

## 特集

## 人工呼吸療法—今後の展望

## 人工呼吸管理と安全対策—人工呼吸管理のシステム化

磨田 裕

キーワード：人工呼吸，安全管理，診療看護支援システム

## I. はじめに

現在のような人工呼吸器が使われ始めて半世紀以上が経過している。この間、呼吸管理においては大きな進歩を遂げた。そして人工呼吸管理は多数の医療機関で行えるようになり、その結果多くの患者が救命された。一方、ごく一部では人工呼吸管理による事故も発生している。人工呼吸器という生命維持装置が使われる場面では、当然ではあろうが、一歩間違えれば生命に危険を及ぼすことになる。

人工呼吸管理はICUなどの呼吸管理に慣れた専門部署で行われるべきであることが以前から提言されている<sup>1)</sup>が、現状では一般病棟などでも人工呼吸器は使われており、この状況は当分続きそうである。人工呼吸器の性能は大きく向上してきた。しかしこれを扱う一般病棟のマニピュレーターなどの医療環境は向上、改善したであろうか。一般病棟での人工呼吸管理にICU並みの水準を求めることは現実的ではない。一般病棟で人工呼吸管理を受ける患者は、呼吸状態、全身状態が比較的落ち着いている状況、または長期呼吸管理が必要な状況などが多いとはいえ、一度人工呼吸器その他に問題が発生すれば重大な結果を招く。そのため異常が発生した時はどのような施設、部署であれ迅速な対処が必要になる。これらは特にマニピュレーターに限られている一般病棟では非常に困難な状況である。

このような人工呼吸管理に関連する事故などの詳細

は把握しきれないが、呼吸管理に携わる者としては皆無にするための努力が必要である。これまで、どこの施設でも現場では人工呼吸器使用者側に対して導入時の説明会・研修会、トレーニングが行われているが、事故ゼロは達成されない。そこで、本稿では特に人工呼吸器側のハード面の対策でさらに改善すべき点があるかどうかという可能性について私見を交えて以下に示す。

## II. 事事故例の内容

重大な問題となるのは換気ができなくなる状況である。これには人工呼吸器本体の停止、呼吸回路の外れ・閉塞、気管チューブの抜管・閉塞などがある。人工呼吸器の停止については、日本呼吸療法医学会でデータ収集を行っており、2013年のものは報告されている<sup>2)</sup>。しかし、呼吸回路や気管チューブの問題に関しては調査対象外であり、データがないので不明である。また、使用者の操作ミスで動作が停止した事例も除外されている。したがってこれらの詳細も不明である。

なお、海外の単一施設からの報告では<sup>3)</sup>、院内ICU系合計60床の6ヵ月間のon-lineアラーム情報分析から合計51件の回路外れを検出している。

## III. 事故をなくすための対策

人工呼吸器を使用するに当たって、始業点検、使用中の点検、使用後の定期的な保守管理などは通常行われている。さらに使用者に対する使用方法、操作方法などのトレーニング・研修は当然のこととして広く行

われている。また、人工呼吸器使用中も、定期的に動作状況、患者状況を確認して記録するチェックリストなども活用されている。しかし実際にはいくつかの事故は発生している。そのためさらなる対応策を考えることが必要になる。

#### IV. 人工呼吸管理装置としてのシステム化

人工呼吸器は本体だけでなく、加温加湿器、呼吸回路、気管チューブなど複数のパーツを組み合わせて使用されている。したがってすべてのパーツが正常に機能して初めて完全な人工呼吸管理が行える。たとえば呼吸回路の一部に外れやリークが発生した時、人工呼吸器は換気量の低下、気道内圧の低下などの情報を検出してアラームを発する。しかしほとんどの人工呼吸器では、ユーザーに対してあくまでも換気量の減少を知らせているだけで、回路リークであることを、しかもどの部位であるかを知らせるには至っていない。

ただ、現在の人工呼吸器のモニター機能だけでなく、さらにいくつかの付加機能を追加すれば、図1のように<sup>4)</sup>異常部位の同定をより高精度に知らせることが可能になる。この研究で示されているシステムでは使用するセンサーなどの大きさ、精度・耐久性などまだ改

良の余地は多いが、今後の方向性を示したものである。

これは人工呼吸器本体だけでなく、回路の接続状況、呼吸回路、気管チューブなどのガスリークの状態、抵抗などをトータルシステムとしてみていくことがより安全な呼吸管理に繋がる可能性を示すものである。このように人工呼吸器はその本体だけでなく周辺部分まで含めて、診療・看護支援の役割を持つシステムとして考えるべきであろう。

#### V. モニタリングとアラーム機構

前述したような呼吸回路の異常を検出するためには、現在よりも気道内圧やフローをより多くの部位でモニタリングする必要があるが、それによって医療者にとっては取り扱いが煩雑になる。したがってこの煩雑さを回避するために、呼吸回路一体化の圧測定やフロー測定方式の改良を実現することが望まれる。現在、呼吸回路と人工呼吸器本体などは別々のパーツで接続しているが、これを1つとして考えれば実現は不可能ではないと思われる。

また、人工呼吸器の電源スイッチが不意にオフになったり、スタンバイとなった事例も報告されている。これらに対応するためには、気管チューブの接続情報・

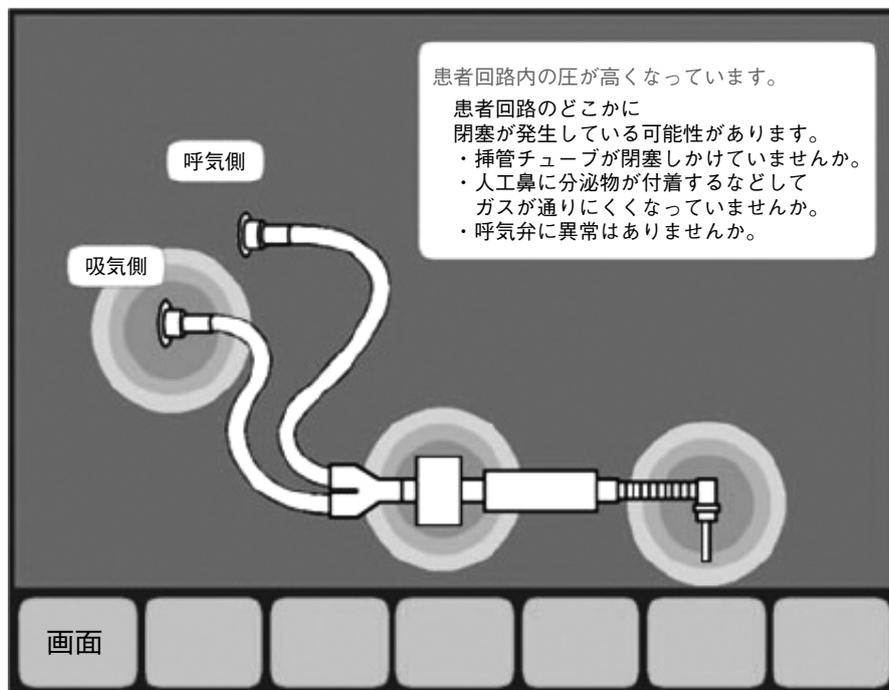


図1 異常部位の同定 (文献4より)

呼吸回路の異常を検出し、その異常内容、チェックすべき部位をアラームとともにディスプレイに表示している例。医療者に状況と対応すべき事項を知らせる機能を持つ。

状況、それまでの動作履歴などの情報も必要であり、動作・接続中は電源オフにできない機構、また、停止中の人工呼吸器を患者に装着できない機構といったフルブルーの設計思想の現在よりもさらに高度な内容、そして強力な形としての導入を検討することが望まれる。

今日、人工呼吸器で設定されるアラームは多数存在している。しかし、ほとんどすべては任意のパラメータの上限と下限をそれぞれ設定し、それぞれ独立して動作する。これは一般に使用されているベッドサイドモニターでも同様の設定・動作である。すなわち、たとえば心電図波形が乱れて、モニターは「心室細動」とアラームを発することがあるが、その時脈波波形や観血的血圧波形に異常がなければ、われわれはアーチファクトであると判断する<sup>5)</sup>。これは現場の医療者たちは、単一のパラメータだけでなく、複数のパラメータを診て、その情報のもとに最終的な判断を下しているためである。このような状況は、人工呼吸器のアラームの場合でも同様に起こる。例えば VCV (volume control ventilation : 量規定換気) アシストモードでは患者吸気努力が大きくなった時、気道内圧が上昇せず、気道内圧下限アラームが鳴ることがある。しかしこの時換気量は減少していないので切迫した危険な状況を示すわけではない。このように複数のパラメータを評価する機能が、まだ人工呼吸器には備わっていない。その結果、不必要なアラームが多発することにもなる。したがって、今後は、人工呼吸器本体のモニターだけでなく、カプノメータなどの外部器機の情報も統合して判断できるようなアラームの「インテリジェント化」「統合化」が進むことが期待される。このような方向はすでに20年以上も前に提言されている<sup>6)</sup>。これはすでに記載したリークや外れ部位の同定の方法にも関連するもので、人工呼吸管理システムとしての機能の充実が必要であると思われる。

現在の人工呼吸器のアラームは多数あって、それがしばしば鳴るので「オオカミ少年」化してしまう懸念がある。やはりアラームは本当に危険であることを知らせるものとして扱い、アラームが鳴ったら直ちに対処するという現場の認識と診療・看護体制が必要である。

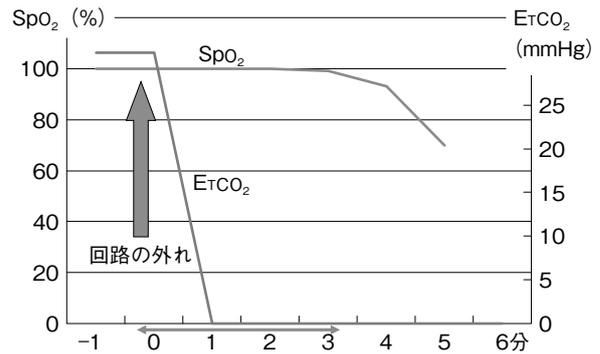


図2 回路外れによるアラームの反応時間の違い  
パルスオキシメータは約4分後、カプノメータは10秒後にアラームが起動した(全身麻酔症例)。

## VI. カプノメータの使用

パルスオキシメータを使用せず人工呼吸管理が行われる状況は、今日ほとんどないものと思われるが、カプノメータの使用はまだ十分とはいえない。カプノメータは換気の異常をパルスオキシメータよりも早期に検出する(図2)。人工呼吸器のモニターは呼吸回路の圧力、ガスの流量だけを見ているが、カプノグラムは生体からの情報をみているので、ガス交換において、より生体側に近い変化と状況を反映している。このようにカプノメータは非常に優れたモニターであることが認識され、すでに手術室ではほぼ全室に配備されている。本学会の指針<sup>1)</sup>でもカプノメータの使用を推奨している。しかしICUや一般病棟ではカプノメータの普及は十分とはいえない<sup>7)</sup>のが現状である。

## VII. その他のモニタリング

従来、気道内圧、換気量、EtCO<sub>2</sub>などの数値データ、そしてグラフィックモニタ、カプノグラムなどの波形をみてきた。しかし、すでに述べたように、現場の医療者はこれらの数値と波形を統合して状況判断しており、さらにそれだけではなく、患者の胸の動き、呼吸パターン、皮膚の色、さらにはカフ漏れなどの異音にも気付いてきた。最近、画像認識、処理技術は飛躍的に進歩している。このような新しい技術を呼吸管理にも活かせれば、安全性の向上にも繋がるものと考えられる。

## VIII. おわりに

昨今、自動車の自動運転システムが現実のものにな

りつつある。これは多数のデータをもとに自動運転プログラムが作動しているからに他ならない。人工呼吸管理においても、「人工呼吸管理・診療支援システム」が開発され、より安全な呼吸管理に繋がることが期待される。

本稿の著者には規定された COI はない。

#### 参考文献

- 1) 日本呼吸療法医学会人工呼吸管理安全対策委員会：人工呼吸器安全使用のための指針第2版。人工呼吸。2011；28：210-25.
- 2) 日本呼吸療法医学会人工呼吸管理安全対策委員会：「委員会報告」人工呼吸器の突然の動作停止事例2013年。人工呼吸。2014；31：204-8.
- 3) Evans RS, Johnson KV, Flint VB, et al : Enhanced notification of critical ventilator events. J Am Med Inform Assoc. 2005；12：589-95.
- 4) Maruyama K, Morohashi S, Fukakura Y, et al : Preliminary development and evaluation of the support system for care of mechanically ventilated patients. Br J Anaesth. 2014；113：491-500.
- 5) 磨田 裕：現場の期待するより使いやすく賢いアラームとは。クリニカルエンジニアリング。2008；19：59-62.
- 6) Westenskow DR, Orr JA, Simon FH, et al : Intelligent alarms reduce anesthesiologist's response time to critical faults. Anesthesiology. 1992；77：1074-9.
- 7) Erasmus PD : The use of end-tidal carbon dioxide monitoring to confirm endotracheal tube placement in adult and paediatric intensive care units in Australia and New Zealand. Anaesth Intensive Care. 2004；32：672-5.