

●短 報●

BiPAP Vision[®]におけるヘルメット型マスク(CaSter “R”)を用いた際の 圧モニター位置と呼気ポートについての検討

吉岡 淳¹⁾・小田真也²⁾・中根正樹^{2,3)}・川前金幸²⁾

キーワード：ヘルメット型マスク，圧モニター位置，呼気ポート，同期性，リーク量，換気効率

はじめに

近年、慢性閉塞性肺疾患 (chronic obstructive pulmonary disease : COPD) や心原性の呼吸不全などに対して、非侵襲的陽圧換気 (noninvasive positive pressure ventilation : NPPV) が普及し¹⁾、新しいインターフェイスマスクとしてヘルメット型マスク (Starmed, Mirandola, Italy) が検討されている^{2,3)}。しかし反面では、フード内の騒音⁴⁾、フードの高コンプライアンスによる自発呼吸開始の認識の遅延、大きなフード内容量による再呼吸²⁾ が問題視されている。これらは、呼気終末陽圧 (positive end-expiratory pressure : PEEP) やトリガー感度の設定、呼気ポートからのリーク量を調節することで改善されると考えられているが⁵⁾、中でも人工呼吸器 BiPAP Vision[®] (Philips-Respironics, USA) で NPPV を行う際は、ミストリガー発生と呼気ポートリーク量不足による呼気再呼吸が懸念されている^{2,6)}。そこで今回、ヘルメット型マスクの呼気ポートリーク量と BiPAP Vision[®] の圧モニター位置が同期性や換気効率に与える影響について検討した。

1. 対象と方法

1. 対象

自発呼吸肺シミュレーター LUNGOO (エア・ウォーター防災社製) を接続した顔型人形を対象とした (図

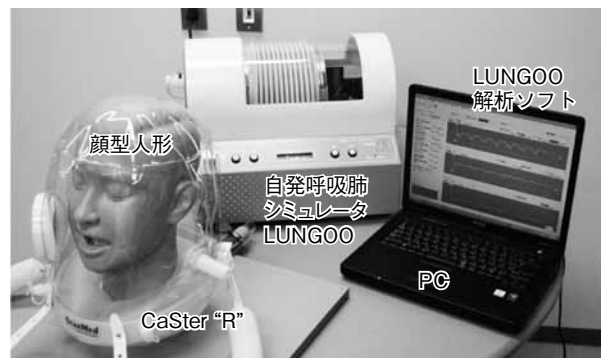


図1 自発呼吸肺シミュレーター LUNGOO と顔型人形

1)。LUNGOO とは、肺の換気運動モデルから制御理論を組み立てて作られた自発呼吸シミュレーター⁷⁾ である。顔型人形はオリジナル (特注品) で、ガラスマット土台のエポキシ系樹脂製である。口腔から気管にかけて空洞 (内径 18~22mm) になっており、気管チューブやテストラングを装着できるようになっている。ヘルメット型マスクは NIV 用の CaSter “R”、サイズ M、人工呼吸器は BiPAP Vision[®] を使用した。

2. 測定方法

LUNGOO の設定を Pmus (呼吸筋発生圧) : 5、R (気道抵抗) : 5、C (コンプライアンス) : 80、F (呼吸回数) : 10 とし、健常肺を模擬した。LUNGOO に顔型人形を接続し、CaSter “R” を装着した。フード内の死腔を減らすために、インフレーター (オプション) を用いてネッククッションを膨らませ、ストラップにて CaSter “R” と顔型人形を固定した。この際、CaSter “R” のネックフレームの下端と顔型人形の固定台とのすき間を 1 cm 離すようにした。人工呼吸器に用いる回路は BiPAP Vision[®]

1) 山形大学医学部附属病院 臨床工学部

2) 山形大学 医学部 麻酔科学講座

3) 山形大学医学部附属病院 集中治療部

[受付日 : 2010 年 11 月 2 日 採択日 : 2011 年 8 月 8 日]

純正品の Disposable Invasive Circuit を使用した。

方法は、CaSter “R” の2つある人工呼吸回路接続口の一方に Disposable Invasive Circuit、他方に呼気ポートを接続した。また、ネッククッションを膨らませる密閉ポートを利用して圧力測定用チューブを作製し、ヘルメット内圧をモニターした。BiPAP Vision[®]においては、呼吸器回路の一つである Proximal pressure line (圧モニター) からの圧情報によって自発呼吸を感知するポイントが変化することを推測して、圧モニター位置を CaSter “R” 側 (ヘルメット型マスクの人工呼吸回路接続口と Disposable Invasive Circuit の間)、または Vision[®]側 (BiPAP Vision[®]本体の吸気出口) に設置した場合における自発呼吸のミストリガーの回数を測定し同期性の検討を行った。また、呼気ポートは、市販の専用呼気ポート (穴の直径4 mm) と、リーク穴の大きなリユーザブルコネクタ 900MR406 (穴の直径7 mm) を使用し、穴の大きさの違いによるリーク発生量の検討を行った (図2)。

3. 測定項目

BiPAP Vision[®]の設定はS/Tモードとし、IPAP (inspiratory positive airway pressure) : 10、15、20cmH₂O、EPAP (expiratory positive airway pressure) : 5 cmH₂O (一定) とした。S/Tモードでの呼吸回数を4回/minと最低にし、プレッシャーサポート (pressure support : PS=IPAP-EPAP) 圧を5、10、15cmH₂Oに変化させたときの各種パラメーター (LUNGGOO専用ソフト: PHP <最高ヘルメット内圧>、Palv <肺内圧力>、F <呼吸回数>、

Vt <1回換気量> / Vision[®]本体画面 : PIP <最高気道内圧>、リーク量) を比較した。

II. 結 果

圧モニター位置を Vision[®]側におく方が、ミストリガーが少なく同期性が良好であった。また、圧モニター位置を CaSter “R” 側におくとミストリガーが増加し、高いPSほど、リーク穴が大きい呼気ポートほど、ミストリガーが増加した (図3)。市販の専用呼気ポート

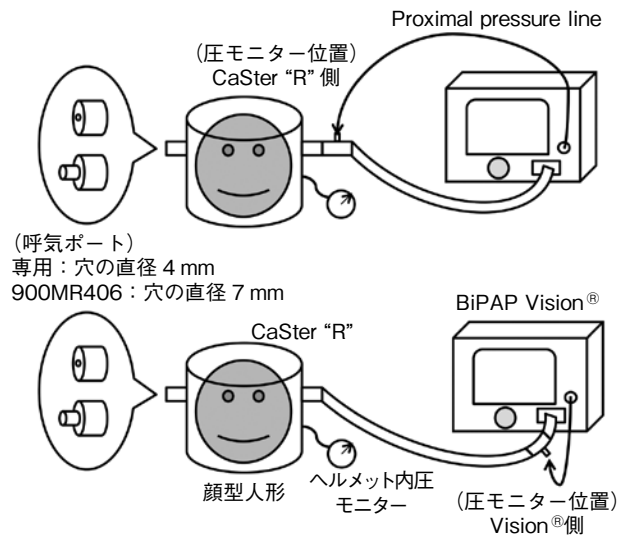


図2 測定方法

Proximal pressure line (圧モニター) 位置 (CaSter “R” 側、Vision[®]側) と、呼気ポート (専用ポート、900MR406 コネクタ) のおのおのを変えた4通りについて、各種パラメーターを比較検討した。

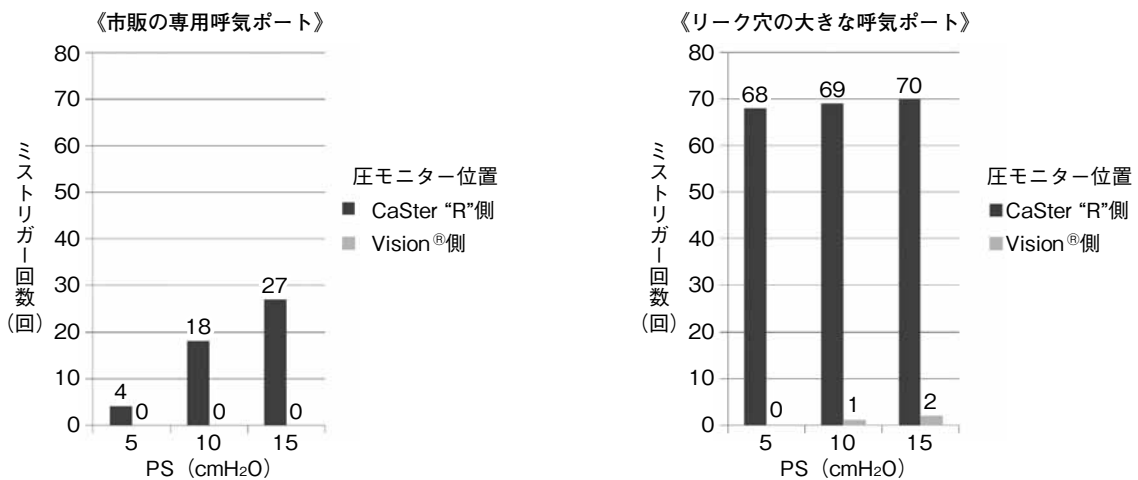


図3 圧モニター位置によるミストリガー回数

LUNGGOO で、呼吸回数 : 10 回 /min の自発呼吸をさせる。
PS を 5、10、15cmH₂O と変化させて、10 分間で計 100 呼吸中におけるミストリガー回数を比較した (1 分間で 10 回を超えるものをミストリガーとした)。

表1 各ポートにおける PIP、PHP、Palv、Vt、リーク量の比較

リーク穴の大きな呼気ポートは、専用の呼気ポートと比べて圧の保持、換気量の維持が困難であった。

また、圧モニター位置をヘルメットから離す（Vision[®]側）ほど、PHP、Palv、換気量の低減が大きくなった。

| | | PIP (cmH ₂ O) 最高気道内圧 | | PHP (cmH ₂ O) 最高ヘルメット内圧 | | Palv (cmH ₂ O) 肺内圧力 | | Vt (mL) 1回換気量 | | リーク量 (L/min) | |
|----------------------------|----------------------------|------------------------------------|-------------|---------------------------------------|-------------|-----------------------------------|-------------|------------------|-------------|-----------------|-------------|
| | | 専用 ポート | リーク大 ポート | 専用 ポート | リーク大 ポート | 専用 ポート | リーク大 ポート | 専用 ポート | リーク大 ポート | 専用 ポート | リーク大 ポート |
| EPAP : 5cmH ₂ O | | | | | | | | | | | |
| CaSter "R" 側 | PS 5 cmH ₂ O | 10 | 10 | 11 | 10.2 | 9.6 | 6.5 | 370 | 300 | 23 | 45 |
| | PS 10cmH ₂ O | 15 | 15 | 16.2 | 13 | 13.6 | 10 | 680 | 400 | 23 | 62 |
| | PS 15cmH ₂ O | 20 | 20 | 20.6 | 16.8 | 17.3 | 15 | 980 | 780 | 24 | 80 |
| Vision [®] 側 | PS 5 cmH ₂ O | 10 | 10 | 9.8 | 6.6 | 9.5 | 5.5 | 370 | 250 | 23 | 42 |
| | PS 10cmH ₂ O | 15 | 15 | 14.5 | 9.8 | 13.5 | 8.8 | 650 | 350 | 24 | 59 |
| | PS 15cmH ₂ O | 20 | 20 | 19.2 | 14.8 | 17.1 | 12.3 | 980 | 550 | 24 | 77 |

PIP : peak inspiratory pressure, PHP : peak helmet pressure, Palv : alveolar pressure, Vt : tidal volume

は、圧力の保持に優れ、圧モニター位置やPSの変化においても、リーク量を一定に維持していた。一方で、リーク穴の大きい呼気ポートでは、Vision[®]本体画面の最高気道内圧は設定どおりの圧を示すが、ヘルメット内圧、肺内（肺胞）圧力は低下し、換気量が減少した。また、リーク穴の大きな呼気ポートは、PSを高くしていくとリーク量も増加した（表1）。

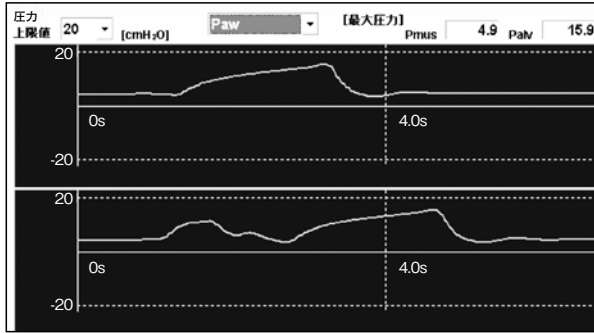
Ⅲ. 考 察

本研究では、BiPAP Vision[®]でヘルメット型マスクを用いて人工呼吸を行う場合、圧モニター位置をVision[®]側とする方が、ミストリガーが少ないことが示された。また、ヘルメット型マスクによる呼気CO₂の再呼吸を防ぐために呼気ポートのリーク量を増大させた場合には、ヘルメット内圧が低下することでサポート圧が低下し、一回換気量が減少することが示唆された。

BiPAP Vision[®]では、患者の吸気努力を本体吸気口に内蔵している流量センサーで感知し、トリガーしている。Proximal pressure lineは単なる圧モニターであり、圧モニター自体にトリガー感知機能は存在しない。しかし、圧モニターから得たIPAPやEPAPの設定圧になるように流量を調整しているのが流量センサーである。例えば、圧モニター位置がBiPAP Vision[®]から遠くなれば回路抵抗に打ち勝つためにフローを増

加する必要がある、この圧モニター位置の違いによってベースフローが増減する。よって、フロー設定ができないBiPAP Vision[®]でも、圧モニター位置の違いによって起こるフロー変化が、トリガーを感知している流量センサーに影響をして、自発呼吸のトリガーポイントや感度を変化させているものと思われる。

圧モニター位置をヘルメットに近いCaSter "R" 側におき、なおかつリーク穴の大きい呼気ポートを使用した場合、ミストリガーが多発する傾向にあった。第一の要因は、BiPAP Vision[®]特有のトリガー感度アルゴリズム（患者の呼吸を継続して追跡し、呼吸パターンや患者リークの変化に合わせて自動的にトリガー感度閾値を調整する機能）の一つであるフローリバーサル（IPAP to EPAP）が影響しているものと考えられた。フローリバーサルとは、IPAP時に大量のリークを感知した場合に、自動的にIPAPからEPAPへ移る安全機構である。圧モニター位置をCaSter "R" 側におくと、呼気ポートとフロー測定に関与している圧モニターが近いために、呼気ポートからの大量リークを鋭敏に感知し、自動的に吸気（IPAP）を終了し、呼気（EPAP）へと移ってしまうものと考えられた。そして、呼気へと移った後もLUNGGOO自体はまだ自発吸気が続いているため、再度IPAPをトリガーしてしまう（図4）。このIPAP to EPAP to IPAPが連続することによって、

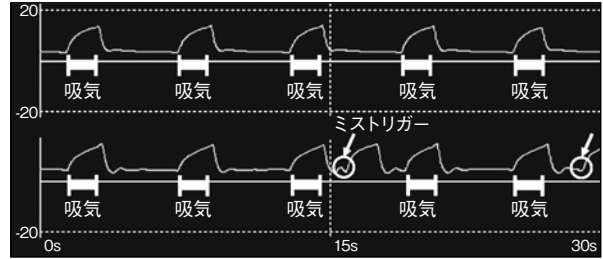


④ 通常の気道内圧波形
 ⑤ フローリバーサル (IPAP to EPAP to IPAP) が発生した時のミストリガー波形

図4 フローリバーサル発生時の気道内圧波形

呼吸回数 (= ミストリガー) が増えたものと考えられた。このことは、従来の安全機構としての役割を持っているトリガー感度アルゴリズムがヘルメット型マスク使用時には裏目に出てしまうことにもなる。第二の要因として、ヘルメットのフードが膨張、収縮することで起こる振動が考えられた。従来の口・鼻といったポリカーボネイト製のインターフェイスマスクは低コンプライアンスなため、圧力変化においてもマスク自体の伸縮はない。しかし、高コンプライアンスであるヘルメット型マスクは、吸気相 (IPAP) と呼気相 (EPAP) とでフードに伸び、縮みが生じてしまう。特に吸気から呼気への転換時は呼気ポートからのフローリークも重なりヘルメット内圧が急激に低下するため BiPAP Vision[®] がフローを一時的に多く流してターゲット圧を調整する。この時のフロー変化がヘルメットに振動を与えてしまい、圧モニター位置がヘルメットに近いと振動をとらえて図5のような気道内圧波形上の呼気相に波状となって現れていた。この波状部分を吸気と誤認し、結果的に呼吸回数が増えてしまったものと考えられた。全体的には、後者が原因と考えられるミストリガーが多く認められた。

ヘルメット型マスクによる BiPAP Vision[®] 使用時には、快適性と呼気 CO₂ の再呼吸を考えた場合には、呼気ポートからのリーク量を増やすことが有効である⁶⁾との報告がある。今回の2種類の呼気ポートの選択は、付属の専用ポートと、もう1つは秋元らと合同研究をしたヘルメット型インターフェイスにおける呼気ポートリーク量の検討⁶⁾より、ヘルメット内のガスが wash out され再呼吸される二酸化炭素が最も少ないと思わ



④ Vision[®]側 に圧モニターをおいた場合：トリガー正常
 ⑤ CaSter “R”側 に圧モニターをおいた場合：ミストリガー多発

図5 代表的なモデル肺における気道内圧波形

LUNG00 専用ソフトからみた気道内圧波形 (airway pressure : Paw) の一例。
 圧モニター位置を、Vision[®]側と CaSter “R” 側にした場合のトリガー回数の違い。
 圧モニター位置が CaSter “R” 側の時にミストリガーが発生している。

(PS : 15cmH₂O、リーク大ポート使用時)

れるリーク穴の大きな呼気ポート (リユーザブルコネクタ 900MR406) を選んだ。しかし、リーク穴の大きな呼気ポートを使用した場合、リーク量の増大によってヘルメット内圧の保持が困難になり、一回換気量の減少を引き起こしてしまう可能性があった。

そこで、ヘルメット内圧、肺内圧力以外の圧力変化を見るために、顔型人形の口元から LUNG00 手前の気道内圧 (airway pressure : Paw) を LUNG00 専用ソフトより計測した。そして、Vision[®] 本体画面の EPAP、IPAP 圧波形と顔型人形の気道内圧波形とを比較した。すると、専用呼気ポート使用時は、圧モニター位置や PS を変化させても EPAP、IPAP 圧波形と気道内圧波形は一致していた。一方で、リーク穴が大きい呼気ポート使用時には、EPAP、IPAP 圧波形に変化は見られなかったが顔型人形の気道内圧波形に変化が見られた。まず、Vision[®] で設定した EPAP (5 cmH₂O) にあたる PEEP 値はいずれの測定においても維持されていた。しかし、IPAP 設定にあたる気道内圧波形の PIP 値に関しては圧モニター位置が CaSter “R” 側、Vision[®] 側とで IPAP : 10cmH₂O → PIP : 9.8 [6] cmH₂O、IPAP : 15cmH₂O → PIP : 12.5 [9.5] cmH₂O、IPAP : 20cmH₂O → PIP : 16.3 [14.3] cmH₂O となった ([] 内は圧モニター位置が Vision[®] 側)。これは、表1のリーク大ポートにおける最高ヘルメット内圧と同様の傾向を示し、気道内圧は Vision[®] で設定した IPAP 値まで圧力を得られていなかった。このことから、今回の呼気ポート

や圧モニター位置の変更による換気量の減少は、必要なPS圧が得られていないことが原因であると考えられた。

以上より、BiPAP Vision[®]でヘルメット型マスクを用いた際は、モニター位置をVision[®]側に置いて同期性を高め、同時に呼気再呼吸防止や快適性の向上を求めて呼気ポートからのリーク量を増やした場合は、圧力低下による換気量の減少が予想されるため、Vision[®]側でのIPAP設定値をある程度上乘せして十分なPSを得ることで、一回換気量を補うような設定方法が必要になるかもしれない。

人工呼吸器機種や、人工呼吸器のモード設定、LUNGOO設定により、同調性やリーク量に差があるか、また拘束性・閉塞性肺疾患モデルなどで影響はあるかどうかなど今後の検討が必要である。

結 語

CaSter “R”は圧モニター位置をVision[®]側におくことで、ミストリガーを低減させることができる。また、ヘルメット型マスクを用いた際の、呼気再呼吸防止や快適性の向上を求めて呼気ポートからのリーク量を増やす場合には、圧力低下による換気量の減少に注意する必要がある。

本稿の要旨は第32回日本呼吸療法医学会学術総会(2010年7月、東京)において報告した。

参考文献

- 1) 石原英樹：COPD・気管支喘息に対するNPPV療法。人工呼吸。2009；26：20-27.
- 2) 小田真也，篠崎克洋，高岡誠司ほか：非侵襲的陽圧換気における新しいインターフェイス“ヘルメット”の使用経験—吸気同調性の検討—。人工呼吸。2009；26：75-79.
- 3) 鳥谷部陽一郎，入江 仁，太田正文ほか：ヘルメット型マスク(CaSter R)の使用経験。人工呼吸。2009；26：84-85.
- 4) 円山啓司，佐藤ワカナ，重臣宗伯ほか：ヘルメット型マスクを用いたnoninvasive positive pressure ventilationの使用経験。日集中医誌。2009；16：497-498.
- 5) Cavaliere F, Conti G, Costa R, et al: Exposure to noise during continuous positive airway pressure: influence of interfaces and delivery systems. Acta Anaesthesiol Scand. 2008；52：52-56.
- 6) 秋元 亮，岩淵雅洋，中根正樹ほか：ヘルメット型インターフェイス(CaSter RTM)における呼気ポートリーク量の検討。日本呼吸療法医学会会誌。2010；Suppl：176.
- 7) 吉岡 淳，鈴木明日美，小田真也ほか：非線形コンプライアンス設定が可能な肺シミュレーターを使用した，人工呼吸器の教育分野における可能性と発展への検討。人工呼吸。2008；25：227.