

Inspiration

for your safe and skilful use of
artificial ventilators based on deeper understanding.

臨床MEインフォメーション

No.3

未熟児新生児呼吸療法の実際

未熟児・新生児呼吸管理は肺サーファクタント補充療法の登場により、飛躍的に進歩し、生存率も向上してきた。また、新生児用人工呼吸器の進歩により人工呼吸管理時間の短縮が出来るようになり、新生児特有の呼吸管理において、PTVによる多彩な換気モードの使用方法、リークが一目で解るグラフィックの見方等、人工呼吸器を使用していく上で正確な知識が必要となってきた。本紙ではそれぞれの専門家により、新生児人工呼吸管理について解りやすく記述して頂いた。医師、看護師、臨床工学技士の方々の参考になれば幸いである。

新生児における Ventilator-induced lung injury (VILI)

鹿児島市立病院 新生児センター 科長 茨 聡



はじめに

成人の集中治療の領域において、Ventilator-induced lung injury (VILI) として、人工換気による肺障害の存在がクローズアップされ、その病態の解明と予防戦略が注目を集めている。

新生児集中治療室 (neonatal intensive care unit: NICU) においては、未熟性による肺サーファクタント欠乏に起因する呼吸窮迫症候群 (respiratory distress syndrome: RDS) の治療として、十数年前に肺サーファクタント補充療法が登場し、未熟児の呼吸管理法は飛躍的に進歩し、その生存率も向上してきた。

しかしながら、1000g未満の超低出生体重児は、肺サーファクタント欠乏が主体の1000g以上の未熟児とは異なり、呼吸中枢の未熟性、肺組織の未熟性、胸郭および呼吸筋の未発達、循環系の未熟性から、そ

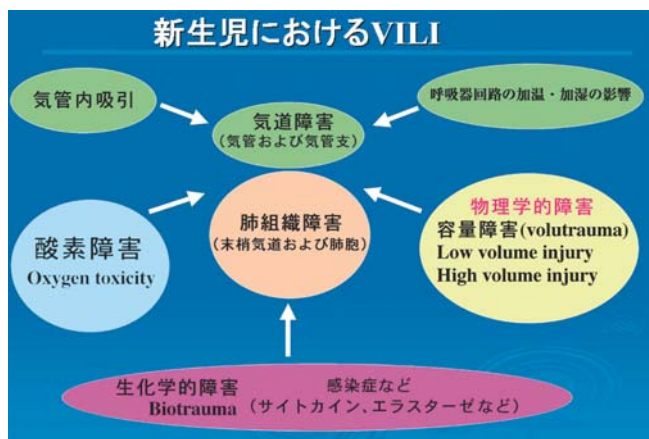
の人工呼吸管理は長期にわたることが多く、成人と同様に、VILIの予防が重要となってくる。

早産児の肺は成熟過程にあり、脆弱であり、容易に慢性肺疾患 (chronic lung disease: CLD) を発症すると考えられている。

また、CLDは、細気管支などの末梢気道や肺胞の障害だけでなく、気管および気管支などの主気道の障害も複雑に絡み合っており、新生児におけるVILIに関与する種々の因子として以下の要因が考えられる (図1)。

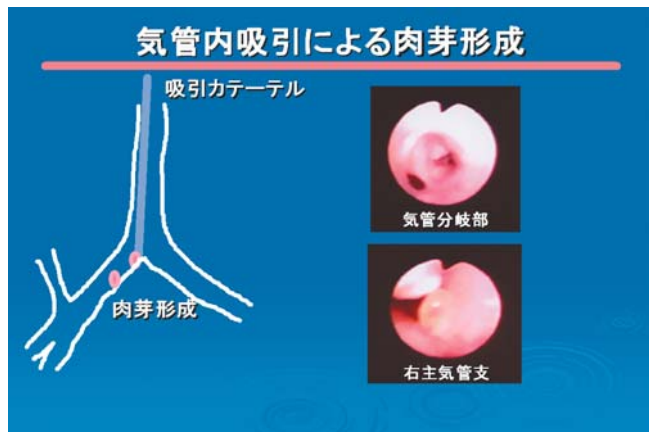
1 気管内吸引

人工呼吸管理において、日常行うものに気管内吸引がある。通常、末梢気道に侵入した異物は、粘膜にとらえられ喀痰となり、線毛運動や咳嗽により排



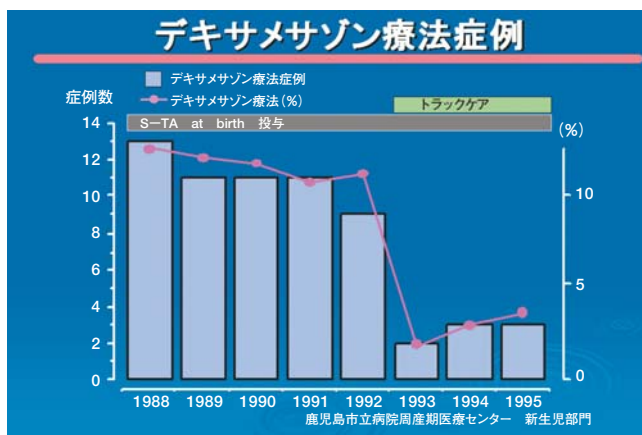
〈図1〉 新生児におけるVILI

泄される。しかしながら、気管内挿管中は、このような分泌物排泄機序が損なわれ、また、物理的刺激や感染により分泌物が増加し、加湿が不十分の場合は更にその粘度が上昇して、気道狭窄や閉塞を起こして無気肺を生じたりするために気管内吸引が必要になってくる。しかしながら、従来の開放型気管内吸引では、人工呼吸器回路を気管内チューブから外して行うため、換気が中断され、また呼気終末陽圧（positive end-expiratory pressure：PEEP）もかからなくなる。そのため、呼吸不全の強い患児では、状態が悪化することが懸念されるため、急いで気管内吸引チューブを挿入することになる。そうすると、気管や気管支にチューブの先端が当たり、気道粘膜の損傷が起こることが知られてきている。損傷が重篤な場合は、潰瘍ができ、その治癒過程に肉芽を形成し、気道狭窄や無気肺の原因となると考えられている〈図2〉。



〈図2〉 気管内吸引による肉芽形成

そこで、当センターでは、呼吸器回路を外さず PEEPを担保でき、ゆっくり目盛を見ながら気管内吸引チューブを挿入できるために、カテーテル先端が気道に当たって生じる気道損傷が少ない閉鎖型気管内吸引法（トラックケア® など）を1993年から導入し、デキサメサゾンが必要とするCLD症例の減少を認めている〈図3〉。



〈図3〉 デキサメサゾン療法症例

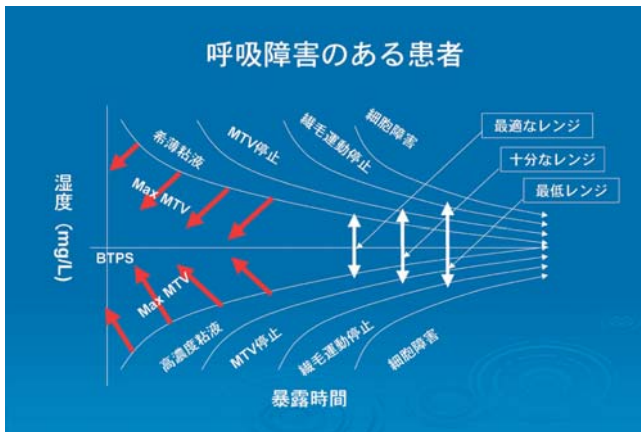
2. 人工呼吸中の加温と加湿

通常の呼吸では、吸い込まれたガスは、鼻と上気道の作用により、加温および加湿され、下気道に到達するまでに、ガスは体温と同じ温度になり、水蒸気飽和状態となる。つまり、吸気ガスが十分に水分を含んだ気道粘膜表面を通過する際に、細胞から熱と水蒸気（ガス状の水分子の状態）を与えられ、100%相対湿度（飽和状態）になる。体温を37℃とすると、その温度における水蒸気飽和状態は（37℃、100%相対湿度、絶対湿度44mg/ℓ）で、その状態をBTPS（body temperature atmospheric pressure and saturation：BTPS）と呼び、その絶対湿度が重要と考えられている。

人工呼吸中は、気管内チューブを気管内挿管されており、吸入ガスは、鼻腔や上部気道による加温加湿を受けずに直接気管下部に流入するので、人工的な加温加湿が必要になってくる。もし適切な加温加湿（37℃、絶対湿度 44mg/ℓ）がなされない場合、吸気ガスの湿度が、前述したBTPSより高くても低くても、気道の粘膜機能不全を起こすと考えられている。その悪化は、1. 粘液粘度の上昇、2. 粘膜線毛運動の低下、3. 粘膜線毛運動の停止、4. 細胞の損傷の順番に起こり、肺障害を来す¹⁾。

また、気道分泌物の粘度が上昇することによる気

管内チューブの閉塞、無気肺と気道浄化作用の低下による肺炎の危険性が高まる〈図4〉。よって、気管内チューブ先端で新生児の体温を37℃とすると、そのBTPS (37℃、100%相対湿度、絶対湿度 44mg/ℓ)が必要となってくるため、加温加湿器のチェンバーの温度は、37℃設定が基本となる。



〈図4〉呼吸障害のある患者

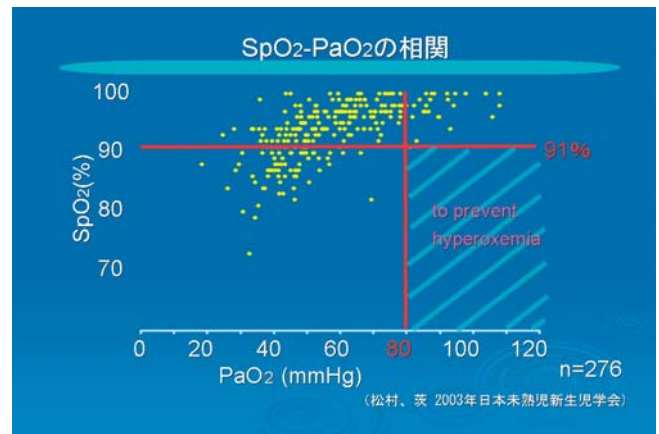
3 酸素管理

新生児集中治療室（NICU）における酸素管理は、成人に比べ非常に厳密に行う必要がある。なぜなら、低酸素血症になると中枢神経障害をはじめとする多臓器障害をきたし、高酸素血症になると未熟児網膜症が発症し、重症の場合は、網膜剥離から失明にいたるためである。

米国小児科学会は、未熟児網膜症の発症と低酸素障害を予防するために、動脈血の酸素分圧（PaO₂）を50～80mmHgに維持しなければならないと勧告している。よって、動脈ラインから採血した血液の酸素分圧測定か、経皮酸素分圧モニターによる評価が必須となる。しかしながら、現在、NICUでは、パルスオキシメーターが頻用されており、注意しなければならないのは、未熟児網膜症の発症を予防できるパルスオキシメーターで測定した酸素飽和度による厳密な勧告は、現在のところ存在していないということである。

当センターの検討では、SpO₂が91%以下であれば、動脈血の酸素分圧（PaO₂）80mmHgを越えることはないということがわかっており〈図5, 6〉²⁾、この値は、パルスオキシメーターの種類によっても変わると考えられるが、最近の英国の研究でも、90%以下を推奨している³⁾。

パルスオキシメーター（SpO₂）で管理する場合は、



〈図5〉SpO₂—PaO₂の相関

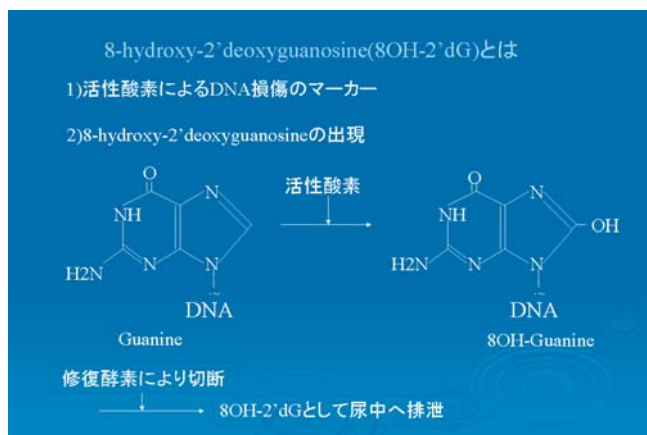
各SpO₂値によるsensitivity, specificity

SpO ₂	sensitivity	specificity
99	0.84	0.51
98	0.88	0.42
97	0.93	0.37
96	0.96	0.35
95	0.96	0.31
94	0.97	0.26
93	0.97	0.24
92	0.98	0.23
91	1.00	0.22
90	1.00	0.22

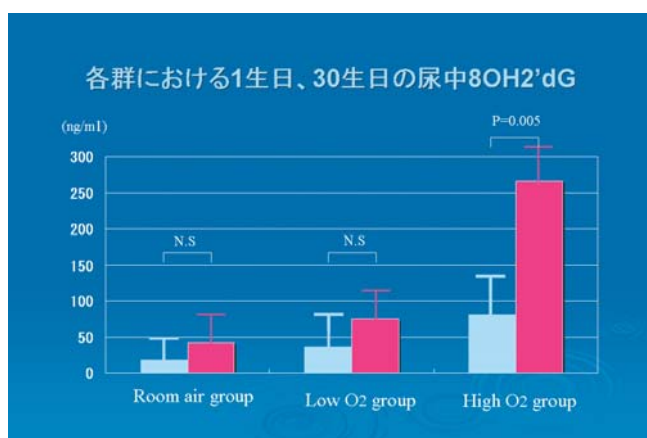
〈図6〉SpO₂値によるsensitivity、specificity

限りなく80%台後半から91%に維持することが重要である。このことは、未熟児網膜症だけでなく、全身の臓器、とりわけ直接に高濃度酸素に暴露される肺組織の酸素障害もなるべく回避できる可能性がある。

事実、低出生体重児における酸素投与による酸化ストレスの影響について、DNA障害のマーカーである、尿中8 hydroxy-2'deoxyguanosine (8OH-2'dG) (DNA構成塩基の1つであるグアニンが、酸化ストレスにより8-hydroxyguanineに変性し、細胞内の修復酵素により離断され、体内で代謝をうけることなく尿中に排泄される物質) 〈図7〉を用いて検討した結果、1日よりroom air で管理した群（A群；n = 6；出生体重 828±118g, 在胎週数 25±0.5wks）、30生日FiO₂ 30%以下の酸素で管理した群（B群；n = 6；791±92g, 25±1.1wks）、30生日FiO₂ 30%以上の酸素を必要とした群（C群；n = 6；690±117g, 24±1.3wks）の3群の比較では、出生後1, 30生日の尿中8OH-2'dG (ng/ml) は、酸素濃度が高いほど有意に高い結果が得られており 〈図8〉、活性酸素によるDNA損傷を惹起している可能性が示唆されている⁴⁾。



〈図7〉 8-hydroxy-2'deoxyguanosine (8OH-2'dG)



〈図8〉 各群における1生日、30生日の尿中8OH2'dG

血中乳酸値を測定しながら、嫌気性代謝が動いていない事を担保しながら、なるべく不必要な酸素を投与しないことが、未熟児網膜症および肺障害の予防に重要であると考えられる。

4. 物理学的障害：容量障害(volutrauma)

過度の吸気圧、過度の吸気時間による末梢気道および肺組織の過伸展による障害は圧障害(barotrauma)と呼ばれてきたが、最近では容量障害(volutrauma)として認識されるようになってきている。

また、volutraumaも以下の4a) High volume injuryと4b) Low volume injuryにわけて考えられてきている。

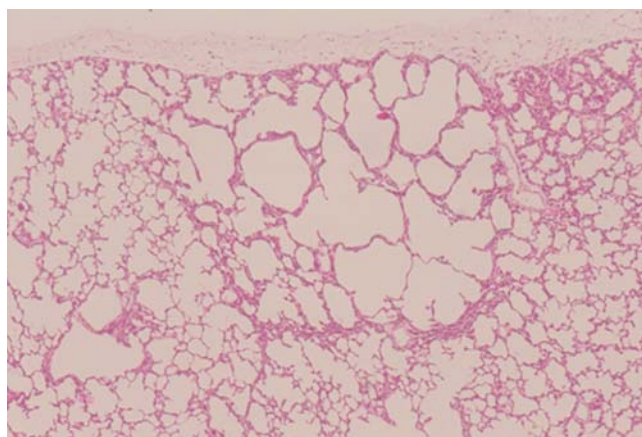
4a) High volume injury

過度の吸気圧、過度の吸気時間による末梢気道および肺組織の過伸展による肺胞上皮や肺毛細血管内皮細胞の障害である。呼吸窮迫症候群(RDS)を発症し、肺サーファクタント補充療法後に平均気道内圧12cmH₂O、6時間IMVで人工換気した山羊新生仔の

肺組織障害標本〈図9〉のように、数時間の人工換気で、未熟な肺は障害を受けることがわかる。

血管内皮細胞の障害は、肺間質への血漿成分の漏出を招き、肺胞上皮の障害は、肺サーファクタントの活性阻害物質である血漿成分(アルブミン、フィブリノーゲンなど)の肺胞腔への漏出を来す。肺胞腔へ漏出したフィブリノーゲンは、組織トロンボプラスチンによりフィブリンへと変化し、肺硝子膜(hyaline membrane)を形成し、ガス交換を障害する。

予防としては、過剰な吸気圧、吸気時間を避けるために、換気モニター等を用いて設定し、これらの障害を予防する必要がある、ある程度の高炭酸ガス血症は、血中pHが正常であれば容認し、人工呼吸器の設定の上昇を避ける必要がある。(permissive hypercapnea)⁵⁾

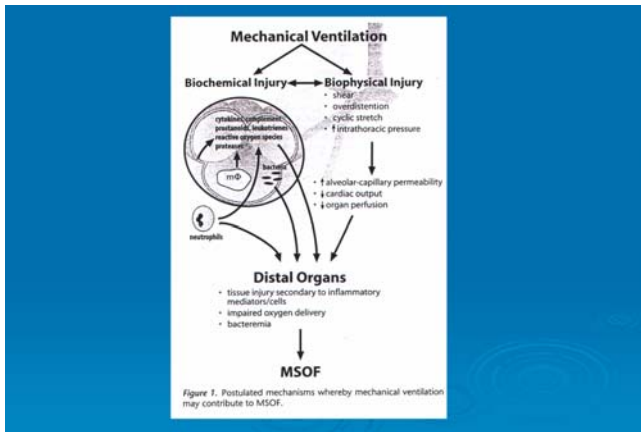


〈図9〉 山羊新生仔の肺組織障害標本
(肺胞の断裂、bulla形成を認める。)

4b) Low volume injury

新しい概念であり、周期的な過伸展と虚脱(cyclic opening and closing)によって生じるすり応力(shear stress)による末梢気道や肺胞の障害で、これにより、血管内皮や肺胞上皮に障害を生じ、肺胞マクロファージの活性化や好中球の肺への集積などの炎症機転の進展が生じ、サイトカインや顆粒球エラスターゼなどの炎症性メディエーターにより肺障害が進行する病態と考えられている。この状態が、更に進展すればSIRS(systemic inflammatory response syndrome)となり、多臓器不全に陥ることになる〈図10〉⁶⁾。

予防としては、呼吸窮迫症候群(RDS)に対しては、早期の肺サーファクタントの投与であり、適切に末梢気道や肺胞を開く適切なPEEPの設定や適切なMAPによるHFO(Open lung approach)である。



〈図10〉人工換気と多臓器不全（文献6より引用）

5. 生化学的障害 Biotrauma

早産の主な原因に子宮内感染があり、成人におけるSIRSと同様な高サイトカイン血症により種々の病態を呈するFIRS (Fetal inflammatory response syndrome) の存在も提唱されており⁷⁾、人工呼吸管理中の呼吸器感染症とともに、サイトカインや顆粒球エラスターゼなど炎症性メディエーターにより、肺障害が進行すると考えられている (biotrauma)。

Yoonらは、切迫早産症例において、羊水穿刺にて採取した羊水中に高濃度のサイトカイン (IL-6) を認めた症例の早産児は、気管支肺異形成症 (BPD) をコントロール群の発症率 (3%) に較べて、有意に高率 (25%) に発症したと報告している⁸⁾。

このことから、子宮内感染症例の周産期管理、および出生後の肺炎などの感染症発症予防が重要であると考えられる。

[参考文献]

- 1) Williams R, Rankin N, Smith T, et al. Relationship between the humidity and temperature of inspired gas and the function of the airway mucosa. Crit Care Med 24: 1920-1929, 1996.
- 2) 松村真紀、茨 聡、丸山英樹、他。新生児におけるHyperoxemia予防に関するSpO₂値の検討。日本未熟児新生児学会雑誌 15: 563, 2003
- 3) Tin W, Milligan DWA, Pennefather P, et al. Pulse oximetry, severe retinopathy, and outcome at one year in babies of less than 28 weeks gestation. Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed 84: F106-F110, 2001.
- 4) Kato E, Ibara S, Maruyama H, et al. Relationship between 8hydroxy-2'deoxyguanosine level in urine and inhaled oxygen concentration in LBW infants. J Perinat Med 31 (Supl.): 178, 2003.
- 5) The acute respiratory distress syndrome network. Ventilation with lower tidal volumes as compared with traditional tidal volumes for acute lung injury and the acute respiratory distress syndrome. N Engl J Med 342: 1301-1308, 2000
- 6) Slutsky A, Tremblay L. Multiple system organ failure. Am J Respir Crit Care Med 157: 1721-1725, 1998
- 7) Comez R, Romero R, Ghezzi F, et al. The fetal inflammatory response syndrome. Am J Obstet Gynecol 179: 194-202, 1998.
- 8) Yoon H, Romero R, Moon JB, et al. Clinical significance of intra-amniotic inflammation in patients with preterm labor and intact membranes. Am J Obstet Gynecol 185: 1130-1136, 2001.

連絡先：〒892-8580 鹿児島県鹿児島市加治屋町20-17
電話 099-224-2101

●最大16人を有線とテレメータで集中管理

ICUやハイケアユニット、病棟まで幅広く使える

●人工呼吸器のアラームを警告!

ベッドサイドの安全管理を徹底!

ワイドに・しっかり・安全管理!

●NIBPの加圧開始をナースステーションから簡単指示

双方向無線通信による遠隔操作/看護師さんの労力を削減

セントラルモニタ

DS-7680/7640/7620

医療用具承認番号: 21600BZZ00078000

有線/テレメータで生体情報管理!



FUKUDA
DENSHI

本社/東京都文京区本郷 3-39-4
フクダ電子ホームページ <http://www.fukuda.co.jp>

新生児呼吸管理における Lung protective ventilation (LPV)

鹿児島市立病院 新生児センター 科長 茨 聡，一ノ橋祐子

はじめに

未熟性による肺サーファクタント欠乏に起因する呼吸窮迫症候群（respiratory distress syndrome: RDS）の治療として、十数年前に肺サーファクタント補充療法が登場し、未熟児の呼吸管理法は飛躍的に進歩し、その生存率も向上してきた。

しかしながら、1000g未満の超低出生体重児は、肺サーファクタント欠乏が主体の1000g以上の未熟児とは異なり、呼吸中枢の未熟性、肺組織の未熟性、胸郭および呼吸筋の未発達、循環系の未熟性から、その人工呼吸管理は長期にわたることが多い。

新生児特に早産児の肺は成熟過程にあり、脆弱であり、人工呼吸管理中の吸入酸素による酸素毒性（oxygen toxicity）、過剰な吸気圧、過度の吸気時間による容量損傷（volutrauma）、サイトカインや顆粒球エラスターゼなど炎症性メディエーターの関与（bio-trauma）から、容易に慢性肺疾患（CLD：chronic lung disease）を発症すると考えられている。

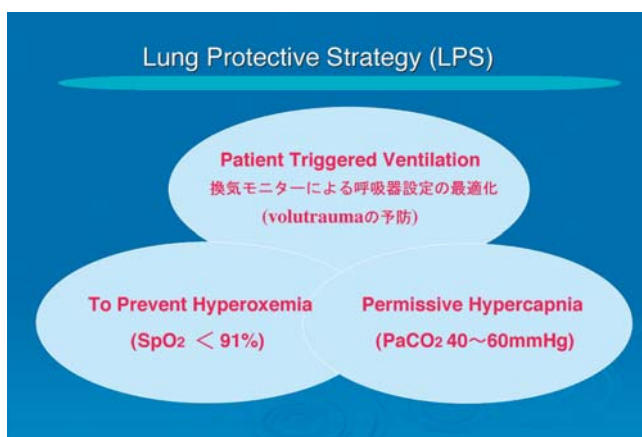
CLDを発症した児は、その呼吸管理は長期にわたり、入院期間の延長だけでなく、その身体的および神経学的予後も問題になってくることが多く、その予防は重要であり、高頻度振動換気法（high frequency oscillation：HFO）やPTV（patient triggered ventilation）などの応用によるCLD予防が模索されてきている。

これまでに、PTVによりCLDが減少するかどうかに関する研究が数多くなされてきているが、一定した見解が得られていないのが現状である^{1,2,3,4,5)}。

これまでの研究は、主にPTVとCMV（conventional mandatory ventilation）の比較で、吸気開始の新生児による決定、いわゆるfightingの減少に主眼点がおかれ、人工呼吸管理中の吸入酸素による酸素毒性（oxygen toxicity）、過剰な吸気圧、過度の吸気時間による容量損傷（volutrauma）にあまり注意が払われていなかったと考えられる。そこで、酸素毒性及び容量損傷の予防に重きをおいたPTVのCLD発症予防効果を検討した。

1 Lung protective Strategy

CLD予防のためのLung Protective Strategy（LPS）〈図1〉を平成13年より導入し、Lung protective ventilation（LPV）を施行してきた。



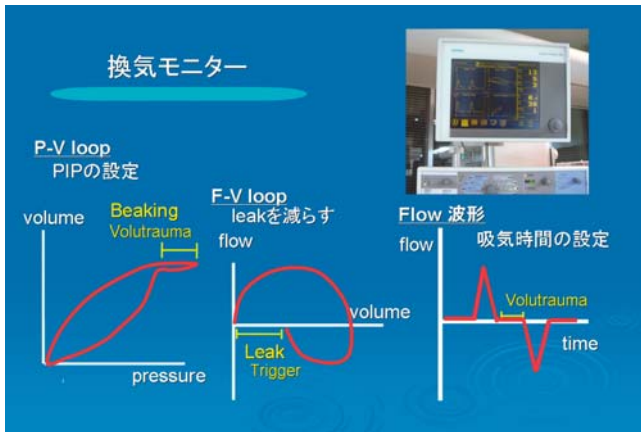
〈図1〉 Lung Protective Strategy（LPS）

- (1) to prevent hyperoxemia（SpO₂を91%以下に保つことにより、吸入酸素濃度を極力下げて、酸素毒性からの肺障害を予防する方針。しかしながら、必ず血中乳酸値を測定して、嫌気性代謝が進行するような低酸素血症を回避する。）
- (2) permissive hypercapnia（pHが正常であれば、高炭酸血症でも、人工呼吸器による換気量を上昇させずに、volutraumaを回避する方針）
- (3) 換気モニターを利用した換気設定〈図2〉
 - I) 最大吸気圧（PIP：peak inspiratory pressure）の設定
P-V loop（圧・容量曲線）を用いて、吸気終末に過膨張を示す嘴状にとがった形（beaking）が認められる場合は、最大吸気圧が高すぎるので、beakingがなくなるように最大吸気圧を設定してvolutraumaを予防する。
 - II) 吸気時間（Ti：inspiratory time）の設定
Flow 波形を用いて、吸気時間中にFlowが存在しない時間（過剰な吸気時間）をなくすように吸気時間を設定してvolutraumaを予防する。

Ⅲ) リークの減少

F-V loop (流量・容量曲線) を用いて、リークをモニターし、適切な気管内チューブの太さや位置を設定し、トリガーがかかりやすくして、PTVを確実に起こせるようにする。

- (4) PTV (SIMV、PSVなど) を使用し、fightingをなるべく少なくする。



〈図2〉換気モニター

2 Lung protective strategy (LPS) 導入前後の変化

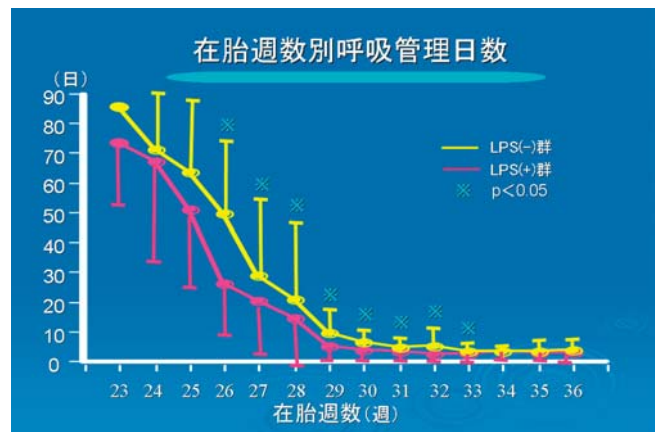
平成7～15年に当センターに入院し人工呼吸管理を必要とした22～36週の生存児のうち、奇形・染色体異常・心疾患・外科疾患・HIE (hypoxic ischemic encephalopathy)・脳室内出血 (IV度)・PVL (periventricular leukomalacia) を除いた児を、lung protective strategy 導入前 (LPS (-) 群) (平成7～11年、473例)、導入後 (LPS (+) 群) (平成13～15年6月、305例) で比較した⁶⁾。

- 1) 人工換気日数：25週以前では両群間で有意差はみられなかったが、26～33週の全ての週数において LPS (+) 群で有意に短縮した。(LPS (-) 群 15.5 ± 23.0 日、LPS (+) 群 9.5 ± 16.6 日、 $p < 0.05$) 〈図3〉。
- 2) 酸素投与日数：33週にのみ LPS (+) 群で有意に短縮したが、その他の週数では有意差は認められなかった。(LPS (-) 群 3.73 ± 1.98 日、LPS (+) 群 2.63 ± 1.53 日、 $p < 0.05$)
- 3) CLDについては修正36週の時点で酸素が必要な群と定義すると、LPS (-) 群13例/473例 (2.9%)、LPS (+) 群13例/305例 (4.3%) で有意差を認めなかった。しかしながら、LPS導入後では、28

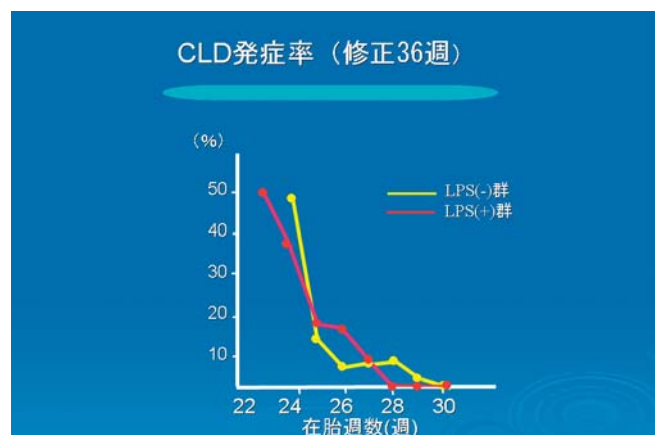
週以降の症例には、CLDは認められなかった。〈図4〉。

- 4) 光凝固術を必要とした未熟児網膜症の発症は、LPS導入後、30週以降の症例には認められなくなり、27～36週の症例では、有意にその発症率が減少した。 $(P < 0.01)$ また、22～26週の症例でも、有意差を認めないものの減少傾向を認めた。〈図5, 6〉。

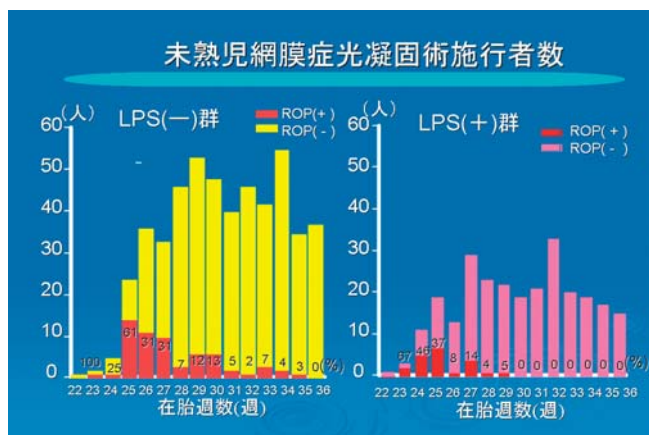
Lung protective strategy 導入により、26週以降の児の人工換気日数が有意に減少し、28週以降の症例にはCLDの発症は認められなくなり、光凝固術を必要とした未熟児網膜症の発症も30週以降の症例には認められなくなり、その予後の改善が認められた。しかしながら、26週未満の症例では、未熟性が強いために、それらの有意な減少は認められなかった。



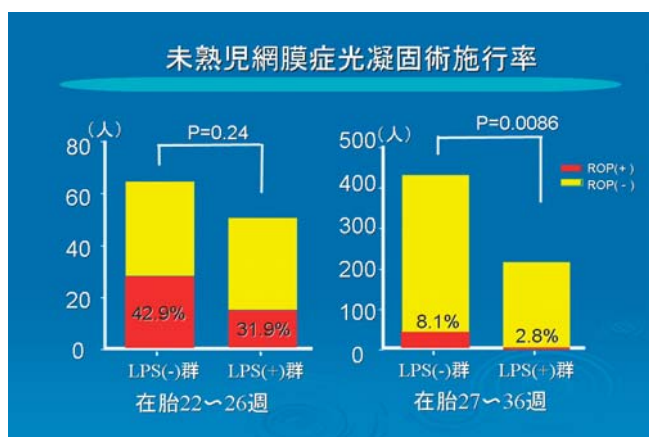
〈図3〉在胎週数別呼吸管理日数



〈図4〉CLD発症率 (修正36週)



〈図5〉未熟児網膜症光凝固術施行者数

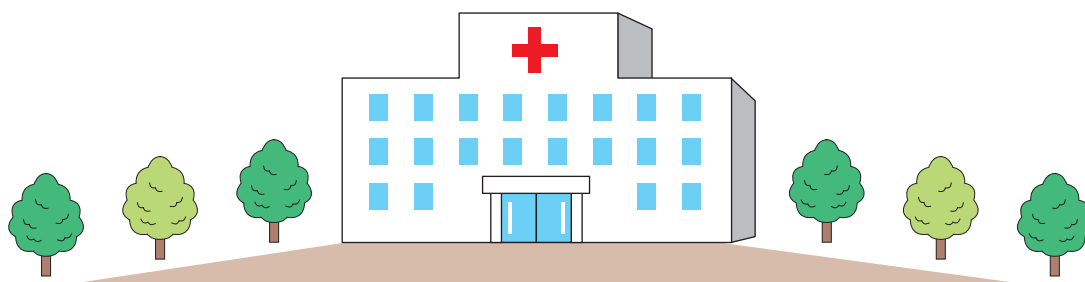


〈図6〉未熟児網膜症光凝固術施行率

[参考文献]

- 1) Baumer JH. International randomized controlled trial of patient triggered ventilation in neonatal respiratory syndrome. Arch Dis Child 82: F5-10, 2000
- 2) Beresford MW, Shaw NJ, Manning D. Randomized controlled trial of patient triggered and conventional fast ventilation in neonatal respiratory syndrome. Arch Dis Child 82: F14-18, 2000
- 3) Bernstein G, Mannino FL, Heldt GP, et al. Randomized multicenter trial comparing synchronized and conventional intermittent mandatory ventilation in neonates. J Pediatr 128: 453-463, 1996
- 4) Chan V, Greenough A. Neonatal patient triggered ventilators Br J Intens Care 216-219: 1993
- 5) Chen JY, Ling UP, Chen JH. Comparison of synchronized and conventional intermittent mandatory ventilation in neonate. Acta Pediatr Jpn 39: 578-583, 1997
- 6) 一ノ橋祐子、茨 聡、丸山英樹、他。Lung protective strategy 導入前後における呼吸管理日数とCLD 発症率の変化の検討。日本未熟児新生児学会雑誌 15: 419, 2003

連絡先：〒892-8580 鹿児島県鹿児島市加治屋町20-17
電話 099-224-2101



～豊富な実績と経験から生まれた～

新世代のサーボベンチレータ!

人工呼吸器
サーボベンチレータシリーズ
Servo*i*
医療用具承認番号：21200BZY00120000

MAQUET

- **クリニカルパフォーマンス**
高品質で安全なサーボベンチレータの伝統と臨床経験の基に開発
- **移動性**
小型・軽量設計の本体は、患者とともにスムーズな移動が可能
- **コストパフォーマンス**
ソフトウェアやハードウェアのオプション方式により、効率的な購入方法が可能
- **安全性**
12インチカラー液晶に患者情報、アラーム情報を日本語表示し、始業点検機能も搭載

● 医用電子機器の総合メーカー

FUKUDA DENSHI 本 社/東京都文京区本郷 3-39-4
フクダ電子ホームページ <http://www.fukuda.co.jp>

グラフィックスの見方



松戸市立病院 新生児科 長谷川 久弥

グラフィックモニターは、人工呼吸中の換気状態を直接リアルタイムで評価できる優れたモニターです。新生児領域においても同調型間欠的強制換気（SIMV）の普及に伴い、その重要性が認識され、必要不可欠のものになりつつあります。新生児の人工換気療法は、成人の人工換気療法と大きく異なる点が多々あります。このため、新生児の特徴に合わせた管理法が必要となります。この稿では、新生児領域における人工呼吸器のグラフィックモニターについて述べます。

1 新生児領域における人工呼吸の特徴

新生児の人工呼吸は、成人とは異なる以下のような特徴を持ちます。

- ① 従量式（volume control ventilation）ではなく、主に従圧式（pressure control ventilation）の人工呼吸器が用いられる。
- ② カフ無しの気管内挿管チューブを用いるためリークがある。
- ③ 自発呼吸を残し、覚醒した状態で人工呼吸を行っている場合が多い。
- ④ 細い気管内挿管チューブを用いるため、チューブ詰まり、チューブ折れなどのトラブルをおこしやすい。

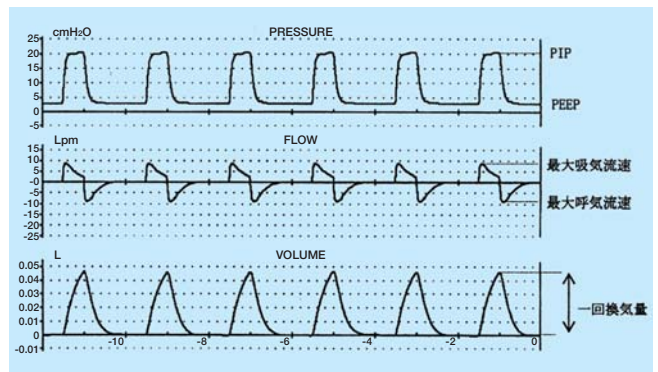
これら以外にも、その脆弱さから気胸などの合併症をおこしやすいなど、より注意深い管理が必要となります。

2 グラフィックモニターの基本画面

グラフィックモニターの画面には、大きく分けて、①横軸に時間を取り、気道内圧、フロー（流速）、換気量（流量）などを経時記録する画面、②圧と換気量、フローと換気量などの関係を見るためのループ画面の2つがあります。一般的には、通常の人工換気中のモニタリングとしては経時記録画面を表示し、より詳しい検討にはループ画面を表示させますが、最近ではこの両方を同時表示できるグラフィックモニターも増えています。

1. 経時記録画面（Pressure, Flow and Volume-Time curve）〈図1〉

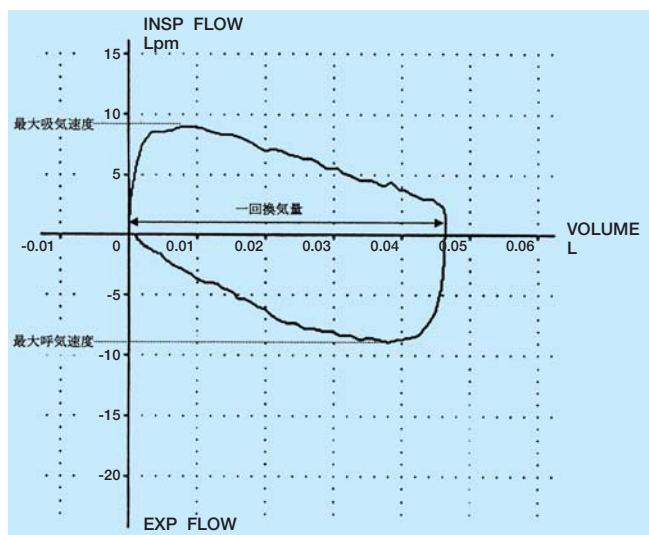
従量式人工呼吸器の場合、肺の状態の変化や挿管チューブのトラブルなどは、気道内圧波形をみるだけでかなりの情報を得ることが可能です。これに対し、従圧式人工呼吸器では、肺の状態が変化しても、挿管チューブにトラブルがあっても気道内圧波形は基本的には変化がないため、気道内圧波形のみでは十分な情報を得ることはできません。このため、従圧式人工呼吸器においては、横軸に時間を取り、気道内圧、フロー、換気量を経時的に同時表示し、それぞれの関係を見ることで初めて換気状態の変化を知ることができます。



〈図1〉経時記録画面（Pressure, Flow and Volume-Time curve）

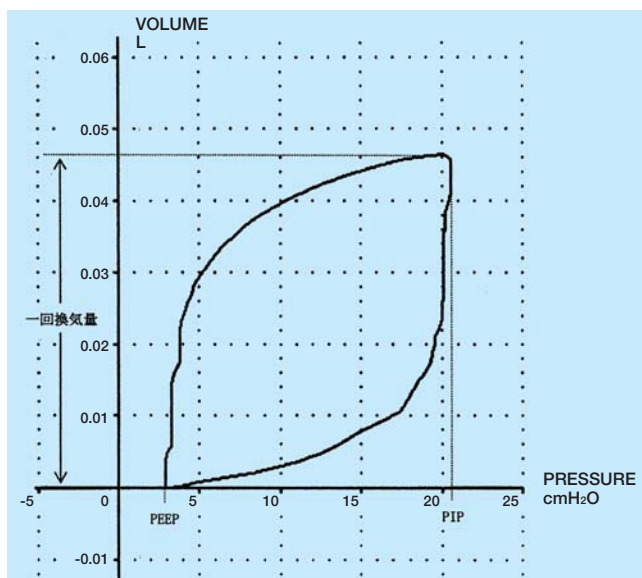
2. ループ画面

ループ画面には、縦軸にフロー、横軸に換気量を設定したFlow-Volume Loop 〈図2〉と、縦軸に換気量、横軸に気道内圧を設定したPressure-Volume Loop 〈図3〉があります。ループ画面は経時記録画面とは異なり、1呼吸毎の換気状態を評価するのに用いる画面です。



〈図2〉 Flow-Volume Loop

縦軸にフロー、横軸に換気量を設定したもので、上側が吸気、下側が呼気になっています。一般的には吸気・呼気の始まりが中枢側の気道を反映し、終わりが末梢側の気道を反映します。吸気・呼気の1回換気量の差からリーク率を求めたり、波形の特徴から気道病変の診断などにも用いられます。



〈図3〉 Pressure-Volume Loop

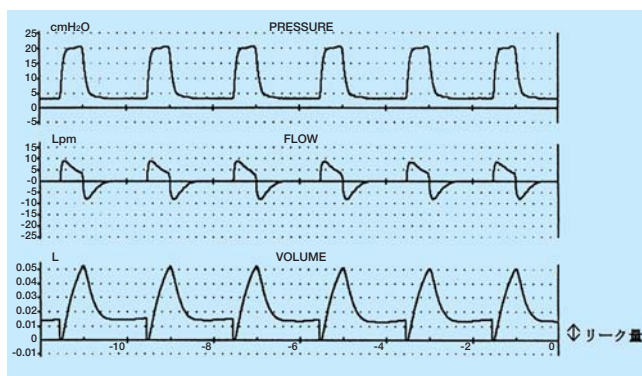
縦軸に換気量、横軸に気道内圧を設定したもので、ループの右下側が吸気、左上側が呼気になっています。圧に対する換気量の関係がみられるため、肺の膨らみやすさ（コンプライアンス）を評価することが可能で、主に肺胞の状態を反映します。肺の過膨張なども判るため人工呼吸器の換気条件の設定にも用いられます。

3 グラフィックモニターの臨床応用

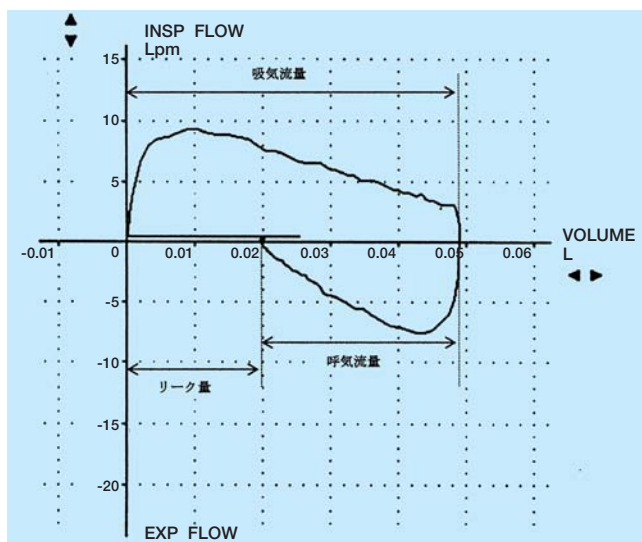
グラフィックモニターからは様々な情報が得られます。これらの情報を呼吸管理に応用することにより、より安全で的確な新生児の呼吸管理が可能となります。実際の臨床の場面で遭遇するいくつかの例を挙げて具体的に説明します。

1. リーク

新生児の人工呼吸療法ではカフ無しの気管内挿管チューブを用いるため、強制吸気時にチューブの横からリークが生じることがあります。リーク率は吸気の1回換気量と呼気の1回換気量の差を吸気の1回換気量で除して求められます。ある程度までのリークは問題ないのですが、リーク率が50%を超えるほど高くなると、折角換気条件を設定しても思ったような有効換気が得られない場合があります。こうした場合は、チューブサイズの見直し等の対策が必要となります。強制吸気時にのみリークがある場合、経時記録画面では換気量曲線が呼気時に基線まで戻らず途中から平行になり、次の吸気時にリセットされる波形となります〈図4〉。Flow-Volume Loopでは吸気換気量（上側）と呼気換気量（下側）との間に換気量の差が生じ、この差がリーク量となり、吸気換気量に対するリーク量の比率がリーク率になります〈図5〉。強制吸気時だけでなく呼気時にもリークがある場合には、経時記録画面で換気量曲線が呼気時に基線まで戻らないだけでなく右肩上がり現象がみら

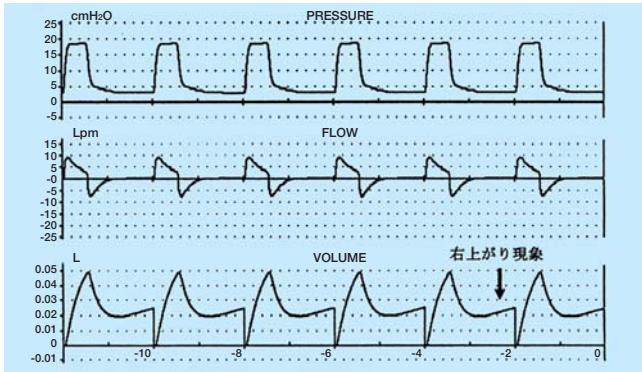


〈図4〉 強制吸気時にのみリークがある場合の curve



〈図5〉 リーク量（率）の求め方

れます〈図6〉。呼気時にある一定以上のリークがあると、トリガー感度を低く設定している場合には、リークを児の自発呼吸と誤認して強制換気を行ってしまう場合があるので注意を要します。



〈図6〉 呼気時にもリークがある場合の経時的記録画面

2. 吸気時間・呼気時間の設定

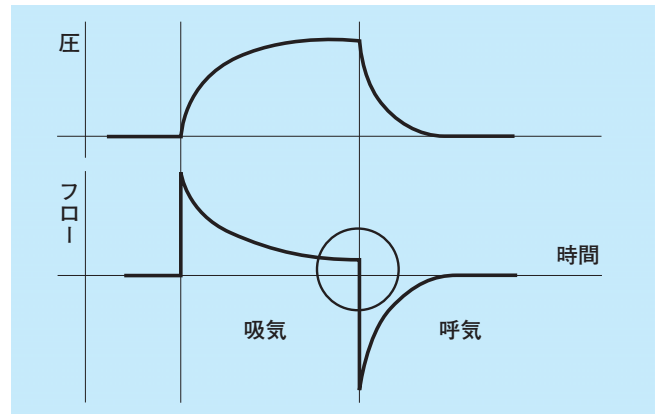
人工呼吸を受けている児にとって、必要かつ安全な換気状態を得るために、吸気時間・呼気時間の設定は重要です。厳密に行うためには呼吸機能測定装置を用い、呼吸抵抗、肺胸郭コンプライアンスを測定し、この両者の積から時定数を求め、吸気時間を時定数の2倍程度、呼気時間は時定数の3倍以上に設定することにより、肺胞を有効に利用し、エアートラップをおこしにくい設定を行うことが可能です。しかし、呼吸機能測定装置を用いた検査はある程度の知識と技能を要し、また、刻々と変化する児の肺の状態に追従することも必ずしも容易ではありません。このため、リアルタイムである程度の範囲で児に合った吸気時間・呼気時間を設定する方法として、グラフィックモニターを用います。経時的記録画面の圧とフローを参考に吸気時間・呼気時間の変更を行います。吸気時間が短い場合には、圧波形の吸気が終了した時点でフロー波形は0に戻っておらず、そのまま呼気に転換することになります〈図7〉。

逆に、吸気時間が長い場合には圧波形が吸気であるにもかかわらず、フロー波形は途中から0になってしまいます〈図8〉。

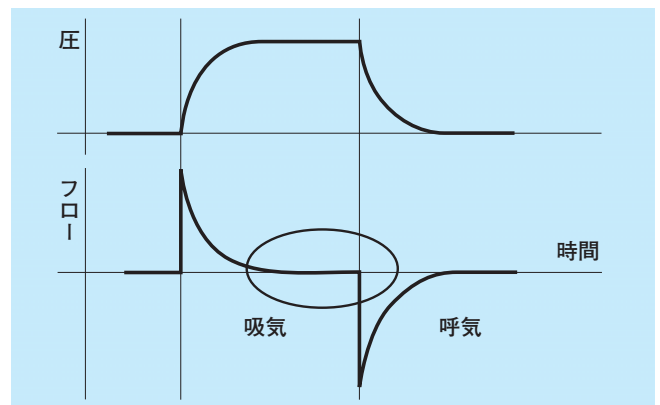
呼気時間の不足はエアートラップの原因になりやすいのですが、この場合には、圧波形が呼気から吸気に転じる時点において、フロー波形は0に到達しておらず呼気の終了前に吸気が始まっていることがわかります〈図9〉。

3. 過膨張

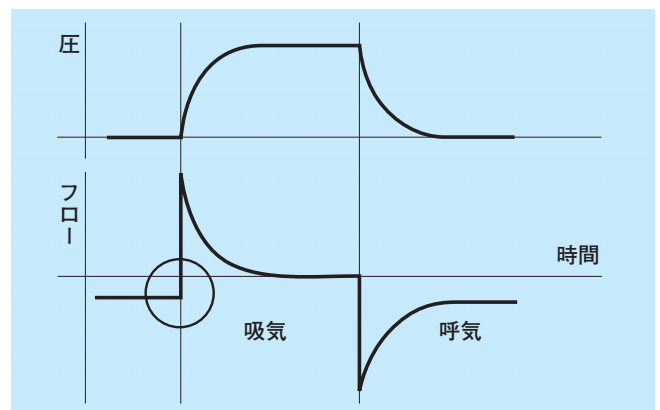
人工呼吸を行う場合、有効性、安全性を高めるためには、肺が膨らみはじめる低位屈曲点（LIP：lower



〈図7〉 吸気時間の短い場合（文献2）より引用

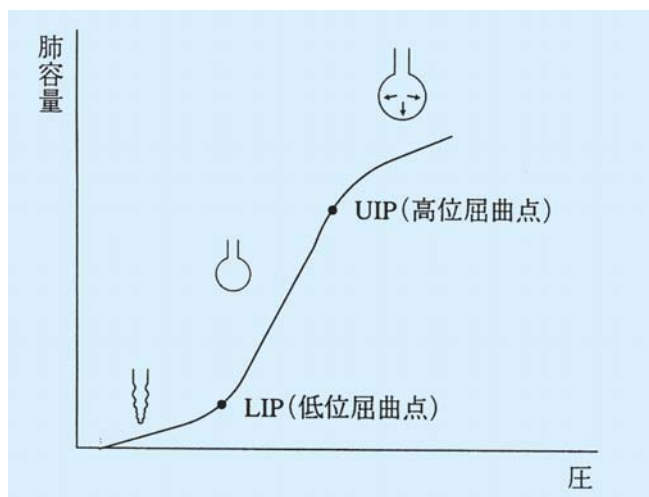


〈図8〉 吸気時間の長い場合（文献2）より引用



〈図9〉 呼気時間の短い場合（文献2）より引用

inflection point）と肺が過膨張になる高位屈曲点（UIP：upper inflection point）の間で人工呼吸を行う必要があります〈図10〉。UIPを越える過膨張な状態で人工呼吸を行うと、気胸などの危険性を高めるだけでなく、不要な圧により肺障害や心負荷を増悪させる一因となります。過膨張な状態の人工呼吸を経時的記録画面でみると、圧波形は吸気であるにもかかわらず、吸気の途中でこれ以上肺に空気が流入することができないため、フロー波形は吸気フローが途

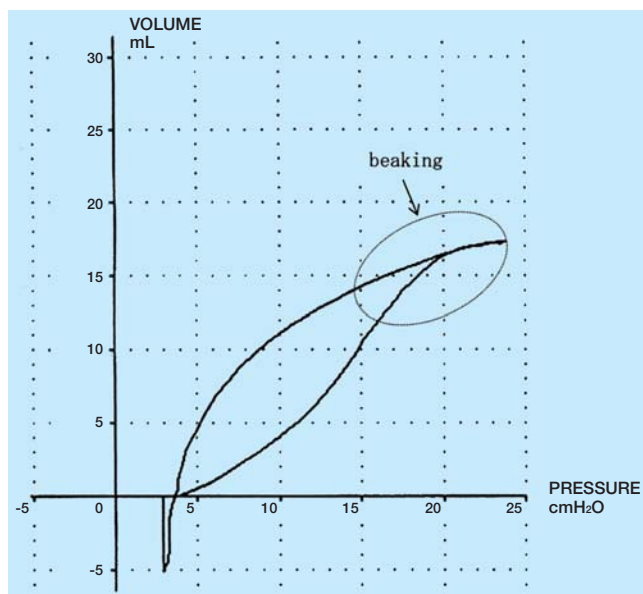


〈図10〉圧-容量曲線と肺の状態（文献3）より引用

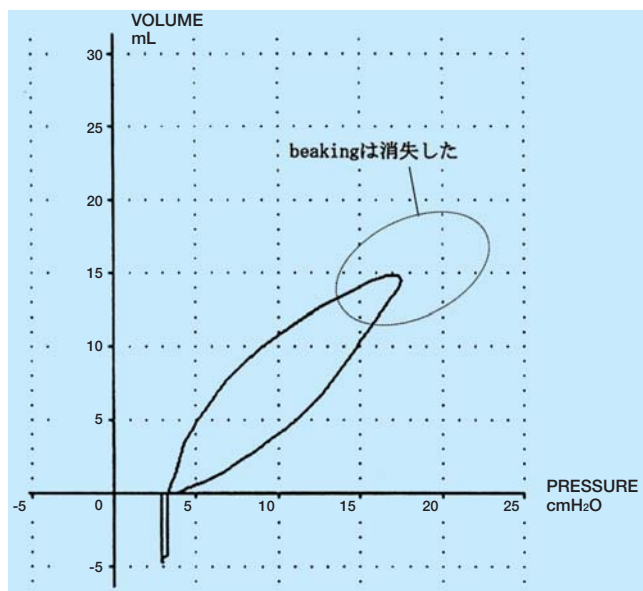
絶え、換気量の波形は頭打ちとなっています〈図11〉。Pressure-Volume Loopでは鳥のくちばし現象（beaking）がみられます〈図12〉。これは圧が上昇しても換気量が増えないために形成されるもので、過膨張の典型的なサインです。beakingは、肺が過膨張にならないような適切な換気条件に変更することで消失します〈図13〉。

4. 挿管チューブ折れ、チューブ閉塞

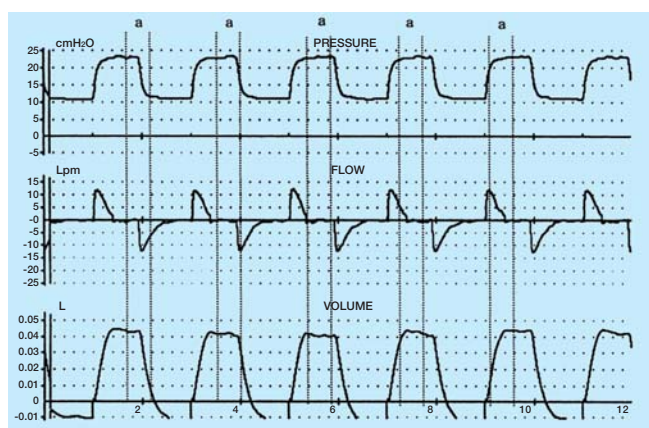
新生児では細径の気管内挿管チューブを用いるため、チューブ折れやチューブ閉塞などのチューブトラブルをおこしやすい状態にあります。チューブ折れをおこした場合、圧波形は変化しませんが、フロー、換気量曲線が突然途絶えることになります〈図14〉。チューブ折れは見た目で見えますが、チューブ閉塞は外からはわかりませんので、ファイバースコープで確認するか、疑われる場合には再挿管をします。超低出生体重児などでは、チューブ閉塞していないにもかかわらず、体位交換などをきっかけに突然換気できなくなる場合があります〈図15〉。これ



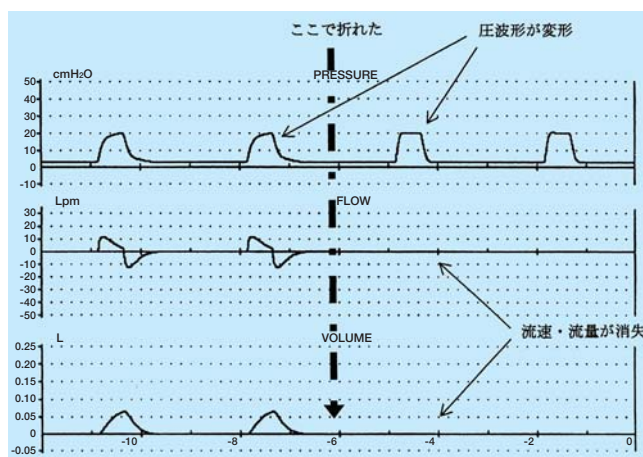
〈図12〉鳥のくちばし現象（beaking）



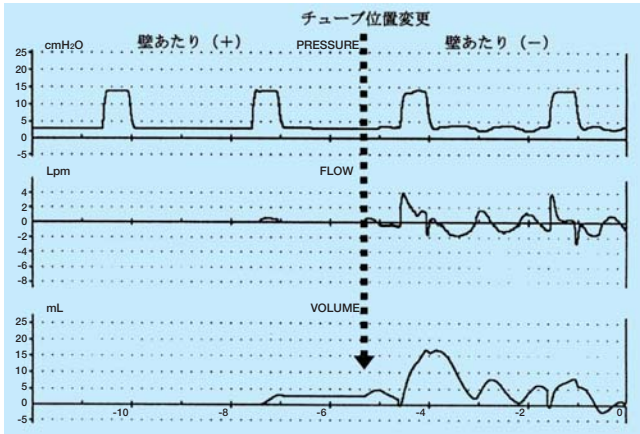
〈図13〉換気条件の変更によるbeakingの消失



〈図11〉過膨張の危険性がある場合の経時的記録画面

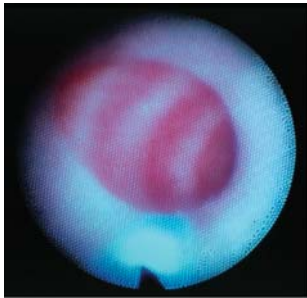


〈図14〉挿管チューブ折れ



〈図15〉チューブの壁あたり

はチューブの先端が気管壁に当たってしまい換気がとれなくなる、いわゆる「壁あたり」をおこしている状態です〈図16〉。壁あたりの場合には、チューブを回転させ換気波形がでる場所で再固定することにより、換気がとれるようになります〈図17〉。



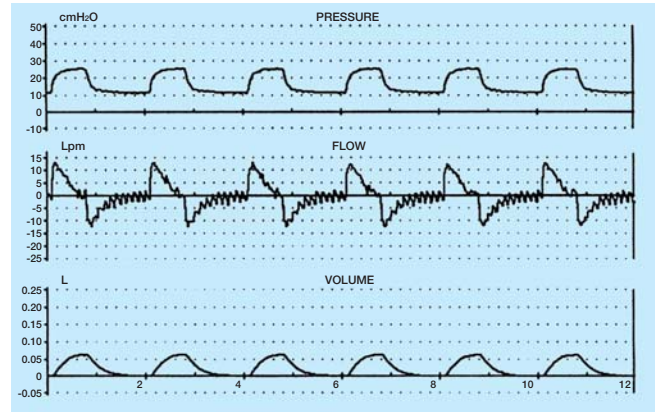
〈図16〉挿管チューブの壁あたり



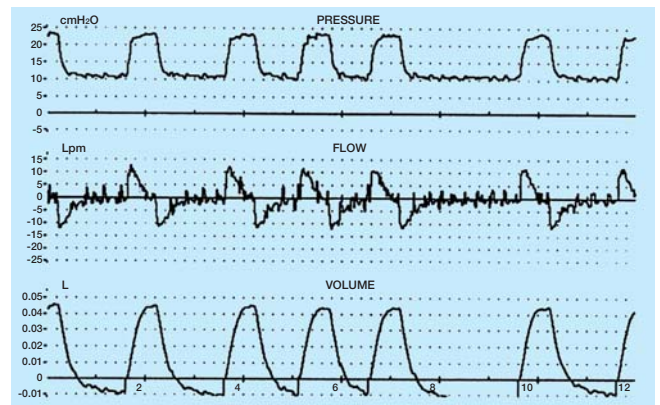
〈図17〉挿管チューブの壁あたり
(解除後)

5. 回路内の水溜まり、喀痰貯留

人工呼吸器の回路では加湿を行っている関係で、回路内に水が溜まる現象は臨床の場でしばしばみられます。特に回路がU字型になっている場所で溜まりやすく、量が多くなると回路内を水が往復するようになります。回路内の水溜まり影響を最も強く受けるのがフロー曲線です。フロー曲線、特に呼気部分に影響が出やすく、フロー曲線の大きな揺れが観察されます〈図18〉。水を除去すれば、速やかに波形の揺れは解消されるのですが、放置されるとフロー曲線の揺れだけでなく、気道内圧にも影響を及ぼす場合があります。PTV (patient triggered ventilation) モードで呼吸管理を行っている場合には、このフロー曲線や圧曲線の揺れを患児の自発呼吸と間違えて、過剰な強制換気を行ってしまう危険性があるため注意が必要です〈図19〉。喀痰貯留でも同様にフロー曲線の揺れがみられますが、新生児は肺容量が少ない



〈図18〉回路内の水溜まり



〈図19〉水溜まりによる過剰な強制換気

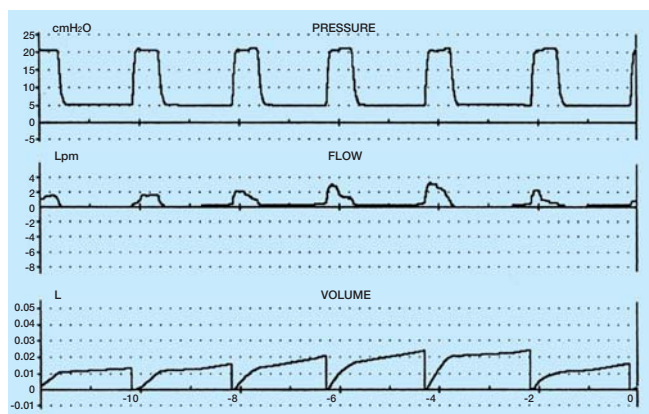
ため、回路の水溜まりとは異なり、1回換気量の減少、分時換気量の減少などがみられるため、こうした場合には気管内吸引が必要になります。

6. 計画外抜管

新生児はカフなしの気管内挿管チューブを用い、体動もある状態で人工換気を行う場合が多いため、計画外抜管してしまう場合があります。従圧式呼吸器を用い、細い気管内挿管チューブを用いている新生児では、呼吸器の低圧アラームでは計画外抜管を察知することは困難です。計画外抜管をした場合、圧波形はそのまま出続けるのですが、フロー、換気量曲線は吸気みの波形しか出なくなり、呼気波形が描出されません〈図20〉。Volume Limit 機能がある場合には、吸気流量の増加に伴うアラームで気が付かれる場合もあります。

7. 片肺挿管

気管内挿管チューブが規定の長さよりも深く入ってしまった場合に、片肺挿管(片側肺換気)の状態になります〈図21〉。通常は右肺の片肺挿管が多いのですが、児によっては左肺の場合もあります。片肺挿管になっていると換気量は約半分になり、挿管チ

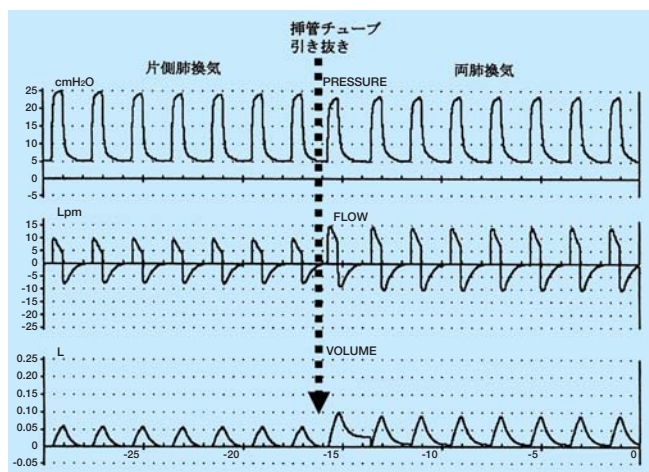


〈図20〉計画外抜管



〈図21〉片肺挿管

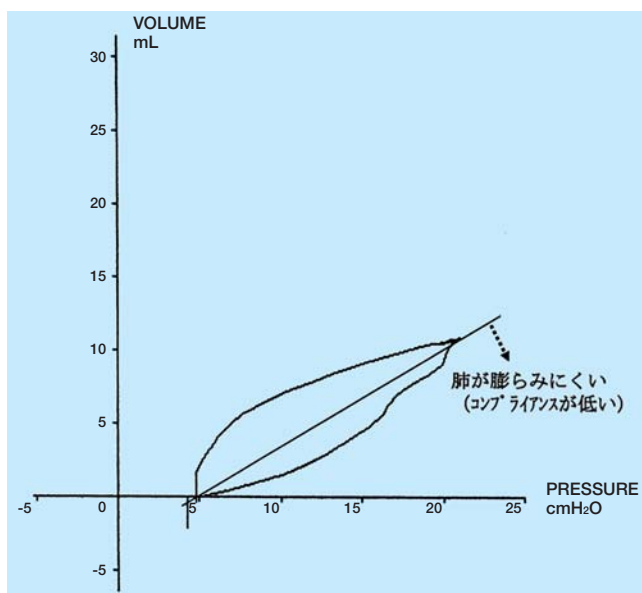
ューブを適切な位置に戻し、片肺挿管が解除されると、換気量は約2倍に増加し、通常の状態に戻ります〈図22〉。波形だけで片肺挿管を発見するのは困難な場合もありますので、普段の患児の換気量を把握しておき、波形がきれいなまま換気量だけ半分になるような場合には、片肺挿管を疑う必要があります。



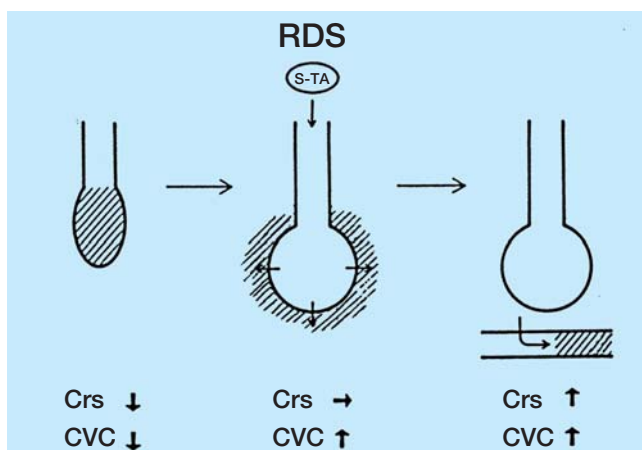
〈図22〉片肺挿管

8. 人工肺サーファクタント

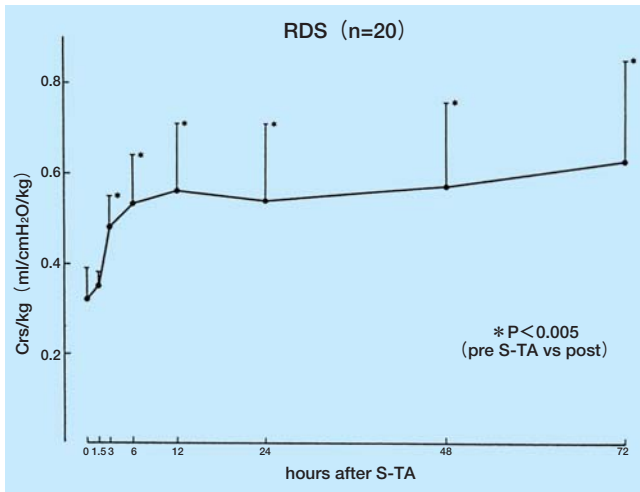
人工肺サーファクタント（S-TA）は呼吸窮迫症候群（RDS）の治療薬として、新生児医療にはなくてはならないものとなっています。治療前のRDSでは肺サーファクタント欠乏のため、肺は硬くて膨らみにくい（コンプライアンスの低い）状態になっています。Pressure-Volume Loopではループが右側へ傾き、圧に対して十分な換気量が得られていないことがわかります〈図23〉。S-TA投与により、肺は膨らみやすい状態となり、肺胞から肺液が押し出され劇的な酸素化の改善をみるのですが、肺胞から出た肺液はすぐには肺から出て行かず間質に留まるため、肺胸郭コンプライアンス（Cr_s）の改善との間に時間差を生じます〈図24〉。通常は3時間ほどで間質に留まっていた肺水もリンパや静脈から肺外へ排出されCr_sも改善するのですが〈図25〉、この間は換気圧や吸気時間



〈図23〉S-TA投与前のPressure-Volume Loop

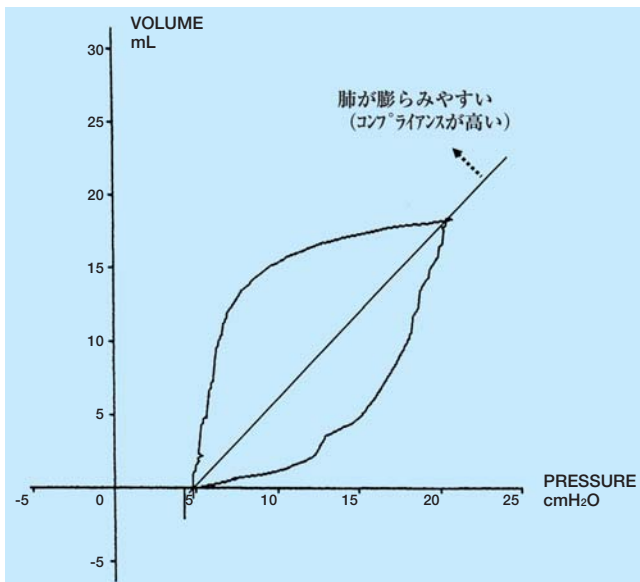


〈図24〉S-TA投与前後のRDSの病態（文献4）より引用）



〈図25〉 S-TA投与前後のCrs/kgの経過（文献4）より引用

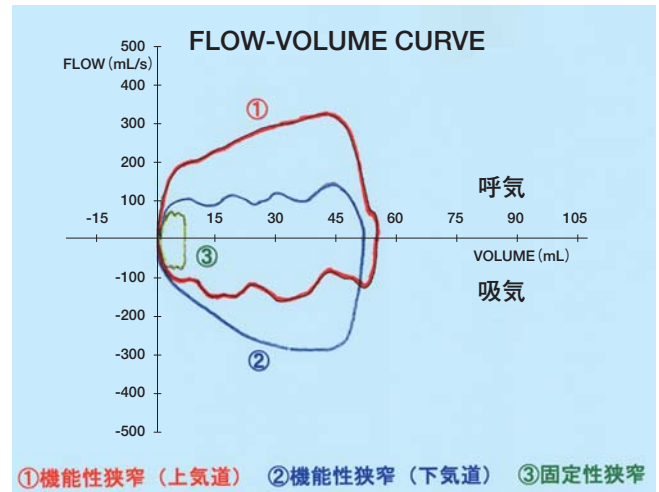
を不用意に変更しますと、肺胞から間質へ移動した肺液が再び肺胞へ戻ってくる危険性がありますので注意を要します。肺水が肺外へ排出される時間は個人差があるため、Pressure-Volume Loopで、ループが左側へ移動（Crsの改善）したのを確認してから、換気条件を変更する方が安全です〈図26〉。また、Crsの改善がおもわしくない場合には、S-TAの再投与を考慮する判断基準にもなります。



〈図26〉 S-TA投与後6hrのPressure-Volume Loop

9. 気道病変

気管軟化症、気管狭窄などの気道病変では、グラフィックモニターで独特のパターンを呈し、診断の一助となる場合があります。気管軟化症などの胸腔内の機能性狭窄病変では、Flow-Volume Loopで、吸気時には気道が拡張しスムーズな換気が得られるの



〈図27〉 気道病変のFlow-Volume Loop

に対し、呼気時には気道が潰れてしまいスムーズな換気が得られなくなります〈図27〉。呼気時の気道閉塞により、呼気が途中で中断してしまう場合があります。呼気の中断は、胸腔内に高い陽圧が持続的にかかり、最悪の場合には心肺停止（dying spell）につながることもある大変危険なサインです。気管狭窄のような固定性気道病変の場合には、Flow-Volume Loopで、吸気・呼気とも十分な換気の得られない小さなループを描きます。

4 おわりに

グラフィックモニターは、新生児領域においても呼吸管理を行う上で重要なモニターの1つとなってきました。直接的に児の換気状態を把握できるグラフィックモニターを有効に活用することにより、児にとってより安全で適切な呼吸管理が行われることが望まれます。

[参考文献]

- 1) 松井彦郎、長谷川久弥：BEAR CUB 750vsの基本設定と一般的トラブルに対する評価・対策、IMI（株）パンフレット。
- 2) 大塚将秀：グラフィックモニターの活用、人工呼吸モニタリングセミナーテキスト。
- 3) 長谷川久弥：新生児の人工呼吸療法、小児科診療 25: 2167-2175, 2004.
- 4) 長谷川久弥：新生児の呼吸機能、未熟児新生児誌 5: 41-58, 1993.

連絡先：〒271-8511 千葉県松戸市上本郷4005
電話 047-363-2171

当小児センターにおける人工呼吸管理のコツとポイント

北海道立小児総合保健センター 麻酔科・手術部長
札幌医科大学医学部 臨床教授

川名 信



はじめに

小児の人工呼吸管理の対象は新生児から思春期まで、疾患も急性呼吸窮迫症候群（ARDS）や術後呼吸管理のほかに無呼吸発作や新生児遷延性肺高血圧症のように小児特有のものまで多岐に及んでいる。

最近では新生児から成人までカバーする汎用人工呼吸器が開発され、小児でも成人用のモードが使用されるようになってきた。小児の呼吸不全の治療成績を向上させるためには、人工呼吸器の機能を理解し、性能を十分に引き出すことが重要である。ここでは、人工呼吸器の設定上のポイントと挿管チューブのリーク対策を中心に述べる。

1 人工呼吸器の選択： 定常流型かデマンドフロー型か

セクリストのような定常流型は回路内に一定流量のガスを流し、呼気弁を閉じることで患者側に送り込むものである。構造が簡単で制御しやすいため、新生児の呼吸管理に広く用いられてきた。しかし、一回換気量が多く吸気流速が速い場合には、定常流では流速が不足し回路内圧が陰圧となる。当施設のICUでは、新生児でも原則的にV.I.P バード、Servo 300、Servo iなどのデマンドフロー型の呼吸器を使用している。

2 人工呼吸器の設定

1) 換気量設定

PCV（pressure control ventilation）が第一選択である。換気量は胸郭コンプライアンスや気道抵抗、あるいは挿管チューブからのリークによって変化する。さらに、吸気時間、プラトー時間、吸気流速、吸気波型などの人工呼吸器の設定も換気量に影響を与える。胸郭の動きと経皮ガスモニターや血液ガス分析の結果と併せて適正換気となるように気道内圧を調整す

る。換気量がモニターできる場合は一回換気量（TV）の初期設定は8～10 ml/kg、換気回数（RR）は各年齢層の生理的範囲に設定する。Paco2が高い場合には分時換気量（MV；TV × RR）を増加させるが、同じMVならRRよりTVを増加させたほうが有効である¹⁾。

しかし逆に、高いTV設定は気道内圧も高くなり、肺障害や循環抑制の原因となるので病態によってTVとRRの組み合わせを変更する。

気道内圧の設定方式として、V.I.P バードではPEEPとは独立してPIP（peak inspiratory pressure）を決めるが、ServoではPEEPに上乘せる吸気圧レベル（PC above PEEP）を設定する。前者では、PEEPの変更に伴い吸気圧レベルが変化するので換気量も増減する。後者では、PIPはPEEP + 吸気圧レベルとなる。

2) 吸気時間

吸気時間は0.5～1.0秒の範囲で設定する。短すぎる吸気時間では換気量が十分取れず、長すぎる吸気時間は呼出を障害する。吸気時間の設定に重要なのは肺胞の時定数を考慮することである。肺胞時定数は肺コンプライアンスと気道抵抗の積として求められるパラメーターで、肺を拡張させる場合、吸気位の63%まで膨らむのに必要な時間を示す。したがって時定数の大きな肺では、十分な時間をかけなければ完全に膨らまない。低出生体重児の無呼吸発作の治療などでは、時定数が小さいので0.5秒前後の短い吸気時間でよい。ところが、ARDSや慢性肺疾患では時定数の異なる肺胞が混在している。短い吸気時間では、すでに開いている時定数の小さい肺胞のみが換気され、虚脱していて時定数が大きな肺胞はなかなか換気されない。このような場合には、0.8～1.2秒の長い吸気時間をとる必要がある。また、定数が大きな肺では、PIPを上げるより吸気時間を延長して換気量を確保するほうが肺の圧損傷が少ない。

吸気時間の設定はそれぞれの呼吸器で特徴がある。Servo 300では吸気時間、プラトー時間を呼吸サイクル中の%で設定する。Servo iの場合はI:E比で設定する方式、絶対時間で設定する方式が選択できる。

V.I.P. バードのボリュームサイクルでは、TVと吸気流量で吸気時間が決定される。実際の吸気時間がモニター上に表示される場合は、設定した吸気時間が適正範囲に入っているかを確認する。

3) 補助呼吸とリークの影響

補助呼吸はPSV (pressure support ventilation) を用いる。PSVは回路内の少量の定常流が自発呼吸により減少するのを感じてトリガーされる。したがって気管チューブからのリークが多いと吸気努力を感じにくくなる。また、トリガーの感度を上げすぎるとリークを吸気努力と誤認してPSVが始まるオートサイクルになる。オートサイクルが疑われる場合はトリガー感度を落とし、強制換気の間に呼吸運動があるかどうかを観察する。呼吸運動がない場合にはトリガー感度をオートサイクルが生じないところまで落とすが、落としすぎると自発呼吸が出現した場合にトリガーされなくなるので注意する。最近のニューポートe500やハミルトンガリレオなどの機種では、リークの補正機能が付いており、ある程度のリークがあってもPSVの同調性が保たれるようになっている。

PSVモードには、どのくらい吸気流量が低下したらサポートを終了するかを設定するサイクルオフ (呼吸認識、terminal criteria) と、強制的にサポートを終了させる最大吸気時間が設定されている。サイクルオフのレベルが調節可能な機種では、リークが多い場合には高めに設定する (Servo 300では5%で固定)。また、最大吸気時間はServoⁱでは1.5秒、V.I.P. バードでは0.1~3.0秒の範囲で設定できる。Servoⁱにはピークフローの25%になるまでの吸気時間の1.5倍までという基準も設けられている。リークが多いと吸気が終了しても吸気流量が落ちないため呼吸認識ができず、PSVがなかなか終了しないことが多い。これらの設定を呼吸サイクルに合わせて吸気が延長しないように調整する。しかし、あまりサイクルオフを高く設定するとサポートする換気量が減ってしまう。リークが多くてPSVがうまく機能しないようであれば、挿管チューブのサイズアップを考慮する。

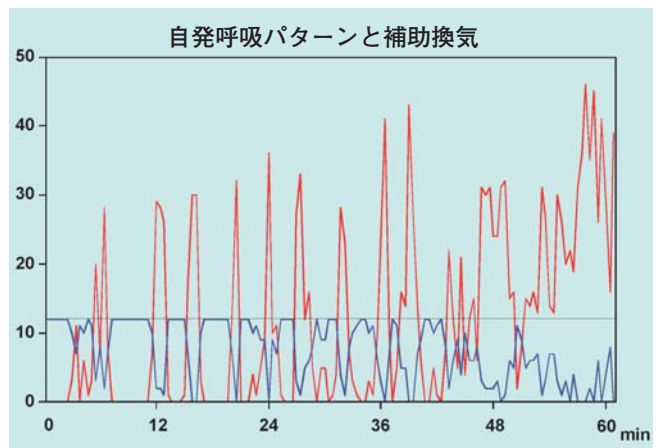
3 オートモードの活用

人工呼吸からのウィーニングは、成人と同様SIMV + PSVが用いられることが多い。最近ではServoⁱにオートモードという新しい換気モードが導入され、特に新生児の無呼吸に対する呼吸管理からのウィーニングに有効であることが示唆されている。PCVにおけるオートモードは、自発呼吸があるとPSVのみ、自発

呼吸が設定時間内に出現しないとPCVへ移行する。自発呼吸が一回でも出現するとPSVとなる。SIMV+ PSVと異なり、自発呼吸を最大限に活用することができる。

新生児無呼吸のような周期的な呼吸数の変化では、自発呼吸が十分あるときにはSIMVの強制換気は換気量の過剰を招き、逆に無呼吸時は換気補助として十分ではない。その点オートモードでは無呼吸時に必要な呼吸補助ができる。トレンドグラフを見ると総換気回数の中で自発呼吸がどのくらいを占めるかが示され、抜管の判断材料となる (図1)。

CPAPモードでのバックアップ換気は多くの人工呼吸器で採用されているが、あくまでも緊急避難でアラームが作動し、通常モードに戻るためには確認の手順が必要である。新生児無呼吸の呼吸管理は換気量補償モードでも可能であるが、新生児の場合はリークの多い気管チューブを用いるので、呼吸休止によりバックアップが入る設定のほうが望ましい。



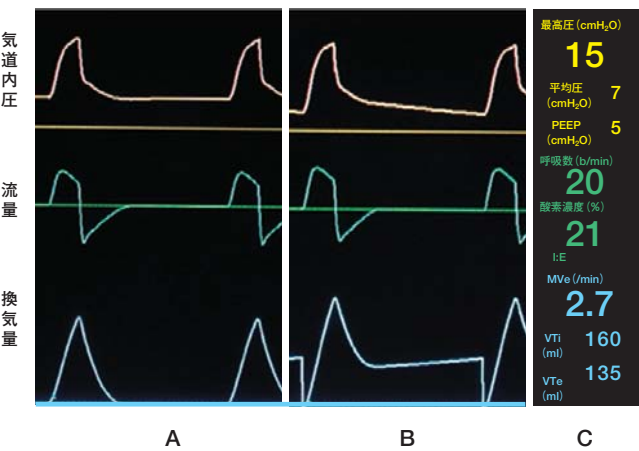
〈図1〉 オートモード

頻呼吸と無呼吸を繰り返す症例にオートモードを使用した例を示す。赤線が自発呼吸数、青線は強制換気回数。自発呼吸が12回以上では強制換気は働かない。自発呼吸が無くなると12回/分で強制換気を行う。なお強制換気回数はPaco2を保つために少なめに設定されている。

4 人工呼吸管理中のリーク対策

小児は挿管チューブの圧迫による気管粘膜損傷を予防するために、原則的にカフなしで10~15cmH₂Oの圧でリークが得られるサイズを選択する。しかし、適正なリークを得るために数度に入れ替えを要したり、人工呼吸管理中に次第にリークが多くなることはよく経験する。リークが多すぎるとPCVでも十分な換気ができない、PSVがうまくかからない、低換気のアラームが作動するなど問題が生じる。リークの

程度は聴診のほか、換気モニター上でも知ることができる〈図2〉。



〈図2〉換気量モニターとリーク

Servoⁱの換気モニターで上段から気道内圧、流量、換気量を表示している。AはPEEPレベルではリークのない場合のモニター画面。下段の換気量は呼気時にはゼロになっている。吸気時にリークがあるかどうかは、この曲線ではわからないので、Cの吸気時の一回換気量（VTi）と呼気時の一回換気量（VTe）の差を見る。この差が大きいほどリークが多い。BはPEEPレベルでリークのある場合で、呼気時の気道内圧も次第に低下してPEEPが維持できていないことがわかる。リークを換気量とみなしてしまうため呼気時にも換気量はゼロにならない。したがってPEEPレベルでリークがあるかどうかは下段の換気量曲線が呼気時にゼロになるかどうかを参考にするとよい。

リークが軽度の場合には、まず頸部屈曲や体位変換によりリークを減らすことを試みる。短期間の呼吸管理ではある程度有効であるが、頸部屈曲により挿管チューブの先端が先へ進むので片肺換気に注意する。これらの方法では、リークをコントロールできない場合はサイズアップを考慮する。しかし、ワンサイズアップではリークが全く無くなることも多い。挿管チューブのサイズは内径を現しており、外径は各メーカーにより若干異なっている。当施設では同じポーテックス社製のチューブでもブルーラインと アイボリーという材質の異なるチューブを用いることで、より細かいリーク管理を行っている。各チューブの内径、外径を表1に示す。

カフつきチューブは、通常は8歳前後から使用することが多いが、最近ではリークが多くなってからの挿管チューブの交換にリスクが伴うと予想される重症呼吸不全、重症循環不全の症例では1歳未満でも積極的にカフつきチューブ（マリנקロット社製、クリアーロープ、I.D. 3.5～）を使用している²⁾。カフに少量ずつ空気を注入しリーク圧を調整する。

I.D.	ポーテックス マリנקロット	
	Blue Line	Ivory
2.0	3.0	2.9
2.5	3.5	3.6
3.0	4.2	4.3
3.5	4.8	4.9
4.0	5.5	5.6
4.5	6.2	6.2
5.0	6.9	6.9

表1 各チューブサイズにおける外径(O.D.)の比較

慢性呼吸管理のようにリークを持った気道管理が優先される場合には、BiPAP vision や LTV1000を用いる。これらの呼吸器は外気を圧縮するブロアーがあり、リーク量と設定吸気圧から必要な吸気流量を計算し供給する。かなりリークがあっても有効な換気が行われ、マスクによる非侵襲的陽圧換気も可能である。ServoⁱのオプションのNIVモードも同様の機能を持っている。

◆ まとめ

小児の人工呼吸管理においては、人工呼吸器の性能を最大限引き出したうえで、換気条件を許容される最低限に設定する。挿管チューブはある程度リークがあることが必要であるが、重症呼吸不全ではリークが多すぎる挿管チューブでは有効な呼吸管理ができない。適正なリークが得られるよう躊躇せず、よりタイトなチューブ、時にはカフつきチューブに入れ替えることが重要である。

【参考文献】

- 1) 川名 信 ‘呼吸生理と呼吸不全の病態生理’ “よくわかる人工呼吸管理” 並木昭義・氏家良人編、南江堂、p.20-37、東京、2004年
- 2) Newth CJL, Rachman B, Patel N, et al: The use of cuffed endotracheal tubes in pediatric intensive care. J Pediatr 2004; 144: 333-7

連絡先：〒047-0261 北海道小樽市銭函1-10-1
電話 0134-62-5511

最近の人工呼吸器の紹介

フクダ電子株式会社 クリティカルケア事業部 臨床工学技士 小野 真治

1 はじめに

人工呼吸器は、対象とする患者様が新生児、小児、成人なのかにより対応機種が異なります。特に新生児の呼吸管理を行うためには、微量な流量のコントロールと敏感な自発トリガの検出、速いバルブの応答性が必要となり人工呼吸器には非常に高い性能が要求されます。

MAQUET社（旧シーメンス・エレマ社）は、1990年代に世界で初めて、1台で新生児から成人までの全ての患者様のPatient Triggered Ventilationを可能にした人工呼吸器である「サーボベンチレータ300」を開発しました。そして、それから約10年の時を経て、さらに進化した人工呼吸器「サーボベンチレータServo*i*」を開発し発売いたしました。ここでは、この最新の人工呼吸器「サーボベンチレータServo*i*」を紹介させていただきます。

2 開発コンセプト

Servo*i*は、サーボベンチレータの豊富な臨床経験と世界中の様々な臨床スタッフの皆様の意見・要望を集めて開発コンセプトとし設計されました。人工呼吸器に何が必要であり、どうあるべきかの問いかけに対して、人工呼吸器メーカーとしてたどりついた答えが、次の4つのキーワードでありました。

- ①クリニカルパフォーマンス
- ②コスト効率性
- ③移動性
- ④安全性

より良いものを幅広く多くの皆様に使っていただくためには、人工呼吸器としての高い機能・性能・安全性だけではなく、購入コスト、ランニングコスト、トレーニングコスト等のコストパフォーマンスが重要であります。サーボベンチレータ300は、世界中の幅広いユーザー様にお使いいただいておりますが、日本発売当初は、定価1,000万円を越えておりま

した。患者様が新生児・小児に限定される施設様では、成人の機能や特殊な換気モードを取り除き、必要最低限のシンプルな機能の仕様にしたい、また、その分、安価に購入したいとの多くのご要望がございました。

Servo*i*最大の特徴としては、対象患者や換気モード等の機能を、ソフトウェアで追加可能なオプションとしており、使用用途や予算に合わせて、ユーザー様が人工呼吸器の機能をカスタマイズして購入していただけます。

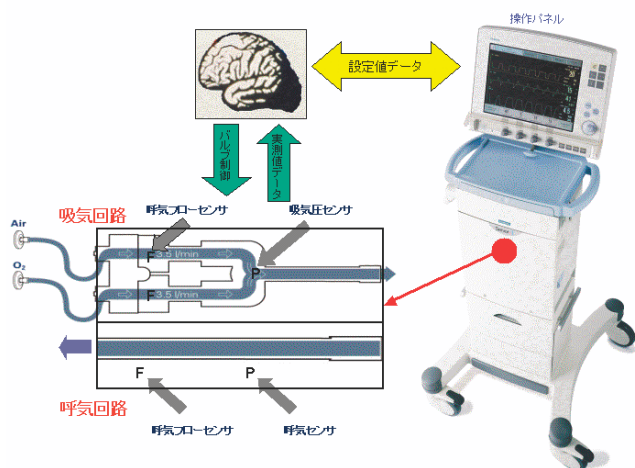
ICU・CCU・HCUなどのハイケアでは高機能なオプションを搭載し、NICUなどには新生児機能に限定した仕様のあるものを選択するといったことが可能となります。機能は異なるが、人工呼吸器の機種としては1機種であるため、基本的な機能の取り扱い方法、安全点検の方法、メンテナンス方法、消耗品などはまったく同じであり、院内のどの部署へ行っても同じ操作性の人工呼吸器を使用することが可能となります。

院内で人工呼吸器を装着した患者様をMRI、CTなどの各種検査のために移動することは、非常に大変な作業であります。Servo*i*はコンパクトな設計になっており、患者様に装着したまま一緒に搬送することが可能なデザインとなっております。増設可能なバッテリースロットや専用のガスボンベ用トロリーをオプションで用意しております。

3 サーボ・フィードバック・コントロール

Servo*i*では、全ての換気モードでサーボ・フィードバック・コントロールシステムが働いております<図1>。サーボ・フィードバック・コントロールとは、技術用語であり、サーボベンチレータの名称の由来となった語源であります。規定したものが正しく動作しているかを常にセンサーで監視し、ズレが生じた際にはそのズレをフィードバックさせ、正しく修正させて制御を行うもので、Servo*i*には、器械内部の吸気回路・呼気回路にそれぞれ気道内圧を計測する圧センサー、流量を計測するフローセンサーを装備しております。操作パネルで設定された調節圧、サ

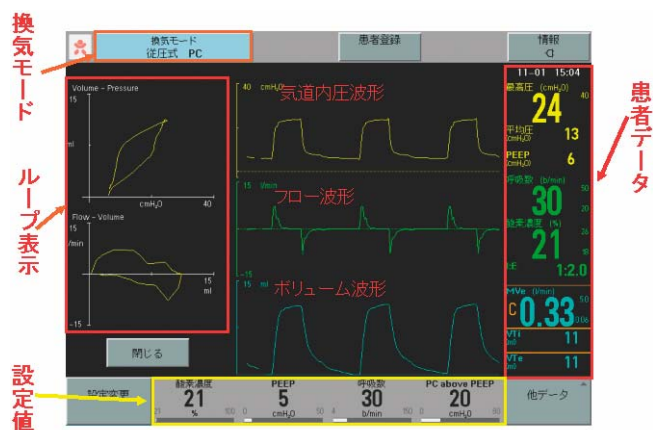
ポート圧、PEEPもしくは換気量が吸気バルブ・呼気バルブで正しくコントロールされているかどうかを1秒間に2000回のサンプリングで各種センサーで監視し、ズレが生じた際にはそれをフィードバックさせ、やはり1秒間に2000回のサンプリングで吸気バルブ・呼気バルブの開閉を調整し、規定値が保てるようにコントロールをしております。特に、新生児の非常に速い吸気時間中にも、常に吸気・呼気バルブは微妙な制御を行い動き続けており、正確な気道内圧、換気量を維持します。



〈図1〉 サーボ・フィードバック・コントロール

4 特徴

- 1) 大きな12型のカラー液晶ディスプレイを装備し、波形情報、計測値情報、人工呼吸器の設定情報、アラームの発生内容等を日本語で分かり易く表示します。基本画面に様々な情報を同時に表示しますので、メニュー操作を行わなくても、多くの情報を一度に把握できます。波形情報も気道内圧・時間、フロー・時間、ボリューム・時間、PVループ、FVループと、同時に5波形の表示が可能です。刻々と変化する患児の呼吸状態、自発呼吸のトリガ状況、リーク状況、異常状態と様々な情報を目で見て観察できます〈図2〉。
- 2) PRVC、SIMV(PRVC)+PS、Volume Support、Automode、Bi-Vent、Open Lung Tool、etco₂計測などの特殊な換気モード、機能がオプションとなっており搭載可能です。特にPRVCは、規定した換気量を維持するための最も低い調節圧を機械が制御する換気モードで、常に一定の換気量を維持することが可能な圧制御の換気モードであります。



〈図2〉 基本画面表示

- 3) 器械と画面表示による対話形式で、安全点検やセンサーの較正が簡単に行える始業点検機能が搭載されております。約3分で供給ガス圧のチェック、機械の内部および患者回路のリークチェック、バッテリー動作のチェック、アラーム機構のチェック等、人工呼吸器の安全性の評価を簡単に行っていただけます〈図3〉。



〈図3〉 始業点検機能

- 4) 患者情報を24時間記憶し表示するトレンドグラフ機能を搭載しております。過去の呼吸状態を見易くグラフトレンドで表示しますので、今後の呼吸管理の方針決定に役立ちます。同時にアラーム発生時の情報、設定変更情報も記憶しており、どのような呼吸管理を行ってきたかも参照できます〈図4〉。
- 5) 1個で30分稼動可能なバッテリーモジュールを6個まで搭載できるバッテリースロットを装備しており最大3時間のバッテリー稼動が可能となります。

換気モード	患者登録	情報
従圧式 PC		
イベントログ ページ 1(32)		
2004-11-01 15:03:46	換気回数下限アラーム20 b/minに設定	最高圧 24
2004-11-01 15:03:46	患者タイプを乳幼児に設定	平均圧 13
2004-11-01 15:03:46	体重を3000 gに設定	PEEP 6
2004-11-01 15:03:46	患者の身長を50 cmに設定	呼吸数 30
2004-11-01 15:03:46	患者回路のコンプライアンス補正をOnに設定	終末温度 21
2004-11-01 15:03:46	患者回路のコンプライアンス補正値: 0.20 ml/cmH ₂ O	V _{ee} 0
2004-11-01 15:03:46	換気モードを従圧式 PCに設定	Ti 0.67
2004-11-01 15:03:46	フロートリガを5に設定	I:E 1:2.0
2004-11-01 15:03:46	PCレベル above PEEPを20 cmH ₂ Oに設定	FiO ₂ 0.33
2004-11-01 15:03:46	PEEPレベルを5 cmH ₂ Oに設定	V _{ave} 0.30
2004-11-01 15:03:46	呼吸回数を30 b/minに設定	V _I 11
2004-11-01 15:03:46	I:E比を1:2.0に設定	V _{Ie} 10
2004-11-01 15:03:46	吸気立上り時間を5%に設定	
2004-11-01 15:03:46	酸素濃度を21%に設定	
2004-11-01 15:03:50	アラーム: 呼吸分時換気量が低すぎます	
2004-11-01 15:04:03	分時換気量下限アラーム0.06 l/minに設定	
2004-11-01 15:04:56	事前消音	
2004-11-01 15:04:56	吸気ボースホールド作動	
2004-11-01 15:04:58	呼吸ボースホールド作動	
設定変更		
終末温度 21	PEEP 5	呼吸数 30
PC above PEEP 20	次項目	

〈図4〉 アラーム・設定ログリスト

- 6) 呼気回路はカセットの1パーツとなっており、簡単に取り外し使用後のクリーニングが簡単に行えます。オートクレーブ滅菌することができ、万全の感染予防が可能です。器械には、標準でこの呼気回路パーツである呼気カセットが2個付属されており、人工呼吸器使用後も呼気カセットを交換すれば直ちに使用が可能となります。
- 7) PCカードスロットを搭載しており、患者情報、アラーム情報、設定情報を取り出してパソコンにデータを移動できますので、データのファイリングが簡単に行えます。将来的なバージョンアップやオプション機能の追加もこのPCカードスロットから簡単に行えます。
- 8) 器械内部のフィルター類を交換するプリベンティブメンテナンスは、5000時間(約1年)に1度と長く、また、単純な作業ですので簡単なトレーニングでお客様でも実施が可能です。

5 使い方のポイント

1) リーク

Servoⁱは、新生児での人工呼吸でどうしても発生する挿管チューブからの極度なリークに対して強くありません。もちろんリークに対する補正は働きますが、そもそも極度なリークがあると患児の自発呼吸努力なのかリークなのかを正確に判断することができなくなります。Servoⁱの能力を最大限発揮させるためには、挿管チューブの径を患児に合わせて選択し、極力リーク量を減らしていただければ最適な新生児のPatient Triggered Ventilationが可能となります。

2) センサーの位置

新生児・小児専用の人工呼吸器の多くは、患児の速い自発呼吸の検出のため、Yピースの先で気道内圧もしくは換気量を計測しております。しかしながら、Yピース部位では、加温加湿器で加湿された水蒸気による水滴や分泌物で、しばしばトラブルとなる可能性があります。Servoⁱでは、センサー類は器械内部に設置されており、そのようなトラブルの心配はありません。しかしながら、患児の呼吸努力シグナルが、患者回路を通り器械内部に伝わるまでの信号の遅れがどうしても発生いたします。Servoⁱでは、器械内部の信号の処理速度と吸気・呼気バルブの応答速度を高速に行うことにより、そのシグナルの遅延を補っており、新生児・小児の人工呼吸を可能としております。

6 おわりに

サーボベンチレータの歴史は、成人用の人工呼吸器として開発がスタートしており、新生児専用の人工呼吸器と比べると多少、仕様や使用方法が異なる場合があります。しかしながら、Patient Triggered Ventilationにより患児・患者の呼吸仕事量を軽減させ、できるだけ早く人工呼吸器からのウィーニングを目指すという目的は、新生児から成人まで同じであります。

新生児・小児分野では是非一度、MAQUET社が誇る最新の人工呼吸器 Servoⁱをご使用してみてご評価いただければと思っております。



新生児・小児・成人用人工呼吸器 Servoⁱ

私のライフワーク

フリーライター 近藤 友一

貴方の趣味は何ですか？と尋ねられた時、貴方は何と答えますか。20数年前、私はこの質問をされた時、読書・映画・音楽鑑賞などのただ見るだけの物や、当時大流行していた登山やスキーなど、誰でもやっている事は趣味ではないと言う持論があったから、こんな場面に遭遇すると必ずこう答えていた。

『私の趣味は昆虫採集です。』すると必ず、「ええ嘘！子供じゃあるまいし、いい歳をしておかしいんじゃないの」と言われ、女性の方は「気持ち悪い」と言って、私の側から離れて行って近づいてこないのです。



い所、危険な場所ばかりである。そんな場所に行くと日本に居ては、見えないいろんな物が見えてくる。

山の中の貧しい村を尋ね、子供達と交流すると日本の子供達がいかに裕福で恵まれているかが分かる。着ている服はボロボロで、男の子のパンツは破けて一物が露出している。それでも日本の子供達には決して見られない、キラキラとした目で飛び回って遊んでいる。『今一番欲しい物は何ですか』と尋ねると、貧乏で物が買えなくていろんな物が欲しい筈なのに、「学校に行きたい」と言う。何処かの国の人々に聞かせたい詞である。

欧米諸国では昆虫採集は知的な趣味とされ、採集してきた昆虫を標本にして同定して分類する。それが新種の発見へと繋がるのである。そう、昆虫採集は高尚な趣味なのである。

その後、私の昆虫採集熱は国内から国外へと拡がり、昆虫採集の目的の為だけに行った国は10ヵ国を数え、特にインドネシアには20数回も行く事になり、独学で現地語も覚えた。一般の人々の旅行と違い、私の採集旅行はほとんど人が行かな



私の昆虫採集熱は歳を重ねるにつけ、その度合いを増し、昆虫採集だけではなく見知らぬ国に行つて、その国の環境や文化を知り、その国の人達と触れ合うのである。その時に経験する緊張感と喜びは、何ものにも変え難い最大の魅力がある。

私の趣味はその域を脱してライフワークになろうとしていた。一度だけの人生遣りたいことを遣ろうと決心して、永年勤めていた会社を辞めて自分のライフワークを実践する事にした。

ボルネオ島のジャングルの中に10日間滞在して昆虫を追った。月明かりでジャングルの樹木のシルエットが浮かび上がる。夜の大自然のパノラマが見渡せ、森からは鳥や動物達の鳴き声が聞こえてくる。森と一体になり森の人となる。流れが止まったような時間こそが、本当の至福の時なのである。テントの回りにはあちこちでホタルが点滅し、漆黒の闇の中に光跡を描いて飛び交う。人間



はこの大自然によって生かされていると実感する瞬間である。そしてあらゆる物に対して謙虚になれるのである。文明の中に埋没しては、けっして味わう事のない素晴らしい体験である。

私は今インドネシアの小さな（周囲300m、20秒で横断）サンゴ礁の島にいる。此处にしばらく滞在して何も考えず、ぼ～としているのである。柔らかな潮騒の音と爽やかな南国の涼風、夜ともなると満天の夜空に南十字星が輝き、手を延ばすと星々が掬い採れるのではないかと思える程、夜空一杯に広がっている。時間が止まった様な感覚が何時迄も続く。癒されるという表現があるが、この場所は私を救ってくれるのではないかとさえ思えるのである。

如何ですか皆さん、いくらお金が有っても心は癒されるものではありません。たまには夢の様な桃源郷で、荒んだ心を救って見ては如何ですか。よろしかったら私が御案内致します。

連絡先：〒133-0051 東京都江戸川区北小岩6-53-2
丹羽 荘



臨床工学部門の安全管理業務を大幅改善

医療機器の点検・管理に朗報!

- ペーパーに頼らないデータベースによる一元管理
- ME機器の貸出しと点検業務を改善!
- PDA・パソコン・バーコードで簡単管理

安・全・点・検・シ・ス・テ・ム

MARIS
Maintenance Activity Record Information System



医療機器を安全に
運用して頂くための
システムです。

**FUKUDA
DENSHI**

本 社/東京都文京区本郷 3-39-4
フクダ電子ホームページ <http://www.fukuda.co.jp>

🔑 視よう 🔑 診よう 🔑 看よう

元 日本心臓病学会理事長・Journal of Cardiology 創立編集長
半蔵門病院 循環器内科

坂本 二哉



私が10年来お手伝いしているある診療所に、鍵 (Key) という奇異な名の外人患者がいた。高血圧などの成人病で10数年通院していたが、ある日、どういふ訳か私が診る羽目になった。ひと通り診察し、さておもむろに胸部を聴診して驚いた。それまでのカルテには何一つ書かれていないのだが、典型的な僧帽弁逸脱で、顕著な全収縮期雑音を持つ弁膜症例であった。恐る恐るその事について語り始めると、彼は突然大粒の涙を流し始め、あっけにとられている私の前でよよとばかりに泣き崩れた。長年通院しているのに自分の病気に医者誰かが気付かなかった事への悔しさ、無念さが彼を泣かせたのである。そして錯乱状態となった。

これはほんの一例であるが、大学病院を筆頭として、現今の医師が患者をよく診ないという事は、沢山の患者さんの話を総合すると、もはや疑う余地が無い。診察室に入ってから出るまで一度たりとも患者の顔すら見ない医者があり (患者の理解には無関心)、大病院の3日間入院人間ドックで、聴診を含め医者も看護婦も患者の体に指一本触れないという事実もある。循環器内科でいうと、大動脈弁閉鎖不全で狭心症発作を起こす紹介症例に「冠動脈は正常でした」という返事、一体全体その基にある弁膜症の方はどうなったのか? 「そちらの方は受け持ち範囲が違います...」と、同じ循環器疾患なのに、興味ありませんといった体たらく。消化器内科でもある臓器の癌治療には殊の外熱心でも、便潜血がいつも陽性で医者である患者が数ヶ月盛んに訴えてもそ知らぬ顔、たまりかねて別の病院で手術、だがこの別個の大腸癌は既に腹膜に転移していた。腎動脈手術を受け、腎・高血圧外来通院中の患者 (これも医者) が低栄養になって行くので今後の事を主治医に尋ねると、「僕は栄養には興味ないのでね」とのそっけな

い返事。この無責任さに患者はついに切れた。そういえば心臓病専門医を標榜していながら聴診器を持たぬ医師がおり、それにまともに聴診できる医師は昨今本当に少なくなった。大学では聴診教育のできる指導医がいないという。今や聴診器は医者単なるネックレスに墮している。救いようが無い。患者とのコミュニケーションのない医療は本当の医療か? 「聴診器もあててくれない」という患者さんの声が聞こえないのか? そういえば教育に必要な心音計も市場から消えた。

降って湧いた神戸の震災で、若手医師はなす術も無かった。漸く与えられた仕事はペットボトルの運搬、これも医療と言えば医療、電気が無ければ診察不能、聴診器が使えないなら老人の肺炎も分からないので、右往左往するばかり。ややあって、神戸や大阪の指導的医師の中から危機感を持つ方々が現れ、やがて全国的な患者診察法の再教育運動が始まった。その嚆矢が一昨年からの「循環器 physical examination 講習会」である。この医学用語は「身体所見検査」とか「理学的検査」といい、要するに頭から始めて足に至る迄、患者を視、触り、手短な道具、例えば聴診器などを使用して患者を診る事である。勿論その前によく患者の訴えや経過を聴く。実はそれだけで病気の半分以上は診断でき、残りの大半もおおよその見当とその後の検査の方針が決まる。これこそ患者診察の“key”である。そして患者は大変満足する。かくして医師は始めて患者を看ることが出来るのである。会場は全国から集まった若手を中心に超満員であった。危機感を抱く指導者達も参加した。

医用機器の応用はもちろん極めて重要である。しかし、医師のMDはmedical doctorの略であって、machine doctorを意味するものではない。インド洋大津波災害はその事を再び教えてくれたのであった。

人工呼吸中には SpO₂モニタリングを!



安全管理の一環に!

●医用電子機器の総合メーカー



本 社/東京都文京区本郷 3-39-4
フクダ電子ホームページ <http://www.fukuda.co.jp>

パルスオキシメータ揃ってます!



Inspiration No.3

発行日 平成17年2月24日

発行者 野口 亮造

編集者 黒川 康宏

発行所 株式会社エム・イー・タイムス

〒113-0033 東京都文京区本郷3-13-6

電話 03 (5684) 1285

FAX 03 (5684) 1308

<http://www.me-times.co.jp/>

印刷所 協立印刷株式会社