〔一般演題〕

EIP による呼吸死腔の変化

盛　直久*　西村弘美**

最近の人工呼吸器には，吸気と呼気の間に一時的に breath holding を加える EIP 機構を有するものが多くなった。

時定数の異なるコンパートメントを有する肺では，吸気終了時には換気の不均等分布が生じやすくなるが，EIP を加えることにより，時定数の大きいコンパートメントから小さいコンパートメントへと換気の再分布が起こり肺胞換気が増大してガス交換が改善すると言われている。

これに伴い肺胞死腔が低下すると報告されてきたが，これらの報告では，呼吸死腔の測定は動脈血中および呼気中平均炭酸ガス濃度を用いて Enghoff の方法でまず生理学的死腔率を求め，さらに解剖学的死腔率はほぼ一定だとの仮定のもとに，EIP による生理学的死腔率の減少は肺胞死腔率の減少によるものだとの結論を導き出していた。

ところが一昨年の本研究会で報告したように[1]，呼気中の炭酸ガス濃度を指標とした single breath test（SBT-CO_2）により呼吸死腔を測定すると，いわゆる解剖学的死腔は換気条件により大きく変動することが分かり，われわれはこの死腔分画を気道死腔と呼んできた。

そこで本法を用いて，まず正常肺について EIP による呼吸死腔分画の変化を再検討したところ，興味ある結果を得たので報告する。

研究対象および方法

対象は脳外科手術を受けた，術前の肺機能が正常な10名の患者で，術中は GO エンフルレンにて麻酔を維持し，疾患に合わせて適度な換気程度が得られるような一定分時換気量にてサーボ 900 C（Siemens Elema）にて調節換気を行った（表1）。

吸気は定常流パターンとして，換気回数は毎分15回，吸気時間%は25% と一定に保ち，EIP を0%から，10%，20%，30% と付加した。

人工呼吸器からの airway flow，airway pressure，呼気中炭酸ガス濃度および動脈血圧信号は A/D コンバーターを介して8ミリセカンドごとにマイクロコンピューター（PC 9801VM2, NEC）に取り込むとともに，動脈血ガス分析を行った。

これらのデータをもとに肺でのガス交換能を示

表1　研究対象症例

No.	氏名	年齢	性	手術名	分時換気量	Pa_{CO_2}
1.	S.T.	64歳	M	脳動脈瘤根治術	7.0 l/min	36.7 mmHg
2.	Y.M.	33	M	動静脈奇形摘出術	7.0	36.5
3.	T.S.	36	M	脳腫瘍摘出術	12.1	29.0
4.	T.H.	67	M	頭蓋形成術	7.0	40.4
5.	H.K.	66	M	脳腫瘍摘出術	8.0	40.7
6.	T.K.	48	M	頭蓋形成術	7.0	42.3
7.	I.K.	65	M	脳動脈瘤根治術	9.0	31.8
8.	T.S.	61	F	脳動脈瘤根治術	7.0	33.8
9.	K.G.	69	M	脳腫瘍摘出術	7.0	31.4
10.	A.K.	55	F	脳動脈瘤根治術	8.8	32.0

* 秋田大学医学部麻酔学教室
** 秋田県立脳血管研究センター脳神経外科

す諸パラメータを計算するとともに，炭酸ガスの single breath test により，生理学的死腔率を気道死腔率および肺胞死腔率に分けて測定した。

さらに2症例につき，吸気時間 % 25%，EIP 0 % にした時と，吸気時間%は 25% のままで，EIP を 30% とした時の変化を比べてみた。

結　果

EIP を付加することにより，**図1**で示したように Pa_{CO_2}，呼気終末炭酸ガス分圧および両者間の較差は有意に低下してゆき，EIP によりガス交換が改善た。

また Pa_{O_2} は EIP によりわずかながら有意に上昇し，平均気道内圧も上昇した。平均動脈血圧には有意の変化がみられなかった（**図2**）。

図3は1症例での single breath test の結果である。EIP 0% の時に比べて，右上の EIP 10% の時には，カーブの立上がりが早くなり，気道死腔量が減少し，Pa_{CO_2} が低下している。左下の EIP 20% になると，カーブの立上がりはさらに早くなり，気道死腔量も低下するとともに，第3相のプラトーも低下し始めた。右下の EIP 30% になると第3相の低下がさらに進行し，Pa_{CO_2} も低下した。

EIP による呼吸死腔の変化をまとめると**図4**のようになる。同一1回換気量で換気を行っていても，EIP の増大とともに，生理学的死腔量が減少

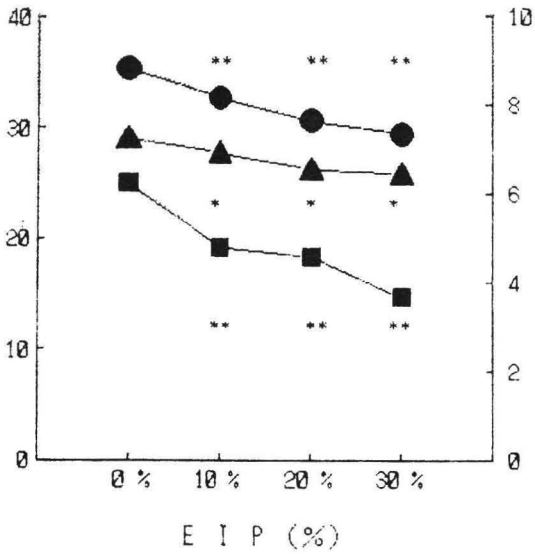

図 1　EIP による換気変化

●——Pa_{CO_2}
▲——$PE'CO_2$
■——$a\text{-}E'CO_2$
*：P＜.05
**：P＜.01

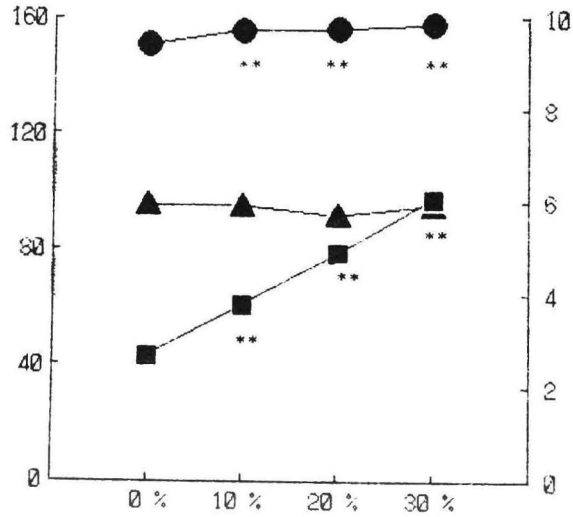

図 2　EIP による Pa_{O_2}，気道内圧，動脈圧の変化

●——Pa_{O_2}
▲——MBP
■——MAWP
**：P＜.01

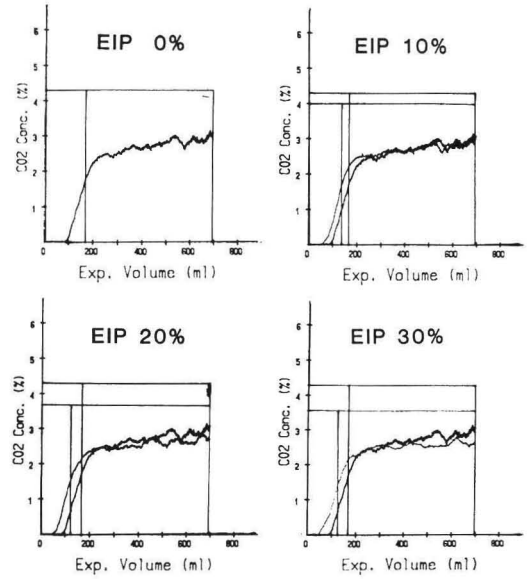

図 3　SBT-CO_2 の結果

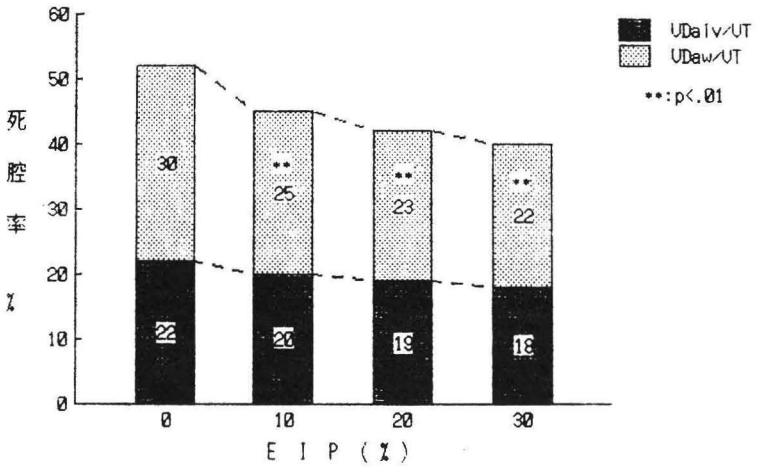

図 4　EIP による呼吸死腔の変化

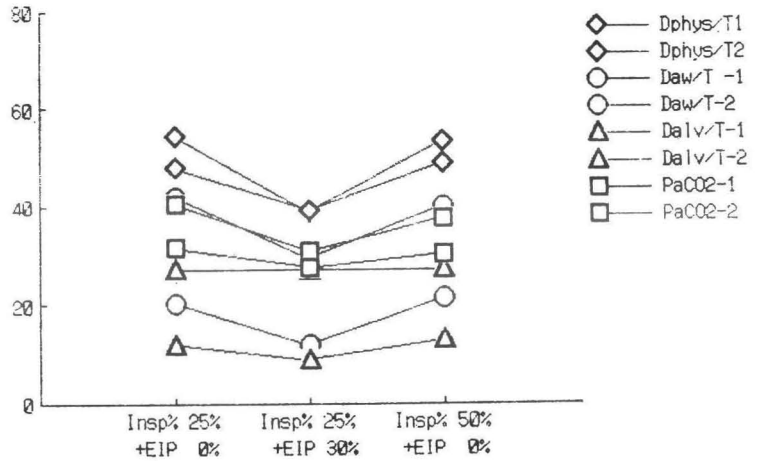

図 5　長期吸気と長期 EIP の換気に及ぼす影響

して肺胞換気量が増していった。一方死腔分画の変化をみると，気道死腔量は減少して行くが，肺胞死腔量には変化がみられなかった。

次に同程度の吸気時間でも，EIP を 30% 付加すると，吸気 25%，EIP 0% の時に比べて生理学的死腔率，気道死腔率，Pa_{CO_2} の低下がみられ換気が改善したが，吸気 50% では吸気 25% のみの時と同程度の値に帰ってしまった。また肺胞死腔率には変化がみられなかった（図 5）。

考　案

EIP により，時定数の異なるコンパートメントを有する肺では換気の再分布が起こり肺胞換気が増大してガス交換が改善することがよく知られ，これは換気の再分布により肺胞死腔が低下するためとされてきた。しかしこれらの報告では，呼吸死腔の測定は動脈血中および呼気中平均炭酸ガス濃度を用いて Enghoff の方法で生理学的死腔率のみしか求めておらず，解剖学的死腔率はほぼ一定だとの仮定のもとに，EIP による生理学的死腔率の減少は肺胞死腔率の減少によるものだとの結論を導き出していた。

しかし呼気中の炭酸ガス濃度を指標とした single breath test (SBT-CO_2) により EIP による呼吸死腔分画の変化を測定すると，正常肺では肺胞死腔には変化が認められず，気道死腔量が減

少してゆくことが判明し，EIP による生理学的死腔量の減少に寄与しているのは，従来言われてきた肺胞死腔量の減少ではなく，気道死腔量の減少であることが分かった。

吸気時間をおなじ 50% としても，全体を吸気に用いて低流速としたものと，そのうちの 30% を EIP にあてた2症例の結果から，正常肺での EIP による呼吸死腔変化は次のように推察される。

正常肺では各コンパートメント間での気道抵抗の違いも少なく，換気は各肺胞にスムーズに分布するため，低流速吸気による換気分布改善のメリットは少なくなり，肺胞が予定された1回換気量にて十分に膨らむまでには時間がかかるだけになり，血液からの炭酸ガスの移動は遅くなる。

これに対し，吸気時間を短くすると，上に比べて早くから肺胞は十分広がった状態になり，これに続く EIP 期間には広い肺胞面積が肺血流と長い時間接することになり，ガス交換に十分な場および時間を提供していることになる。この間に炭酸ガスは肺胞内に移動してくるとともに，肺胞から口もと方向への濃度勾配により気道部分のほうにまで拡散が進み気道死腔が減少して換気が改善するものと思われる。

これに対し，肺胞から肺胞死腔方向への濃度勾配による拡散も同時に進み肺胞死腔が減少することも当然考えられる。しかし同時に，EIP の増加には気道内圧の上昇が伴い，これにより膨らんだ肺胞への血流が低下してシャント効果増大により肺胞死腔が増加してくることも考えられ，結果的には EIP による肺胞死腔の変化がみられないものと思われた。

まとめ

正常肺を対象に調節換気中の EIP による換気改善のメカニズムを再検討した。

EIP の増加により肺胞換気量が増大して換気が改善した。EIP とともに生理学的死腔量，気道死腔量は低下したが，肺胞死腔量には変化がみられなかった。

以上の結果から，EIP による換気改善は従来言われてきた肺胞死腔低下によるものではなく，気道死腔低下によるものであると思われた。

文　献

1）盛　直久，西村弘美：調節換気中の呼吸死腔量測定法—Single Breath Test for CO_2—．臨床麻酔 8：1509-1515，1984