

呼気ポートの種類が在宅用人工呼吸器の換気量表示値に及ぼす影響

木村政義[†]・磯本泰輔

KEY WORDS 在宅用人工呼吸器, 呼気ポート, 呼気一回換気量

I はじめに

近年、在宅人工呼吸療法において、気管切開下陽圧換気（tracheostomy positive pressure ventilation : TPPV）と非侵襲的陽圧換気（noninvasive positive pressure ventilation : NPPV）の双方に対応可能な人工呼吸器の普及が進んでいる。これに伴い、呼気ポート付き人工呼吸器回路（以下、呼気ポート回路）の使用が増加している。呼気ポート回路はシングル回路であり、呼気弁を用いる回路より簡素化が可能である。この回路は意図的なリークが前提となっており、吸気時にはこのリーク量を上回る流量を供給することで気道内圧を維持し、呼気は呼気ポートを通じて排出される。呼気ポート回路を使用する場合でも、多くの在宅用人工呼吸器には呼気一回換気量を表示する機能が備わっている。しかし、呼気ポートと人工呼吸器回路が一体化された製品は限られており、多様な種類の呼気ポートがさまざまな回路と組み合わせて使用されているのが現状である。これまでに、呼気ポートが人工呼吸器に表示される呼気一回換気量に影響を与えることが報告されており¹⁾、人工呼吸器と呼気ポートの組み合わせによっては、その測定が不正確になる恐れがある。よって今回、在宅用人工呼吸器に表示される呼気一回換気量が、呼気ポートの種類によってどのような影響を受けるのかを検証した。

II 対象・方法

1. 対象

在宅用人工呼吸器はTrilogy Evo（Royal Philips、オランダ；以下、EVO）、Vivo45LS（Breas Medical AB、スウェーデン；以下、Vivo45）、クリーンエアAstral（ResMed Inc、米国；以下、Astral）の3機種を用いた。呼気ポートはディスプレイエクステンションポートWS



① Philips ② ResMed ③ CHEST

図1 各社呼気ポートの外観とポートの形状

①はTrilogy Evo、②はクリーンエアAstral純正品、③はVivo45LSの純正品である。

（Royal Philips、オランダ；以下、Philips）、リークポート（開放弁付）（ResMed、米国；以下、ResMed）、汎用リークポートアセンブリ（Hsiner、台湾；以下、CHEST）の3種類を用いた（図1）。流量と換気量の測定には、フローアナライザPF-300（IMT Analytics、スイス；以下、フローアナライザ）を用いた。

2. 測定方法

実験システムを図2に示す。人工呼吸器、呼気ポート、フローアナライザ、テスト肺の順に接続した。テスト肺はLung Ventilator Performance Analyzer（BOC Medical、英国）を用い、成人健常肺を想定してテスト肺のコンプライアンスを50mL/cmH₂O、抵抗を5cmH₂O/L/分に設定した。

1) 各呼気ポートにおけるリーク特性の評価

Vivo45にてCPAPモードに設定。圧設定を4から20 cmH₂Oまで2cmH₂O刻みで増加させ、フローアナライザにより回路内の流量を測定し、この結果を各呼気ポートのリーク流量特性とした。

呼気ポートの種類が在宅用人工呼吸器の換気量表示値に及ぼす影響

2) 人工呼吸器呼気一回換気量表示値誤差率の算出

各人工呼吸器においてPressure control (PC) モード、PC圧 15cmH₂O、PEEP 5cmH₂O、換気回数10回/分、吸気時間1.0秒に設定し、作動開始から10呼吸以上経過した後にデータを取得した。表示される呼気一回換気量およびフローアナライザで実測された換気量を、それぞれ30呼吸分記録し平均値を算出した。なお、フローアナライザは10呼吸ごとに校正を行った。誤差率は、(表示値-実測値)/実測値×100の式で算出した(図2)。

Ⅲ 結果

1. 各呼気ポートのリーク特性

単回帰分析を行い、直線性が確認できた。PhilipsおよびResMedの呼気ポートは高いリーク量が認められた。一方、CHESTの呼気ポートでは比較的低いリーク量が示された(図3)。

2. 呼気一回換気量表示値の誤差率

全条件における呼気一回換気量の実測値は、300~311 mLでほぼ一定であった。しかし、人工呼吸器の呼気一

回換気量表示値にはばらつきが見られ、266~376mLの範囲であった。

1) EVO

純正のPhilips呼気ポートとの組み合わせでは、表示値は実測値とほぼ一致した。しかし、純正品以外の呼気ポートを用いた場合、表示値は実測値より10%以上少なく表示された。

2) Astral

純正のResMed呼気ポートおよびCHEST呼気ポートとの組み合わせでは、表示値は実測値より多く表示されたが、いずれも誤差は5%以内に収まっていた。一方、Philips呼気ポートを用いた場合は、表示値は実測値より20%以上多くなった。

3) Vivo45

純正のCHEST呼気ポートとの組み合わせでは、表示値は実測値より少なくなったが、その誤差は10%以内であった。一方で、Philips呼気ポートを用いた場合は、表示値は実測値より10%以上多くなり、ResMed呼気ポートを用いた場合は、逆に10%以上少なくなった(図4)。

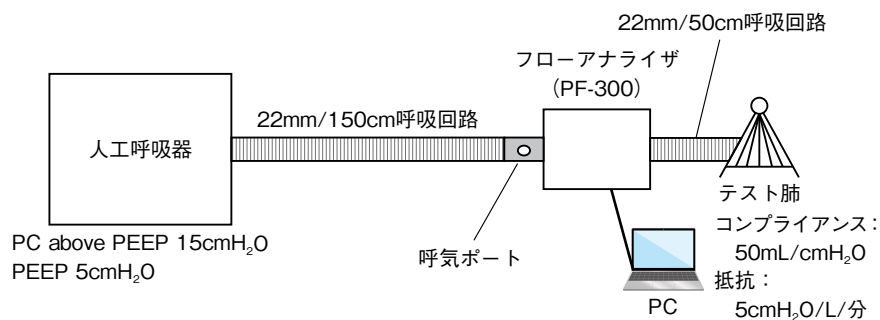


図2 換気量測定回路

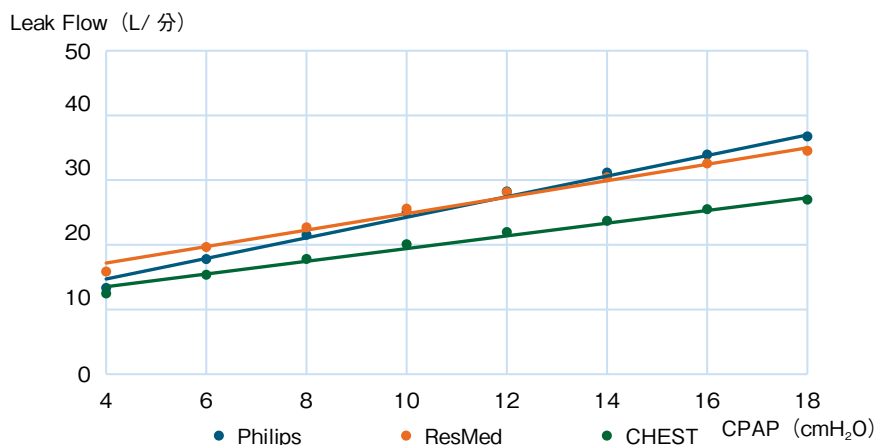


図3 各呼気ポートのリーク特性

各直線は線形回帰曲線であることが確認できた。

呼気ポートの種類が在宅用人工呼吸器の換気量表示値に及ぼす影響

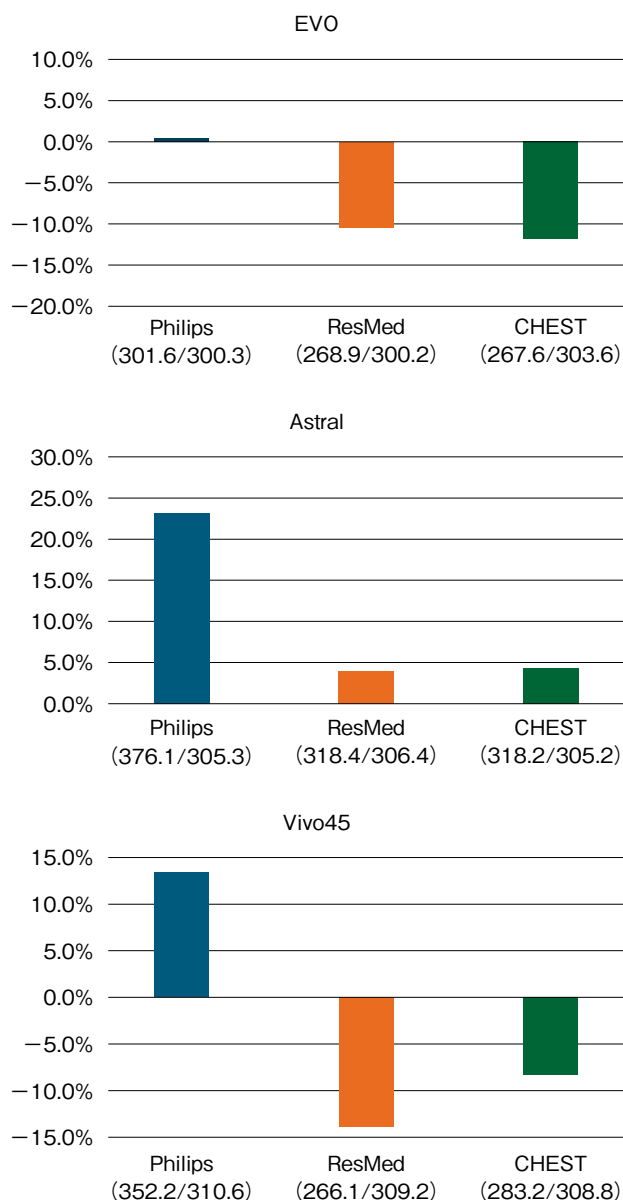


図4 呼気一回換気量モニタリング値の誤差率

呼気ポートの種類の下括弧は30呼吸分の呼気一回換気量の平均値を示す(単位mL)。

(人工呼吸器モニタリング値/フローアナライザ測定値)

IV 考察

呼気ポートを使用する場合、人工呼吸器はリーク補正機能を作動させながら換気を行っている。呼気一回換気量の表示値は、人工呼吸器内部で直接測定することができず、在宅環境では口元にフローセンサを装着することも好まれない。このため、人工呼吸器では回路内圧、内部で測定される流量、回路コンプライアンス、回路抵抗、リーク量などのパラメータを用いて呼気一回換気量を推定・算出しているとされている²⁾。回路コンプライアンス

スおよび回路抵抗の測定は、呼気ポートを取り外した状態で行う使用前テストによって得られるため、これらの要素に関しては呼気ポートの種類の影響は受けない。一方、呼気ポートの種類が人工呼吸器の換気量測定に与える影響は、主としてリーク量の違いによると考えられる。

EVOおよびAstralでは、それぞれ純正の呼気ポートを使用した場合において、呼気一回換気量の表示値と実測値の誤差率が5%未満と最も小さく、算出精度が高かった。これは、各人工呼吸器が純正の呼気ポートを前提に設計されており、当該ポートのリーク特性に関する情報があらかじめ内部アルゴリズムに組み込まれているためと推察される。一方で、PhilipsとResMedの呼気ポート間ではリーク量に大きな差がないにもかかわらず、使用する人工呼吸器によって換気量算出精度に大きな違いが生じた。とくに、Philipsの呼気ポートは他の製品と比較して異なる誤差傾向を示した。Philips製呼気ポートは円周型の孔からガスを排出する構造を有しており、この形状が換気量の算出に影響を及ぼしている可能性も考えられるが、人工呼吸器内部の換気量算出アルゴリズムが公開されていないため、詳細な原因の特定には至っていない。

実際と異なる呼気一回換気量表示をもとに人工呼吸器の設定を行うことで、低換気または過換気のリスクが生じる可能性がある¹⁾。よって、在宅用人工呼吸器を安全かつ適正に使用するためには、呼気ポートは原則として人工呼吸器メーカーが推奨する純正品を使用することが望ましい。やむを得ず他社製の呼気ポートを使用する場合には、表示値の誤差を十分に把握したうえで、患者の状態を慎重に観察しながら使用する必要がある。

V 結語

在宅用人工呼吸器において呼気ポートの種類は、呼気一回換気量の算出精度に大きな影響を与える。

本稿のすべての著者には規定されたCOIはない。

参考文献

- 1) 濱坂秀一, 田上敦朗: 呼気ポートのインテンショナルリークが人工呼吸器の換気性能に与える影響. 医科器械学. 2023; 93: 711-4.
- 2) Manel L, Cristina L, Begüm E: Basic concepts for tidal volume and leakage estimation in non-invasive ventilation. Turk Thorac J. 2019; 20: 140-6.