

□ 総 説 □

# 小児呼吸管理の最近の進歩 (I)

阪 井 裕 一\* 宮 坂 勝 之\*

## 序

小児に対する呼吸器管理は、小児麻酔と集中治療の発展に伴い進歩してきた。1930年代の Ayre による T ピースの導入およびその後の Jackson-Rees による改良から手術中の呼吸管理の第一歩が始まり、50年代に入ってバードのプレッシャーサイクル換気法が登場し、そして60年代の連続流、タイムサイクル方式の導入により新生児に対する人工呼吸が可能となったのである。今日、日本の新生児死亡率は世界で最低のレベルに到達したが、これには新生児集中治療 (Neonatal Intensive Care)、特に呼吸管理の進歩が大きく貢献していると言っても過言ではなからう。また残念ながら年長児の集中治療 (Pediatric Intensive Care) は新生児集中治療ほど確立されていないが、呼吸管理そのものは広く普及しつつある。最近では小児に特有の病態を克服すべく、従来の陽圧換気法に対する様々な工夫や改善、または全く新しい呼吸管理法の開発が試みられている。

このように呼吸管理は確かに進歩し多くの小児

が救われてきたが、呼吸不全の急性期は脱したものの酸素や人工呼吸から離脱できない症例が増加していることもまた事実である。近年このような慢性呼吸不全児のケアが小児医療の大きな問題になってきている。

本稿では、小児呼吸管理の最近の進歩として、従来の陽圧換気法の発展と慢性呼吸不全児に対する在宅管理に言及し、次回に High Frequency Oscillatory Ventilation と Extra Corporeal Membrane Oxygenation に関して概説したい。

### 1. 従来の陽圧換気法 (Conventional Mechanical Ventilation) の発展

#### 1) 連続流を用いた人工呼吸の発展

成人とは解剖、生理学上様々な点で異なる小児に対する人工呼吸は、実質的には連続流を用いたタイムサイクル、従圧式換気 (図1) の導入により開始されたと言ってもよい。従量式換気に比べて、連続流を用いた従圧式換気が、小児に適している理由としては、

- ① 小児では、気管内チューブ周囲よりリークがある。

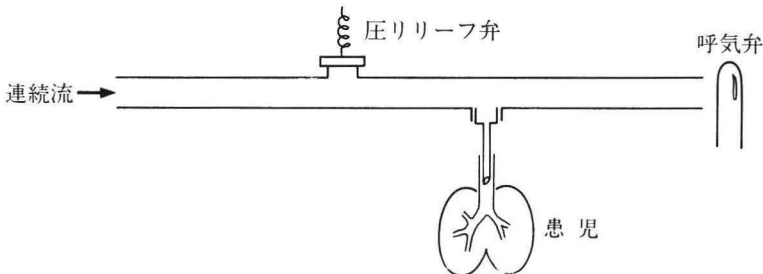


図1 連続流、タイムサイクル、従圧式換気の模式図  
連続流を流し、これを呼気弁 (指先で表わす) で定期的閉塞 (タイムサイクル) することにより患児を換気する。

\* 国立小児病院麻酔科

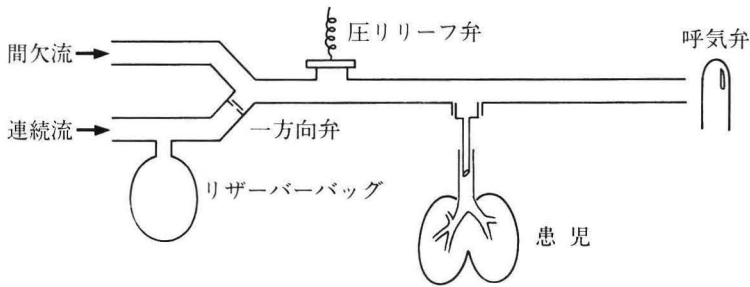


図2 連続流方式の応用

陽圧換気のための間欠流を自発呼吸用の連続流とは別に設けている。  
自発呼吸に対しては連続流を補うためにリザーバーバッグを付ける。

- ② 一回換気量が小さく、呼吸回路の拡張量および回路内ガスの圧縮量が無視できない。
- ③ 吸入気の加湿を十分に行うためには、連続流が有利である。
- ④ 脆弱な小児の肺には、従圧設定の方が安全である。

などがあげられる<sup>1)2)</sup>。その後この方式の欠点を補うべく、

- ① 陽圧換気時には、連続流とは別の流量設定を行う（連続流+間欠流）。
- ② 自発吸気に対して連続流を補うためにリザーバーバッグを付ける。

ことにより（図2）、全年齢層の人工呼吸が行えるよう改善された<sup>3)4)</sup>。現在の小児の人工呼吸管理の主流は、この方式を用いたIMV（Intermittent Mandatory Ventilation）であろう。

一方、1980年代に入って、コンピューター制御によるデマンドフロー方式の改善が試みられ、同期機構を応用したSIMV（Synchronized Intermittent Mandatory Ventilation）が導入された。しかしながら、小児では、一回換気量が小さいので、人工呼吸器が感知すべき吸気信号は小さく、かつ呼吸数が多く吸気時間が短いため、呼吸器の応答時間の遅れが大きな影響を及ぼす。すなわちデマンドフロー方式を用いるには、成人とは桁違いの精度と応答時間が要求される。

更に、SIMVでは、陽圧換気を開始するタイミングは患者自身が決められるものの、その後の送気は患者の要求におかまもなく人工呼吸器にセットしてある通りに行われる。この方法が従来

のIMVに比べてどの程度患者の利益になるかは必ずしも明らかではなく<sup>5)</sup>、小児に対する呼吸管理法として、上述した同期機構に内在するリスクや連続流方式の利点を覆すほどの魅力があるかどうかは疑問である。

## 2) PSV (Pressure Support Ventilation) 導入の試み

PSVは、吸気時に一定の陽圧をかけて自発呼吸を補助する方式で、呼吸仕事量を軽減すると言われている<sup>6)~9)</sup>。SIMVや補助換気（Assist Ventilation）とは異なり、吸気開始のタイミングのみでなく、換気量、吸気時間、呼気時間も患者自身が決定する<sup>6)</sup>。全身麻酔中に麻酔医が行うバッグによる換気の補助と似た概念である。PSVは、自発吸気の信号を感知して換気補助を始めるという点では、上述した同期機構に伴うリスクを免れるものではないが、以下の理由で小児の呼吸管理に適用する価値があるとわれわれは考えている。

- ① 小児では上気道の最狭部が声門下の輪状軟骨の位置であるため、細目の気管内チューブを使用せざるを得ず、この細いチューブの抵抗に打ち勝って行う自発呼吸の仕事量は、成人に比べて相対的に大きい。PSVの利点は、小児においてこそ、より生きる可能性がある。
- ② 乳幼児の呼吸筋は、疲労に強いといわれるI型筋線維（Slow-twitch, oxidative fibers）の割合が少なく（図3）、呼吸筋疲労を来しやすい<sup>10)</sup>。人工呼吸器からのウィーニングに際しては、呼吸仕事量の軽減を図ることが重

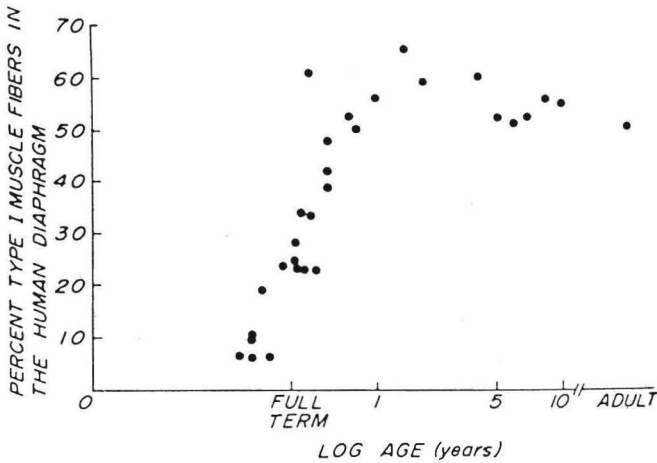


図3 横隔膜の1型筋線維の成長に伴う変化

横軸：年齢(対数表示) 縦軸：1型筋線維の割合(%)

(Keens TG, et al.: Developmental pattern of muscle fiber types in human ventilatory muscles. J Appl Physiol 44: 909-913, 1978 より引用)

要である。

われわれは、10 msec. 応答の制御弁を使用し、学習予測制御を取り入れた人工呼吸器(Newport Wave)を使い、IMVにプレッシャーサポートを組み合わせたウィーニングを試みている。ウィーニングを開始後、自発呼吸が出現した時点で、5 cm H<sub>2</sub>O (PEEP レベルから5 cm H<sub>2</sub>O) のプレッシャーサポートを行い(IMV+プレッシャーサポート)、強制換気の回数を減らしてゆき、最終的にCPAP 3 cm H<sub>2</sub>O+プレッシャーサポート 3 cm H<sub>2</sub>Oまでウィーニングした後抜管している。現在までに先天性心疾患術後の28例(日齢1~19歳、体重1.8 kg~57 kg)に使用しており、いまだ結論を出す段階ではないが、少なくとも幼児、学童においては、一応の成果をあげていると考えている。

PSV そのものに関しては、① トリガーのための吸気仕事量の更なる軽減、② プレッシャーサポートの停止基準などの機構上の問題と③ 適正プレッシャーサポートレベルの決定方法、④ 気道抵抗の高い患者への適応が今後解決すべき問題と言われている<sup>9)11)</sup>。これらに加えて、小児の場合には少なくとも気管内チューブ周囲からのエアリークを補償する程度の連続流は必要と思われるので、トリガーのための吸気仕事量を軽減しかつPSVの効果をあげるための適切な連続流の流量とトリガー感度の設定が課題となろう。

## 2. 在宅呼吸管理

従来、酸素や人工呼吸から離脱できない慢性呼吸不全症例に対する長期呼吸管理は長期入院を意味した。昨今、高齢人口の増加や経済成長型社会への反省、あるいは医療費の増大などの観点から在宅医療の重要性が叫ばれているが、本来成長発達の途上にある小児期の患者にとってこそ長期入院の弊害は計り知れず、家庭環境下で管理することの医学的、社会的意義は大きい。酸素や人工呼吸に依存する呼吸不全患者に対しても、このような見地から在宅管理への移行が試みられている。

以下に、小児在宅呼吸管理の現状と問題点を酸素療法と人工呼吸に分けて述べたい。

### 1) 在宅酸素療法 (HOT: Home Oxygen Therapy)

#### (1) 現状

1985年3月に健康保険の適用になって以来、HOT実施患者は着実に増加しており、1989年4月に行われた全国調査<sup>12)</sup>では106例であったが、現在ではこの2倍以上の症例数にのぼっていると推定される。国立小児病院の在宅呼吸管理外来でフォローしているHOT患者は1991年2月現在、のべ33人で、原疾患は、循環器疾患(原発性、二次性肺高血圧症など)14人、肺・下気道疾患(気管支肺異形成、間質性肺炎など)10人、胸郭疾患(窒息性胸郭異形成など)4人、上気道疾患(気管軟化症など)3人、その他2人である。慢

性閉塞性肺疾患や肺結核後遺症が大半を占める成人の HOT と異なり、多様な疾患が対象となるのが小児の場合の特徴である<sup>12)13)</sup>。また経過中に酸素から離脱できた者が9人、現在酸素流量を減量している者が4人で、両者を合わせると全症例の39%にあたり、一旦開始しても離脱できる可能



図4 小児用鼻カニューレの例

成人用と異なり両側の鼻翼に先端を引っかけ、前額部で固定する。

性が比較的高いことは小児の HOT の明るい側面である。

## (2) 問題点

現在の問題点としては、

① 酸素の投与方法 (患者と酸素源とのインターフェイス)

② モニターの必要性

があげられる。

酸素の投与方法としては鼻カニューレを用いる場合が多いが、協力の得にくい小児患者では、成人用カニューレのサイズを小さくしただけのものでは使用が困難である。また新生児では市販のカニューレでは大きすぎるので、各施設で工夫してカテーテルなどを使用しているのが現状であろう。小児用にデザインされた鼻カニューレの開発が望まれる (図4)。

成人とは異なり自己管理ができず、自己の状況を訴えることもできない小児症例の HOT において、適切なモニターの使用は不可欠である。この目的には、非侵襲的な連続酸素飽和度モニターであるパルスオキシメーターが最も適している<sup>14)15)</sup>。また小児では、動脈穿刺による血液ガスは緊張や啼泣の影響を受けやすく、必ずしも患児の定常状態での酸素化能を反映しない。パルスオ

表1 小児在宅酸素療法の適用基準

- |   |
|---|
| 1) 安定した呼吸状態が維持できる ( $FiO_2$ 0.4 以下)。                            |
| a) 毎分 5 l 以下の酸素投与 (ヘッドボックス、鼻カニューレを問わず) で、 $SpO_2$ 90% 以上が維持できる。 |
| b) 安静空気呼吸下でも $SpO_2$ が 85% 以下にならないことが望ましい。                      |
| c) 酸素投与下で、臨床的に安定した状態が一月以上継続している。                                |
| d) 人工呼吸中の患者の場合  |
| $FiO_2$ 0.4、換気圧 5/25、換気回数 20 回/分以下で安定している。                      |
| 2) 安定した栄養状態で、体重が 3 kg 以上。                                       |
| 十分な哺乳力、または安定した経管栄養が行われている。                                      |
| 3) 家族、両親の自発的な協力が得られる。   |
| 4) 緊急連絡体制が確立できる。  |

注：成人症例と異なり、小児在宅酸素療法では、パルスオキシメーターによる患者モニターが不可欠である。

(厚生省心身障害研究 NICU 退院児のホームケアシステムの確立研究班)

(宮坂勝之ほか：NICU 退院児の在宅酸素療法の適応基準に関する考察。厚生省心身障害研究：新生児管理における諸問題の総合的研究，昭和 63 年度研究報告書 217-221 より引用)

表 2

#	症例	年齢	原 疾 患	開始	経 過
1	M.U.	19 歳	先天性筋ジストロフィー	'83 5	退院
2	K.S.	9 歳	窒息性胸郭異形成	'87 9	退院
3	N.I.	13 歳	副腎大脳白質ジストロフィー	'87 12	外泊
4	S.O.	2 歳	瀰漫性気管支狭窄，気管軟化症	'89 8	退院後離脱
5	M.W.	3 歳	先天性横隔膜ヘルニア術後	'90 4	外出

表 3

#	呼吸器	作動時間	酸素濃度 (%)	気道内圧 (cmH <sub>2</sub> O)	換気回数 (/分)	モニター
1	①LP-4 ②ニューポート	①移動時 ②睡眠時	21	25/0	12	なし
2	ニューポート	睡眠時	30	25/0	12	パルス オキシメーター
3	コンパニオン 2800	24 時間	21	18/0	12	パルス オキシメーター
4	アコマ ARF 900 E	24 時間	30	25/0	20	パルス オキシメーター
5	コンパニオン 2800	24 時間	36	25/0	16	パルス オキシメーター

キシメーターによる酸素飽和度の測定は、モニターとしてのみならず、酸素化能の非侵襲的な評価法として極めて有用である。例えば HOT の適応は、健康保険の上では「動脈血酸素分圧 50 Torr 以下…」とされているが、われわれはパルスオキシメーターによる酸素飽和度の連続測定結果を解析して HOT の適応を決定する方が合理的であると考えている<sup>13)</sup> (表 1)。

### 3. 今後の展望

HOT の利点が更に認識され今後一層普及するものと思われるが、上述のように離脱できる症例も比較的多いので総数としては成人の場合のように (1989 年 12 月現在約 15,000 例<sup>16)</sup>) 膨大な数には至らないであろう。

今後の課題は、新生児，小児用の鼻カニューレ，小型軽量の酸素濃縮器や携帯用ポンペ，液体

酸素容器などの機器の開発，改良を通して，より安全で確実な HOT を確立することである。低流量酸素も長期間投与すると全く無害ではない可能性があり<sup>17)</sup>，成長発達を考慮して積極的に酸素投与を行う一方で，この方面の研究も必要であろう。

#### 2) 在宅人工呼吸 (HVC: Home Ventilation Care)

##### (1) 現状

1950 年代のポリオの流行を契機として HVC の概念が導入された欧米と異なり，我国ではいまだに HVC に対する社会全体としての取り組みがなされず，各現場で散発的に行われているのが現状である。ちなみに 1989 年 1 月にリヨンで開催された第一回世界在宅人工呼吸会議 (International Conference on Home Mechanical Ventilation) においては，シンポジウム，ワーク

表 4

在宅人工呼吸症例		
性別	男 22, 女 27	
年齢	1歳以下	2
	2～5歳	16
	6～12歳	14
	13歳以上	17
基礎疾患	1. 神経筋疾患	25
	ミオパチー	13
	Werdnig-Hoffmann病	7
	筋ジストロフィー	4
	その他	1
	2. 中枢性呼吸障害	16
	Ondine's curse	9
	低酸素性虚血性脳症	4
	その他	3
	3. 呼吸器疾患	5
	気道狭窄/軟化症	2
	胸郭疾患	2
	肺低形成	1
	4. 頸髄損傷	3

(阪井裕一ほか：在宅呼吸管理システムに関する研究。厚生省心身障害研究班平成2年度研究報告書印刷中。より引用)

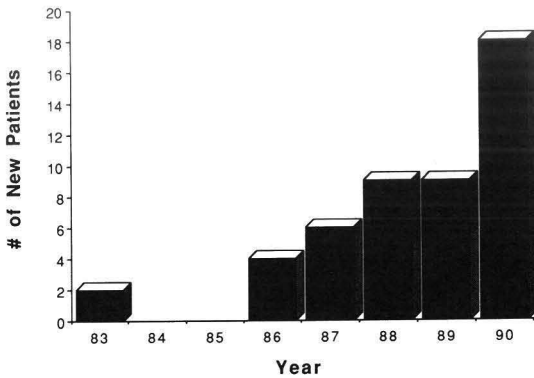


図 5 小児在宅人工呼吸実施患者数（新患）の年次推移

ショップでの日本人の演者は皆無で、一般演題115題中日本からの発表はわずかに2題のみであった。

国立小児病院では、1983年に最初の症例<sup>18)</sup>を在宅管理に移して以来、現在外泊中の者も含めて5症例を経験している(表2)。年齢は2～19歳

表 5 在宅人工呼吸の問題点

1. 家族に対するケア
  - 経済的サポート：保険制度の整備  
機器の貸与制度
  - 精神的サポート：訪問看護婦  
ソーシャルワーカー  
心理療法士  
医療機器の専門家
2. 体制の整備
  - 人材の確保
  - 緊急時の対応
  - 短期受け入れ病棟、施設
  - 家庭医、地域中核病院との連携
  - 機器のメンテナンス
  - 責任の所在
3. 在宅用に適した機器の開発
  - 人工呼吸器、回路
  - モニター
  - 気管切開カニューレ
  - 吸引器
4. 情報交換体制の確立
  - 施設間
  - 患者間

で、基礎疾患は呼吸器疾患が3例、神経筋疾患が2例である。表3に換気条件を示す。全例気管切開にて気道を確保している。夜間のみ換気補助の必要な症例1と2は、退院後学校生活に戻り(症例1は普通中学を卒業後、通信制高校に在学中、症例2は普通小学校4年生)、社会復帰を果たしたと言えよう。症例4は、1年3ヵ月の間に20回程の外泊を繰り返した後に呼吸機能の改善を見て、現在は呼吸器から離脱している。症例3と5は常時人工呼吸を必要とし、入院生活を中心にして外泊を繰り返している。症例4と5では、在宅管理を開始して以来、明らかに発達の促進が見られている。

全国規模での小児HVCの実態に関しては、本年2月に162施設を対象にアンケート調査が行われた<sup>19)</sup>。149施設から回答が得られ(回収率92%)、49人のHVC症例が見られた。年齢分布、基礎疾患などを表4に示す。

HVC開始時期を見ると、1983年の2例を初め

として年々増加傾向を示しており、1990年には18症例で開始されている(図5)。このことは、HVCの必要性、有効性が認識され、問題点の多い現実の中でも、各現場での努力の下に着実に実現されてきていることを示している。“条件が整えばHVCを施行したい”ケースが、全体の38%にあたる61施設に121症例見られたことから、潜在している症例が多いことが伺われる。

(2) 問題点および今後の展望

今回の全国調査の結果明らかになった問題点を表5に示す。HVCではHOT以上に家族に対するサポート体制が重要であるが、我国の現状はこの点極めて貧困である。現在のHVCは、家族を始めとする関係者の情熱で支えられていると言っても過言ではないであろう。しかしながら呼吸管理の進歩に伴い慢性呼吸不全患者は今後益々増加すると思われ、HVCをより“健全な”ものにするために、治療チームの養成、地域医療機関との連携、健保適用の拡大、機器の開発などの体制作りが急務である。

文 献

- 1) 朝原章二, 宮坂勝之: 新生児用人工呼吸器. 周産期医学 11: 2067-2069, 1981
- 2) 阪井裕一, 宮坂勝之, 三川 宏: 小児におけるIMVの問題点. 人工呼吸 1: 77-82, 1984
- 3) 宮坂勝之: 小児における持続陽圧呼吸の問題点. 持続陽圧呼吸の諸問題(天羽敬祐編) p 77-87, 1979
- 4) 宮坂勝之, 三川 宏: 新しい汎用人工呼吸器Newport E-100. ICUとCCU 6: 427-432, 1982
- 5) Heenan TJ, Downs JB, Douglas ME et al: Intermittent mandatory ventilation; Is synchronization important? Chest 77: 598-602, 1980
- 6) MacIntyre NR: Respiratory function during pressure support ventilation. Chest 89: 677-683, 1986
- 7) MacIntyre NR: Pressure support ventilation: effects on ventilation reflexes and ventilatory-muscle work-loads. Respir Care 32: 447-457, 1987
- 8) Brochard L, Harft A, Lovino H, et al: Inspiratory pressure support prevents diaphragmatic fatigue during weaning from mechanical ventilation. Am Rev Respir Dis 139: 513-521, 1989
- 9) 島田康弘, 磨田 裕, 武澤 純ほか: Pressure Support Ventilationと呼吸仕事量—人工呼吸の新しい潮流—. 呼吸 9: 914-929, 1989
- 10) Keens TG, Bryan AC, Levison H, et al.: Developmental pattern of muscle fiber types in human ventilatory muscles. J Appl Physiol 44: 909-913, 1978
- 11) 武澤 純, 西脇公俊, 木村智政: 食道内圧および胃内圧を用いた換気力学的モニタリングの有用性. 人工呼吸 7: 38-42, 1990
- 12) 加野草平, 西間三馨: 本邦における小児の在宅酸素療法の現状. 日本小児呼吸器疾患学会雑誌 1: 73-77, 1990
- 13) 宮坂勝之, 阪井裕一: NICU退院児の在宅酸素療法の適応基準に関する考察. 厚生省心身障害研究: 新生児管理における諸問題の総合的研究昭和63年度研究報告書 217-221
- 14) 島井芳穂, 阪井裕一, 鈴木康之ほか: 小児在宅酸素呼吸管理でのパルスオキシメーターの使用. 今日の移値 2: 343-345, 1989
- 15) 羽鳥文麿, 宮坂勝之, 阪井裕一ほか: 小児在宅呼吸管理の問題点. 小児外科 21: 83-88, 1989
- 16) 芳賀敏彦: 成人における在宅酸素療法. 日本小児呼吸器疾患学会雑誌 1: 78-81, 1990
- 17) 芳賀敏彦(私信)
- 18) 阪井裕一, 大畑 淳, 宮坂勝之ほか: 家庭での人工呼吸管理症例. ICUとCCU 8: 80, 1984
- 19) 阪井裕一, 小林啓子, 宮坂勝之: 在宅呼吸管理システムに関する研究. 厚生省心身障害研究班平成2年度研究報告書 印刷中