

## 《原 著》

# テクネガスによる肺換気イメージング： 肺沈着率および換気・血流分布の検討

分校 久志\*    瀬戸 幹人\*    久慈 一英\*    宮内 勉\*  
久田 欣一\*

**要旨**  $^{99m}\text{Tc}$  ガス (テクネガス) 肺換気イメージングにおける吸入方法の最適化を目的に、吸入方法と肺沈着率の関係を検討した。肺癌、慢性閉塞性肺疾患、肺塞栓症などの 35 例 (36 検査) を対象として、亜最大吸入+息こらえ (BH 群)、亜最大連続吸入 (C 群)、TV レベルの持続吸入 (TV 群) を行った。肺沈着率は BH 群で平均 6.6~7.4%/LD と他群より有意に高く ( $p<0.05-0.001$ )、C 群では吸入回数とともに増加した。TV 群の肺沈着率は最も低かった。肺/フィルター比 (L/F) は BH 群で高値であった。テクネガス換気イメージングの画質は BH 群で他群より有意に良好であった。中枢気道での hot spot 形成は 15% にみられ、すべて TV および C 群であった。テクネガスの肺沈着率の改善には十分な息こらえが重要であり、また L/F は適正な吸入の判定指標であった。協調性の低い患者では TV 吸入が適していた。テクネガスは安全で簡便に良好な画像が得られ、肺換気イメージングに有用であった。

## I. はじめに

肺換気イメージングは肺塞栓症の診断 (換気・血流不一致の検出) や慢性閉塞性肺疾患をはじめとする各種の気道病変における局所肺換気異常の診断および病態生理の評価に重要である。この目的では  $^{133}\text{Xe}$  や  $^{81m}\text{Kr}$  ガスの他  $^{99m}\text{Tc}$ -エアゾルが用いられてきた<sup>1)</sup>。近年、新しい肺換気イメージング用剤として専用の装置により発生される  $^{99m}\text{Tc}$  ガス (テクネガス) の利用が報告されている<sup>2)</sup>。

テクネガスは 100% アルゴン (Ar) ガス中でカーボン・グラファイト容器内に装填した  $^{99m}\text{Tc}$  パーテクネテートを約 2,700°C で蒸散させて得られる、金属  $^{99m}\text{Tc}$  を蒸着した微小粒子である<sup>2,3)</sup>。テクネガス粒子は直径約 5 nm の炭素粒子の集合体であ

り、その大きさは報告によって異なるが、平均 140~600 nm 位とされている<sup>4,5)</sup>。この大きさは従来の肺吸入イメージングに用いられるエアゾル<sup>6)</sup>よりも十分小さく、肺胞内に容易に到達することが可能と考えられる。しかし、一般に 1  $\mu$  以下のエアゾル粒子では吸入された粒子の大部分が再度呼気中に呼出されるといわれている。エアゾルによる肺換気イメージングは、粒子の肺胞内沈着量が画質や換気分布の評価に重要な因子となる。それゆえ、今回、テクネガスによる肺換気イメージングにおける至適な吸入方法の決定を目的に、吸入方法と肺沈着率について検討した。同時に各種の肺疾患例において、肺血流イメージとの対比による局所肺換気・血流の評価も行なった。

## II. 方 法

### 1. 対 象

健常有志 2 例を含む肺癌、慢性閉塞性肺疾患、肺塞栓症などの 35 例 (36 検査) を対象とした。全体の平均年齢は 63 $\pm$ 14 歳、男性 29 例 (30 検査)、

\* 金沢大学医学部核医学教室

受付: 2 年 8 月 17 日

最終稿受付: 2 年 11 月 21 日

別刷請求先: 金沢市宝町 13-1 (☎ 920)

金沢大学医学部核医学教室

分校 久志

女性 7 例 (7 検査) であり, 14 例は術後症例であった (Table 1). 全例に対して治験内容の説明が行われ, 検査に対する承諾を得た.

## 2. テクネガスの作成

テクネガスは TETLEY TECHNOLOGIES 社製のテクネガス発生装置 (Fig. 1) により作成した. テクネガス作成の手順は装置の使用説明書に従っ

**Table 1** List of patients included in this study and results of TECHNEGAS (Tc-gas) and perfusion (Tc-MAA) imaging

No.	Name	Age	Sex	Diagnosis	Resp mthd	IQ	RI study Tc-GAS	Results Tc-MAA	V/Q
36	MT	26	M	Normal	BH/1				
35	BH	41	M	Normal	C/10	1	N		
33	KT	33	M	Normal (PE?)	C/5				
27	OM	79	M	Normal (PE?)	NG	3	N	N	MA
9	KY	52	F	PE, DVT	BH/3	2	N	Rs6	MM
6	KK	61	F	PE, DVT, CVA	TV2m	2	Ls6, sp	LMLs4, 5, 6	MM
28	MM	59	F	IP, MCTD	R/3	2	RL	RL	MA
1	IT	68	M	IP, SLE, RA	C/5	1	N	N	MA
30	MY	63	F	PF, sarcoidosis	BH/3	1	RU		
22	TM	77	M	PF, silicosis	R/2	1	uneven, sp		
21	FK	65	F	COLD (asthma)	BH/3	1	RU	N	RM
23	MZ	69	M	COLD (CB)	BH/2	1	N		
26	HM	69	M	COLD (CB), LC?	BH/2	1	Rap	Rap	MA
12	TC	69	M	Br. adenoma (LU)	NG	3	Lap, Rap	Lap	RM
18	TC	69	M	Br. adenoma*	BH/3	1	N	N	MA
19	IS	51	M	Bulla	R/3	2	LU, Rap	LU, Rap	MA
32	HK	75	F	LC (RL)	R/3	2	N	N	MA
20	MH	75	M	LC (RL), PF	R/3	2	RU	RU	MA
3	SM	77	M	LC* (LU)	C/5	1	L	Ls1 + 2, 6	RM
11	KT	57	M	LC* (LU)	BH/3	2	LU	N	RM
2	KM	61	M	LC* (LU)	C/5	2	N, hs	Lap	MM
4	MK	73	M	LC* (RL)	C/8	2	R, Lap	R	RM
17	SS	72	M	LC* (RML)	NG	3	LU, Rap	N	RM
34	NS	63	M	LC* (RU)	C/5				
31	TS	63	M	LC* (RU)	R/3	1	R	R	MA
14	SK	58	F	LC* (RU)	TV2m	3	RU, RL	RL	RM
29	WT	71	M	LC* (RU)	(2nd)	4	RL, RU	RL	RM
16	KB	77	M	LC** (L)	TV2m	1	L (-)	L (-)	MA
5	KM	65	M	LC** (R)	C/8	2	R (-)	R (-)	MA
13	BN	70	M	LC** (R)	C/5	2	R (-), hs	R (-)	MA
25	SY	73	M	LC, COLD	(2nd)	3	uneven	uneven	MA
10	NY	73	M	LC? (RL)	BH/3	1	Rs6	Rs6	MA
15	NS	72	M	Lg. abscess* (RL)	TV2m	1	R, hs	RL	MA
24	TK	61	M	meta LC	BH/2	1	RU	N	RM
7	NM	68	M	meta LC	C/10	2	Rap	Rap	MA
8	MM	38	M	meta LC* (LU)	C/10	2	LU	Lap	RM

\*segmentectomy, \*\*pneumonectomy, IQ: image quality of Tc-GAS, NG: technically inadequate study, BH: breath hold, C: continuous sub-FVC breathing, TV: tidal breathing, R: poor cooperation, N: normal, PE: pulmonary embolism, DVT: deep venous thrombosis, CVA: cerebrovascular accident, IP: interstitial pneumonia, PF: pulmonary fibrosis, CB: chronic bronchitis, LC: lung cancer, Br.: bronchial, Lg.: lung, V/Q: MA=match, MM=mismatch, RM=reverse mismatch, IQ: 1=excellent, 2=good, 3=fair, 4=poor, hs: hot spot, 2nd: second patient of technegas inhalatio



Fig. 1 Appearance of TECHNEGAS generator.

た。装置はマイクロコンピュータによりコントロールされており、実行すべき操作手順は順次表示部に指示される。すなわち、(1) Ar ガスを接続し、電源を投入する。3分間で装置のチェックが行われる。(2) 装置前方のドロワーを開き、エタノールを浸潤させたカーボン・グラファイト製の“るつぼ”(中央に0.1 mlの容量の陥凹部を有する)を電極間にセットする。(3) “るつぼ”の陥凹部に0.1 mlの $^{99m}\text{Tc}$  パーテクネテートを注入する。 $^{99m}\text{Tc}$  パーテクネテートは370~740 MBq (10~20 mCi)/0.1 mlの濃度が必要とされるが、濃度が低い場合は次の(4)の後、再度0.1 mlを注入して全量を370 mBq以上とすることが可能である。(4) ドロワーを閉じ、 $^{99m}\text{Tc}$  パーテクネテート溶液を50°C、6分間で乾燥させる(simmering)。(5) “START” ボタンにより“るつぼ”は約2,700°Cに急速に加温され約15秒でテクネガスが発生される。(6) Ar ガスのコネクターをはずし、呼気フィルターのついたディスポーザブルのマウスピースよりテクネガスを吸入させる。羊毛線維が充填された呼気フィルターはマウスピースの直前で一方向弁を介して吸気チューブより分岐しており、呼気中のテクネガスをほぼ完全に除去可能である。装置は内臓バッテリーにより電源を外して検査室まで移動して吸入させることが可能である。テクネガス発生後吸入可能な時間はガスの沈降を考慮して10分間に設定されており、これ以後の吸入

はできない構造となっている。

テクネガス作成のための $^{99m}\text{Tc}$  パーテクネテート(ウルトラテクネカウ、第一ラジオアイソトープ研究所、容量3.7~14.8 GBq)は可及的小容量でミルキングした高濃度のものを用いた。1回のテクネガス発生当りの使用量は158 MBq (4.26 mCi)から1,155 MBq (31.22 mCi)であり、 $^{99m}\text{Tc}$  濃度が低い場合は3回まで追加注入(simmering)を繰り返した。

基礎的検討として、吸入量によるテクネガス濃度の変化をみるため、1分間に300 mlの容量で装置より密閉容器中にサンプリングしてシンチカメラにて測定した。

### 3. テクネガスの吸入

テクネガスは坐位吸入を原則とした。坐位不能の4例では臥位にて吸入を行った。吸入はテクネガス発生後遅くとも1分以内に開始した。吸入方法は以下の3種類を用いた。(1) 可及的呼気後に最大吸気まで吸入(亜最大吸入, sFVC)し5秒間の息こらえ(BH)を1~3回繰り返す(BH群)。(2) sFVC呼吸で5~10回の連続吸入を行う(C群)。(3) 安静(tidal volume, TV)呼吸にて約2分間連続吸入を行う(TV群)。これらの吸入法は患者状態を考慮しながら無作意に選んだ。また、吸入時にマウスピースのくわえ方が不適切で装置外の室内空気の吸入が多い可能性のある例は不適切群(R群)に分類した。テクネガス発生時の温度上昇が不十分で、テクネガス作成操作を再度繰り返した2例、一回のテクネガス発生で吸入を行った2人目の2例および以前の $^{67}\text{Ga}$ の残存が多い1例の計5例(NG群)は肺沈着率の評価から除外した。

### 4. 撮像および肺沈着量の算出

撮像には低エネルギー高分解能コリメータを装着した角形対向大視野シンチカメラとデータ処理装置(東芝 GCA 901/W2 または E2 および GMS 550U)を用いた。換気イメージは2~4分のプリセットタイムで前、後面、左右側面、左右前後斜位像を撮像した。肺沈着量の算出には後面像を用い、既知量の $^{99m}\text{Tc}$ を標準線源として、幾何学的に同一条件で肺内の絶対量(MBq)を算出した。



またテクネガス発生のための1回当りの $^{99m}\text{Tc}$ パーテクネート使用量(LD)に対する肺沈着量の比率(%/LD)を算出した。フィルター沈着量も同様に標準線源と同一の幾何学的条件で測定した。これより、装置から吸入されたテクネガスの有効な肺沈着の指標として肺/フィルター比(L/F)を算出した。

テクネガスの画質(IQ)は視覚的に(1)非常に鮮明、(2)鮮明、(3)やや不鮮明、(4)不良、の4段階に分けて評価した。28例(29回)ではテクネガス撮像の直後または前後2日以内に148–222 MBq (4–6 mCi)の $^{99m}\text{Tc}$ -MAA(第一ラジオアイソトープ研究所)にて肺血流イメージを撮像し、換気/血流(V/Q)の評価を行った。

統計的検定にはt検定および $\chi^2$ 検定を行い、危険率(p)0.05以下を有意とした。

### III. 結 果

#### 1. 吸入量によるテクネガス濃度の変化

毎分300 mlで経時的にサンプリングした時のテクネガス濃度は0~1分で12.5%/LD/300 mlより9~10分で3.0%/LD/300 mlへと指数関数的に減少した(Fig. 2)。10分間の積算では56.7%/LDが3,000 mlの吸気中に回収された。

#### 2. テクネガスの安全性

全例においてテクネガス吸入による副作用はみられなかった(Table 1)。数例で吸入時の抵抗が高く息苦しい印象を訴える例がみられたが、検査の実施には支障を来さなかった。

#### 3. テクネガスの肺およびフィルター沈着率

全例での $^{99m}\text{Tc}$ 使用量は平均 $424.6 \pm 251.5$  MBq ( $11.5 \pm 6.8$  mCi)であった。肺沈着量は最小5.92 MBq (0.16 mCi)から最大72.15 MBq (1.95 mCi)、平均 $21.2 \pm 14.5$  MBq ( $0.57 \pm 0.39$  mCi)であり、使用量370 MBq (10 mCi)当りの後面像での計数率は平均 $1,117 \pm 583$  cpsであった。肺沈着率は平

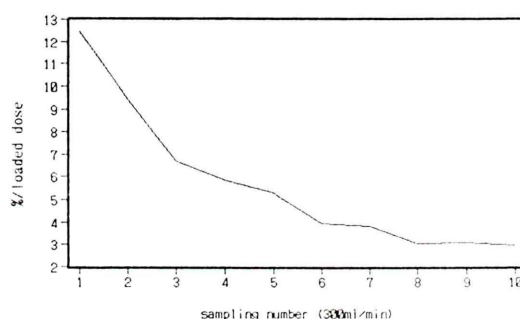


Fig. 2 Change of TECHNEGAS activity according to sequential sampling of 300 ml/min from 0–10 minutes after generation.

Table 2 Comparison of loaded dose (LD) to the TECHNEGAS generator, lung and filter deposition, lung/filter ratio (L/F) and lung counts in posterior view

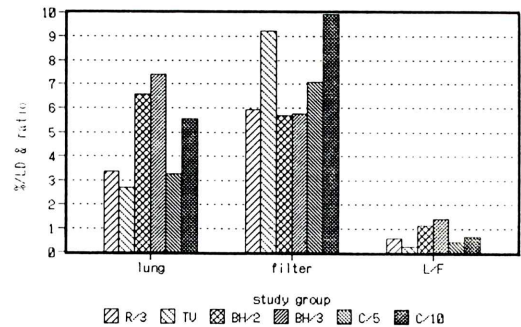
Study group	Age	LD (MBq)	Lung (MBq)	Filter (MBq)	Lung (%/LD)	Filter (%/LD)	L/F	Lung counts*
R/3 mean	67	538.0	16.9	33.2	3.37	5.94	0.59	735
(n=6) sd	10	318.9	7.2	25.6	1.11	1.32	0.19	231
TV mean	68	281.6	6.2	21.5	2.69	9.22	0.25	634
(n=4) sd	8	41.0	5.8	16.1	2.17	5.70	0.11	521
BH/2 mean	70	602.6	53.0	46.3	6.56	5.68	1.15	1,419
(n=4) sd	6	487.1	16.8	11.4	1.88	1.21	0.21	451
BH/3 mean	63	363.3	27.0	20.7	7.43	5.75	1.42	1,674
(n=6) sd	8	39.9	5.2	7.4	1.10	1.97	0.49	254
C/5 mean	62	551.8	17.1	38.9	3.25	7.09	0.46	699
(n=6) sd	15	173.2	6.0	14.7	0.57	1.82	0.10	126
C/10 mean	57	273.3	16.2	28.2	5.55	9.91	0.67	1,334
(n=5) sd	16	74.4	8.2	16.3	2.36	4.62	0.52	581
Total mean	63	437.4	21.2	30.1	4.93	7.14	0.79	1,117
(n=31) sd	13	248.0	14.5	17.1	2.47	3.22	0.55	583

LD: loaded dose, L/F: lung/filter ratio, \*: cps/370MBq of LD

均  $4.93 \pm 2.47\% / \text{LD}$ 、フィルター沈着率は平均  $7.14 \pm 3.22\% / \text{LD}$  であり、肺/フィルター比 (L/F) は  $0.79 \pm 0.55$  であった (Table 2)。

肺沈着率は TV 群が  $2.69 \pm 2.17$  と最も低く、また R 群、5 回吸入の C 群 (C/5) も同等の肺沈着率であった。BH 群は 2 回 (BH/2,  $6.56 \pm 1.88\% / \text{LD}$ ) および 3 回 (BH/3,  $7.43 \pm 1.10\% / \text{LD}$ ) 吸入で有意差はなく、いずれも R 群、TV 群、C/5 群より有意に高い肺沈着率を示した ( $p < 0.05 - 0.001$ )。フィルター沈着率は吸入回数の多い TV 群、C 群で高値の傾向であったが、すべての群で有意差はみられなかった。L/F は BH 群で他の群より有意に高値であり、TV 群では他の群より有意に低値であった ( $p < 0.05 - 0.001$ )。8~10 回吸入の C 群ではバラツキが大きく、L/F のみ BH/3 群と有意差がみられた (Fig. 3, Table 3)。

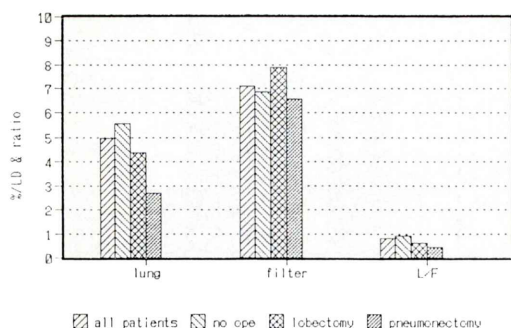
肺手術と肺およびフィルター沈着率、L/F の関係については、片側肺切除例では非手術例に比



**Fig. 3** Comparison of mean lung and filter deposition (%/loaded dose, LD) and lung/filter ratio (L/F) in each group of inhalation. R/3: poorly cooperative patients, TV: tidal inhalation for 2 minutes, BH/2: 1-2 times of submaximal inhalation with breath holding, BH/3: 3 times of submaximal inhalation with breath-holding, C/5: 5 times of continuous submaximal inhalation, C/10: 8-10 times of continuous submaximal inhalation. These abbreviations were used throughout in this paper.

**Table 3** Table of degree of significance (p-value) among groups. ns: not significant

Lung (%/LD)							
	R/3	TV	BH/2	BH/3	C/5	C/10	p
R/3	—	ns	<0.01	<0.001	ns	ns	R/3
TV	ns	—	<0.05	<0.005	ns	ns	TV
BH/2	ns	ns	—	ns	<0.05	ns	BH/2
BH/3	ns	ns	ns	—	<0.001	ns	BH/3
C/5	ns	ns	ns	ns	—	ns	C/5
C/10	ns	ns	ns	ns	ns	—	C/10
p	R/3	TV	BH/2	BH/3	C/5	C/10	
Filter (%/LD)							
	R/3	TV	BH/2	BH/3	C/5	C/10	p
R/3	—	ns	<0.05	<0.001	ns	ns	R/3
TV	<0.05	—	ns	<0.005	ns	ns	TV
BH/2	<0.005	<0.001	—	ns	<0.05	ns	BH/2
BH/3	<0.01	<0.005	ns	—	<0.001	ns	BH/3
C/5	ns	<0.05	<0.001	<0.005	—	ns	C/5
C/10	ns	ns	ns	<0.05	ns	—	C/10
p	R/3	TV	BH/2	BH/3	C/5	C/10	
Lung counts							
	R/3	TV	BH/2	BH/3	C/5	C/10	p
R/3	—	ns	<0.05	<0.001	ns	ns	R/3
TV	<0.05	—	ns	<0.005	ns	ns	TV
BH/2	<0.005	<0.001	—	ns	<0.05	ns	BH/2
BH/3	<0.01	<0.005	ns	—	<0.001	ns	BH/3
C/5	ns	<0.05	<0.001	<0.005	—	ns	C/5
C/10	ns	ns	ns	<0.05	ns	—	C/10
p	R/3	TV	BH/2	BH/3	C/5	C/10	
L/F							
	R/3	TV	BH/2	BH/3	C/5	C/10	p
R/3	—	ns	<0.05	<0.001	ns	ns	R/3
TV	<0.05	—	ns	<0.005	ns	ns	TV
BH/2	<0.005	<0.001	—	ns	<0.05	ns	BH/2
BH/3	<0.01	<0.005	ns	—	<0.001	ns	BH/3
C/5	ns	<0.05	<0.001	<0.005	—	ns	C/5
C/10	ns	ns	ns	<0.05	ns	—	C/10
p	R/3	TV	BH/2	BH/3	C/5	C/10	



**Fig. 4** Comparison of mean lung and filter deposition (%/LD) and lung/filter ratio (L/F) in groups with and without surgery. ope: operation.

**Table 4** Comparison of TECHNEGAS image quality among groups of different method of inhalation. BH: breath-holding, RTC: continuous inhalation, NG: inadequate inhalation or technique

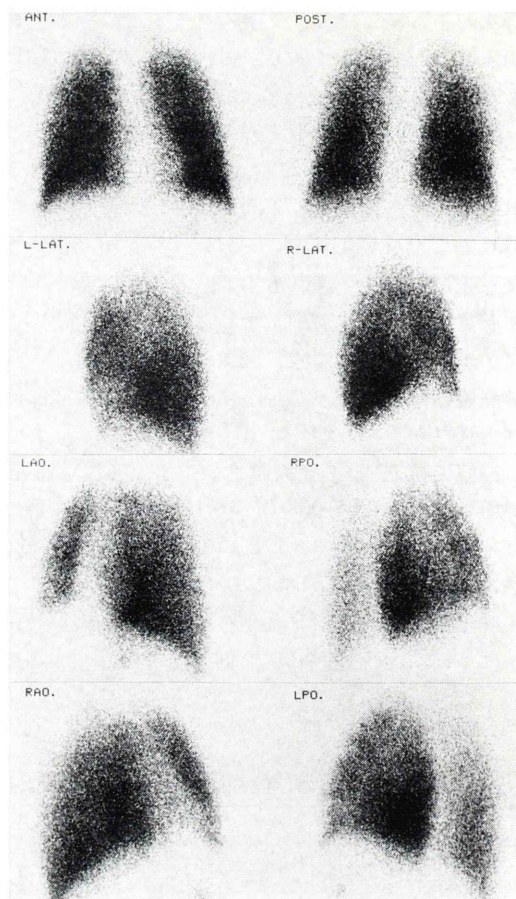
Group	Image quality				Total
	1	2	3	4	
BH	7	2	0	0	9
RTC	7	11	1	0	19
NG	0	0	4	1	5
Total	14	13	5	1	33

(df=6  $\chi^2=31.2738$   $p<0.001$ )

べて有意に低い肺沈着率 ( $2.69 \pm 0.87$  vs.  $5.56 \pm 2.56\%$ /LD,  $p<0.01$ ) と L/F ( $0.43 \pm 0.17$  vs.  $0.92 \pm 0.57$ ,  $p<0.025$ ) を示したが、肺葉または区域切除例では非手術群、片側肺切除群と有意の差はみられなかった (Fig. 4).

#### 4. 画質およびイメージ所見

テクネガス肺換気イメージが得られた 33 例において、視覚的に評価した画質は 27 例 (81.8%) で鮮明以上 (IQ1 および IQ2) であった (Table 4). やや不鮮明 (IQ3) は 5 例、不良 (IQ4) は 1 例であり、これらは協調性が不良な IQ3 の 1 例と NG 群であった。R 群、TV 群、C 群の間では画質に有意差はみられず、これらを RTC 群としてまとめると、BH 群では 78% が IQ1 であり RTC 群 (37%) より有意に画質は良好であった ( $p<0.05$ ). IQ1 を示した例では IQ2 に比べ有意に肺沈着量が



**Fig. 5** TECHNEGAS lung ventilation images of normal volunteer (BH, 41 year male) with 10 times of continuous inhalation (C/10). Lung deposition was  $7.19\%$ /LD and L/F was 0.54. Image quality was graded to excellent.

大であった (IQ1:  $27.8 \pm 16.9$ , IQ2:  $15.8 \pm 7.7$  MBq,  $p<0.05$ ).

C/10 群の正常例ではテクネガス肺沈着は均一で、中枢気道での hot spot 形成もみられず画質は極めて鮮明であった (Fig. 5). 中枢気道での hot spot 形成は 5 例 (15%) にみられたが、すべて RTC 群であった (Fig. 6). 2 回吸入の R 群の肺線維症の例では後面像での計数率は 498 cps/370 MBq と低いが、不均一換気分布が明瞭に描画された (Fig. 7).

肺血流イメージとの対比では、16 例が V/Q 一



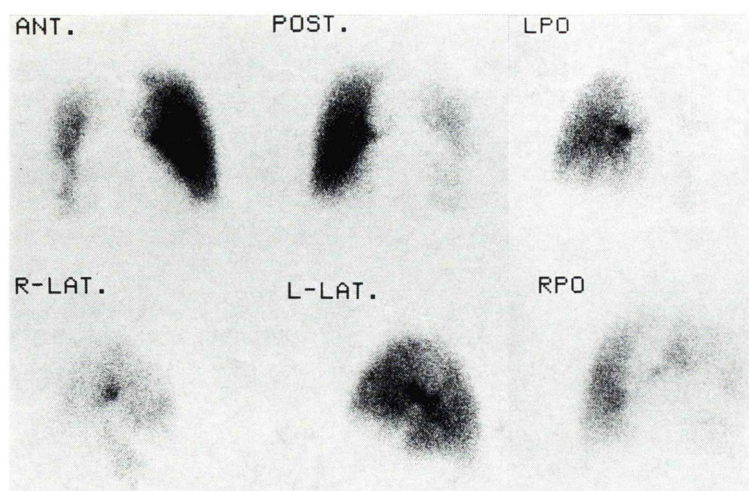


Fig. 6 Patient after right lower lobectomy (NS, 72 year male) with 2 minutes of tidal inhalation (TV) showed hot spots in central airway. Although lung deposition was 5.45%/LD and L/F was 0.32, image quality was excellent.

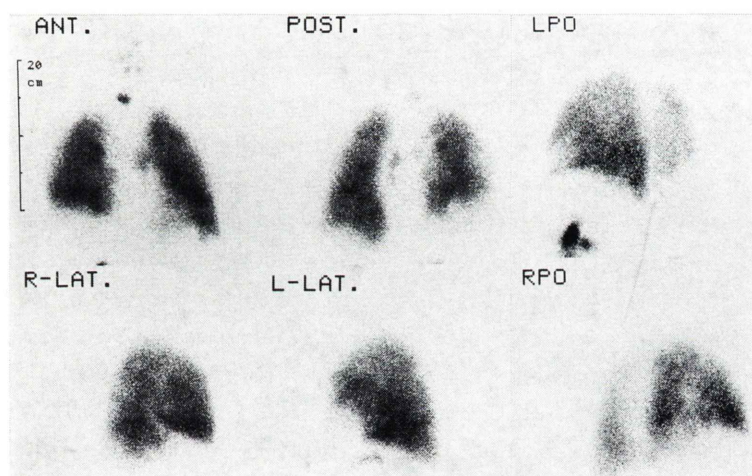


Fig. 7 Two times of inadequate inhalation with breath-holding (R/2) in patients with pulmonary fibrosis (TM, 77 year male) resulted excellent image quality even with low count rate.

致を示した。V/Q 不一致は 3 例にみられ、うち 2 例は肺塞栓症 (Fig. 8) であった。V/Q 逆不一致は肺葉または区域切除術後 7 例、気管支喘息 1 例、肺癌 1 例、および NG 群の 1 例にみられた。術後で逆不一致を示した 7 例は全例手術側肺での換気の低下所見であった (Table 1)。NG 群を除き、これらの V/Q 一致 ( $IQ\ 1.50 \pm 0.52$ ) と不一致または

逆不一致 ( $IQ\ 1.78 \pm 0.67$ ) で画質の差はみられなかった。

#### IV. 考 察

##### 1. テクネガス発生装置の操作性と安全性

今回使用したテクネガス発生装置はガス発生に約 15 分を要するが、肺塞栓症などの緊急検査に

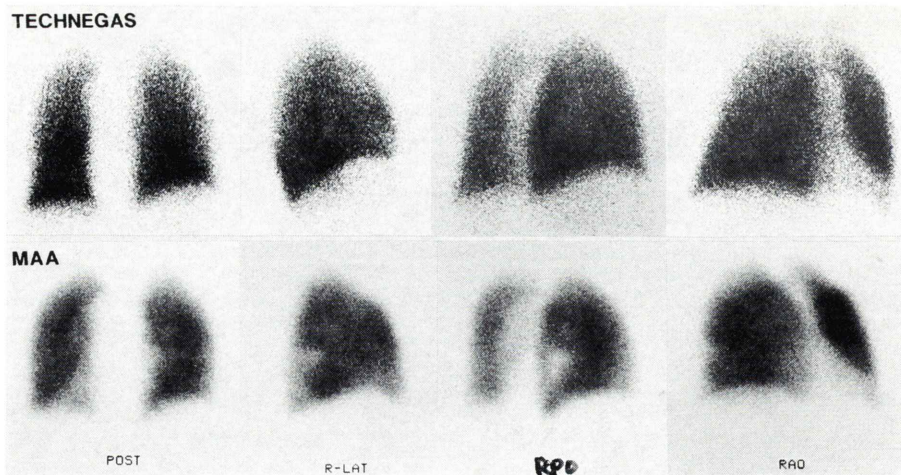


Fig. 8 Ventilation/perfusion mismatch in right superior segment was detected in patients with deep venous thrombosis and pulmonary emboli (KY, 52 year female, BH/3). Lung deposition was 6.7%/LD and L/F was 2.32.

も利用可能な時間と考えられる。装置はマイクロコンピュータによりコントロールされており、操作手順は順次表示部に指示される。また、パルプや温度上昇不十分な時の警報、過去の使用回数などのチェック機能もあり、誤操作や作動不良のまま使用される危険性はほとんどなく操作性、安全性は良好であった。一部に装置の吸気抵抗が高く呼吸困難感を訴える例がみられ装置内の吸気抵抗を低下させる工夫が必要と考えられたが、検査実施不能例はなくテクネガスによる副作用もみられなかった。今回経験した温度上昇不良は電極と“るつぽ”の接触を再点検後には正常な温度上昇が得られ、電極部のクリーニングおよび確実な接触が正常な動作のために重要であった。

発生装置から供給されるテクネガス濃度は吸入に伴う装置内での希釈と時間経過に伴うテクネガス粒子の沈降によって決定される。Strong ら<sup>4)</sup>の結果からは粒子の凝集は無視し得ると考えられる。テクネガス発生装置の内部容量は 5,000 ml であり、300 ml/分の採取で 8 分以後の濃度が余り変化しなかったことより、装置内での希釈よりは粒子の沈降がテクネガス濃度の決定により関与しているものと考えられる。沈降については今後の検討が

必要であるが、本装置ではテクネガス吸入可能時間が 10 分に設定されていることは今回の結果から妥当と考えられる。

## 2. 肺沈着量からみた吸入法の最適化

テクネガスでは粒子の肺胞内沈着量がイメージの画質や換気分布の評価に重要な因子となる。これまでの報告では TV による連続吸入、TV と息こらえ (BH) の組合せや最大吸入と BH の組合せなどが用いられているが、吸入方法と肺沈着率に関する検討はなされていない<sup>2,3,5)</sup>。一定の計数が得られるまで吸入させる方法ではシンチカメラの占有時間が長くなり、シンチカメラや検査室の汚染の可能性も否定できない<sup>7)</sup>。テクネガスの肺沈着量を高め得る至適な吸入方法が決定されれば、テクネガス吸入と検査室の分離ができ、汚染防止や検査の効率的な運用が可能となる。

今回の検討では種々の疾患を対象としたが、Table 1 に示すごとくそれぞれの吸入法において大きな疾患の片よりはなく、疾患分布による影響は少なく相互に比較可能と考えられる。今回の結果はテクネガスの肺沈着率増加に息こらえが重要な因子であることを示している。すなわち、1~3 回吸入の BH 群で肺沈着率は最も高く、8~10 回



吸入の C 群と同等であり、息こらえによって肺沈着率を減少させずに吸入回数を減少させ得る可能性を示している。5 秒程度の息こらえは多くの患者で可能であり、装置の吸気抵抗による吸入困難感を訴えた例でも吸入時の患者負担の軽減が期待される。

フィルター沈着はいったん肺に吸入されたテクネガスの呼出、すなわちイメージングの点では無効な吸入を示すものであり、L/F は有効な吸入の指標となる。今回の結果はフィルター沈着率は有意差はないが C 群、TV 群で高値であり、逆に L/F は BH 群で有意に高値を示し、息こらえが有効な吸入に重要であった。L/F は肺沈着量の少ない例において不適切な吸入方法によるものと呼吸機能の低下によるものの判別にも利用可能と考えられる。

テクネガスイメージの画質の面からも息こらえは有意に良好なイメージが得られることが示された。しかし、C 群、TV 群でもやや不鮮明な画像は 19 例中 1 例のみであり、連続 TV 吸入は無効吸入の多い方法であるが、協調性の乏しい例や息こらえの困難な例では利用し得る方法であると考えられた。

複数例の検査においては、1 回のテクネガス発生で 2～3 例の吸入は可能であるが、今回の結果からは吸入容量の増加と共にテクネガス濃度は急速に低下するため、第 1 例目の吸入容量を少な目にし、第 2 例目以後は吸入容量を多くする必要性が示唆された。吸入容量の点では最初の 300 ml で使用量の 10% 以上の  $^{99m}\text{Tc}$  の吸入が可能であり、息こらえが十分であれば数回の TV 吸入でも良好な肺沈着が得られる可能性が示唆される。

### 3. テクネガスのイメージ所見

テクネガスによる肺中枢部での hot spot 形成<sup>8,9)</sup>は連続吸入の群のみにみられたが、所見判定の妨害とはならなかった。今回の hot spot の頻度は全体の 15% と Fawdry ら<sup>3)</sup>とほぼ同等であった。この点ではテクネガスは従来のエアゾルの性質を有している<sup>10)</sup>がよりガスの性質に近く<sup>11)</sup>、1～3 回の吸入と息こらえによるイメージでは換

気がより大きく反映されることが考えられる。

今回の肺塞栓症の 2 例ではテクネガスと血流イメージの対比で換気・血流不一致が検出され、テクネガスの直後に血流イメージを行っても所見の判定に支障はないと考えられる<sup>4)</sup>。肺葉または区域切除例で手術側肺の換気・血流逆不一致がみられ、術側肺の過伸展による換気低下の可能性が考えられたが、この点に関しては今後の検討が必要である。

### 4. テクネガスと他の検査法との比較

今回の検討では  $^{133}\text{Xe}$  や  $^{81m}\text{Kr}$  との比較は行わなかったが、Rimkus ら<sup>5)</sup>はテクネガスは  $^{133}\text{Xe}$  と比較的一致すると報告している。テクネガスの利点はいつでも使用可能であり、放射線エネルギーが適当であること、数回の吸入で撮像可能で患者の負担が少なく、多方向撮像や SPECT が可能であることである。欠点としては吸入開始までに時間を要すること、高濃度の  $^{99m}\text{Tc}$  を必要とすることがあげられる<sup>3)</sup>。濃度に関しては Simmering の繰り返しである程度解決可能である。今回の結果でも 158 MBq (4.26 mCi) の使用量で 8 回の連続吸入により、2 分間の撮像で明瞭 (画質 2) なイメージが得られており、実際上はあまり問題とならないと思われる。

## V. 結 語

テクネガスによる肺換気イメージングにおける吸入方法の最適化を目的に、35 例において吸入方法と肺沈着率の関係を検討した。息こらえ群では肺沈着率は平均 6.6–7.4%/LD と連続吸入群より有意に高値を示した ( $p<0.05$ – $0.001$ )。10 回の連続吸入では息こらえ群と同等の肺沈着率を示したが、イメージの画質は息こらえ群で有意に良好であった。肺/フィルター比 (L/F) は息こらえ群で有意に高値であり、連続 TV 呼吸群で他群より有意に低値となり、イメージングの点で無効な吸入の増大を示した。中枢気道での hot spot 形成は 15% にみられ、すべて連続吸入群であった。テクネガス肺換気イメージングにおいては十分な息こらえが肺沈着率の改善に重要であった。協調性の

低い患者では TV 吸入が適していると考えられた。L/F は適正な吸入の判定指標であった。テクネガスは安全で簡便に良好な画像が得られ、肺換気イメージングに有用と考えられた。

謝辞：本研究はテクネガスの後期臨床治験として行われた。今回、テクネガス発生装置を提供いただいた三井物産株式会社およびウルトラテクネカウを提供いただいた第一ラジオアイソトープ研究所に感謝の意を表します。また、ご協力いただいた金沢大学医学部付属病院第一外科、第三内科およびアイソトープ部の諸氏に感謝の意を表します。

## 文 献

- 1) Neuman RD, Sostman HD, Gottchalk A: Current status of ventilation-perfusion imaging. *Semin Nucl Med* **10**: 198-217, 1980
- 2) Burch WM, Sullivan PJ, McLaren CJ: Technegas—a new ventilation agent for lung scanning. *Nucl Med Commun* **7**: 865-871, 1986
- 3) Fawdry RM, Gruenwald SM: Initial experience with Technegas—a new ventilation agent. *Australas Radiol* **32**: 232-238, 1988
- 4) Strong JC, Agnew JE: The particle size distribution of technegas and its influence on regional lung deposition. *Nucl Med Commun* **10**: 425-430, 1989
- 5) Rimkus DS, Ashburn WL: Lung ventilation scanning with a new carbon particle radioaerosol (Technegas): preliminary patient studies. *Clin Nucl Med* **15**: 222-226, 1990
- 6) 須井 修, 分校久志, 油野民雄, 他:  $^{99m}\text{Tc}$ -ミリマイクロスフェアによるエアゾル肺吸入スキャン——基礎的検討と臨床評価. *核医学* **20**: 1121-1131, 1983
- 7) Bomanji J, Solanki KK, Sobnack R, et al: Technegas (TcG) ventilation-perfusion (V/Q) studies: experience in 89 patients. *Eur J Nucl Med* **16**: 440, 1990 (abstr.)
- 8) Mannting F, Morgan MG, Henderson H, et al: A comparative study of Xe-133 and Tc-99m-gas for assessment of regional ventilation. *Eur J Nucl Med* **16**: 429, 1990 (abstr.)
- 9) Zwijnenburg A, Royen EV, Dongen AV, et al: Experience with  $^{99m}\text{Tc}$ -technegas as a ventilation tracer: comparison with  $^{81m}\text{Kr}$ -gas. *Eur J Nucl Med* **16**: 440, 1990 (abstr.)
- 10) 川上憲司, 岩村 昇, 後藤英介, 他: テクネガスの基礎的検討と臨床応用. *核医学* **27**: 725-733, 1990
- 11) Sullivan PJ, Burke WM, Burch WM, et al: A clinical comparison of Technegas and xenon-133 in 50 patients with suspected pulmonary embolus. *Chest* **94**: 300-304, 1988

## Summary

### Lung Ventilation Imaging with TECHNEGAS: Clinical Study of Lung Deposition and Ventilation/Perfusion

Hisashi BUNKO, Mikito SETO, Ichiei KUJI, Tsutomu MIYAUCHI  
and Kinichi HISADA

*Department of Nuclear Medicine, Kanazawa University School of Medicine,*

In order to optimize inhalation method for lung ventilation imaging with Tc-99m-gas (TECHNEGAS), relation between lung deposition of TECHNEGAS and inhalation method was evaluated. Submaximal inhalation with breath-holding (BH), continuous submaximal inhalation (C) and tidal inhalation (TV) were compared in 35 patients (36 studies) with various lung diseases. Mean lung deposition of TECHNEGAS was 6.6–7.4%/LD in BH group and was significantly higher than other groups of inhalation method ( $p < 0.05$ – $0.001$ ). Lung deposition increased according to the times of inhalation in C group. TV group resulted in the lowest lung deposition which was same as 5 times of inhalation in C group. Lung/filter ratio (L/F)

was highest in BH group. Image quality of TECHNEGAS was significantly better in BH group. Hot spot in central airway was seen in 15% of patients. All of them was in TV or C groups. In order to improve lung deposition and image quality of the TECHNEGAS, sufficient breath-holding was important. L/F seemed to be the index of effective inhalation of the TECHNEGAS. TV was suitable for poorly cooperative or dyspneic patients. TECHNEGAS was useful for evaluation of lung ventilation to provide good quality image with safety and simplicity.

**Key words:** Technegas, lung deposition, inhalation method, ventilation/perfusion.