〔シンポジウム：小児呼吸管理の最近の進歩〕

人工呼吸モニターの最近の進歩

片　山　正　夫*

はじめに

呼吸モニターは循環モニターに比較して，今まで信頼できるものが少なかった。ことに小児呼吸管理においては，ベッドサイドで行える簡便さに加え，連続性や無侵襲性といった要求が十分に満たされた方法は著しく少ない。以下に，当施設で開発中の方法を含めて，最近の呼吸モニターの進歩について述べてみたい。

呼吸機能モニター

当施設では集中治療患者における呼吸機能の評価を重視している。現在日常の検査に用いている装置は図1に示されるように小型であり，ベッドサイドにおける測定が容易である。本体のアイビジョン社製 VM-8400 に NEC 社製パソコン PC9801 型を接続し，流量，容量，および圧力をデジタル化しその計算表示を行っている。検出センサー部分は Y と気管内チューブの間に入り，ここで流量と圧力の両方を検出する。当院ではヒューレットパッカード社製の層流型流量センサー（00, 0, 1号）を用いている。

1）　啼泣時肺活量と最大吸気力

ベッドサイドで行える呼吸機能検査として，当施設では以前より啼泣時肺活量（Crying Vital Capacity, CVC）および最大吸気力（Maximum Inspiratory Force, MIF）を抜管前の評価に用いている[1]。刺激により患児を啼泣させ，最大吸気と最大呼気を繰り返させ，肺活量を測るのが CVC であり，吸気時に気道を完全閉塞させ圧力を測るのが MIF である。CVC と MIF の下限をそれぞれ 15 ml/kg と 35 cmH_2O とし，この指標に基づいて抜管した場合，再挿管率はわずか 2.1% に過ぎなかった。このように，CVC と MIF は自発呼吸能力の総合評価の指標として臨床的に著しく有用であると考えられる。

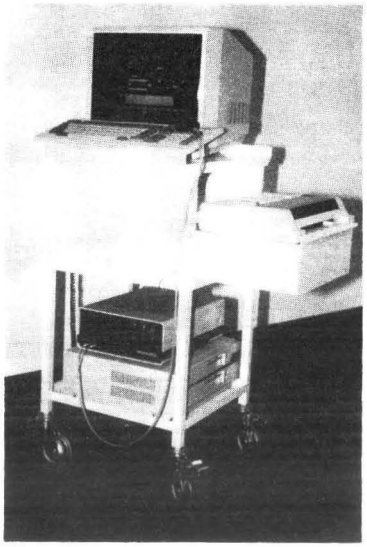

図 1

2）　コンプライアンス，抵抗，時定数

自発呼吸時でなく，むしろ積極的にそれを消すことにより可能な検査として，まず時定数，コンプライアンス，および抵抗の測定がある。これには，Hering-Breuer 反射による無呼吸を利用する方法と，筋弛緩薬の使用により調節呼吸下に行う方法がある。いずれも受動的呼気（passive expiration）を利用，そのフローボリューム曲線から時定数，コンプライアンス，抵抗を求める方法である[2]。具体的には，切り替えコックにより呼気終末の閉塞圧を測定，引き続き呼気に開放してフローボリューム曲線を得る。適用疾患としては，新生児呼吸窮迫症候群，同患児におけるサーファクタント療法，横隔膜ヘルニア，気管気管支狭窄などが挙げられるが，ことに横隔膜ヘルニアの術後の患者評価に有用であった[3]。

* 国立小児病院小児医療研究センター

3）“Deflation Flow Volume Curve”

末梢気道の抵抗は，全気道抵抗（airway resistance, Raw）のわずか10%程度に過ぎず，重度の末梢気道閉塞があっても，全気道抵抗値の誤差範囲に隠れてしまう。このような末梢気道の開通性を調べる方法の一つに，ピッツバーグの本山らが開発した方法（Deflation Flow Volume Curve, DFVC）がある[4]。それは，用手的に最大吸気位まで持って行き，切り替えコックにより急激に −30ないし −40 cmH_2O の陰圧に接続，強制的に呼気を行わせる方法である（**図2**）。**図2**は喘息発作に対しネオフィリンを静注した前後の DFVC である。左の曲線は末梢気道閉塞を反映して強い下向きの凸を示しているのに対し，ネオフィリンの投与後の右の曲線はそれが軽減している。最大吸気から最大呼気に至る容量はいわゆる努力性肺活量（Forced Vital Capacity, FVC）に相当し，コンプライアンスとともに拘束性状態の診断に役立つと考えられる。**図3**の症例においては FVC が投与後に増加しているが，これはネオフィリンにより末梢気道が開通し，潰れていた肺胞が開いたからと考えられる。

4）流量センサーの工夫

流量センサーとしては層流型の外，乱流型やピトー型ヘッドがある。乱流型は層流型に比べ死腔や抵抗を小さくできるし，清掃が楽，低価格などの利点がある反面，高流量域の正確さに難点がある。最近いわゆるピトー型の流量センサーが開発され[5]，その最大の長所として，30 Hz 以上の周波数まで測定できるため，高頻度人工呼吸の換気モニターとして使える可能性を持つ。また，死腔や抵抗の面でも，他の型より有利である。三つの型

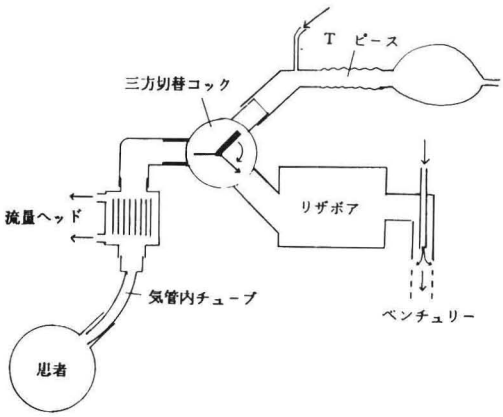

図2　Deflation Flow Volume Curve 測定装置の構成

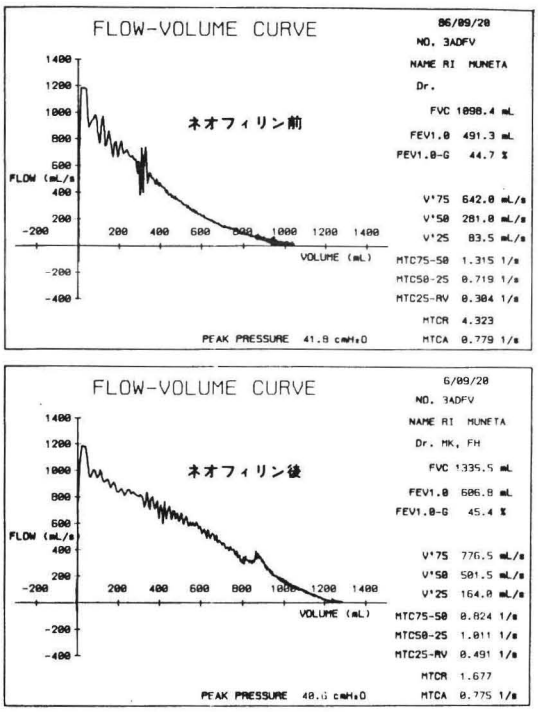

図3　症例：R.M. 10歳 男，喘息

表1　流量センサーの比較

	層流型（フライシュ0号）	乱流型（小児用）	ピトー型（5 mm 径型）
測定範囲（l/m）	78	24	90
死腔（ml）	8.5	0.63	0.79
抵抗（cmH_2O/l/sec）	2.2	2.4	0.6
周波数応答（Hz）	<10	?	30以上
酸素濃度の影響	大	小	小

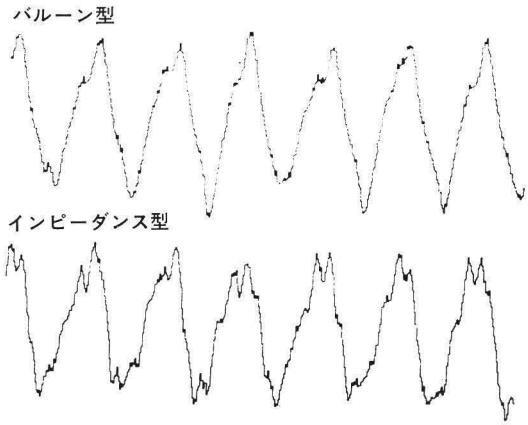

図 4　呼吸モニター：インピーダンス型とバルーン型の比較

の比較を**表 1** に示す。

バルーン型呼吸モニター

簡易型呼吸モニターとして従来からインピーダンス型がよく用いられてきた。これは，心電図モニターに組み込まれているものが多く，心電図電極から検出した容量波に似た波形を CRT 上に表示し，呼吸数を計算表示し，また呼吸数や無呼吸の警報を備えている。このタイプの欠点は，体動の影響を受けやすいことで，ことに頻呼吸警報が不必要に鳴ることから，警報を無視するようになってしまう場合が多い。

インピーダンス型と同じ程度の簡便さと無侵襲性を持つ呼吸モニターにバルーン型がある。当施設では，このバルーン型のほうが雑音の影響を受けにくいとの見方に立ち，同一患者に両タイプを装着してみて比較を行った。そうしたところ，**図 4** に示すように，バルーン型の方が体動に影響されにくいということが分かった。

この型のモニターは，呼吸数や呼吸の有無を知らせることが主目的で，もとより胸壁または腹壁の局所的な動きを検出しているだけなので，呼吸器全体の換気量を知ることは期待すべくもない。ただ，吸気時間や呼気時間といった timing の変化は正確にみられる。また換気量にしても，おおまかな変化を見たり，呼吸ドライブを反映するといわれる平均吸気流量（VT/TI）もトレンドとしてみれば，十分使えるものと思われる。また，今までのモニターにみられなかった機能として，たとえば周期性呼吸パターンを検出するなど，マイクロプロセッサーを利用したパターン認識的機能が今後興味深い。

また，この型のモニターは，乳幼児突然死症候群などの自宅呼吸モニターとしても将来性があると考えられる。

レスピトレース

気道とつながりがなく，胸部や腹部を通して量的に正確な情報を得られる方法にレスピトレースがある。マスクをあてる必要がないため，これによる呼吸パターンの変化がない。また，胸部と腹部の動きを捉えるため，肋間筋と横隔膜による換気が別個に測定できる。原理は，胸部と腹部に巻いたコイルが，それぞれの断面積の変化に応じてインダクタンスを変化させる。それを電流の変化として検出するわけである。校正には標準となる換気量計を必要とするが，異なる二通りの呼吸パターンを用いて計算を行う。新型のレスピトレースにはこのための回帰分析の計算を素早く行うコンピュータを内臓している。トロントでは，乳児においてもレスピトレースにより換気量の正確な情報が得られると報告している[6]。今後解決すべき問題点は，体動による雑音の抑制である。

パルスオキシメーター

無侵襲連続測定が可能な酸素化モニターとして，今までは経皮的酸素分圧測定があった。主として新生児領域においては多大な貢献をしてきた。最近欧米の各施設では，パルスオキシメーターの普及が目ざましく，まず麻酔科領域，次いで新生児 ICU 領域や成人内科領域でのモニターとして定着した感がある。これは，パルスオキシメーターの連続測定機器としての信頼性が評価されたからに他ならない。今では国内も含めて数社が作っており，わが国でも今後益々需要が増えるものと予想される。本来酸素飽和度と酸素分圧は異なるため，経皮的酸素分圧測定とは相補うように用いられるものと思われるが，敢えて両者の比較をしてみた（**表 2**）。長時間の睡眠時無呼吸症例での検査も含め，パルスオキシメーターは今後益々

表 2　パルスオキシメーターと $tcPO_2$ の比較 (1)

	パルスオキシメーター	$tcPO_2$ モニター
連続性	張り変えの必要がほとんどない	一定時間で場所を移動する必要あり
非侵襲性	温めないので熱傷の危険性はない 接着剤で張りつける必要は必ずしもない	加熱が必要で熱傷の可能性を持つ 接着剤で皮膚に張りつける必要あり 皮膚損傷の可能性を持つ
簡便性	麻酔ガスの影響を受けない 校正不要で使用法が簡単	麻酔ガスの影響を受け得る 大分単純化されたがまだ複雑
迅速性	透過光による瞬時測定が可能	皮膚加温によるガス拡散が関与し多少の時間遅れが避けられない
安定性	浮腫，黄疸，循環不全状態での測定に強い。機種間で性能の差あり	浮腫，循環不全の影響を強く受ける
信頼性	体動の影響は機種間で差あり 校正なしでも測定可能 脈波の存在と同時に確認でき，信頼性が高い	体動の影響は比較的小さい 校正が必ず必要 循環，皮膚厚などの影響で絶対値の信頼性は劣る
測定項目	Sa_{O_2} 脈波形，心拍数	$tcPO_2$ heat power
特　徴	Sa_{O_2}：低 Pa_{O_2} 領域で変化大きい Fi_{O_2}，Pa_{O_2} を可及的に低く設定する目的ではむしろ勝れている	$tcPO_2$：高 Sa_{O_2} 領域で変化大きい 重症者では Pa_{O_2} より低目の傾向があり生命維持には安全な方向に患者管理は向く
	循環不全，著しい低酸素血症患者（PFC，麻酔中など）で有用 慢性患者の心拍，酸素化モニターとして BPD，長期人工呼吸症例で有用	循環動態の良い純粋な呼吸不全（IRDS など）で有用 循環動態の指標としての用いられ方もある

重要な役割を持つものと考える。

二酸化炭素吸入による換気応答曲線

二酸化炭素に対する換気の応答の評価は，主として乳幼児突然死症候群やオンディーヌの呪いといった呼吸調節障害の評価に有用とされてきた。この方法がもしベッドサイドで手軽に実施できれば，自発呼吸の総合的評価として日常呼吸管理にも役立つと考えられる。ただ，今までの実験室器具のような装置では簡便な検査の機動性は期待できなかった。また，得られたデータを臨床レベルで容易に評価する面で難点があった。われわれはこの点を改善しようと試み，装置を工夫してみた（**図 6**）。

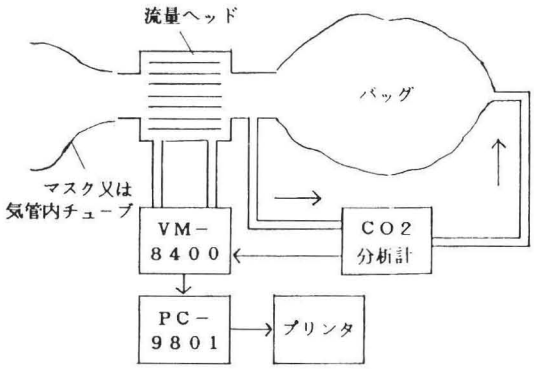

図 5　CO_2 レスポンス測定装置の構成

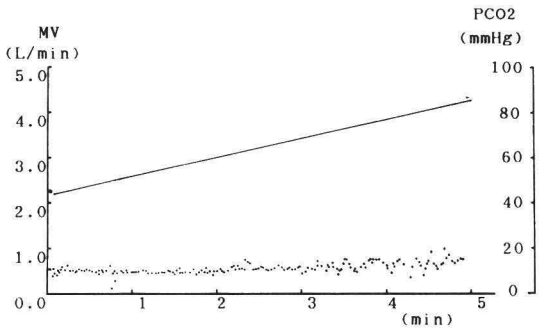

図 6　case : Ondine's curse 10 months 4.7 kg

本装置の回路を示すと，基本的には流量ヘッド，麻酔バッグにより作られたリザボア，および二酸化炭素分析計よりなっている。リザボア内のガスが再呼吸されるにつれて，二酸化炭素濃度が上昇，これによる $Päco_2$ の上昇により呼吸が刺激されて増大する。流量ヘッドからきた信号はトランスデューサーを介してアイビジョン社製 VM-8400 に入力され，デジタル信号化されて NEC 社製パソコン 9801 型に伝えられる。測定方法は，リードの再呼吸法[7]に基づき，約 100 ml/kg の 5% CO_2, 95% O_2 ガスを数回の用手加圧で行った後に，自発呼吸下に置く。各測定機器間の時間遅れはコンピュータの CRT 上でカーソルを用いて視覚的に調整する方法を取っているため，市販のどの二酸化炭素分析計にも対応できる。

図 6 はオンディーヌの呪いを診断できた一例である。二酸化炭素が 10% 近くまで上昇したにもかかわらず，分時換気量にはほとんど変化が見られなかった。

文　献

1) 羽鳥文麿，宮坂勝之，三川　宏：小児の術後呼吸管理．手術 36：423，1982
2) LeSouef PN, England SJ, Bryan, AC : Passive Respiratory Mechanics in Newborns and Children. Am Rev Respir Dis 129 : 552, 1984
3) 田村正徳，細川裕平，Bryan AC：先天性横隔膜ヘルニアに対する外科治療の呼吸コンプライアンスにおよぼす影響．日本新生児学会雑誌 22：576，1986
4) Motoyama EK, Oh TH : Evaluation of Lower Airway Obstruction in Infants with Congenital Heart Disease using Deflation Flow-Volume (DFV) Curves. Am Rev Respir Dis 117 : S300, 1978
5) Volgyesi G：私信
6) Bryan MH, Hagan R, Gulston G, et al : CO_2 and Sleep State in Infants. Clin Res 24 : 689, 1976
7) Read DJC : A Clinical Method for assessing the Ventilatory Response to Carbon Dioxide. Aust Ann Med 16 : 20, 1967