

低湿度であった。今回用いた Type HM 31 ポータブル型湿度計(バイザラ社)は小型、軽量で操作は簡単であり人工呼吸中のモニターとしては大変便利である。また湿度のプローブが小さく狭い場所での湿度測定が可能であるが、測定原理は高分子膜を使用した静電容量の湿度による変化を指標としておりこの面での従来の方式(毛髪、直流電気抵抗式、高周波静電容量式、赤外線乾燥重量測定方法など)との応答性、正確性などの検討も今後必要であろう。

今回測定を行つた3つの回路間でも吸気ガスの湿度について差があることが認められたが、その原因として fresh gas の入る位置、バッグ、呼吸弁、半閉鎖弁、ソーダライムなどの配置の関係、キャニスターの容量、患者の呼出炭酸ガス濃度、さらに蛇管の長さ、手術室内の温度など複雑な因子が考えられる^{7)~9)}。

実際全身麻酔中に低湿度のガスを吸入しているとどのような変化がおこるのかは興味ある問題である。今回色素を気管内に滴下した試みでは、色素は時間とともに口側に移動してきており、線毛運動に関しては障害されていないことが伺われた。また今回の対象患者では術後重篤な肺合併症をきたした症例は認めなかつた。しかし今回の湿度計を用いて、長期の人工呼吸管理を加湿器付の人工呼吸器にて行つてある症例について測定してみると吸呼気時とも回路内湿度はほぼ100%を示している。全身麻酔中においても、人工鼻や他の

加湿の工夫を積極的に行うべきかどうかは、今後大いに検討されるべき問題であろう。

文 献

- 1) Chalon J, et al : Effects of dry anesthetic gases on tracheobronchial ciliated epithelium. *Anesthesiology* 37 : 338, 1972
- 2) Chalon J, et al : Humidity output of the circle absorber system. *Anesthesiology* 38 : 458, 1973
- 3) Mercke V : The influence of varying air humidity of mucociliary activity. *Acta Otolaryngol* 79 : 133, 1975
- 4) Forbes AR : Humidification and mucous flow in the intubated trachea. *Brit J Anesth* 45 : 874, 1973
- 5) Sato T : Studies on respiratory humidity, II. Humidity in anesthetic circuits and water loss via anesthesia systems. *Acta Med Okayama* 15 : 335, 1961
- 6) Dery R, et al : Humidity in anesthesiology, III. Heat and moisture patterns in the respiratory tract during anaesthesia with the semi-closed system. *Can Anaes Soc J* 14 : 287, 1967
- 7) Berry FA, et al : Humidification of anesthetic systems for prolonged procedures. *Anesth Analg* 54 : 50, 1975
- 8) 後藤幸生 : 経気道療法の臨床生理(3). 呼吸と循環 27 : 1066, 1979
- 9) 兵田 恒 : 各種吸入全身麻酔方法における回路内湿度について. 麻酔 28 : 1687, 1979

高頻度呼気遮断 PEEP 人工呼吸に対する 小児と成人の反応の違いについて

財 津 昭 憲*

はじめに

成人型急性肺不全患者に対して、高頻度(8Hz)で極短時間(20~40 msec)の呼気遮断を加え、高頻度分割呼気を強制した PEEP 人工呼吸(以後 V-PEEP と略す)は、呼気分割をしない従来

の PEEP 人工呼吸に比べて、同一換気条件、すなわち1回換気量、換気回数、吸入気酸素濃度、PEEP 壓、および、呼吸モード(調節人工呼吸)を同一にした条件の下にもかかわらず、動脈血酸素分圧(Pao_2)を次第に改善させ、その改善率は3時間以後には60%以上に達した¹⁾²⁾。しかし動脈血炭酸ガス分圧($PaCO_2$)に関しては、上昇す

* 九州大学医学部付属病院救急部

るもの、下降するものとまちまちで、必ずしも統計学的に明快な結論は得られていない^{1)~4)}。そこで新しい症例のデータを加え分析しなおしたら、小児例と成人例との間で V-PEEP 人工呼吸下における炭酸ガス排出能に違いがあることに気付いた。この結果を踏まえ、V-PEEP 効果のメカニズムを考察した。

対象と方法

対象は九州大学医学部付属病院集中治療部に収容された肺不全患者のうち、(1) PaO_2 100 mmHg を維持するために、 FIO_2 0.4 以上で、しかも PEEP 5 cmH₂O 以上を必要とし、さらに、(2) 従来の PEEP 調節人工呼吸管理では 12 時間以上改善の兆しが見られないか、悪化の傾向を示した症例である。

使用した人工呼吸器は Bennett MA1 や Servo Ventilator 900B などの呼気相で定常流が供給されないタイプの Volume Preset 型人工呼吸器である。これらの人工呼吸器の呼気側回路にわれわれが考案した高頻度呼気遮断装置を組み込み、同一換気条件であることを確認しながら PEEP 人工呼吸から V-PEEP 人工呼吸に切り換えて血液

ガスを経時的に測定した。同一患者で数回 PEEP と V-PEEP 人工呼吸を交互に繰り返した症例もある。 PaO_2 が 150 mmHg 以上になれば FIO_2 または PEEP 壓を調節し、肺不全が改善したら V-PEEP 人工呼吸から従来の PEEP 人工呼吸に戻して weaning した。

同一換気条件の下での PEEP と V-PEEP 調節人工呼吸中の血液ガスの比較は V-PEEP 開始直前の測定値と、V-PEEP 開始後 6 時間までの測定値との間で行った。動脈血の採血は橈骨動脈内に留置された動脈圧モニターラインより行った。

結果

前記肺不全条件に適合し、V-PEEP 人工呼吸の臨床データが得られた肺不全症例は 8 例で合計 11 回の血液ガスの比較が出来た。症例の内訳はファロー四徴症根治術後肺不全 (T/F) 4 例で 4 回、重症肺炎 1 例で 2 回、交通外傷による第 5 頸髄以下の完全麻痺を伴った肺挫傷 1 例で 1 回、複合臓器不全の一環としての肺不全 (MOF) 2 例で 4 回である (表 1)。その結果を年齢順に並べて表 1 に示した。この集団は年齢が 3~56 歳、吸入気

表 1 PEEP 人工呼吸と V-PEEP 人工呼吸の血液ガスの比較

症 例	年齢	性別	病名	FIO_2	呼気終末圧 (cmH ₂ O)	Pao ₂ (mmHg)			Paco ₂ (mmHg)			
						PEEP	V-PEEP	ΔPao_2 (群平均)	PEEP	V-PEEP	ΔPaco_2 (群平均)	
換気能改善群	Y.M.	3	F	T/F	0.4	5	102	128	26	34.1	34.0	-0.1
	K.I.	4	F	T/F	0.4	10	117	154	47	33.9	33.4	-0.5
	M.I.	4	M	T/F	0.6	7	86	182	96	37.8	32.7	-5.0
	S.T.	5	F	T/F	0.6	6	83	152	69	38.1	28.1	-10.0
	S.U.	12	F	肺炎	0.8	15	138	156	18	38.9	35.3	-3.6
	S.U.	12	F	"	0.8	10	114	149	35	33.4	25.2	-8.2
換気能悪化群	A.T.	19	M	C_{4-5} 脊損	0.8	10	144	165	21	29.6	33.5	3.9
	O.T.	46	M	MOF	0.9	15	93	118	25	29.5	40.0	0.5
	O.T.	46	M	MOF	0.9	15	106	172	66	39.5	42.9	3.4
	O.T.	46	M	MOF	0.5	13	89	107	18	42.9	43.8	0.9
	H.N.	56	M	MOF	0.4	8	107	167	60	27.5	29.5	2.0
全 平 均					107	150	$44 (\text{P} < 0.001)$		35.9	34.4	-1.5 ($\text{P} > 0.05$)	
標準偏差					21	24	26		4.7	5.9	4.7	

T/F : ファロー四徴症根治術後肺不全

C_{4-5} 脊損 : 交通外傷による C_5 以下の完全麻痺と肺挫傷

MOF : 複合臓器不全の一環としての肺不全

酸素濃度 (F_{IO_2}) は 0.4~0.9、また呼気終末圧 (PEEP 壓) も 5~15 cmH₂O と非常に種々雑多な母集団である。

PEEP 人工呼吸下に比べて V-PEEP 人工呼吸下では、 Pao_2 は全例で上昇している (表 1、図 1、図 2)。 Pao_2 の増加 (ΔPao_2) は PEEP 人工呼吸時 Pao_2 (Pao_2 (PEEP)) 107 ± 21 mmHg が、V-PEEP 人工呼吸時 Pao_2 (Pao_2 (V-PEEP)) 150 ± 24 mmHg と、 44 mmHg も統計学的有意 ($P < 0.001$) な増加であった ($P < 0.001$) (表 1)。

これに反して、 $Paco_2$ は、PEEP 人工呼吸に比べて V-PEEP 人工呼吸下には上昇する例や下降する例があり、全体的には統計学的有意差は一見みられない ($P > 0.05$) (表 1)。しかし、この表で気付くことは、V-PEEP 人工呼吸時に $Paco_2$ が減少し、換気効率が良くなった症例は 12 歳以下の小児群で、しかもその疾患名はファロー四徴症根治術後肺不全例か、重症肺炎例であった (表 1)。逆に V-PEEP 人工呼吸にすると換気効率が悪くなり、 $Paco_2$ が増加した症例は 19 歳以上の成人群で、しかもその疾患名は肺挫傷例や複合臓器不全例であった (表 1)。

そこでこれらの症例を V-PEEP 人工呼吸によって換気効率が改善した換気能改善群と、逆に換気効率が悪化した換気能悪化群とに分けてあらためて両群を比較してみた。

換気能悪化群とはいっても、それほど大きく悪化するわけではなく、 $Paco_2$ が平均 2.1 ± 1.5 mmHg の有意な増加をする (表 1) だけで、 $Paco_2$ (V-PEEP, PEEP) 平面で図示すれば $Paco_2$ (PEEP) = $Paco_2$ (V-PEEP) 線の近傍で $Paco_2$ (PEEP) < $Paco_2$ (V-PEEP) の領域に分布している (図 1 \otimes 印)。その平均換気能悪化率 6.4% であった (図 2)。

換気能改善群では $Paco_2$ は平均 4.6 ± 4.1 mm-

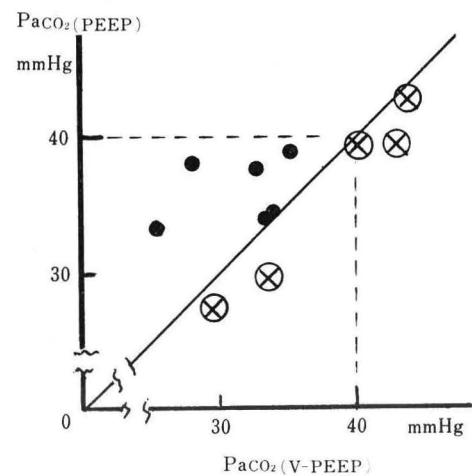


図 1 PEEP 人工呼吸と V-PEEP 人工呼吸との換気効率の比較 (同一換気条件下での $Paco_2$ の比較)

●印は換気能改善例 ⊗印は換気能悪化例

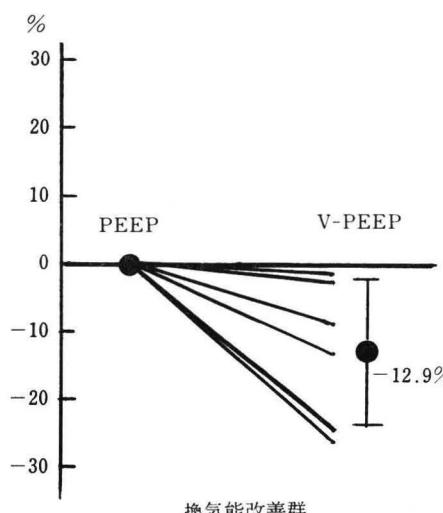


図 2 PEEP 人工呼吸に対して V-PEEP 人工呼吸の換気効率改善度の比較

Hg の有意な減少をし(表1), $Paco_2$ (V-PEEP, PEEP) 平面で $Paco_2$ (PEEP) = $Paco_2$ (V-PEEP) の近傍に分布するよりも, かなり離れた $Paco_2$ (PEEP) > $Paco_2$ (V-PEEP) 域に分布する例が多く, 換気改善がかなり良い例が多いことを示している(図1●印)。その平均改善率は 12.9% であった(図2)。

ついで換気効率改善群と悪化群とで, 酸素摂取能を比較すると, 両群とも V-PEEP 人工呼吸下で酸素摂取能はそれぞれ平均 49±30 mmHg, 38

±23 mmHg ほど増加し, 両群間に有意差はない(表1)。 Pao_2 (V-PEEP, PEEP) 平面に図示しても各症例とも Pao_2 (PEEP) < Pao_2 (V-PEEP) 領域で, しかも Pao_2 (PEEP) = Pao_2 (V-PEEP) 線からかなり離れて分布するので, 酸素摂取能改善がかなり良いことを示している(図3)。その酸素摂取能改善率は換気能改善群で 51±39% の改善に対して換気能悪化群でも 36±22% の改善で, 両群間に統計学的有意差はない(図4)。

考 察

今回のこの臨床研究においても, 高頻度(8 Hz)で極短時間(20~40 msec)の呼気遮断を加えた強制的分割呼気法を取り入れた PEEP 人工呼吸, いわゆる V-PEEP 人工呼吸法は, 肺不全症例に応用すると, Pao_2 は次第に上昇し, 酸素摂取能が改善し, 肺不全を治療する効果をもつてゐる^{1)~4)}ことが明らかになった。しかしこの V-PEEP 人工呼吸法の換気効率を全体的に見れば従来の研究結果^{1)~4)}と同様に一定の傾向はない結論づけられる。このことは換気効率決定の因子は患者側にあることを意味している。その患者側因子は肺不全の原因となった疾患であり, また年齢が関係しているようである。

換気効率が悪化するということは, 取りもなおさず 1 回換気量に占める死腔換気量の増大を意味する。しかし現実には Pao_2 は上昇し肺不全が改善するに伴って換気効率が低下するという事実が

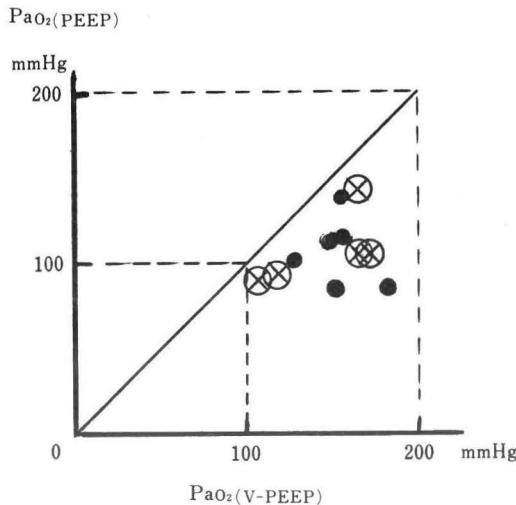


図 3 PEEP 人工呼吸と V-PEEP 人工呼吸との酸素摂取能の比較(同一吸入気酸素濃度, 同一呼気終末圧における Pao_2 の比較)
●印は換気能改善例 ⊗印は換気能悪化例

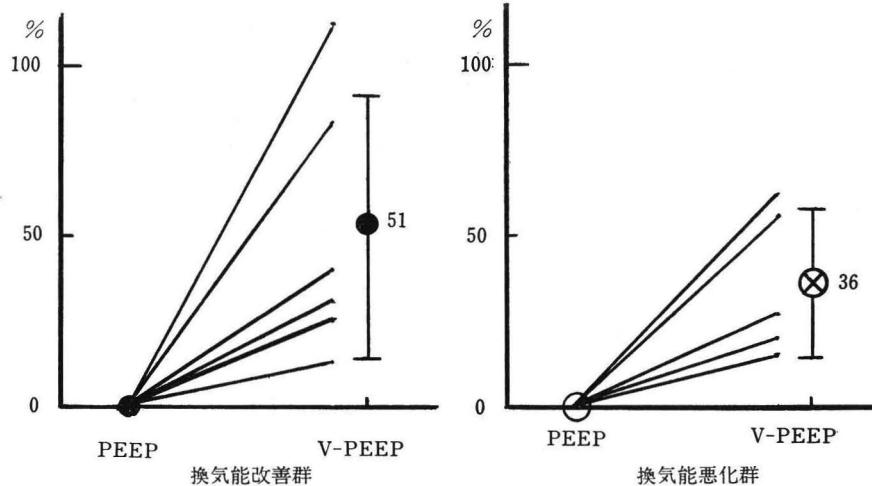


図 4 PEEP 人工呼吸に対する V-PEEP 人工呼吸の酸素摂取能改善率の比較

存在するなら、これを無理なく説明する理論が必要になる。

肺不全の最も大きな病因は多数の虚脱肺胞が形成され肺内血流シャントがおこることであろう。肺胞虚脱の原因是末梢気道の浄化不足で気道内分泌物や異物による閉塞、肺水腫による濾出液の肺胞内貯留、または間質性肺水腫による末梢気道の閉塞、炎症による肺実質の破壊やそれに付随する充血や浮腫や滲出液による周辺肺実質組織への障害であろう。肺不全が改善するのは末梢気道の浄化がなされ、虚脱肺胞が再膨張させられたためである。このとき、再膨張した肺胞の血管網の破壊が進行していたならば、肺内シャントの減少で酸素摂取能は改善するが、肺胞死腔量が増大することになるので、肺不全の改善と換気効率の悪化は矛盾なく説明が可能である。もちろん再膨張した肺胞が正常であるならば肺コンプライアンスは増大するので換気効率は改善するであろう。

われわれの症例をこの観点から見直すと、換気効率悪化群は肺胞血管系が全肺野的規模で障害される複合臓器不全症例や、肺血管系の断裂を主徴とする肺挫傷であった。また換気能改善群はファロー四徴症の根治術後であるので、発達の未熟な

肺血管床に大量の血液が流れるため血漿の濾出がおこり、胸水貯留や肺水腫を肺不全の原因とするので、肺胞血管系の新生はあるかも知れないが破壊はないので、末梢気道の浄化、虚脱肺胞の再膨張、および肺水腫が改善すれば十分に換気能は改善するのが当然であろう。重症肺炎の場合、病巣そのものは気道系も血管系も同時に破壊されるので考慮に入れなくてもよいが、病巣周辺の浮腫や滲出液や充血で障害された部位も肺胞血管系の破壊はないから、換気効率が改善したのは十分納得される。ゆえに、われわれの症例は V-PEEP 人工呼吸による肺不全改善のメカニズムが末梢気道の浄化作用と、虚脱肺胞の再膨張、そして肺水腫軽減効果によるもの¹⁾²⁾と仮定しても矛盾はないことを示唆している。

諫訪は成人肺の共振周波数を 1.6 Hz、新生児肺では 9 Hz と試算している⁵⁾。この研究でわれわれは 8 Hz の呼気遮断法を用いたので、成人例では共振周波数を越えており、この圧振動に追随できず air trap がおこり、肺胞内圧が上昇し PEEP 効果を示し⁵⁾、換気効率が悪化した可能性を指摘された。しかし、呼気遮断により気流停止がおこれば、肺胞内圧、気道内圧、回路内圧の

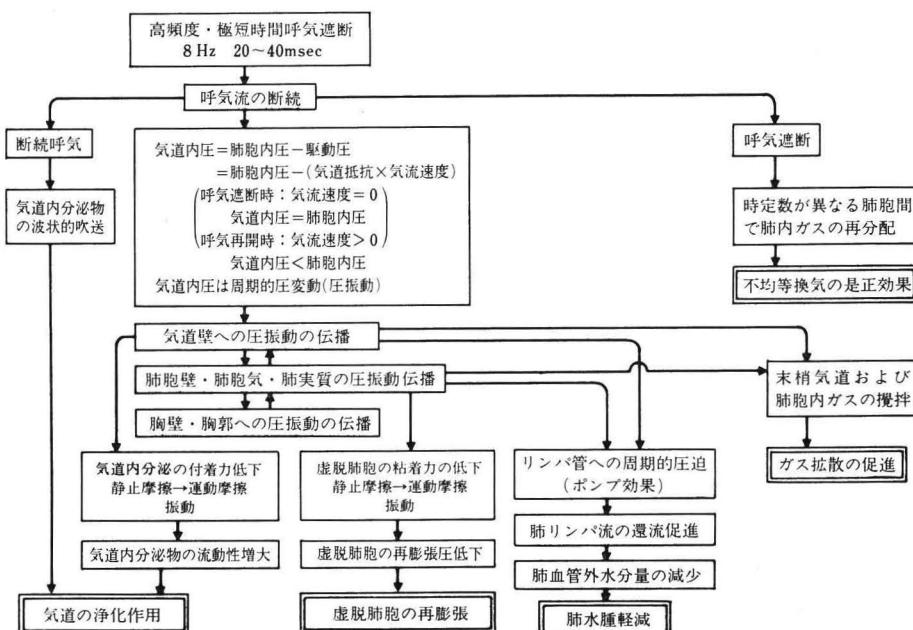


図 5 高頻度呼気遮断 PEEP 人工呼吸 (V-PEEP) の肺不全治療効果発現の仮説

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²⁾。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。諏訪邦夫編。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) 諏訪邦夫：高頻度人工呼吸の換気力学、高頻度人工呼吸。諏訪邦夫編。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¹⁾、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 が麻酔中の換気に応

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-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¹⁾。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