

高頻度ジェット振動換気法が各種実験的 呼吸不全に及ぼす影響

品川由美子* 安本和正* 桑迫勇登* 島田千里*
橋本 誠* 竹村 博* 細山田明義*

ABSTRACT

Effects of Superimposed Jet Oscillation on Five Injured Lungs in Dogs

Yumiko Shinagawa, Kazumasa Yasumoto, Yuhto Kuwasako,
Tisato Shimada, Makoto Hashimoto, Hiroshi Takemura and Akiyoshi Hosoyamada

Department of Anesthesiology, Showa University School of Medicine, Tokyo, 142

We investigated the effects of superimposed jet oscillation (SOV) on 5 types of experimental acute lung injury, such as pulmonary edema, RDS, methacholine induced bronchial constriction, histamine induced bronchial constriction and HCL induced aspiration pneumonia. The PaO_2 increased significantly only in the group with bronchial constriction by methacholine when the ventilation support was changed from conventional mechanical ventilation (CMV) to superimposed 10 Hz-jet oscillation during expiration. There was no significant difference in PaO_2 between CMV and SOV in the 4 remaining subjects. The $Paco_2$ decreased easily under SOV during expiration in pulmonary edema, RDS, histamine induced bronchial constriction and aspiration pneumonia. In methacholine induced bronchial constriction. $Paco_2$ decreased under SOV during inspiration. Mean airway pressure was higher during SOV compared to CMV in all subjects. There was no significant change in hemodynamic parameters between CMV and SOV in all subjects. We conclude that SOV could improve oxygenation in only bronchial constriction by methacholine.

Under SOV, CO_2 elimination was enhanced in all subjects compared to CMV, but the respiratory phase that could decreased in $Paco_2$ was not same in injured lungs.

呼吸生理学的常識を逸脱した高頻度換気法 (HFV) は、従来の換気法では対処できない重篤な呼吸不全例に対しても有効であろうと大いに期待され、数年来爆発的人気を博した。しかし、HFV を施行した臨床例が増すにつれて、ガス交換能に対して IPPV との間にそれほど大きな差がないという報告が散見され、その上 HFV のように換気回数が非生理的状态にまで増大すると、プロスタサイクリンが放出され、生理的な hypoxic pulmonary vasoconstriction が抑制さ

れるという報告¹⁾もあり、現在では臨床応用は減少してきている。しかし、本換気下におけるガス交換の機序はいまだ解明されていないため、基礎的な研究が続けられている。

一方、HFV の中でも振動重畳換気法 superimposed oscillatory ventilation (SOV) は、IPPV の bulk flow に HFV を重畳するため概念的にも馴染みやすく、その上振動を重畳する機種がいくつか開発されたため臨床応用が進んでいる。安本ら²⁾は、高齢者の上腹部手術中に本換気法を用い酸素化能の改善を得ている。また、術後に発生した呼吸不全例に対して本換気法を施行し

* 昭和大学医学部麻酔学教室

たところ、有効に対処したという報告³⁾もあり、本換気法の有用性が認められている。しかし、現在のところ、いかなる病態の呼吸不全に対してSOVが適応となるか、またどのようなタイプの振動を重畳すべきであるかなどについての定説はない。

今回、成犬に5種類の病的肺を作成し、いかなる呼吸不全に対してSOVが有効であるか、また振動重畳時期はどのように影響しているかをガス交換能を中心に検討したところ、2, 3の知見を得たので報告する。

1. 対象ならびに研究方法

雑種成犬34頭を対象とし、ペントバルビタール25 mg/kg 静注後不動化を目的としてパンクロニウムを1.0 mg/kg 投与し、内側にジェット流噴出用のカテーテルを有するチューブを気管内挿管した。Servo ventilator 900 Cを用いて P_{aCO_2} が35ないし40 mmHgになるようにIPPV ($F_{IO_2}=0.33$, $f=20/\text{min}$)を行い、次いで、大腿動脈に動脈圧の測定と動脈血採血を目的としてカニューレーションを行い、さらに心拍出量(CO)、平均肺動脈圧(P_{PA})、肺動脈楔入圧(P_{WP})測定ならびに混合静脈血採血などを目的として、右外頸静脈よりSwan-Ganzカテーテルを挿入して肺動脈に留置した。動脈血ならびに混合静脈血のガス分析には、Corning社製ガス分析装置158 pH/blood gas Analyzerを使用した。COはInstrumentation Laboratory社製Cardiac Output Monitor IL-601を用い熱希釈法により測定した。また、動脈圧ならびに肺動脈圧などの測定には、日本光電社製トランスデューサTP 101 Tを用いた。平均気道内圧(P_{aw})は気管内チューブの先端において、一方、平均胸腔内圧(P_{PI})は食堂内圧法によって測定した。なお、一回換気量(V_T)は、ミナト医科社製の熱線流量計により測定したが、トランスデューサは人工呼吸器の呼吸回路と気管内チューブの接続部に設置した。

以上の操作が終了した後、十分な安定を得てから各パラメータを採取し、次いで下記の方法により5つの病的肺を作成した。

病的肺1：肺水腫群，N=7（平均体重14.0±2.0 kg），0.09 mg/kgのオレイン酸をSwan-GanzカテーテルのCVPラインより注入して、肺水腫を作成した。

病的肺2：RDS群，N=6（平均体重13.0±0.7 kg），20 ml/kgの生理的食塩水を用いて20秒間肺を洗浄し，5分後に再度洗浄を行い，脱サーファクタントによるRDSを作成した。

病的肺3：メサコリン気管支収縮群，N=8（平均体重16.2±2.7 kg），0.75ないし1.0 mg/kg/hrのメサコリンを末梢静脈より持続点滴して気管支収縮を発生させたが，最大気道内圧がメサコリン投与前の約1.5倍になるように薬剤の投与量を調節した。

病気肺4：ヒスタミン気管支収縮群，N=7（平均体重17.4±1.4 kg），0.1ないし0.2 g/kg/hrのヒスタミンを，メサコリン気管支収縮群と同方法により投与した。なお，メサコリンおよびヒスタミンの投与により発生した循環抑制に対しては，ドパミンとノルアドレナリンなどの点滴静注により対処した。

病的肺5：aspiration pneumonia群，N=6（平均体重15.5±0.8 kg），pH 2.0の塩酸1 ml/kgを気道内に注入してaspiration pneumoniaを作成した。

各群において病的肺作成後は， $V_T=10 \text{ ml/kg}$ ， $f=20/\text{min}$ ， $F_{IO_2}=0.33$ でIPPVを行い，各パラメータを測定した後に，Servo HFV unit⁴⁾を用いてSOVを開始した。pulse time（1振動におけるジェット流の噴出時間）が50%で10 Hzのジェットを吸気相，呼気相，全呼吸相に分けて重畳し，SOV開始後10分，30分，60分に各パラメータを採取した。また，ジェット流は気管内チューブ先端より手前2 cmに開口する管より噴出した。なお，呼気相に振動を重畳しても V_T は変わらないが，吸気相重畳時には V_T が増すため⁴⁾，吸気相および全呼吸に重畳する際にはIPPVの換気量を減らして，各呼吸相の V_T が一定になるように調節した。また，1頭のイヌに3つの呼吸相におけるSOVを施行したが，各呼吸相への振動重畳の順序は順不同とし，各呼吸相におけるSOV終了後には，同一条件でIPPVを

45分間行い、前に施行したSOVの影響を排除するとともにIPPV時の値を次に実施したSOVの対照値とした。

各パラメータの推計学的検討には、paired t-testを用い、 $P < 0.05$ をもって推計学的に有意差ありと判定した。

2. 結果

5種類の呼吸不全における病的肺作成前、病的肺作成後1時間(IPPV)、SOV開始後10分、30分、60分における各パラメータの値を、重畳時期を分けて表1ないし表5に示した(平均値±標準誤差)。

1) P_{aO_2} の変動(図1)

全群において病的肺作成後、 P_{aO_2} は有意に低下した($P < 0.01$)。肺水腫群、ヒスタミン気管支収縮群およびaspiration pneumonia群では、どの呼吸相に振動を重畳しても P_{aO_2} はほとんど変化しなかった。一方、RDS群では振動を重畳すると、どの呼吸相においても P_{aO_2} はわずかではあるが上昇する傾向がみられた。メサコリン気管支収縮群では、吸気相に振動を重畳しても P_{aO_2} はほとんど変化しなかったが、呼気相に振動を重畳すると、10分後より P_{aO_2} は有意に上昇し、($P < 0.05$)、以後そのレベルを保った。また、全呼吸相重畳群でも開始後10分より P_{aO_2} の上昇が認められたが、その程度は呼気相重畳群より弱く、対照値との間に推計学的有意差は認められなかった。

2) P_{aCO_2} の変動(図2)

全群において病的肺作成後は P_{aCO_2} は上昇する傾向にあった。肺水腫群では吸気相に振動を重畳しても P_{aCO_2} は変化しなかったが、呼気相重畳時には開始後10分および30分に有意に低下した($P < 0.05$)。また、全呼吸相重畳時にも P_{aCO_2} は開始後10分より有意に低下し($P < 0.05$)、その程度は呼気相重畳時より強かった。RDS群では振動を重畳すると P_{aCO_2} は低下したが、その程度は吸気相よりも呼気相および全呼吸相重畳時の方が強かった。ヒスタミン気管支収縮群では吸気相に振動を重畳しても P_{aCO_2} は変化しなかったが、呼気相ならびに全呼吸相重畳時に

は有意に減少した($P < 0.05$)。一方、メサコリン気管支収縮群ではいずれの相においても振動を重畳すると P_{aCO_2} は減少したが、その程度が最も強く、かつ推計学的に有意差が認められたのは吸気相重畳時であった($P < 0.01$)。aspiration pneumonia群では、他の4群と異なり病的肺作成後も P_{aCO_2} の上昇は見られず、その後、振動を重畳することにより P_{aCO_2} は若干減少した。

3) P_{vO_2} の変動

P_{vO_2} は肺水腫ならびにRDSの呼気相重畳群では減少傾向を示した。また、 P_{vO_2} はヒスタミン気管支収縮群では呼気相重畳時において減少する傾向を示し、全呼吸相重畳時には有意の減少を認めた($P < 0.05$)。一方、メサコリン気管支収縮群では吸気相重畳時に P_{vO_2} は軽度減少したが、呼気相重畳時には10分ないし30分後に若干上昇する傾向を示した。aspiration pneumonia群では呼気相および全呼吸相重畳時には P_{vO_2} は変化しなかったが、呼気相に重畳すると有意に減少した($P < 0.01$)。

4) P_{vCO_2} の変動

肺水腫群、RDS群、ヒスタミン気管支収縮群では、呼気相と全呼吸相で、IPPV時に比べてSOV時に P_{vCO_2} は低下した(その程度は呼気相より全呼吸相重畳時の方が強かった)が、メサコリン気管支収縮群では反対に、呼気相重畳時に P_{vCO_2} は有意に低下した($P < 0.01$)。aspiration pneumonia群では、病的肺作成後も他の4群と異なり P_{vCO_2} の上昇を認めず、次いで振動を重畳すると程度は小さいが P_{vCO_2} は低下した。なお、全呼吸相重畳時では10分値に、一方、呼気相重畳群では重畳した全期間において有意差が認められた($P < 0.05$)。

5) P_{aw} の変動(図3)

全群において病的肺作成後 P_{aw} は有意に上昇し、さらにいずれの呼吸相に振動を重畳しても、IPPV時より上昇する傾向を示したが、その程度は全呼吸相において最も強く、次いで呼気相、吸気相の順であった。RDS群では呼気相の10分および30分ならびに全呼吸相の全時間に、ヒスタミン気管支収縮群では呼気相ならびに全呼吸相の全時間に、メサコリン気管支収縮群では呼気相の

表 1 肺水腫群における，IPPV 時（左方は正常肺，右方は肺水腫発生後）と 3つの呼吸相に SOV を行った際の各パラメータを示す。

parameter	IPPV	phase	IPPV	SOV 10'	SOV 30'	SOV 60'
PaO ₂ (mmHg)	163±37	Ins.	64±13	63±12	62±11	61±10
		Exp.	69±10	68± 8	60± 6	64± 8
		whole.	68±14	69±13	73±14	72±12
PaCO ₂ (mmHg)	38±1	Ins.	41± 4	42± 3	40± 3	40± 4
		Exp.	42± 3	37± 3*	38± 3*	38± 3
		whole.	46± 3	38± 3**	38± 3**	38± 3*
P \bar{V} O ₂ (mmHg)	48±4	Ins.	38± 5	38± 5	38± 5	37± 4
		Exp.	40± 3	38± 3	35± 2	34± 2
		whole.	36± 4	35± 2	36± 2	34± 2
P \bar{V} CO ₂ (mmHg)	42±1	Ins.	48± 5	47± 9	47± 4	47± 4
		Exp.	50± 2	46± 4	47± 3	46± 3
		whole.	54± 4	47± 6*	48± 5**	47± 4**
\bar{P}_{aw} (cmH ₂ O)	3.7±0.2	Ins.	5.5±0.5	5.6±0.5	5.7±0.5	5.9±0.5
		Exp.	5.5±0.4	5.9±0.4	5.9±0.6	6.1±0.5
		whole.	5.6±0.7	6.0±0.7	6.0±0.6	6.5±0.6
\bar{P}_{pl} (cmH ₂ O)	0.9±0.2	Ins.	1.0±0.2	1.2±0.3	1.2±0.3	1.0±0.2
		Exp.	0.9±0.1	1.3±0.2	1.3±0.3	1.6±0.5
		whole.	1.1±0.2	1.5±0.2*	1.4±0.3*	1.5±0.2*
\bar{AP} (mmHg)	153±4	Ins.	131± 7	130± 8	132± 7	132± 7
		Exp.	133± 6	133± 6	138±11	134±10
		whole.	132± 6	136± 6	136± 5	139± 6*
CO (l/min)	2.0±0.2	Ins.	1.4±0.1	1.4±0.1	1.4±0.1	1.4±0.1
		Exp.	1.4±0.1	1.4±0.1	1.3±0.2	1.3±0.1
		whole.	1.4±0.2	1.4±0.1	1.4±0.1	1.3±0.1
\bar{P}_{PA} (mmHg)	19±2	Ins.	19± 2	22± 3	21± 3	23± 3
		Exp.	21± 2	22± 2	21± 2	20± 2
		whole.	20± 5	21± 2	21± 2	22± 2
P _{WP} (mmHg)	12±2	Ins.	11± 3	13± 3	13± 3	14± 3
		Exp.	13± 2	13± 2	13± 3	11± 2
		whole.	12± 2	13± 2	13± 2	14± 2

* P<0.05, **P<0.01

(平均±標準誤差)

全時間および全呼吸相の10分および30分に、さらに aspiration pneumonia 群では吸気相の60分ならびに全呼吸相の10分に、 \bar{P}_{aw} にはそれぞれ推計学的有意差が認められた。

6) \bar{P}_{pl} の変動

ヒスタミン気管支収縮群では病的肺作成後 \bar{P}_{pl}

は有意に上昇したが、他の群ではほとんど変わらなかった。RDS群、ヒスタミン気管支収縮群および aspiration pneumonia 群ではどの相に振動を重畳しても、 \bar{P}_{pl} はほとんど変化しなかったが、肺水腫群およびメサコリン気管支収縮群ではいずれの相においても上昇する傾向を示した。

表 2 RDS 群における、IPPV 時（左方は正常肺，右方は RDS 発生後）と 3つの呼吸相に SOV を行った際の各パラメータを示す。

parameter	IPPV	phase	IPPV	SOV 10'	SOV 30'	SOV 60'
PaO ₂ (mmHg)	142±6	Ins.	65± 8	68± 9	67±10	68±10
		Exp.	57± 7	58± 8	61±10	65±11
		whole.	59± 9	65±11	63± 9	67±11
PaCO ₂ (mmHg)	36±2	Ins.	42± 2	37± 1*	38± 2	38± 1
		Exp.	42± 2	36± 1*	34± 1**	34± 2*
		whole.	43± 4	36± 3**	35± 2**	34± 3**
P _V CO ₂ (mmHg)	43± 1	Ins.	37± 2	36± 2	35± 2	35± 2
		Exp.	35± 3	34± 2	32± 2	33± 2
		whole.	36± 2	35± 2	36± 2	36± 2
P _V CO ₂ (mmHg)	41± 2	Ins.	46± 3	43± 2	43± 2	44± 3
		Exp.	46± 3	41± 2*	40± 2*	40± 2*
		whole.	48± 4	41± 4**	39± 3**	39± 3**
$\overline{P_{aw}}$ (cmH ₂ O)	4.3±0.3	Ins.	6.0±0.5	6.2±0.4	6.2±0.4	6.4±0.5
		Exp.	6.2±0.4	7.3±0.6*	7.3±0.5**	6.7±0.5
		whole.	6.3±0.4	7.3±0.5*	7.2±0.4*	7.2±0.4*
$\overline{P_{pl}}$ (cmH ₂ O)	0.8±0.2	Ins.	1.0±0.4	0.9±0.3	1.1±0.4	0.7±0.3
		Exp.	1.1±0.8	1.4±0.3*	1.2±0.3	0.8±0.3
		whole.	1.0±0.4	1.1±0.3	1.1±0.3	0.9±0.3
\overline{AP} (mmHg)	165± 8	Ins.	144± 8	145± 8	145± 8	145± 8
		Exp.	146±11	146±12	146± 9	148±10
		whole.	145±10	148± 8	145± 9	144± 8
CO (l/min)	1.9±0.8	Ins.	2.0±0.2	1.8±0.2	1.8±0.2	1.8±0.2
		Exp.	1.9±0.2	1.9±0.2	1.7±0.2	1.8±0.2
		whole.	2.1±0.2	1.9±0.1	1.9±0.1	2.1±0.2
$\overline{P_{PA}}$ (mmHg)	18± 1	Ins.	24± 3	21± 2	21± 2	23± 3
		Exp.	21± 3	21± 2	22± 2	21± 2
		whole.	23± 2	22± 3	25± 4	24± 4
P _{WP} (mmHg)	13±2	Ins.	16± 3	14± 2	14± 2	16± 3
		Exp.	13± 2	15± 3	15± 3	14± 4
		whole.	15± 2	15± 3	15± 3	15± 3

* P<0.05, **P<0.01

(平均±標準誤差)

7) CO の変動 (図 4)

病的肺作成後，肺水腫群では CO は有意に減少したが，他の群ではほとんど変化しなかった。振動を重畳しても全群において CO の有意の変動は認められなかった。

8) AP の変動

肺水腫群，RDS 群，両気管支収縮群において，病的肺作成後 AP は有意に減少したが，以後，振動を重畳しても変化しなかった。aspiration pneumonia 群では病的肺作成後も AP の変化はほとんど認められず，IPPV 時と SOV 時の間に

表3 メサコリン気管支収縮群における、IPPV時（左方は正常肺，右方は気管支収縮発生後）と3つの呼吸相にSOVを行った際の各パラメータを示す。

parameter	IPPV	phase	IPPV	SOV 10'	SOV 30'	SOV 60'
PaO ₂ (mmHg)	116±7	Ins.	84±8	86±10	87±11	89±11
		Exp.	69±6	108±16*	113±19*	110±16*
		whole.	77±7	100±9	100±14	101±13
Paco ₂ (mmHg)	37±0	Ins.	44±2	38±2**	36±3**	35±3**
		Exp.	42±2	40±2	39±2	39±2
		whole.	44±2	41±3	39±4	39±3
PvO ₂ (mmHg)	40±3	Ins.	42±3	44±4	42±3	39±4
		Exp.	44±5	48±6	46±5	44±5
		whole.	39±4	43±5	41±3	41±4
PvCO ₂ (mmHg)	42±1	Ins.	55±1	49±1**	47±1**	48±2*
		Exp.	51±3	49±2	49±2	48±2
		whole.	56±3	47±4	49±2	51±3
Paw (cmH ₂ O)	4.1±0.2	Ins.	6.0±0.2	6.6±0.2	6.6±0.2	6.5±0.3
		Exp.	6.0±0.3	7.1±0.2**	7.0±0.1**	6.9±0.2**
		whole.	5.7±0.3	7.0±0.2*	7.0±0.2**	6.8±0.2
Ppl (cmH ₂ O)	1.4±0.2	Ins.	1.4±0.2	1.7±0.3	1.7±0.2	1.9±0.3*
		Exp.	1.4±0.3	1.5±0.2	1.4±0.3	1.5±0.2
		whole.	1.6±0.3	1.8±0.2	1.9±0.3	1.9±0.3
AP (mmHg)	140±12	Ins.	107±8	102±10	100±10	101±11
		Exp.	108±7	103±7	105±8	104±8
		whole.	105±10	107±10	95±9	98±9
CO (l/min)	2.0±0.3	Ins.	1.9±0.4	1.9±0.4	1.8±0.4	1.8±0.4
		Exp.	2.1±0.3	2.1±0.4	2.0±0.4	1.8±0.3
		whole.	2.0±0.3	2.0±0.3	1.8±0.3	1.8±0.3
P _{PA} (mmHg)	29±2	Ins.	26±2	27±2	27±2	27±3
		Exp.	29±2	28±2	27±2	29±2
		whole.	28±1	27±1	26±1	28±1
P _{WP} (mmHg)	15±2	Ins.	15±2	15±1	16±2	16±2
		Exp.	16±2	15±2	14±1	17±2
		whole.	15±1	17±2	16±1	17±2

* P<0.05, **P<0.01

(平均±標準誤差)

はさしたる差はなかった。

9) P_{PA}ならびに P_{WP}の変動

各病的肺において、P_{PA}ならびに P_{WP}には IPPV時とSOV時との間にさしたる差はなかった。

3. 考察

ガス交換のメカニズムは十分に解明されていないにもかかわらず、HFVは全身麻酔下の呼吸管理および重篤な呼吸不全に対する人工呼吸法とし

表4 ヒスタミン気管支収縮群における、IPPV時（左方は正常肺，右方は気管支収縮発生後）と3つの呼吸相にSOVを行った際の各パラメータを示す。

parameter	IPPV	phase	IPPV	SOV 10'	SOV 30'	SOV 60'
PaO ₂ (mmHg)	152±12	Ins.	86±4	85±5	85±4	83±4
		Exp.	89±7	87±7	85±6	85±6
		whole.	93±7	92±6	91±7	87±7
Paco ₂ (mmHg)	36±1	Ins.	49±3	48±2	49±3	51±4
		Exp.	52±3	44±2*	42±2*	43±2*
		whole.	54±4	44±4*	43±3*	43±3*
Pv̄O ₂ (mmHg)	45±2	Ins.	44±1	43±1	44±1	44±1
		Exp.	42±1	40±2	38±3	39±3
		whole.	48±1	45±1*	43±1*	42±1**
Pv̄CO ₂ (mmHg)	41±1	Ins.	58±3	55±3*	57±4	58±4
		Exp.	58±3	52±4	53±3	54±3
		whole.	63±5	55±5*	54±4*	55±5*
Paw (cmH ₂ O)	3.6±0.3	Ins.	5.9±0.7	6.0±0.8	5.7±0.6	6.0±0.7
		Exp.	5.0±0.3	5.7±0.3*	5.5±0.3*	5.8±0.5*
		whole.	5.2±0.4	6.3±0.6**	6.5±0.6**	6.4±0.4**
Ppl̄ (cmH ₂ O)	1.5±0.2	Ins.	2.1±0.3	2.1±0.3	2.1±0.3	2.2±0.4
		Exp.	2.2±0.3	2.2±0.4	2.1±0.3	2.2±0.3
		whole.	2.0±0.3	2.1±0.4	2.2±0.4	2.2±0.4
AP (mmHg)	145±4	Ins.	103±5	101±4	96±3*	98±3
		Exp.	98±2	100±3	97±3	96±3
		whole.	97±6	99±4	96±10	97±2
CO (l/min)	2.2±2	Ins.	2.3±0.2	2.4±0.2	2.2±0.2	2.4±0.2
		Exp.	2.4±0.1	2.3±0.1	2.4±0.2	2.2±0.1
		whole.	2.4±0.2	2.4±0.2	2.3±0.3	2.2±0.2
P̄PA (mmHg)	18±1	Ins.	22±2	21±2	22±2	23±1
		Exp.	21±2	20±2	21±2	22±2
		whole.	22±2	23±2	23±2	23±2
PWP (mmHg)	10±1	Ins.	12±1	12±1	14±1	13±2
		Exp.	13±1	13±1	13±2	12±2
		whole.	11±1	13±2	13±2	13±2

* P<0.05, **P<0.01

(平均±標準誤差)

て臨床応用されてきた。諸家による臨床応用の結果、気道系の手術、特にエアリークを有する症例に対してはHFVは有用である⁹⁾⁶⁾が、呼吸不全に対するHFVの効果については、IPPVとの間に差がないという報告⁷⁾⁹⁾が多くみられる。その

上、呼吸不全例にHFVを実施しようとしても、加湿を十分に行い得ないという重大な問題があるためHFVの施行例は現在減少している。

一方、SOVは従来の換気法とHFVとの中間型とも解され、装置の面からも臨床応用を行いや

表5 嚥下性肺炎群における、IPPV時（左方は正常肺，右方は嚥下性肺炎発生後）と3つの呼吸相にSOVを行った際の各パラメータを示す。

parameter	IPPV	phase	IPPV	SOV 10'	SOV 30'	SOV 60'
Pao ₂ (mmHg)	141± 4	Ins.	87± 2	88± 2	91± 1	94± 2
		Exp.	94± 2	97± 3	94± 3	94± 4
		whole.	86± 6	88± 6	88± 6	86± 4
Paco ₂ (mmHg)	37± 1	Ins.	36± 1	33± 2	33± 1**	34± 1
		Exp.	39± 2	34± 1*	32± 1*	31± 1**
		whole.	36± 2	32± 1	31± 1*	32± 1
P \bar{V} O ₂ (mmHg)	40± 2	Ins.	41± 2	40± 1	41± 1	42± 1
		Exp.	44± 1	41± 1*	40± 1*	40± 1*
		whole.	40± 1	39± 1	38± 1	38± 1
P \bar{V} CO ₂ (mmHg)	42± 1	Ins.	41± 1	37± 1	39± 1	39± 2
		Exp.	43± 2	38± 1*	37± 1*	36± 2**
		whole.	40± 1	35± 2*	37± 1	36± 1
$\bar{P}aw$ (cmH ₂ O)	3.2±0.2	Ins.	4.2±0.1	4.5±0.2	4.8±0.3	4.8±0.2*
		Exp.	4.1±0.4	5.0±0.3*	4.9±0.1	4.5±0.1
		whole.	4.8±0.3	4.8±0.5	4.6±0.3	4.7±0.5
$\bar{P}pl$ (cmH ₂ O)	1.1±0.2	Ins.	1.2±0.2	1.4±0.2	1.3±0.2	1.2±0.2
		Exp.	1.2±0.2	1.2±0.2	1.1±0.1	1.1±0.1
		whole.	1.3±0.2	1.3±0.2	1.3±0.2	1.2±0.1
$\bar{A}P$ (mmHg)	146± 6	Ins.	141± 6	139± 7	138± 6	138± 5
		Exp.	142± 7	144± 8	138± 8	134± 6
		whole.	142± 7	142± 7	143± 7	143± 6
CO (l/min)	1.7±0.2	Ins.	1.8±0.1	1.8±0.1	1.7±0.1	1.6±0.1
		Exp.	1.9±0.1	1.8±0.1	1.7±0.1	1.7±0.1*
		whole.	1.8±0.2	1.8±0.2	1.7±0.1	1.7±0.1
$\bar{P}PA$ (mmHg)	18± 2	Ins.	26± 5	25± 5	25± 5	25± 3
		Exp.	25± 3	25± 2	24± 2	26± 3
		whole.	26± 3	25± 3	26± 4	25± 3*
PWP (mmHg)	9± 1	Ins.	14± 2	12± 2	12± 1	14± 2
		Exp.	14± 2	14± 2	15± 2*	14± 2
		whole.	15± 2	14± 2	14± 1	13± 1

* P<0.05, **P<0.01

(平均±標準誤差)

す。健康な家兎を対象としてHFVとSOVとを比較検討したWrightら¹⁰⁾は、ピストンによる5ないし30HzのHFVにより血液ガスを十分に維持できるものの、オレイン酸肺水腫家兎では、20分ごとに3回の大換気を行わないと血液ガス

を維持することが困難であると報告している。また、Keszerら¹¹⁾はmeconium aspirationモデルにおいてIPPV、HFV、SOVの3つの換気法を比較したところ、SOVの方がIPPVおよびHFVよりガス交換能に関して有効であると述べ

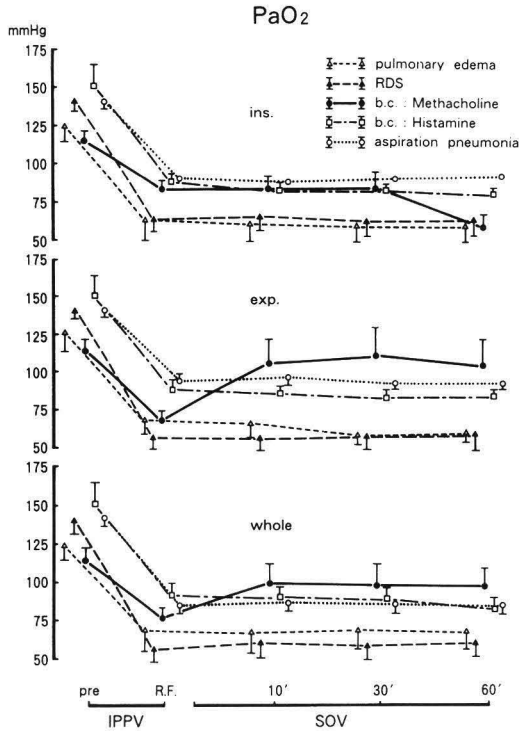


図 1 各群における IPPV 時と SOV 時の PaO₂ の推移 (上段は吸気相, 中段は呼気相, さらに下段は全呼吸相 SOV 時) を示す。

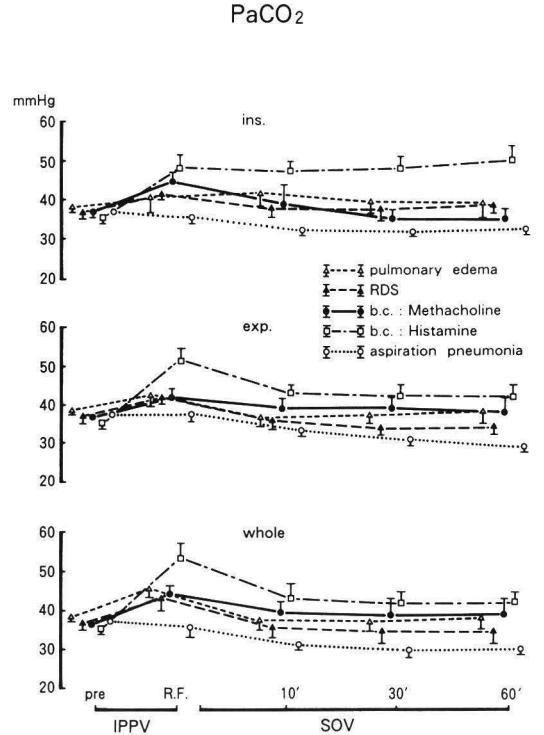


図 2 各群における IPPV 時と SOV 時の PaCO₂ の推移 (上段は吸気相, 中段は呼気相, さらに下段は全呼吸相時 SOV 時) を示す。

ている。このように呼吸不全に対して SOV の方が HFV 単独換気法よりも有用であることが基礎的研究により示唆されている。

一方、篠崎¹²⁾は FiO₂ を 1.0 にし、10 cmH₂O の PEEP を附加した人工呼吸を行っても、ガス交換の改善が得られない重症呼吸不全例に対し、5 Hz のジェット振動を加えた SOV を全呼吸相に行うことにより A-aDO₂ は有意に減少したことを、Boynton ら¹³⁾は新生児の急性呼吸不全例に IMV に振動を重畳したところ、ガス交換が改善したことを、Barzilay ら¹⁴⁾は外傷性肺損傷例 11 例に対して、130 ないし 169/min の振動を重畳することにより、PEEP 時に比して PaO₂ の上昇および PaCO₂ の低下を認めたことを、それぞれ報告している。さらに小西ら¹⁵⁾は、気管支喘息重積発作例には IPPV よりも HFJV または SOV の方が有用であると述べている。

このように、SOV の有用性については諸家に

より報告されているが、SOV を各種呼吸不全に用いて、その効果を比較した研究は見あたらないし、重畳時期がガス交換に及ぼす影響についてもあまり検討されていない。本研究の目的は、一定のプロトコールのもとに SOV を施行し、SOV の有用な病態ならびにガス交換に有効に作用する振動重畳時期を見いだすことである。

5 種類の病的肺に対して SOV を実施しても、酸素化能の改善が認められたのはメサコリン気管支収縮群だけであったことは、SOV は肺実質よりも気道系に起因する呼吸不全に対して有効であることを示唆するものと思われる。以前、3 ないし 10 Hz の HFJV の効果を各種の病的肺に対して検討した研究¹⁶⁾においても PaO₂ の上昇を得たのは今回と同じメサコリン気管支収縮群だけであり、HFV はその様式にかかわらず気管支収縮に対して有効に作用すると思われる。またメサコリン気管支収縮群において酸素化能の改善が認めら

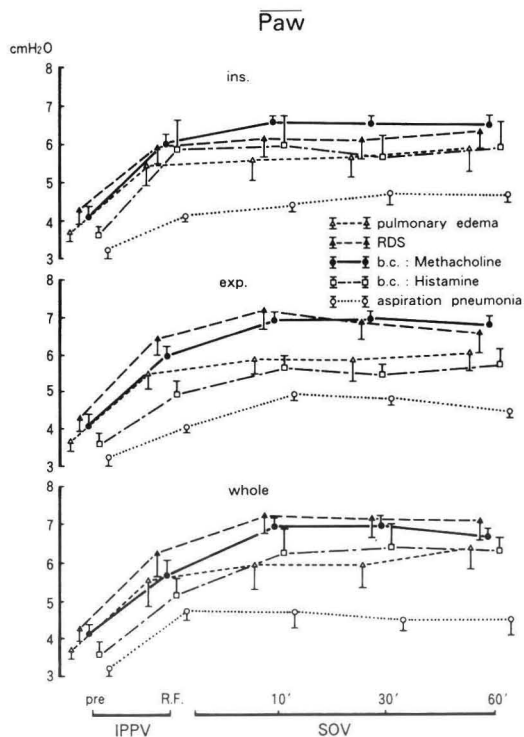


図3 各群におけるIPPV時とSOV時の \overline{Paw} の推移(上段は吸気相,中段は呼気相,さらに下段は全呼吸相SOV時)を示す。

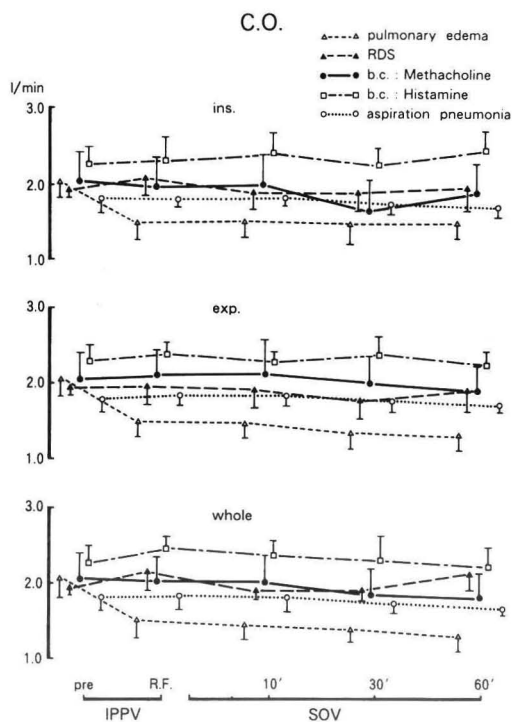


図4 各群におけるIPPV時とSOV時のCOの推移(上段は吸気相,中段は呼気相,さらに下段は全呼吸相SOV時)を示す。

れたものの、効果が発現されたのは呼気相振動重畳時だけであったことは興味深い結果であり、以前に高齢者の上腹部手術中にSOVを施行した結果²⁾と一致している。すなわち、両研究において酸素化能を改善するのは呼気相重畳時だけであった。呼気相振動重畳時には、呼気相における気道圧波形の上縁を辿ると、PEEPとも解されることから、SOVを呼気相に行くとPEEPと同様に作用する可能性がある⁴⁾。さらにSOVはbulk flowに対してgas mixing作用を増強するために酸素化能が改善されることが推測されている。

一方、同じ気管支収縮群でもヒスタミン投与時には酸素化能の改善を得られなかったが、メサコリンとヒスタミンとは収縮させる気道が異なり、前者の方がより中枢側の気道を収縮させるといわれている。今回の結果より末梢気道が収縮している病態ではガス交換能が促進されないことが窺われる。

SOVが換気効率に及ぼす影響についても検討がなされており、財津ら¹⁷⁾は肺水腫およびARDSに対して、呼気弁を振動させることにより呼気相に振動を発生させた人工呼吸法を施行したところ、 $Paco_2$ の改善を得られる症例が多いと報告している。吉成ら¹⁸⁾は気管支喘息重積状態の3症例に対してSOVを行ったところ、いずれの症例においても、 Pao_2 の上昇は見られなかったものの、気管内分泌物の排泄が促進され、 $Paco_2$ が低下するとともに気道内圧も減少したと報告している。さらに、SOV下では振動の重畳により肺が膨張し、機序は不明であるが反射的に気管支平滑筋が弛緩すると豊岡¹⁹⁾は述べている。

以上のように、気管支が収縮した病態に対してSOVが有効に作用するという報告が散見される。本研究においても程度には差があるものの、全群においてSOVにより $Paco_2$ が低下した。メサ

コリン気管支収縮群以外では、呼気相振動重畳時に最も強く換気効率促進作用が認められたが、メサコリン気管支収縮群では吸気相振動重畳時に PaCO_2 が一番低下し、他の呼吸不全モデルの結果と異なっていた。SOV は呼吸不全の病態を問わず換気効率促進作用を有するが、病態により有効な振動重畳時期が異なることが示唆される。従って、呼吸不全に対して SOV を施行する場合、その病態によって振動重畳時期を選択しなければならない。すなわち、肺実質に起因する呼吸不全例の PaCO_2 を低下させるには呼気相に振動を重畳させると、一方比較的中枢の気道系の収縮に起因する呼吸不全に対しては呼気相に重畳すると、それぞれ効果的と思われる。また、前述のように、気道系に起因する呼吸不全の PaO_2 を上昇させるには、呼気相に振動を重畳すればよいことになる。

SOV がガス交換能に及ぼす影響を5種類の病的肺を作成して検討したところ、換気効率はすべての病的肺において促進されたが、呼吸不全の病態によって、換気効率促進作用が得られる振動重畳時期のが異なることが窺われた。また、 PaO_2 の上昇はメサコリン気管支収縮群にしか認められず、SOV により酸素化能が改善される病態は限られることが示唆された。

(1990, 1, 12 受)

文 献

- 1) Wetzel RC, Gordon JB, Gregory TI : High frequency ventilation attenuation of hypoxic pulmonary vasoconstriction. *Am Rev Respir Dis* 132 : 99-103, 1985
- 2) 安本和正, 稲田 豊 : 高齢者に対する術中呼吸管理, *麻酔* 35 : 91-98, 1986
- 3) 佐藤俊男, 勝屋弘忠 : 急性呼吸不全に対する HFV 重畳法, *ICU と CCU* 10 : 1081-1083, 1986
- 4) 安本和正, 稲田 豊 : Servo HFV unit 使用時ジェット振動のタイプが換気力学に及ぼす影響について. *麻酔* 34 : 173-179, 1985
- 5) Vourch G, Fischler M, Michon F, et al: High frequency jet ventilation v. manual jet ventilation during bronchoscopy in patients with tracheo-bronchial stenosis. *Br J Anaesth* 55 : 969-972, 1983
- 6) Babinski MF, Smith RB, Klain M : High frequency jet ventilation for laryngoscopy. *Anesthesiology* 52 : 178-180, 1980
- 7) Pfenninger J, Minder C : Pressure-volume curves, static compliances and gas exchange in hialine membrane disease during conventional mechanical and high-frequency ventilation. *Intensive Care Med* 14 : 364-372, 1988
- 8) Rouby JJ, Viars P : Clinical use of high frequency ventilation. *Acta Anaesthesiol Scand* 33 : 134-139, 1989
- 9) Brichant JF, Rouby JJ, Viars P : Intermittent positive pressure ventilation with either positive end-expiratory or high frequency jet ventilation (HFJV) or HFJV alone in human acute respiratory failure. *Anasth Analg* 65 : 1135-1142, 1986
- 10) Wright K, Lyrene RK, Truog WE, et al : Ventilation by high frequency oscillation in rabbits with oleic acid lung disease. *J Appl Physiol* 50 : 1056-1060, 1981
- 11) Keszler M, Molina B, Butterfield AB : Combined high-frequency jet ventilation in a meconium aspiration model. *Crit Care Med* 14 : 34-38, 1986
- 12) 篠崎正博, 山下徳次郎, 杉山和英ほか : 重症呼吸不全患者における Superimposed High Frequency Jet Ventilation の効果. *ICU と CCU* 6 : 975-981, 1982
- 13) Boynton BR, Mannino FL, Davis RF, et al : Combined high-frequency oscillatory ventilation and intermittent mandatory ventilation in critically ill neonates. *J Pediatr* 105 : 297-302, 1984
- 14) Barzilay E, Lev A, Ibrahim M, et al : Traumatic respiratory insufficiency ; Comparison of conventional to high-frequency positive pressure low-rate ventilation. *Crit Care Med* 15 : 118-121, 1987
- 15) 小西晃生 : 呼吸不全に対する HFJV の適応. *麻酔* 36 : 402-409, 1987
- 16) Kuwasako, Y. and Yasumoto, K. : The comparison of the conventional ventilation and HFJV on respiratory failure. In *Proceedings*

of the 3rd WPCCM Congress. 119, 1985

とCCU 10:1053-1056, 1986

17) 財津昭憲：ARDSと高頻度呼吸遮断 PEEP人工呼吸. 救急医学 9:179-187, 1985

19) 豊岡秀訓：HFJVの現況と展望一特に、適応と装置の改良について、麻酔 36 (Suppl) : S72, 1987

18) 吉成道夫, 中沢弘一, 小川左千夫ほか：HFJVの気管支喘息重積状態にたいする適応. ICU

訂正とおわび

人工呼吸 6 巻 2 号に誤りがございました。

P 64~68

著者：明石 学ほか

タイトル：口元の呼吸流量に合わせて回路内流量を制御した CPAP システムの開発で図 3 (P 66) と図 6 (P 67) が入れ変わっておりました。正しくは下記の通りです。ここに謹んで訂正おわび申し上げます。

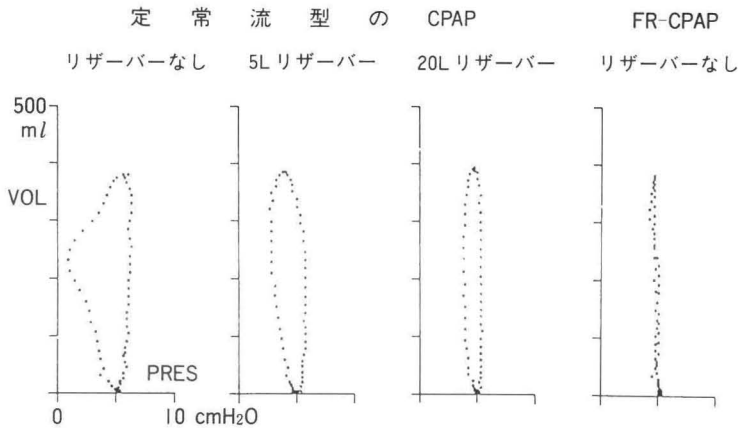


図 3 定常流型の CPAP と流量制御 CPAP の圧-容量曲線の比較
健康成人を対象とし、CPAP 2 cmH₂O とした。

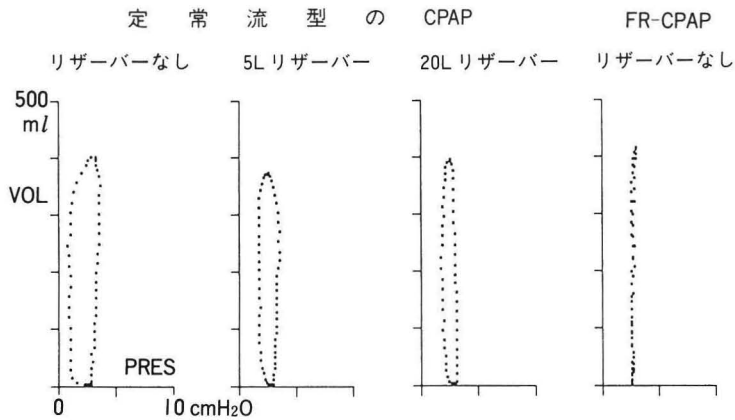


図 6 定常流型の CPAP と FR-CPAP の圧-容量曲線の比較
モデル肺で 1 回換気量 400 ml, 呼吸回数 20 回/分に設定した。
CPAP は 5 cmH₂O とした。