用いて全肺有効体積を算出し，次にSPECT像上で切除を予定されている部分に切離線を入れて残存肺の有効体積を算出



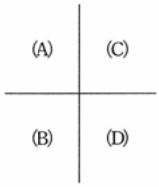


Fig. 4　(A) Chest X-ray image of a 72 year-old man with squamous cell carcinoma in the left lower lobe: Left lower lobectmy was performed. His preoperative VC was 2.60 l and FEV1.0 was 1.86 l. Postoperative pulmonary function was measured at one and four months following operation (VC=1.94 l, FEV1.0=1.54 l one month after operation and VC=2.59 l, FEV1.0=1.88 l 4 months after operation).
(B) CT image with tracing lines: (1: right lung field, 2: left upper lobe, 3: left lower lobe, T: lung tumor) The total lung volume was 5.77 l and the residual lung volume was 5.06 l. Predicted postoperative pulmonary function was VC=2.60 l×5.06/5.77=2.28 l and FEV1.0=1.86 l×5.06/5.77=1.63 l.
(C) Planar images of anterior and posterior view: The radionuclide distribution of the left lung was 40.5%. Predicted postoperative pulmonary function was VC=2.60 l×(1−0.405×4/9)=2.13 l and FEV1.0=1.86 l×(1−0.405×4/9)=1.52 l.
(D) SPECT images with predicted cutting lines (#8〜18): (EV: left lung effective volume, Ev: residual left lung effective volume) The right lung effective volume was 1.42 l; the total lung effective volume was 1.42+0.91=2.33 l; and the residual lung effective volume was 1.42+0.76=2.18 l. Predicted postoperative pulmonary function was VC=2.60 l×2.18/2.33=2.43 l and FEV1.0=1.86 l×2.18/2.33=1.74 l.

した．葉切除の場合，SPECT 像では葉間が判断できないが，SPECT 像のスライス厚が 1.08 cm であり，ルーチンで撮影する胸部X線 CT のスライス厚 1.0cm とほぼ同じであるため，CT 画像を参考にしながら切離線を入れた．術後呼吸機能予測値算出には次式を用いた．

術後呼吸機能予測値（VC, FEV1.0）＝術前実測呼吸機能（VC, FEV1.0）×残存肺有効体積／全肺有効体積

症例提示

1症例を提示し各予測法による術後呼吸機能予測値の算出法を示す．

症例は 72 歳男性．左下葉に発生した扁平上皮癌の診断で左下葉切除術が予定された（Fig. 4（A））．術前呼吸機能は VC=2.60 l，FEV1.0=1.86 l であった．

胸部X線 CT 画像の各スライスで肺野面積を測定して全肺体積を求め，次に左下葉を除いた面積を測定し残存肺体積を求めた（Fig. 4（B））．この症例の全肺体積は 5.77 l，残存肺体積は 5.06 l であった．CT 法による術後呼吸機能予測値は，予測 VC=2.60 l×5.06/5.77=2.28 l，予測 FEV1.0=1.86 l×5.06/5.77=1.63 l と算出した．

肺血流プラナーシンチグラフィで測定した左肺のカウント比は前面像で 39.7 %，後面像で 41.3 %であり，平均 40.5 %であった（Fig. 4（C））．プラナー法による術後呼吸機

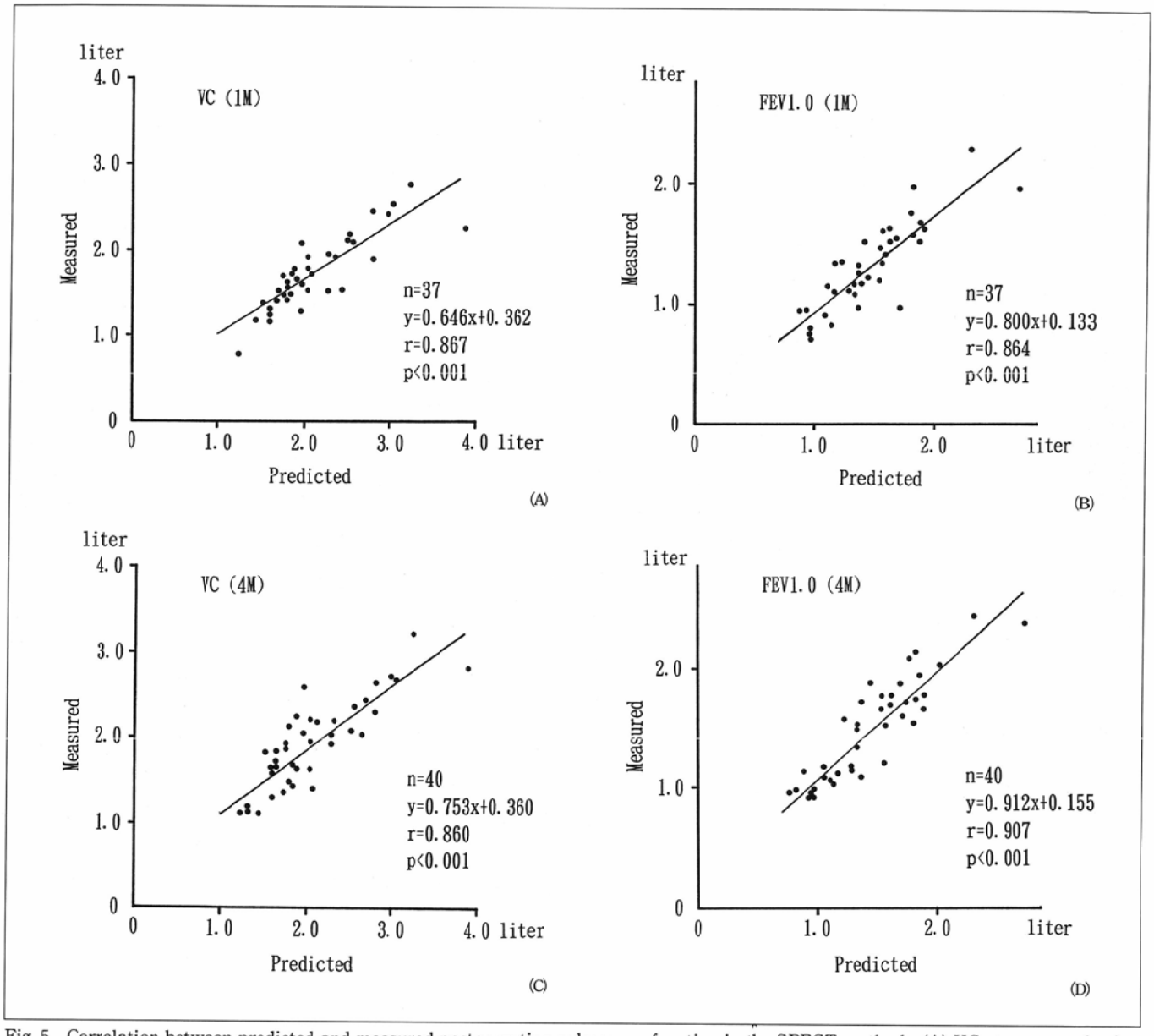


Fig. 5 Correlation between predicted and measured postoperative pulmonary function in the SPECT method: (A) VC at one month after operation, (B) FEV1.0 at one month after operation, (C) VC at 4 months after operation, (D) FEV1.0 at 4 months after operation.

能予測値は，予測VC=2.60 l×(1−0.405×4/9)=2.13 l，予測FEV1.0=1.86 l×(1−0.405×4/9)=1.52 lと算出した．

肺血流SPECT像から求めた右肺の有効体積は1.42 lであった．左肺の有効体積は0.91 l，左下葉を除いた左肺の有効体積は0.76 lであり（Fig. 4 (D)），全肺有効体積=1.42+0.91=2.33 l，残存肺有効体積=1.42+0.76=2.18 lであった．SPECT法による術後呼吸機能予測値は，予測VC=2.60 l×2.18/2.33=2.43 l，予測FEV1.0=1.86 l×2.18/2.33=1.74 lと算出した．

本症例の術後実測呼吸機能は術後1カ月目VC=1.94 l，FEV1.0=1.54 l，術後4カ月目VC=2.59 l，FEV1.0=1.88 lであった．

検討項目

前述の3つの方法で得られた予測値と術後1カ月目，4カ月目に測定した術後実測呼吸機能の相関性を確認し，次にこれらの方法の精度の比較を行った．精度の比較は｜[予測値—術後実測値]｜の値を順位付けしてFriedman検定を施行し，各方法間の比較はTukey法を用いた．さらに，切除区域数別にSPECT法の精度を検討した．切除区域数が3区域のもの（右上葉切除），4～7区域のもの（その他の葉切除），9～10区域のもの（肺全摘）の3群に分けて予測値と術後実測値の相関性を比較し，次いで3群間でパーセント誤差（|[予測値−術後実測値]×100／術後実測値|）をt検定を用いて比較した．最後にSPECT法で算出された予測FEV1.0と術後呼吸機能の予後を比較して切除限界を推定した．

結　　果

(a)　3つの方法（CT，プラナー，SPECT法）で求めた術後呼吸機能予測値と術後実測呼吸機能の相関性

CT法で算出した術後呼吸機能予測値と術後1カ月目，4カ月目にスパイロメトリを用いて測定した実測呼吸機能の相関関係は術後1カ月目のVCでは r=0.721（p<0.001），4カ月目のVCは r=0.813（p<0.001），1カ月目のFEV1.0では r=0.701（p<0.001），4カ月目のFEV1.0は r=0.820（p<0.001）であった．プラナー法で算出した予測値と術後実測値の相関は術後1カ月目のVCでは r=0.792（p<0.001），4カ月目のVCは r=0.779（p<0.001），1カ月目のFEV1.0では r=0.792（p<0.001），4カ月目のFEV1.0は r=0.838（p<0.001）であった．SPECT法で算出した予測値と術後実測値の相関は術後1カ月目のVCでは r=0.867（p<0.001），4カ月目のVCは r=0.860（p<0.001），1カ月目のFEV1.0では r=0.864（p<0.001），4カ月目のFEV1.0は r=0.907（p<0.001）であった（Fig. 5）．CT法やプラナー法で求めた予測値と術後実測値の相関はSPECT法と比較して相関係数が低かった（Table 1）．

Table 1　Correlation between predicted and measuerd pulmonary function

	VC (1M)	FEV1.0 (1M)	VC (4M)	FEV1.0 (4M)
CT	n=36	n=36	n=40	n=40
	y=0.531x+0.633	y=0.562x+0.491	y=0.647x+0.616	y=0.766x+0.351
	r=0.721	r=0.701	r=0.813	r=0.820
	p<0.001	p<0.001	p<0.001	p<0.001
Planar	n=37	n=37	n=40	n=40
	y=0.641x+0.391	y=0.674x+0.316	y=0.693x+0.483	y=0.766x+0.351
	r=0.792	r=0.792	r=0.779	r=0.838
	p<0.001	p<0.001	p<0.001	p<0.001
SPECT	n=37	n=37	n=40	n=40
	y=0.646x+0.362	y=0.800x+0.133	y=0.753x+0.360	y=0.912x+0.155
	r=0.867	r=0.864	r=0.860	r=0.907
	p<0.001	p<0.001	p<0.001	p<0.001

1M : one month after operation,　4M ; 4 months after opertion

(b)　3つの方法の精度の比較

相関係数は予測値と術後実測値の相関の度合いを示すもので，予測値と術後実測値の差の大小すなわち予測値の正確さを必ずしも反映したものではないため，次に予測値と術後実測値の差を検定し，これらの方法の比較を行った（Table 2）．各方法の予測値と術後実測値がすべて揃っている症例を用いて比較した．解析症例数は術後1カ月目が35例，術後4カ月目が38例であった．

Friedman検定の結果，術後1カ月目のVCは3つの方法間に有意差を認めなかったが，FEV1.0では有意差を認め（p=0.031），Tukey法による比較でSPECT法はCT法よりも優れている（p=0.023）という結果であった．術後1カ月目のSPECT法とプラナー法，プラナー法とCT法の間に統計学的な有意差は認めなかった．術後4カ月目では，Friedman検定で3つの方法間にVCとFEV1.0の両方に有意差を認め（VC: p=0.036，FEV1.0: p=0.003），Tukey法による比較でVCではSPECT法がプラナー法より優れており（p=0.026），FEV1.0ではSPECT法がCT法，プラナー法のいずれの方法よりも優れている（p=0.003，p=0.046）という結果であった．術後4カ月目のVCにおけるSPECT法とCT法，プラナー法とCT法，およびFEV1.0におけるプラナー法とCT法の間には有意差を認めなかった．

Table 2　Comparision of the absolute error of the SPECT, Planar and CT method

a) Result of the Friedman test

	one month after op.			4 months after op.		
	x^2	df	p	x^2	df	p
VC	0.755	2	0.686	6.68	2	0.036
FEV1.0	6.96	2	0.031	11.7	2	0.003

b) Result of the Tukey method

one month after op.		Z	p
FEV1.0	SPECT vs Planar	−1.18	0.467
	SPECT vs CT	−2.63	0.023
	Planar vs CT	−1.45	0.314
4 months after op.		**Z**	**p**
VC	SPECT vs Planar	−2.58	0.026
	SPECT vs CT	−1.29	0.400
	Planar vs CT	1.29	0.400
FEV1.0	SPECT vs Planar	−2.37	0.046
	SPECT vs CT	−3.32	0.003
	Planar vs CT	−0.95	0.609

(c)　SPECT法の切除区域数別精度の比較

切除区域数別に3群に分けてSPECT法で得た予測値の精度を比較した．まず予測値と術後実測値の相関係数を比較したが3群間に差はなかった（Table 3）．肺全摘例で術後1カ月目のVCの相関係数が低いのは症例数が少ないためと考えられた．次いで3群間で予測値と術後実測値のパーセント誤差を比較した（Table 4）．その結果，1カ月目，4カ月目ともに3群間で平均パーセント誤差に有意差は認めなかったが，VCの予測では1カ月目の予測値が4

カ月目の予測値よりも有意に平均パーセント誤差が大きかった．

(d)　SPECT 法における肺切除限界の推定

SPECT 法で算出された予測 FEV1.0 と術後呼吸機能予後の関係では，在宅酸素療法が必要になった 3 例はすべて予測 FEV1.0 が 0.8 l 未満であり，予測 FEV1.0 が 0.8 l 以上だった症例は在宅酸素療法を必要としなかった（Fig. 6）．

Table 3　Correlation between predicted and measured pulmonary function in the SPECT method

number of resected segments	lobectomy 3	lobectomy 4-7	pneumonectomy 9-10
VC (1M)	n=11 y=0.554x+0.543 r=0.823 p<0.001	n=20 y=0.765x+0.123 r=0.893 p<0.001	n=6 y=0.727x+0.278 r=0.535 p>0.20
VC (4M)	n=13 y=0.659x+0.542 r=0.887 p<0.001	n=23 y=0.842x+0.221 r=0.857 p<0.001	n=4 y=1.18x−0.629 r=0.887 p<0.05
FEV1.0 (1M)	n=11 y=0.827x+0.061 r=0.895 p<0.001	n=20 y=0.796x+0.139 r=0.839 p<0.001	n=6 y=0.714x+0.271 r=0.805 p<0.05
FEV1.0 (4M)	n=13 y=0.814x+0.244 r=0.948 p<0.001	n=23 y=1.02x+0.032 r=0.876 p<0.001	n=4 y=1.02x−0.030 r=0.972 p<0.01

1M : one month after operation,　4M : 4 months after operation

Table 4　Mean percent error between predicted and measured pulmonary function

number of resected segments	lobectomy 3	lobectomy 4-7	pneumonectomy 9-10
VC (1M)	n=11 27.5±21.3 %	n=20 23.8±21.0 %	n=6 17.5±12.7 %
VC (4M)	n=13 15.1±10.7 %	n=23 12.8±11.0 %	n=14 20.2±10.8 %
FEV1.0 (1M)	n=11 18.2±15.6 %	n=20 15.6±17.6 %	n=6 16.0±8.8 %
FEV1.0 (4M)	n=13 11.1±7.3 %	n=23 9.7±7.7 %	n=4 4.7±2.6 %

1M : one month after operation,　4M : 4 months after operation　＊ : p<0.01

考　　察

術後呼吸機能の予測は左右別肺機能を測定することから始まった．ブロンコスパイロメトリは，左右別肺機能を測定する唯一の方法として従来広く用いられ，この方法を用いた術後呼吸機能の予測法が報告されている[2]．しかし，ブロンコスパイロメトリは意識下に左右の主気管支内にチューブを挿管する必要があり，患者の苦痛が無視できず，また術者の熟練度も必要とした．

その後，簡便かつ非侵襲的に左右肺機能比を測定する方法として，肺シンチグラフィの左右肺カウント比を用いる方法が提唱され[3),4)]，肺全摘術に関しては左右肺カウント比を用いた術後呼吸機能の予測法がその後数多く報告され[5)−10)]，広く用いられるようになった．

一方，葉切除の場合にも肺シンチグラフィの左右肺カウント比を用いた予測法が考案された[11),12)]．Ali ら[1)]は術前に施行したスパイロメトリと ^{133}Xe 換気・血流シンチグラフィで求めた左右肺カウント比を組み合わせて，今回私どもがプラナー法で用いた計算式を使って術後呼吸機能の予測値を算出し，換気と血流のどちらのシンチグラフィから得られたカウント比を用いても予測値と術後実測値が高い相関を示したと報告した．その後，彼らの用いた切除区域数に基づいた計算式は葉切除例の術後呼吸機能予測式として核種を変えて追試され，良好な結果が得られたと報告されている[13)−16)]．ただ，各葉ごとに呼吸機能に寄与する度合いが異なるため，これらの予測法では切除予定葉によって異なった補正値を掛け合わせて予測値を算出する手法を用いている．

今回私どもが用いたプラナー法には前述の補正値は用いなかった．これは，報告によって用いる補正値が異なっていることと，個々の患者で各葉の呼吸機能に寄与する度合いは異なっており，すべての患者に同一の補正値を用いても正確な予測値が得られない場合があると考えたからである．私共がプラナー法で求めた予測値は術後実測値と比較的良好な相関関係を示したが，SPECT 法より低い相関係数であった．また，予測値の精度の点でも，4 カ月目の VC と FEV1.0 の予測においてプラナー法は SPECT 法より劣っていた．

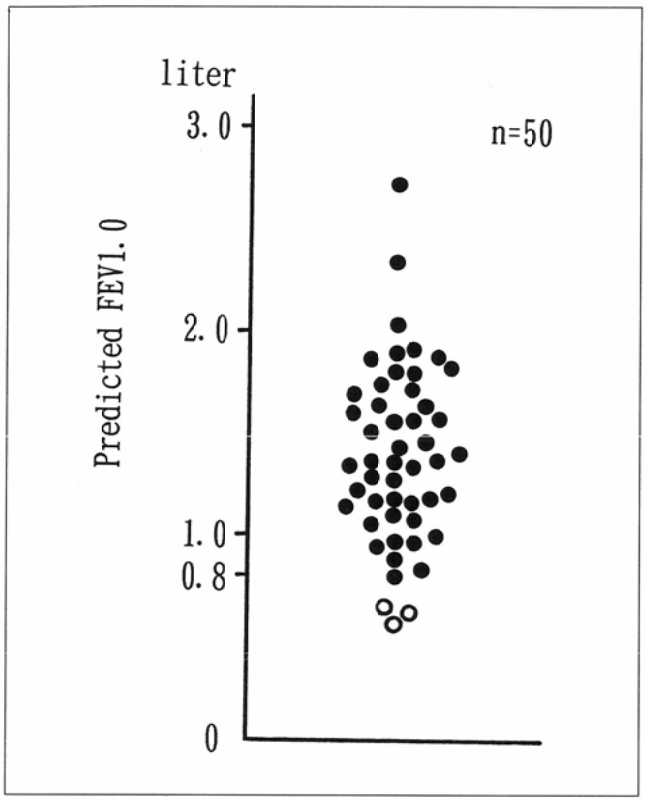


Fig. 6　Recovery of pulmonary condition after operation (●: no problem, ○: home oxygen therapy)

今回私どもは，SPECT法やプラナー法に加えて胸部X線CT像を用いた予測法を試みた．肺癌の手術に際して胸部X線CT検査は病巣の存在部位や進展範囲を把握するうえで不可欠な検査であるが，術後呼吸機能の予測もX線CTを用いて可能ではないかという考えが存在する．しかしX線CT像を用いて測定できるのは形態的体積であって機能的体積ではない．呼吸機能を傷害するような病態が肺内に存在する場合，その程度が強いほど形態的体積と機能的体積の間の差が開き，予測値は不正確になると考えられる．今回の私どもの検討でCT法はSPECT法に比較して，予測値と術後実測値の相関係数が低く，術後1カ月目のFEV1.0の予測および術後4カ月目のFEV1.0の予測で精度が劣っていた．

近年，SPECTの普及に伴い臓器の局所機能を画像化し，定量することが可能となった．術後呼吸機能の予測にSPECTを用いる利点は切除予定肺葉に立体的に切離線をいれることができる点と，定量した局所機能を予測値に反映できる点である．プラナー像は平面画像であり，前後の重なりがあるため肺の局所機能を正確に定量することができず，立体的に切離線をいれるのも困難であり[17]，CT像では立体的に切離線をいれることはできるが肺の局所機能を反映したものではない．以上の点でSPECTを用いる予測法はプラナー法やCT法が持つ欠点を改善でき，術後呼吸機能の予測に有利な方法であると考えられる．SPECTを用いた術後呼吸機能の予測法はすでに他家により報告されており，安藤ら[18]は^{99m}Tc-MAA肺血流SPECTの矢状断像を用いて，またHiroseら[19]は横断像を用いて術後呼吸機能を予測し良好な結果が得られたと報告している．しかし，これらの方法は設定した閾値以上の肺野領域を同じ体積として扱っており，十分に局所呼吸機能を反映した方法とは言えない．私どもが考案した方法は局所機能を反映した予測法であり，算出した予測値と術後実測値との間に高い相関関係が得られた．さらにCT法やプラナー法で得た予測値と絶対誤差を用いて比較した結果，術後1カ月目ではFEV1.0の予測に関してSPECT法がCT法よりも有意に優れていた．また，術後4カ月目ではVCの予測においてSPECT法はプラナー法より有意に優れており，FEV1.0の予測ではSPECT法がプラナー法とCT法のいずれの方法よりも有意に優れているという結果を得た．術後1カ月目の実測値が4カ月目の実測値よりも低い傾向がみられたが，これは術後1カ月目には創部痛，呼吸筋の切断，術後肺の拡張不全などの手術の影響がまだ強く残っていたためと考えられた．

切除区域数別の精度に関してSPECT法で3区域切除群，4区域以上の葉切除群および肺全摘群の3群に分けて比較したが，相関係数では術後1カ月目も4カ月目も3群間に差はなかった．また，予測値と実測値の差をパーセント誤差として比較したが各群間に有意差はなかった．術後1カ月目と4カ月目を比較すると，3区域切除群のVCのみで1カ月目の誤差が4カ月目より有意に大きかった．小範囲の葉切除術後早期には損失肺容積が少ないわりに患側残存肺の拡張不全や胸水貯留などの影響が大きく一過性の拘束性障害が起こるものと考えられた．

肺切除限界の指標として，FEV1.0が閉塞性変化を主体として拘束性変化を併せ表しており，また検査結果にばらつきが少ないという理由で利用されることが多く，プラナー法を用いた報告では予測FEV1.0＝0.8～1.0 lを切除限界としているものが多い[3),5),12),13)]．幸い今回私どもが対象とした症例に術後呼吸不全死はなかったが，在宅酸素療法が必要となった症例が3例あった．最近では，術後管理が進歩し手術直後の危険な時期を乗り越えることができ，その後，低肺機能状態となっても在宅酸素療法の普及が患者の生活の質向上に貢献している．術後在宅酸素療法が必要となった3例は予測FEV1.0が0.8 l未満の症例であり，0.8 l以上の症例では在宅酸素療法は必要なかった．過去の報告のように切除限界を決めるとすれば予測FEV1.0＝0.8 lが限界と考えられる．ただ，慢性呼吸器疾患や心疾患をもつ患者では肺循環障害や肺高血圧症を合併していることがあり，予測FEV1.0のみで手術適応を決定するのは危険である[14),20)]．特に，予測FEV1.0が0.8 lに近い症例では一側肺動脈閉塞試験や運動負荷試験を施行して総合的に手術適応を決定する必要があると考えられた．

私どもが考案したSPECT法は，CT法，プラナー法および，すでに報告されているSPECT法の持つ問題点を改善し，肺の形態のみならず局所機能をより正確に反映した予測法である．本法は術後残存呼吸機能を予測するうえ

できわめて有用な方法であると考えられた．

結　語

1．^{99m}Tc-MAA肺血流SPECTを用いて，肺の局所機能を反映した術後呼吸機能の予測法を考案し，本法の有用性について検討した．

2．臨床応用する前にファントム実験を施行し，得られた最適条件を臨床例に用いた．

3．臨床例では本法で求めた予測値と術後実測値の間に高い相関を認め，同時に施行したX線CTやプラナーシンチグラフィを用いた予測法と比べて精度のうえで有意に優れていた．また，切除区域数によって精度が低下することはなかった．本予測法における肺切除限界は予測FEV1.0=0.8lと考えられた．

4．本法は，特に高齢者や慢性呼吸器疾患患者などの呼吸機能に障害をもつ肺癌患者の肺切除術に際して，切除範囲や手術法を決定するうえで，さらに術後低肺機能などの術後障害を予測するうえで有用な情報を提供できると考えられた．

本研究の一部は文部省科学研究費（奨励研究A，課題番号05770685）の補助をうけた．

文　献

1) Ali MK, Mountain CF, Ewar MS, et al: Predicting loss of pulmonary function after pulmonary resection for bronchogenic carcinoma. Chest 77: 337-342, 1980
2) Snider GL: A clinical evaluation of bronchospirometric measurement in predicting loss of ventilatory function due to thoracic surgery. J Lab Clin Med 64: 321-329, 1964
3) Kristersson S, Lindell SE, Svanberg L, et al: Prediction of pulmonary function loss due to pneumonectomy using ^{133}Xe-radiospirometry. Chest 62: 694-698, 1972
4) DeMeester TR, Col L, Heertum RL, et al: Preoperative evaluation with differential pulmonary function. Ann Thorac Surg 18: 61-71, 1974
5) Olsen GN, Block AJ, Tobias AT, et al: Prediction of postpneumonectomy pulmonary function using quantitive macroaggregate lung scanning. Chest 66: 13-16, 1974
6) Boysen PG, Block AJ, Olsen GN, et al: Prospective evaluation for pneumonectomy using the ^{99m}Technetium quantitive perfusion lung scan. Chest 72: 422-425, 1977
7) Williams AJ, Cayton RM, Harding LK, et al: Quantitive lung scintigrams and lung function in the selection of patients for pneumonectomy. Br J Dis Chest 78: 105-112, 1984
8) Corris PA, Ellis DA, Hawkins T, et al: Use of radionuclide scanning in the preoperative estimation of pulmonary function after pneumonectomy. Thorax 42: 285-291, 1987
9) Julius AJ, Jong D, Deutecom H, et al: The value of ^{99m}Tc macroaggregated alubumin lung perfusion scanning in the prediction of postpneumonectomy function and pulmonary artery pressure. Scand J Thor Cardiovasc Surg 21: 81-85, 1987
10) 野々山明，斉藤幸人，田中一穂，他：肺血流シンチグラムを用いた肺剔除術例の術後肺機能の予測についての検討．日胸外会誌 36：2221-2228，1988
11) Arborelius MJ, Kristersson S, Lindell SE, et al: ^{133}Xe-radiospirometry and extension of lung cancer. Scand J Resp Dis 52: 145-152, 1971
12) Kristersson S, Arborelius MJ, Jungquist G, et al: Prediction of ventilatory capacity after lobectomy. Scand J Resp Dis 54: 315-325, 1973
13) Wernly JA, DeMeester TR, Kirchner PT, et al: Clinical value of quantitive ventilation-perfusion lung scans in the surgical management of bronchogenic carcinoma. J Thorac Cardiovasc Surg 80: 535-543, 1980
14) 小西　洋：肺癌患者における定量的肺シンチグラフィーによる術後呼吸機能の予測．日胸外会誌 30：1784-1795，1982
15) 原　史人，小西　洋，金藤　悟，他：定量的肺シンチグラフィーによる部位別呼吸機能評価；低肺機能肺癌患者の切除限界及び術後管理の検討．日胸外会誌 32：62-70，1984
16) 良河光一：肺シンチグラフィーによる肺切除後残存肺機能の予測に関する研究．日胸外会誌 36：97-106，1988
17) 原　史人：肺シンチグラフィーの側面処理像による肺癌患者の肺葉切除術後呼吸機能予測．日胸外会誌 33：83-89，1985
18) 安藤陽夫，清水信義，丸山修一郎，他：SPECTを使用した肺血流シンチによる肺体積測定と術後呼吸機能予測．日胸 51：23-31，1992
19) Hirose Y, Imaeda T, Doi H, et al: Lung perfusion SPECT in predicting postoperative pulmonary function in lung cancer. Ann Nucl Med 7: 123-126, 1993
20) 弘野慶次郎，市谷迪雄，坪井裕志，他：術後残存肺機能の核医学的予測．呼吸 8：725-731，1989