

すべてが等しくなるので、呼気終末圧を等しくなるように調節したこの条件下で、air trap による PEEP 効果はないものと考えている。また末梢気道では呼気を遮断して気流が止まれば時定数が異なり排気遅延のある肺胞から、時定数が小さく換気応答の速い肺胞への肺内ガスの再分配がおこるはずなので、V-PEEP 人工呼吸では逆に air trap がおこり難く、不均等換気の是正効果が期待される<sup>2)</sup>。この効果は再膨張がはかられた虚脱肺の拡張に役に立つと思われる。

呼気流の断続に伴って気道内圧は圧振動をおこすが、この圧振動は気道壁とそれに接している肺胞壁や肺胞気に伝播し、肺実質全体、および胸壁や胸郭へも伝わる。そのため、この圧振動は末梢気道や肺胞内ガスの攪拌に役立つ可能性はあるが、肺内ガスの攪拌だけでは肺不全治療の効果はないであろう。

最後に著者が現在考えている高頻度極短時間呼気遮断による分割呼気法を取り入れた V-PEEP 人工呼吸が肺不全に対して有効な治療法となるメカニズムの仮説を図 5 にまとめた。

### 結 論

成人型急性肺不全症例に対し、高頻度 (8 Hz)

で極短時間 (20~40 msec) の呼気遮断を加えた分割呼気強制 PEEP 人工呼吸 (V-PEEP) は肺不全の治療法として有効であった。しかし換気効率の改善は患者側因子によって決定されることが示唆された。その最大の因子は再膨張がなされた虚脱肺胞の血管網の破壊の程度である。これを基礎に V-PEEP 人工呼吸の肺不全治療効果発現のメカニズムを考察した。

### 文 献

- 1) 財津昭憲：呼気振動型PEEP 人工呼吸(V-PEEP)による肺内理学療法について. 人工呼吸(1983) : 87~88, 人工呼吸研究会編
- 2) 財洋昭憲：Vibratory PEEP について；とくに呼気振動型 PEEP 人工呼吸、高頻度人工呼吸. 講習邦夫編. 東京, チーム医療, 1982, p 65~82
- 3) 財津昭憲：Servo Ventilator 900B による Vibratory PEEP の検討. ICU と CCU 5 (3) : 229~235, 1981
- 4) 財津昭憲：V-PEEP による weaning. 人工呼吸(1981) : 47~57, 人工呼吸研究会編
- 5) 講習邦夫：高頻度人工呼吸の換気力学, 高頻度人工呼吸. 講習邦夫編. 東京, チーム医療, 1982, p 141~161

## 半閉鎖麻酔回路を用いた頻回換気法

—方法と適応—

真 鍋 雅 信\* 熊 沢 光 生\*

### はじめに

Sjöstrand らが1967年に高頻度陽圧換気 (high-frequency positive-pressure ventilation, (HFPV)) を始めて以来<sup>1)</sup>、ハイフリークウェンシーベンチレーション (HFV) は主としてジェットベンチレーションにより、人工呼吸器回路の compressed gas volume を極力少なくした形で行われてきた。したがつて HFV が麻醉中の換気に応

用される場合にも、いずれもジェットベンチレーションにより、麻酔は笑気一酸素、静脈麻酔あるいは両者の併用で行われてきた。

これに対してわれわれは、応用の便を考え従来一般に行われてきたハロセン・エンフルレンの使用できる半閉鎖循環麻酔に HFV を実施することを試みた<sup>1)</sup>。その結果、回路内圧の低下、1 回換気量の低下、術野の静寂化のためには半閉鎖法では 35 回/分~60 回/分 が妥当であると考えた。

今回は臨床的立場より半閉鎖頻回換気法の方法

\* 山梨医科大学麻酔科学教室

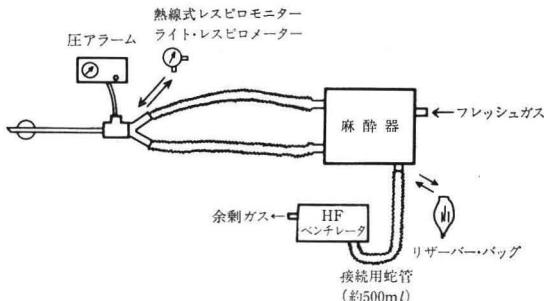


図 1 半閉鎖頻回換気を行うための回路  
およびモニター類

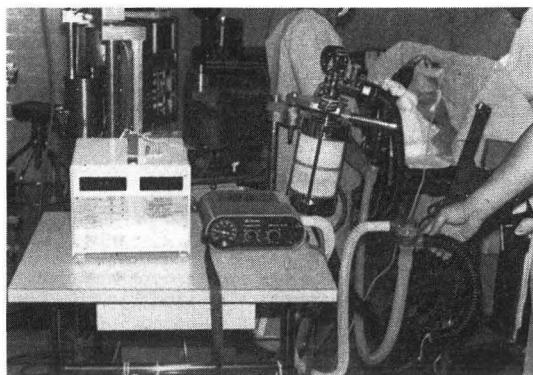


図 2 Oxylog では、呼気弁の患者接続口と麻酔器のバッグをはずした位置を接続用蛇管で接続する。手で持っている黒色蛇管は、余剰麻酔ガス用で集中排除が可能である（この場合は、ハロセンのみを活性炭に吸着させている）。後に述べる Siemens Elema 社製 CO<sub>2</sub> Analyzer 130 を使用している。

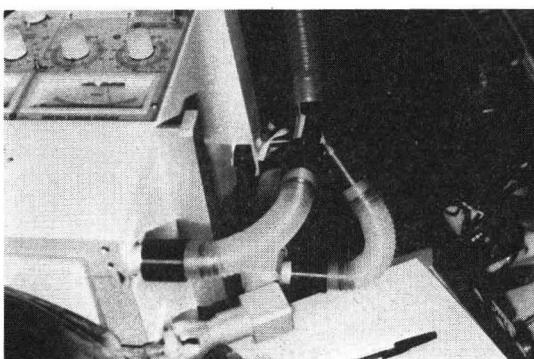


図 3 ベンチレータ本体に 2 つの接続口のあるものでは、Y字型接続用蛇管を用いる。

- ・適応について述べる。

### 方 法

半閉鎖頻回換気回路 およびモニター類は、図 1

に示す。

リザーバーバッグをはずした位置に予想される 1 回換気量よりも大きい内容積（約 500 ml）をもつ蛇管を介しベンチレータを接続する。その際、ベンチレータの呼気弁が回路の途中についている Dräger Oxylog® などは、呼気弁の患者接続口から麻酔器まで単に 1 本の長い蛇管で接続すればよい（図 2）。これに対し、Servo ventilator のようにベンチレータ本体に 2 つの接続口（送気口と呼気口）のあるものでは Y 字型の接続用蛇管を用いて接続する（図 3）。この際、加湿用カスクードなどは回路からはずしておいた方が compressed gas volume を減少させるのに有利である。こうすればベンチレータからの送気ガスは麻酔回路に直接とどくことはなく呼気時に接続用蛇管を満たした麻酔ガスを単に押し返すだけであり、送気ガスが麻酔回路に混入して麻酔ガスをうずめるのを防止することができる<sup>3)</sup>。

麻酔器のポップオフバルブは閉じて用いる。したがって余分のガスは呼気時に、上記接続用蛇管を通りベンチレータの呼気口から排出される。エンフルレンおよびハロセン気化器の設定や笑気一酸素の流量などは通常の臨床麻酔の場合と何ら変わることはない。

換気回数は、臨床的には 35 回/分～60 回/分が妥当であると考えている。

従って既販のベンチレータで換気回数を 35 回/～60 回/分に設定できるものが使用可能となる。

表 1 に換気量予測表、表 2 に半閉鎖頻回換気法の可能な主たる人工呼吸器を示す。

### 適 応

1 回換気量が低下するので術野の静寂性を得られるという点から肺切除術、食道離断術、胸部大動脈瘤、脳外科手術、および腹臥位における脊椎外科手術に適応がある。

麻酔導入直後より麻酔終了時まで頻回換気を行う。実際には表 1 の換気量予測表を目安に換気回数に見合った患者呼気量を設定する。これにより  $\text{Paco}_2$  は 35 torr 付近になり、しかも時間的経過による変化はほとんどない（図 4）。

#### 1) 肺切除術

表 1 換気量予測表

| 体重<br>(kg) | RR  | 14         |               |            |               | 40         |               |            |               | 60         |               |            |               |
|------------|-----|------------|---------------|------------|---------------|------------|---------------|------------|---------------|------------|---------------|------------|---------------|
|            |     | 男          |               | 女          |               | 男          |               | 女          |               | 男          |               | 女          |               |
|            |     | TV<br>(mL) | MV<br>(L/min) |
| 30         | 287 | 4.31       | 274           | 4.09       | 146           | 5.80       | 140           | 5.59       | 117           | 7.05       | 114           | 6.84       |               |
| 35         | 316 | 4.74       | 297           | 4.45       | 162           | 6.49       | 155           | 6.21       | 133           | 7.95       | 128           | 7.68       |               |
| 40         | 346 | 5.19       | 320           | 4.79       | 180           | 7.20       | 170           | 6.82       | 148           | 8.87       | 142           | 8.50       |               |
| 45         | 373 | 5.60       | 341           | 5.12       | 197           | 7.87       | 185           | 7.40       | 163           | 9.76       | 155           | 9.30       |               |
| 50         | 402 | 6.03       | 361           | 5.42       | 214           | 8.56       | 199           | 7.97       | 178           | 10.66      | 168           | 10.09      |               |
| 55         | 428 | 6.42       | 384           | 5.76       | 230           | 9.21       | 214           | 8.58       | 192           | 11.53      | 182           | 10.91      |               |
| 60         | 455 | 6.83       | 403           | 6.04       | 247           | 9.88       | 228           | 9.12       | 207           | 12.41      | 195           | 11.68      |               |
| 65         | 481 | 7.22       | 423           | 6.34       | 263           | 10.53      | 242           | 9.69       | 221           | 13.28      | 208           | 12.46      |               |
| 70         | 506 | 7.58       | 441           | 6.62       | 279           | 11.16      | 256           | 10.24      | 235           | 14.12      | 221           | 13.23      |               |
| 75         | 533 | 7.99       | 460           | 6.90       | 296           | 11.83      | 270           | 10.79      | 250           | 15.01      | 233           | 13.99      |               |
| 80         | 559 | 8.38       | 479           | 7.18       | 312           | 12.48      | 283           | 11.33      | 265           | 15.87      | 246           | 14.76      |               |
| 85         | 585 | 8.77       | 498           | 7.46       | 328           | 13.13      | 297           | 11.88      | 279           | 16.74      | 259           | 15.53      |               |
| 90         | 608 | 9.11       | 516           | 7.74       | 343           | 13.73      | 311           | 12.43      | 293           | 17.56      | 272           | 16.30      |               |
| 95         | 634 | 9.50       | 535           | 8.02       | 360           | 14.39      | 325           | 12.98      | 307           | 18.43      | 284           | 17.06      |               |
| 100        | 658 | 9.87       | 554           | 8.30       | 375           | 15.02      | 338           | 13.53      | 321           | 19.28      | 297           | 17.83      |               |

RR : 呼吸回数 (回/分), TV : 1 回換気量, MV : 分時換気量

この表に基づくと,  $\text{Paco}_2$  は 35 torr 前後となる。この表にない換気回数・体重についての換気量は, 比例補間法で求める。

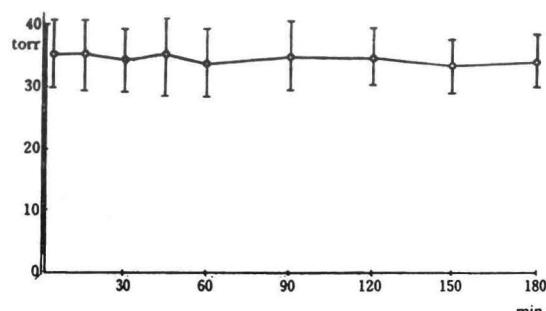
表 2 本法の可能な主たる人工呼吸器  
(一応最高換気回数を 60 回/分とした)

| ベンチレータ         | 国内取り扱い会社 | 可能な換気回数 | 主要変換ダイヤル   |
|----------------|----------|---------|------------|
| Servo 900C     | 福田電子     | 60 回    | M.V., R.R. |
| Dräger Oxylog  | 利康商事     | 35 回    | M.V., R.R. |
| CV-2,000       | IMI      | 40 回    | T.I, TE, F |
| Nuffield 200   | 日本メデイコ   | 60 回    | T.I, TE, F |
| CRV 2,000      | オリジン     | 60 回    | T.V., R.R. |
| Sharp MV 8,000 | シャープ     | 60 回    | T.V., R.R. |

Oxylog® は I/E 比が 1/1.5 に固定。それ以外は変換可。可能な換気回数は Oxylog® 以外は I/E 比を 1/2 とした場合について。M.V. : 分時送気量, R.R. : 換気回数, T.I : 吸気時間, TE : 呼気時間, F : 吸気流量, T.V. : 1 回換気量

肺腫瘍切除術, ブラ切除術など wet case 以外の肺切除術が適応となる (wet case では Robertshaw double lumen tube<sup>4)</sup> や可動性プロッカーフ付気管内チューブ<sup>5)</sup> が適応となる)。

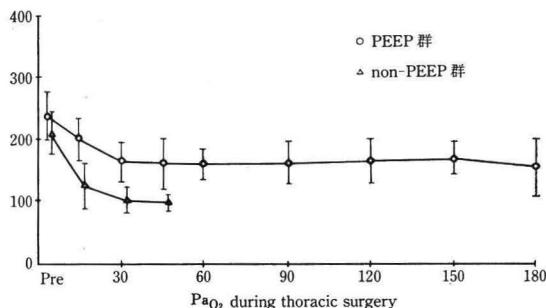
麻酔導入直後より麻酔終了時まで頻回換気を行う。換気回数は 40~60 回/分,  $\text{FIO}_2$  は 50% の

図 4 12 症例での  $\text{Paco}_2$  の変化

換気回数 60 回/分で,  $\text{Paco}_2$  は 35 torr 付近で安定している。

GOF または GOE 麻酔とし, 適宜 pancuronium bromide を用いる。

開胸直後より 2 cmH<sub>2</sub>O の PEEP をかける。開胸時は, ほんの数秒間ではあるが, リザーバーバッグの位置の接続管をはずし無呼吸とすると肺を傷つけることが少ないので PEEP は気管内チューブと麻酔器の Y 字管との間に計測し, CV-2000, オリジン CRV-2000, サーボ 900C など PEEP

図 5 開胸術 12 例における  $\text{PaO}_2$  の変化

R.R.=60,  $\text{FI}_{\text{O}_2}=0.5$ ,  $\text{PEEP}=2 \text{ cmH}_2\text{O}$  (PEEP 群)  
PEEP をかけなかった場合は、30 分前後で  
100 torr 以下となり危険である (non-PEEP  
群 6 例)。

装置を有するものはそれを使って設定する。Nuffield Anesthesia Ventilator 200 では、縫創膏で呼気出口の広さを調節して圧を設定する。

$\text{Paco}_2$  は開胸前後にかかわらず正常範囲に保たれ、時間経過による変化もあまりないことは、脳外科、整形外科の症例など非開胸例とも同様である。

$\text{PaO}_2$  は開胸前より開胸後の値はやや低下するが、われわれが行った 12 例では 180 分後も全例安全域にあった (図 5)。同症例群における回路内圧 (気管内チューブと Y 字管の間で計測) は、 $13 \pm 4 \text{ cmH}_2\text{O}$  (最高圧)  $\sim 2 \text{ cmH}_2\text{O}$  (最低圧) となつた。

この方法は術者側からは肺は圧迫され縮んだ状態で手術でき、動きも小さいので、手術操作が容易であるとの評価を得 (図 6)、麻酔科医側からは、安定した人工換気なので特殊な技術もいらず、ある程度の技術を有する麻酔科医なら誰でも行える安全な麻酔法であるとの評価を得ている。

この方法は wet case では膿汁などの健側肺への流入のため適応とならず Robertshaw などの double lumen tube<sup>4)</sup> や井上考案のユニ・ベントなどのブロッカーフォーキー付き気管内チューブ<sup>5)</sup>が適応となろう。

## 2) 脳外科手術

脳外科領域では 35~60 回/分の換気回数を用いている。①脳表面の動きが少なくなること、②脳圧低下がおそらくおこるであろうこと、③循環系の安定のため有効であると考えている。



図 6 本法による肺切除術術野の写真

頭蓋骨に硬膜の癒着していない症例で、硬膜を開いた直後の脳表面の最高膨隆時と最低時の差で脳表面の動きを表わすとき、40 回/分のそれは 14 回/分の約 1/3 となった (ただし  $\text{Paco}_2$  は両群とも 30~25 torr と脳圧低下のための hyperventilation<sup>6)</sup> を行っている)。

また脳表面を顕微鏡で見たが 40 回/分の方が 14 回/分よりも動きが少ないためピントがずれず見やすかった。脳深部では呼吸による動きは少なくなるが、その分視野が狭くなるので動きの少ない本法の方が有利である。

脳外科手術後の脳浮腫予防のため術中輸液を抑え hypovolemic 気味にすることが多い。そのための術中脈圧が狭くなるのを防ぐことが可能である。

## 3) 脊椎外科手術への応用

腹臥位における脊椎外科手術においては、術野の動きが小さくなるという利点が活かせる。特に脊髄腫瘍や脊髄血管奇形において、硬・軟膜切開を施行する場合に好評である。

この場合、筋弛緩薬を使用し一時的に無呼吸にしてもよいが、wake up test を行う場合には筋弛緩薬が使用できないので不都合である。

この手術の場合脳外科手術のような hyperventilation は不要なので、より術野の動きは小さい。

## 4) 食道離断術・胸部大動脈瘤への応用

開胸して行うこれらの手術では肺切除術と同様  $2 \text{ cmH}_2\text{O}$  PEEP 加の本法が有効である。

方法は先に述べた肺切除術とほぼ同じであるの

で、ここでは省略する。

### モニター

通常の IPPV の場合と同様換気量、回路内圧、血液ガス分析、呼気炭酸ガス（以下  $ET_{CO_2}$ ）などのチェックがなされることが望ましい。

#### 1) 換気量モニター

ライトレスピロメータが小型軽量で使いやすく著者らは頻用している。ガス流による羽根の回転で指針を動かすため流速による影響が心配されるが 60 回/分までは熱線式換気量計と大差なかった。また計測部位は必ず Y ピースと気管内チューブの間とし、患者呼気量を計測するようにする。そして死腔量（約 25 ml）による影響を避けるため、計測後は原則としてはずす。

IPPV 時には問題となる量の死腔量でも、50~60 回以上になると  $Paco_2$  を上昇させる<sup>7)</sup>。

熱線式換気量計は較正の不便さを除けば良いモニターでミナト医科の RM-100 が代表的なものであり頻回換気法にも利用できる。

#### 2) 呼気 $CO_2$ モニター

通常の醉麻管理中に行うのと同様、本法による麻醉時も  $Paco_2$  推定の手段としての  $ET_{CO_2}$  測定は、非観血的、長時間モニター可という長所もあって有効である。

呼気をサンプリングチューブで引く side-stream 方式とセンサーを直接呼吸流路に入れる main stream 方式の 2 種類の赤外線  $CO_2$  アナライザーがある。前者の代表的なものが Datex 社製 Normocap である。50 ml/分のサンプル吸引を用い（他に 150 ml/分が可）、サンプルチューブを 30 cm ぐらいの長さで用いることにより約 50 回/分の換気回数まで使用可能である<sup>7)</sup>。

後者の代表的なものは Siemens Elema 社製  $CO_2$  Analyzer 130 であり 100 回/分の換気回数まで使用可能であり<sup>7)</sup>、より優れている（図 2）。

#### 3) 経皮的酸素分圧モニター

$ET_{CO_2}$  測定と同様、非観血的に連続モニター可などいうことで術中  $Pao_2$  推定の手段として有効である。

電極により 43~44°C に皮膚を加温し拡散してくる酸素を白金電極で測定するものである。

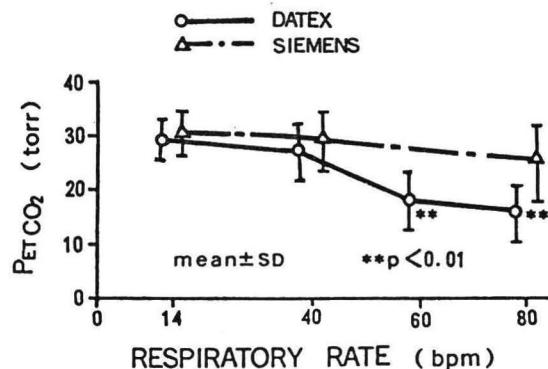


図 7 呼吸回数と終末呼気  $CO_2$  (PET $CO_2$ ) との関係  
DATEX (Normocap) では 50 回/分が限度、Siemens ( $CO_2$  Analyzer 130) では 100 回/分まで測定可能 ( $Paco_2$  は 31~35 torr で安定している)。

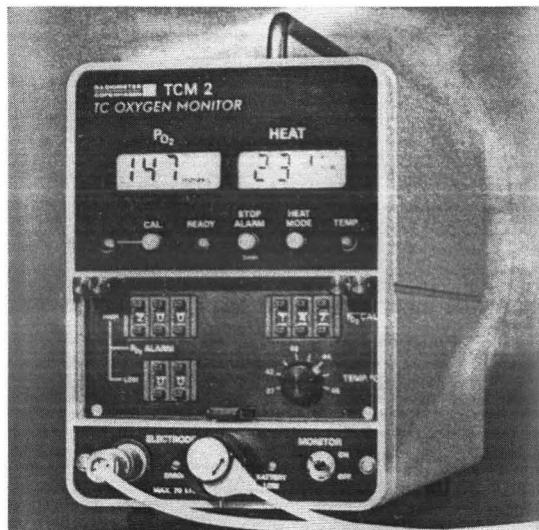


図 8 経皮的酸素分圧モニターの本体  
(Radiometer 社製)

GOF 麻酔中、左前胸部では  $Pao_2$  と大きい場合は 20 torr ぐらいの差はあるが、変化に対する追随性はよい。

測定部位としては前胸壁、大腿内側、前腕掌側などが適しているが部位により若干測定値が異なる。

本器は  $Pao_2$  の変化の大きい開胸手術、即ち肺切除術、食道離断術などに特に有効である。即ち電極安定後、 $Pao_2$  と  $Ptco_2$  の比較をしておけば血液ガス分析の回数が減らせるし、連続モニターなので低酸素血症発見の有効なモニターとなり得る。

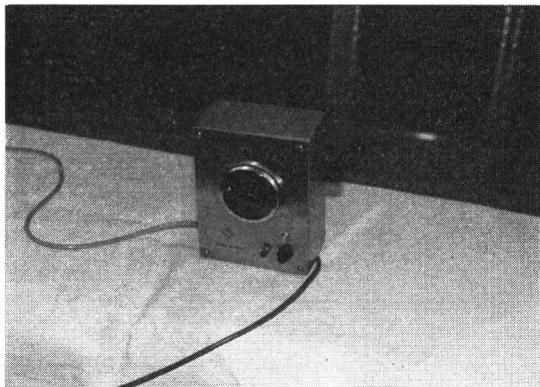


図 9 回路内圧モニター (ACOMA 社製)

リーク・アラームを回路内圧モニターとして使用している。

#### 4) 回路内圧モニター

通常の麻酔換気と同様回路内圧をモニターすることが望ましい。ほとんどの麻酔器が回路内圧計を有しているが著者らは図に示すような low pressure alarm 兼用のものを好んで使用している。

#### 本法の利点

主として jet 式と比較しての著者らの方法の有利な点を列挙する。

今までの麻酔法の換気回数を増しただけであるので

- 1) ハロセン、エンフルレンなど吸入麻醉薬が

使用できる。

- 2) 热線式レスピロモニターあるいはライトレスピロメータによる呼気量計測が簡単にできる。
- 3) 半閉鎖法なので jet 方式のように完全な乾燥ガスを吸入しない。
- 4) Open system でないので気道確保が完全である。
- 5) 用手換気への切り換えが簡単。
- 6) ベンチレーターの呼気口より余剰麻酔ガスの集中排除が簡単にできる。

#### 文 献

- 1) Sjöstrand U : High-frequency positive-pressure ventilation (HFPPV); A review. Crit Care Med 8 : 345, 1980
- 2) Manabe M, Sawa T, Ikezono E, et al : Semi-closed halothane anesthesia by high frequency ventilation. Anesthesiology 57 : A463, 1982
- 3) 真鍋雅信, 熊沢光生, 沢桓ほか : 各種人工呼吸器を麻酔用ベンチレーターとして用いる方法. 臨床麻酔 7 : 17~23, 1983
- 4) Pappin JC : The current practice of endobronchial intubation. Anaesthesia 34 : 57, 1979
- 5) 井上宏司, 正津晃, 小川純一ほか : 一侧肺麻酔のための新工夫. 臨床胸部外科 2 : 402, 1982
- 6) 真鍋雅信 : 麻酔中の換気量決定法とその検討. 臨床麻酔 5 : 779, 1981
- 7) 真鍋雅信, 沢桓, 横山訓典ほか : HFV による半閉鎖 GOF 麻酔. 麻酔 31 : 1087, 1982

## 各種 oscillation 重畠による換気動態の変動

安 本 和 正\*

死腔またはそれ以下という極めて少ない1回換気量を非常に多い換気数にて換気する非生理的換気様式「高頻度陽圧呼吸法」<sup>1)</sup>の研究が内外において積極的に現在行われている。しかし、本人工呼吸法の検討が進むにつれて、純然たる本方式よりも従来の IPPV に何らかの方法により振動を重畠する方式、すなわち両者の中間的な換気法の方が

ガス交換の効率もよく、かつ概念的にもなじみやすいと述べられている。しかし、重畠された振動は報告者により区々で、一定のまたは最良の方式はまだ決定されていないようである。

今回、Servo ventilator 900 シリーズに1ないし 99 Hz の jet oscillation (J.O.) の重畠を目的として試作された Servo HFV unit を使用する機会を得たので、2つの項目についての検討を加

\* 昭和大学医学部麻酔学教室