

1回換気量が小さいため回路の compression volume が無視できることである。

3つ目は同期機構の問題である。小児においてはタイムディレイの影響が大きく、この機構がうまく作動しないことはすでにいわれていることである。ただし ERICA の EMMV は、同期させるわけではないので、この点は問題にならない。

またわれわれが MMV を行った1例では、器械は設定通り作動したようにみえたが、患者は浅く早い呼吸をチアノーゼを呈していた。分時換気量として十分だとしても肺胞低換気をきたすこ

とはあり、この点は問題である。

### 結語

小児に対して IMV+PEEP は有用な呼吸管理法であり、これを行うには、呼吸仕事量、吸入気の加湿、PEEP レベルの維持などの点から、デマンドフロー方式よりも連続流方式が好ましく、さらに連続流方式の短所を補うために間欠流を加え、リザーバーバッグを付ける方が、小児では最適だと考える。

## $F_{I_2}$ による肺内シャント率変化の意味

—臨床データをもとにして—

貝沼 関志\*

### はじめに

ICU、手術等の人工呼吸管理において、血液ガス分析は、スワンガンツカテーテルによる各種血行動態測定とともに重要な診断手段のひとつとなっている。肺のガス交換能を知る目的で従来より  $Pao_2$  とともに、 $A-aDo_2$ 、肺内シャント率 ( $Qs/Qt$ )、 $A-aDo_2/Pao_2$ 、 $Pao_2/FI_{O_2}$ 、 $PAO_2/Pao_2$  等が用いられてきた。なかでも  $Qs/Qt$  は、それが総体としての肺の血液酸素化効率を表現するものに過ぎないことがたびたび強調されているにかかわらず、シャントという言葉の与える魅力と相まって、それが実際の解剖学的シャントを表現しているかのように誤解されている場合も多い。それがさらに、シャント効果とシャント様効果という言葉の混乱につながったり、吸入酸素濃度 ( $FI_{O_2}$ ) を変化させることにより  $Qs/Qt$  が変化することから、この  $Qs/Qt$  のみを用いて高濃度酸素が肺血管や肺胞を収縮、弛緩、虚脱させる等の議論が行われる場合もある。

本稿の目的は、 $Qs/Qt$  の式の誘導からその元の意味に立ち返り、丸川らの提出した M index を

基本として考えると  $FI_{O_2}$  による  $Qs/Qt$  の変化が実はヘモグロビンの酸素解離曲線の形より必然的に導き出される変化であること、さらに肺内シャント率が Hb までもを含んだ肺の非酸素化効率を表現したものである以上、これのみで肺胞や肺血管系の変化をみるには適さない、という理論的仮説を提出することである。

### 肺内シャント式

図1は肺内シャント率の誘導法である。ここでは肺血管系が肺胞の酸素分圧と平衡する部分と、肺胞の酸素分圧に全く影響されない部分に純然と2分されている。もしも、この図のモデルと全く同じ形の水路をつくり、ここに血液を流して一方の水路の血流のみの酸素分圧を変えたとする。つまり  $FI_{O_2}$  を変えて、水路が全く形を変えない以上、シャント率  $Qs/Qt$  は一定のはずである。ところが、以前から問題にされているように同一の患者でほとんど同一の全身状態と思われる人工呼吸管理中の患者の  $FI_{O_2}$  を変えると、計算された肺内シャント率が変化してしまうことが多い。図2に、比較的状態がよいと思われた全身麻酔中のわれわれのデータを示す。丸川らは、以前より

\* 名古屋大学医学部麻酔学教室

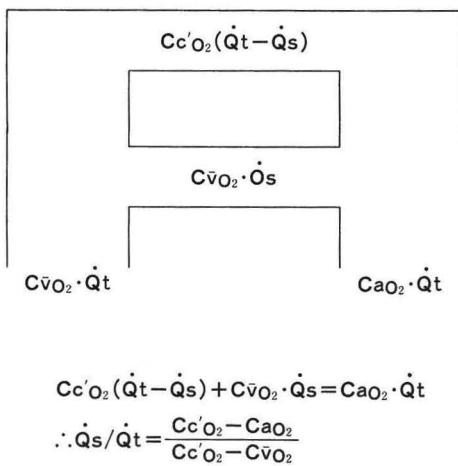


図 1

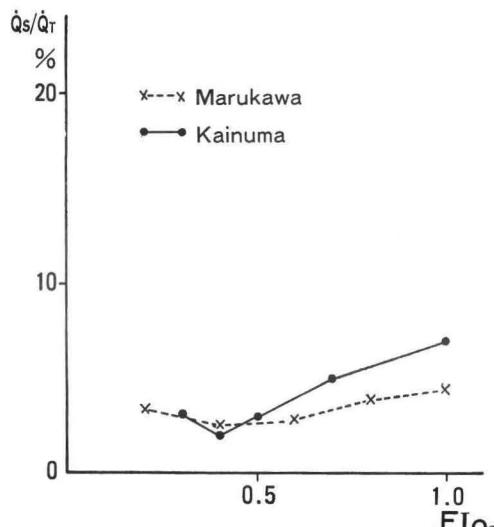


図 2

この問題に注目し報告しているが、点線は丸川らの肺機能のよいと思われた雑種成犬での実験例を引用した。他の報告例でも、われわれや丸川らのごとき、減少から増加へという二相性変化を示すものが多い。もし実際の肺が図1で示されたようなモデルであるなら、 $FIO_2$ によってシャント率は変わりえない。なぜなら、先述したように水路は全く形を変えないということが、このモデルの、そしてこのモデルから導き出された肺内シャント式の前提であるからである。ところが、 $FIO_2$ という水路外の因子の変化でこの水路は形を変えてしまう。ここに、酸素が肺胞や肺血管に影響を与

表 1

## 肺の酸素化効率

$$E_{O_2} = \frac{\text{actual } O_2 \text{ uptake}}{\text{possible } O_2 \text{ uptake}} = \frac{Cao_2 - C\bar{O}_2}{Cc' O_2 - C\bar{O}_2}$$

(沢ら)

## 肺の非酸素化効率

$$1 - E_{O_2} = 1 - \frac{Cao_2 - C\bar{O}_2}{Cc' O_2 - C\bar{O}_2} = \frac{Cc' O_2 - Cao_2}{Cc' O_2 - C\bar{O}_2}$$

=いわゆる肺内シャント式

えることがシャント式から論ぜられる原因がある。しかし、シャント式の変化から肺胞や肺血管の変化を論ずるのは正しくない。丸川らは、人工肺にヒト血液と人工血液を流した場合の $FIO_2$ によるシャント率変化を検討し、前者では臨床例に近い変化を、後者ではほとんど変化をみなかつたと報告し、変化の原因をヘモグロビンの酸素結合能に求めることを妥当としている。

沢らは、直観的に理解しにくいシャント式のかわりに、理解の容易な $O_2$  uptake model を提案した。表1にあるように、分母には肺胞に渡し得る酸素の最大量を置き、分子には実際に渡した酸素量を置いたものであり、これを酸素化効率( $E_{O_2}$ )としている。この式は直観的にきわめて理解が容易であるが実は1から $E_{O_2}$ を減じたものは、シャント式そのものである。シャント式とは肺の非酸素化効率とでも呼ぶべきものである。肺の酸素化効率は、肺胞内の酸素が血液中のヘモグロビンに結合するまでを包含した概念であり、その値の変化は肺の血管系の変化だけを表現しているものではないし、先述したように $FIO_2$ を変化させた場合はヘモグロビンの酸素結合能を表現してしまうことになる。1から肺の酸素化効率 $E_{O_2}$ を減じた式をシャント式と呼ぶのは、それが肺の血管系の変化のみを表現しているかのような誤解を招くのではないかろうか。

## M index

一般に相接する液相と気相の間に平衡が成立す

表 2

一般に相接する液相と気相の間に平衡が成立する場合

$$C = \alpha P$$

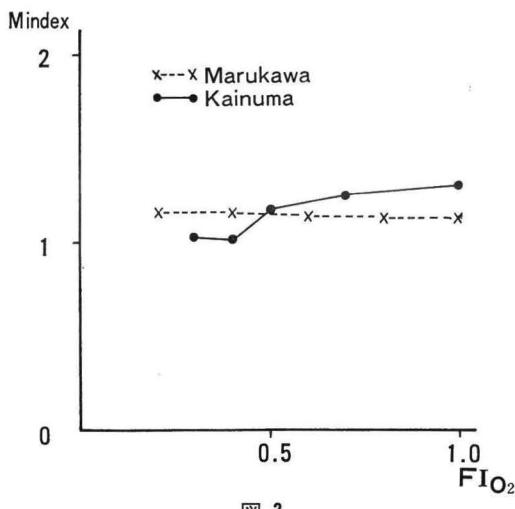
### Bunsenの溶解係数

肺静脈中の plasma と肺胞気の間に適用して

$$C_{\text{plasma}} (=0.003 \times \text{Pa}) = \alpha P_A$$

$$\therefore \frac{P_a}{P_A} \left( = \frac{1}{M_{\text{index}}} \right) = \frac{\alpha}{0.003} = \text{一定}$$

して話を進めると、



义 3

る場合、表2にあるような関係がある。これを無理に肺静脈中の plasma と肺胞気の間に適用すると、表2のように  $Pa/PA$  は一定となり、丸川らの M index の逆数となる。しかし、肺胞気と血液の間には隔壁があり、このような単純な推論は科学的でない。しかし、ここでは M index を一定であると仮定して話を進めよう。それは、現在使われている  $Pao_2$ 、シャント率、M index などの血液ガスより得られる諸指標のうち、 $FIO_2$  によって最も変化しにくいのは M index であるという経験的事実があるからである。図3に丸川らの実験例とわれわれの臨床例を示すが、 $FIO_2$  が

表 3

$$\frac{\dot{Q}_S}{\dot{Q}_T} = \frac{C_c' O_2 - C_{AO_2}}{C_c' O_2 - C_{VO_2}}$$

$$= \frac{C_c' O_2 - C_a O_2}{C_c' O_2 - C_a O_2 + C_a O_2 - C_v O_2}$$

$$= \frac{1}{1 + \frac{C_{AO_2} - C_{VO_2}}{C_{CO_2} - C_{AO_2}}}$$

$\dot{V}_{O_2}$ 一定だから  $C_{O_2} - C_{vO_2}$  =一定

$$Cc'_{O_2} - Ca_{O_2} = 1.34 \times Hb \times (SATc' - SATa) + 0.003 \times (Pc'_{O_2} - Pa_{O_2})$$

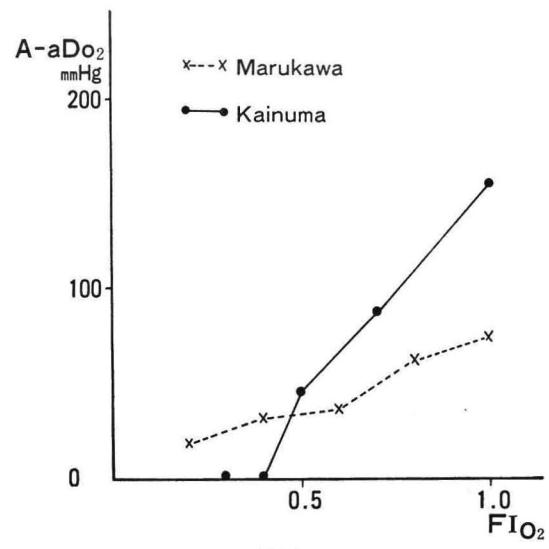
$\equiv$   
 $Pao_2$

∴  $\text{FIO}_2$  が大になれば

ODC の形から SAT の項は→0

$$PAO_2 - Pao_2 = (1 - t)PAO_2 \rightarrow \text{大}$$

$$\therefore \dot{Q}_S / \dot{Q}_T \rightarrow \text{大}$$



四

変化しても M index は大きな変化を示していない。

#### M index より肺内シャント率を見る

表3は肺内シャント式で、分子、分母を  $Cc'_{O_2} - Ca_{O_2}$  で除した式を示している。今、心拍出量と

酸素消費量を一定とすると、 $Cao_2 - C_{vO_2}$  は一定であるから、 $\dot{Q}_s/\dot{Q}_t$  は  $Cco'_2 - CaO_2$  のみで変化することになる。ここで  $A-aDo_2$  を考えると、M index より、その逆数を  $t$  とおくと、 $A-aDo_2$  は  $(1-t)PAO_2$  となる。ここで  $PAO_2$  が大きくなれば  $A-aDo_2$  は一次関数的に大きくなることになる。また、肺胞式  $PAO_2 = (760 - PH_2O) FIO_2 - PACO_2 \{FIO_2 + (1-FIO_2)/R\}$  は  $FIO_2$  に関して一次関数的に変化するので、 $A-aDo_2$  は  $FIO_2$  に関して一次関数的に変化するということになる。丸

$FIO_2 \uparrow$  ならば

$$A-aDo_2 = PAO_2 - PaO_2 = (1-t)PAO_2 \uparrow$$

$Cco'_2 - CaO_2$  は ODC の形より

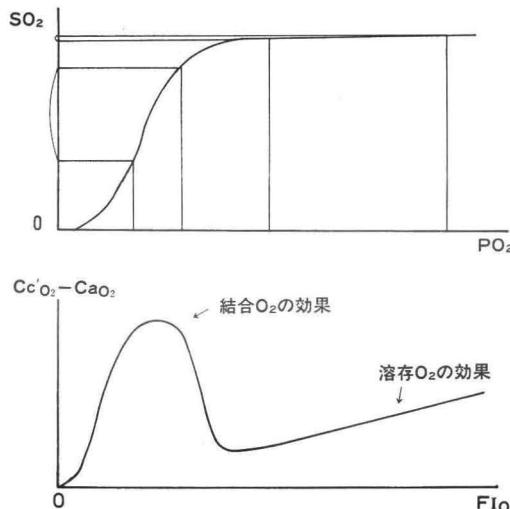


図 5

川らの例とわれわれの例を図4に示すが、 $FIO_2$  の上昇とともに  $A-aDo_2$  はほぼ直線的に上昇している。

さて、 $Cco'_2 - CaO_2$  の変化を見ると、 $FIO_2$  の上昇につれ  $A-aDo_2$  は一次関数的に上昇するので、酸素解離曲線と溶存酸素量の変化の形より、横軸に  $FIO_2$ 、縦軸に  $Cco'_2 - CaO_2$  をとると図5のような形になると思われる。事実、丸川らの実験データを計算すると図6のグラフとなった。さらに、

$$\frac{\dot{Q}_s}{\dot{Q}_t} = \frac{1}{1 + \frac{CaO_2 - C_{vO_2}}{Cco'_2 - CaO_2}}$$

$$\text{これを } y = \frac{1}{1 + \frac{b}{x}} = \frac{x}{x+b}$$

$$= 1 + \frac{-b}{x+b} \text{ とすると}$$

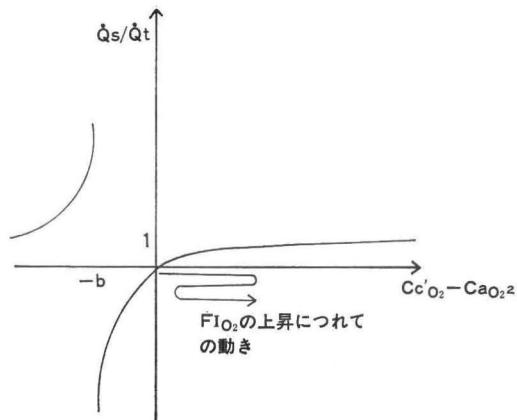


図 7

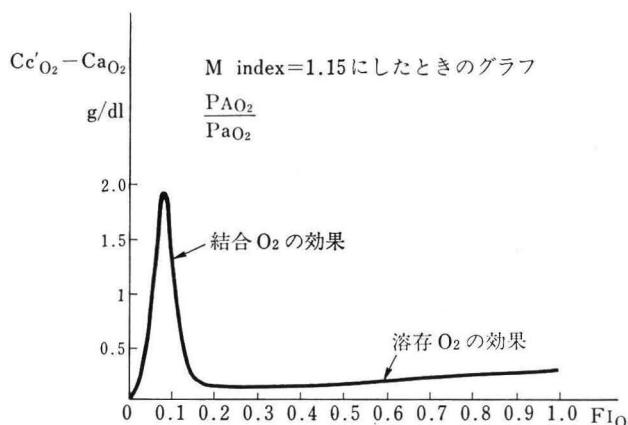
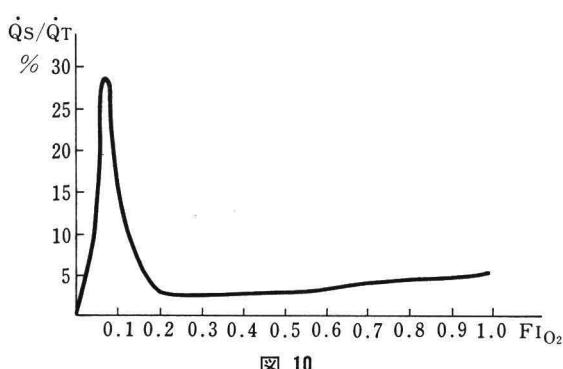
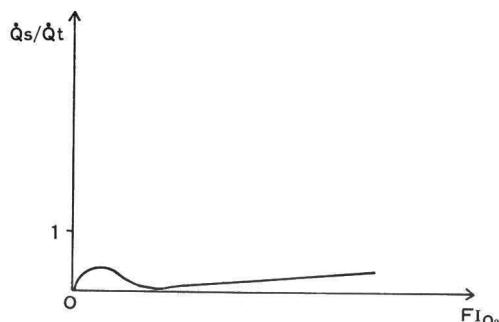
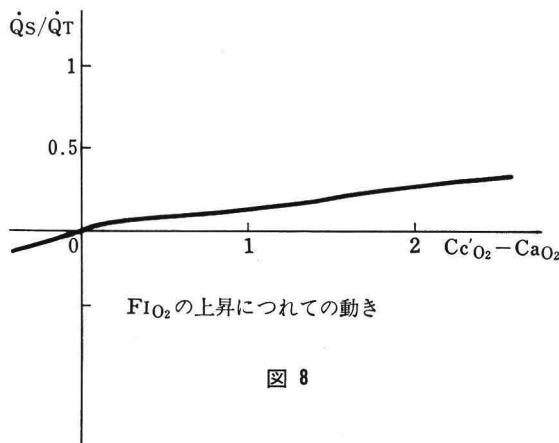


図 6



シャント式で  $\dot{Q}_s/\dot{Q}_t = y$ ,  $Cc' - Ca = x$  としてグラフを書くと図 7 のような双曲線となるが、これも丸川らの実験データでは図 8 のグラフとなる。こ

のグラフで、先に示したように  $FI_{O_2}$  の上昇につれ  $Cc'CO_2 - CaO_2$  は矢印のごとき動きを示すので、 $FI_{O_2}$  を横軸にとり直すと図 9 のようなグラフとなる。事実、丸川らの実験データでは図 10 となる。これで、 $FI_{O_2}$  の上昇による  $\dot{Q}_s/\dot{Q}_t$  の変化が示されたことになるが、このグラフは諸家の報告やわれわれの経験的事実に近い形となっている。

### 何故、経験的事実に近いか

$FI_{O_2}$  によってシャント率が変わるなら、1からそれを減じた  $Eo_2$  も変わらはずである。 $Eo_2$  が  $FI_{O_2}$  によって変わるのは、 $Eo_2$  の式の分母である  $Cc'CO_2 - CvO_2$  がそれ自体変化するだけではなく、 $Eo_2$  自体も変えてしまうからである。なぜなら、シャント率が変わると  $Eo_2$  が変わることと同義であるからである。沢らはそれを、酸素受容能の変化と呼んでいる。酸素解離曲線の立ちあがっていく部分では、おそらく酸素受容能が大きく、つまり  $Eo_2$  は大きくシャント率は小さいであろう。

$M$  index が経験的事実に近いのは、 $P_A/P_a =$  一定と置くことが、 $FI_{O_2}$  によるヘモグロビンの酸素受容能変化に近い動きとなったためであろうと思われる。しかし、それは形が似ているに過ぎず、肺におけるヘモグロビンの酸素受容能変化が酸の酸素化効率に与える影響という大きな問題が今後に残されている。

### 結語

1) 肺内シャント式は、ヘモグロビンの酸素結合能をも含めた、肺の酸素化効率を表現したものである。

2)  $FI_{O_2}$  による肺内シャント率変化を  $M$  index を一定としてグラフ化すると経験的事実に近い形が得られた。

3) しかし、肺におけるヘモグロビンの酸素受容能変化が肺の酸素化効率に与える影響については今後の課題である。

### 文献

- 丸川征四郎：肺における血液酸素化効率評価の試み、Respiratory  $M$  index の理論的解析、麻酔 26 : 1501, 1977

- 2) 丸川征四郎, 岩井誠三: 肺内シャント率と吸入酸素濃度, (1) 文献に見る相互関係の分析. 麻酔 30: 681, 1981
- 3) 丸川征四郎, 岩井誠三: 肺内シャント率と吸入酸素濃度, (2) 人工肺におけるヒト血液と人工血液の比較検討. 麻酔 30: 782, 1981
- 4) 丸川征四郎, 岩井誠三: 肺内シャント率と吸入酸素濃度, (3) 肺シャント率と A-aDO<sub>2</sub> および M index の比較検討. 麻酔 31: 579, 1982
- 5) Suwa K: PAO<sub>2</sub>-Pao<sub>2</sub> relationship for the en-
- tire therapeutic range of oxygen in acute respiratory failure. Tohoku J Exp Med 122: 275, 1977
- 6) 沢 桓, 北村博文ほか: 人工呼吸中の酸素摂取量: 酸素消費量および心拍出量の間に存在する因果関係に関する研究, 第1編 O<sub>2</sub> uptake model の提案と酸素摂取系に関する検討. 麻酔と蘇生 10: 145, 1974
- 7) 沢 桓: 肺内シャントの問題点. 呼と循 27: 121, 1979

## Positive-negative HFJV による平均気道内圧

### 零換気の呼吸循環動態に与える影響

篠崎正博\* 末吉章雄\*\* 河野一造\*\*  
門脇啓治\*\*\* 加来信雄\* 無敵剛介\*

#### はじめに

High frequency jet ventilation (HFJV) は換気数の増加に伴い、呼気が障害され、気道内圧の上昇および換気不全が生じるため、臨床使用は 3 Hz 以下の換気数に制限される。ゆえにわれわれは to and fro 方式の jet 流を利用し、すなわち positive negative HFJV で平均気道内圧を零に保ち、5, 10, 15 Hz の換気数での肺におけるガス交換、循環動態および中心静脈圧波形の周波数の変化を観察した。また pn HFJV では気道内圧を自由に変動させることができるので利用し、オレイン酸による肺水腫作製犬において、5 Hz の pn HFJV での気道内圧変化での肺におけるガス交換および循環動態について検討したので報告する。

#### 実験方法

pn HFJV は Mera D Jet Ventilator を使用し、気管内および気管外へ向けた jet 針から交互に jet 流を噴出させることにより pn HFJV を行

った。

体重 8~18 kg の雑種成犬を用い、nembutal 30 mg/kg, pancuronium 0.4 mg/kg による麻酔下に FiO<sub>2</sub> 1.0, ET<sub>CO<sub>2</sub></sub> が 4.3% 前後になるよう調節呼吸を行い、その後 2 つの実験設定を行った。Group I では PaCO<sub>2</sub> が IPPV 時とほぼ等しく、また平均気道内圧が零となるように positive と negative 側の jet flow の working pressure を設定し、5 Hz, 10 Hz, 15 Hz の pn HFJV を行い、最後にもとの条件下の IPPV にもどした。Group II では IPPV 時に 0.08 ml/kg のオレイン酸を静注し、PaO<sub>2</sub> が低下したのを確かめ、約 1 時間後に PEEP level が 4 mmHg の CPPV とし、さらに 5 Hz の pn HFJV では PEEP level と PaCO<sub>2</sub> 値がほぼ CPPV 時と等しく (① 5 Hz pn HFJV)、またつづく第 2 の pn HFJV 時では PEEP level および mean airway pressure が CPPV 時となるように設定した(表1)。

これらの実験設定での血圧、肺動脈圧、PCWP、CVP、気管分岐部の気管内圧、PaO<sub>2</sub>、PaCO<sub>2</sub>、A-aDO<sub>2</sub> Qs/Qt を測定した。また Millar 社のカテーテルトランステューサーで測定した中心静脈圧あるいは左心房圧をデーターレコーダーで記録し

\* 久留米大学病院救命救急センター

\*\* 久留米大学医学部麻酔学教室

\*\*\* 九州歯科大学麻酔学教室