

●短 報●

## 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—

小田真也<sup>1)</sup>・篠崎克洋<sup>2)</sup>・高岡誠司<sup>2)</sup>・伊関 憲<sup>3)</sup>・川前金幸<sup>2) 3)</sup>

キーワード：NPPV，インターフェイス，ヘルメット，人工呼吸器との同期，CO<sub>2</sub>再呼吸

### はじめに

非侵襲的陽圧換気（noninvasive positive pressure ventilation, NPPV）は、慢性閉塞性肺疾患（Chronic Obstructive Pulmonary Disease, COPD）の急性増悪や、心原性の呼吸不全などに対して、気管挿管を回避して肺合併症を軽減する等その効果が確認されており<sup>1～3)</sup>、急性・慢性の呼吸障害に対しその適応が拡大している。NPPVでは、マスクなどのインターフェイスを通じて上気道を介して気道に陽圧をかけるため、インターフェイスの選択が成否に大きく関係する。現在NPPVインターフェイスとしてフルフェイスマスクやトータルフェイスマスクが使用されており、その材質や形状の改良によってその有用性は飛躍的に向上している<sup>4～6)</sup>。しかしマスクによる顔面の不快感や接着部位の皮膚損傷等、インターフェイス自体の問題によりNPPVを断念し、気管挿管による人工呼吸へと移行する割合は少なくない<sup>7, 8)</sup>。

最近新たなNPPVインターフェイスとして頭から首まで全体を覆う形の“ヘルメット”が開発され、ヨーロッパを中心に有用性が検討されている<sup>9, 10)</sup>。ヘルメットは透明な円筒形フードでできており、頸部にはエアリークを防ぐカフが付属している。顔面に接する部分がないため頸から上の自由度が増し、また頭から被るだけなのでフィッティングが容易になるなどフェイスマスクの欠点を解消するものとして注目されている。しかし、加圧時の膨張性や大きなフード内容量と

いった従来のインターフェイスにはない構造上の特徴により、人工呼吸器との同調性、再呼吸が問題となると考えられる。今回、成人ボランティアを対象に、ヘルメット使用時の人工呼吸器と自発吸気との同調性を、既存のフルフェイスマスクと比較し検討した。

### 対象と方法

成人ボランティア1名を対象とした。ヘルメットはCastar™（Starmed, Mirandola, Italy）Mサイズを使用した（図1-a）。Castar™は透明なポリ塩化ビニール製で、2つの人工呼吸器回路接続口（図1-a A）と安全弁（同B）が付属している。フード内の頭上部と頸部にカフが付属しており（同C）、それを膨らませることでエアリークを防止するとともにフード内の死腔を減らすことが可能となっている。測定時には体幹

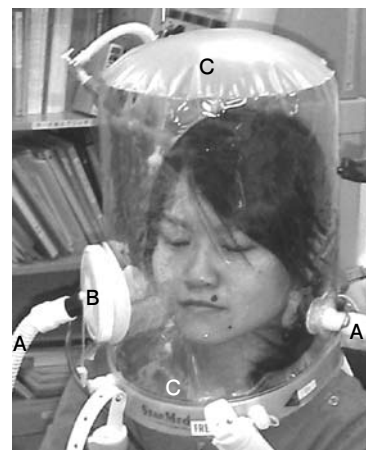


図1-a ヘルメット Castar™（Starmed®）

A：人工呼吸器回路接続口、B：安全弁、C：固定用カフ

<sup>1)</sup> 山形大学医学部附属病院集中治療部

<sup>2)</sup> 同 麻酔科, <sup>3)</sup> 同 救急部



図 1-b フルフェイスマスク (Vital sign®)

固定用のストラップを装着した。マスクは麻酔用フルフェイスマスク (Vital signs, totowa, NJ, USA) (図 1-b) を使用し、ヘッドストラップで固定して測定した。人工呼吸器は PuritanBennett (PB) 840™ (Puritan-Bennett, Carlsbad, CA, USA) を使用した。

方法は被験者の口元に圧力測定用チューブを設置して口元の圧をモニターし、更にマスク、ヘルメット各インターフェイスの人工呼吸器回路吸入側でベンチレーターからの吸気流速をモニターした。これらの測定をガスアナライザー PTS-2000™ (Puritan-Bennett, Carlsbad, CA, USA) (サンプリングレイト: 1 サンプル / 10ms) で行い、吸気流速、口元の圧波形を専用ソフトウェアによりコンピューター上でリアルタイムにグラフィック波形として描出した。またサンプリングポート付き鼻カニューレ Salter Style™ (Salter Labs, Arvin, CA, USA) を装着し、吸気呼気 CO<sub>2</sub> をサイドストリーム方式のカブノメーター AMG™ (Phillips, Andover, MA, USA) でモニターした。

インターフェイスを被検者に装着し、呼吸器設定を自発モードとしてモニター上の波形が安定するまで、1～2分程度座位にて安静呼吸とした。波形が安定したところで、時間軸を拡張し、一呼吸分を抽出してコンピューター上でグラフィックデータとして記録した (図 2)。PTS2000™ システムでは、圧、流速、容量を測定し、専用ソフトウェアによりそれらの経時波形をコンピューター上に描出する。この記録をもとに口元の圧が終末呼気陽圧 (positive end expiratory pressure, PEEP) より下がるポイント (吸気運動の開始: 図 2A) と吸気流速増加の開始 (人工呼吸器の吸気開始:

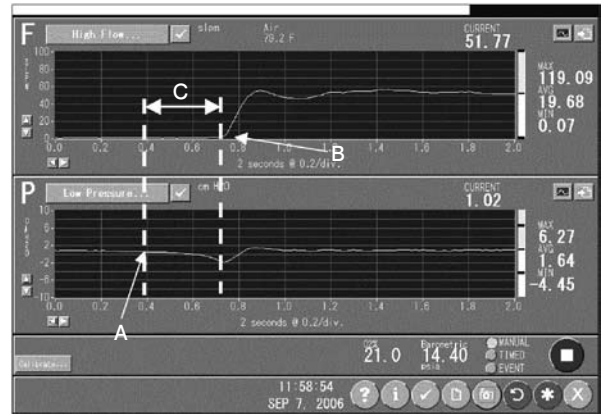


図 2 PTS2000™ モニター画面

A: 吸気運動の開始、B: 人工呼吸器の吸気開始、C: lag time

図 2B) を見つけ、その時間差を吸気の遅れ (lag time : 図 2C) としてグラフより算出した。この測定を圧トリガー、フロートリガーの感度をそれぞれ 1、3、5 cmH<sub>2</sub>O、1、3、5 L/min と変化させて行い、PEEP、プレッシャーサポート (pressure support, PS) 圧の設定 (それぞれ 0、3、5、8 cmH<sub>2</sub>O) の組み合わせを変えて、ヘルメット、マスクの lag time を計測した。吸気呼気 CO<sub>2</sub> 濃度はグラフ波形として記録した。全ての測定は被験者を座位にして行った。

## 結 果

### 1. 圧トリガー

吸気感知を圧トリガーとすると、ヘルメット使用では PEEP 0 cmH<sub>2</sub>O で吸気を感じせず、PEEP 3 cmH<sub>2</sub>O ではマスクと比べて lag time が延長、あるいは感度を 5 cmH<sub>2</sub>O と鈍くすると感知不能になった (表 1)。PEEP 5 cm 以上では感度を変化させても吸気を感じせず計測は不可能であった。

### 2. フロートリガー

吸気感知をフロートリガーとするとヘルメット使用では PEEP 0 cmH<sub>2</sub>O では吸気を感じせず、PEEP 3 cmH<sub>2</sub>O ではマスクに比べ、lag time が延長する傾向にあった。その傾向はトリガー感度を 1、3、5 L/min と変化させても同様であった (表 2)。PEEP 5、8 cmH<sub>2</sub>O ではトリガー感度 1 L/min でヘルメット使用時オートトリガーとなる傾向があった。感度 3L、5L/min では lag time はマスクとヘルメットでは同等だった (表 3)。

表1 圧トリガー下 lag time の比較

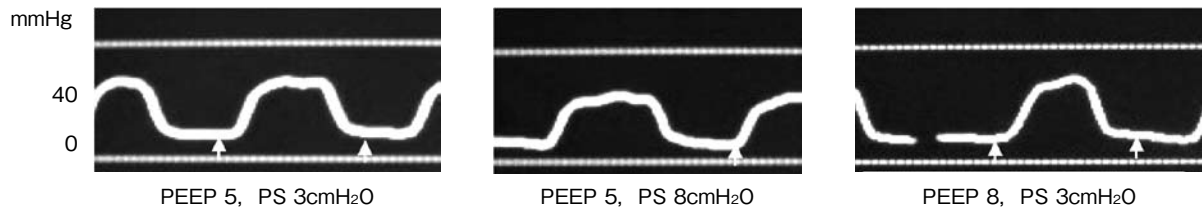
人工呼吸器設定			Lag time (sec)	
PEEP (cmH <sub>2</sub> O)	PS (cmH <sub>2</sub> O)	感度 (cmH <sub>2</sub> O)	マスク	ヘルメット
0	0	1, 3, 5	—	感知不能
3	0	1	0.24	0.35
		3	0.21	0.62
		5	0.26	感知不能

表2 フロートリガー、PEEP 0、3cmH<sub>2</sub>O下 lag time の比較

人工呼吸器設定			Lag time (sec)	
PEEP (cmH <sub>2</sub> O)	PS (cmH <sub>2</sub> O)	感度 (L/min)	マスク	ヘルメット
0	0	1, 3, 5	0.12 ~ 0.16	感知不能
3	0	1	0.06	0.14
		3	0.07	0.31
		5	0.13	0.47
3	3	1	0.09	0.30
		3	0.08	0.34
		5	0.15	0.38

表3 フロートリガー、PEEP 5、8cmH<sub>2</sub>O下 lag time の比較

人工呼吸器設定			Lag time (sec)	
PEEP (cmH <sub>2</sub> O)	PS (cmH <sub>2</sub> O)	感度 (L/min)	マスク	ヘルメット
5	3	1	0.07	オートトリガー
		3	0.08	0.06
5	5	1	—	オートトリガー
		3	0.07	0
		5	0.08	0.06
5	8	3	0.07	0.04
		5	0.11	0.11
8	3	3	0.07	0.06
		5	0.09	0.07
8	5	3	0.16	0
	8		—	0.17

図3 吸気呼気 CO<sub>2</sub> 濃度波形

### 3. 炭酸ガス濃度

炭酸ガス濃度測定では、ヘルメット使用で吸気時7～9 mmHgに上昇した（図3矢印）。吸気 CO<sub>2</sub> 濃度は PEEP、PS 圧の違いによる変化はみられなかった。

### 考 察

本研究では、ヘルメットによる NPPV によって、1) 圧トリガーでは、吸気を感じないか lag time が延長する、2) フロートリガーでは PEEP 0、3 cmH<sub>2</sub>O では lag time が延長、PEEP 5、8 cmH<sub>2</sub>O では吸気トリガーの同調性はマスク使用時と同等、3) PEEP、PS 圧に関わらず再呼吸する、という結果が得られた。

NPPV において圧支持換気 (pressure support ventilation, PSV) を行うためには、インターフェイス内に人工呼吸器の吸気感度設定に見合った陰圧、吸気流速が必要となる。しかしヘルメットは柔軟な素材でできており、385～826mL/cmH<sub>2</sub>O と高いコンプライアンスを有するため<sup>11)</sup>、有効な陰圧、吸気流速を作ることが困難となる。よって圧トリガーや低い PEEP 下のフロートリガーでは lag time の延長、若しくは感知不可になると考えられた。PEEP を 5 cmH<sub>2</sub>O 以上とし、フード内の圧力を高めに維持しコンプライアンスを低下させることで、フロートリガー下での lag time の短縮が可能となった。吸気トリガーの遅れに関しては Moerer らがモデル肺を使用し PSV 時のマスクとヘルメットを比較している<sup>12)</sup>。彼らの実験では、マスク使用に比べて有意に延長しているものの、PEEP 圧の上昇に伴い吸気トリガーの遅れは短縮しており、当研究の結果と一致している。さらに Moerer らは吸気トリガーの遅れに伴う呼吸仕事量を示す指標であるプレッシャータイムプロダクト (PTP) についても検討している。吸気感知が延長しているにもかかわらず、ヘルメットでは PTP が有意に低下していることが示されている。これはヘルメット自体がリザー

バーバッグの役割を果たし、吸気の追従性に寄与するためと説明されており、この現象は臨床でも有利に働く可能性があると考えしている。

またヘルメットでは PEEP の高い状態で、フロートリガー感度 1 L/min というやや鋭敏な感度設定ではオートトリガーする傾向にあった。これはフードが柔軟なために被検者の体動などによって、容易に内圧及び流速が変動し、それをトリガーが感知して吸気が開始されるためと考えられた。オートトリガーは患者の呼吸仕事量を増やす原因となり得るとされている<sup>13, 14)</sup>。よって人工呼吸器との同期のためには、PEEP をやや高めにし、トリガーが遅延しない程度に感度を鈍くする設定が有用であろうと推察される。

本研究では健康な被検者の座位での安静呼吸という、フード内圧、流速の変動が比較的少ない状態で行われている。実際の臨床応用では、患者の呼吸努力、呼吸回数さらに体位や環境などに合わせた、より厳密なトリガー感度、PEEP、PS 圧の設定が必要となると考えられた。

ヘルメット使用における再呼吸はより大きな問題として指摘されている<sup>13～15)</sup>。当研究でも、PEEP、PS に関わらず、吸気 CO<sub>2</sub> 濃度の上昇がみられた。これを回避するためには、50～60L/min 以上の定常流量が必要とされるため<sup>15, 16)</sup>、PSV でのヘルメットの使用においては不可避の現象といえる。従ってヘルメットを人工呼吸器による PSV に使用できるか否かは結論が出ていない。吸気トリガーの遅れを含めた人工呼吸器との同調性の悪さやオートトリガーによる仕事量の増加、そして再呼吸の大きさにより、PSV ではなく大量の定常流量を流せる High-flow CPAP (Continuous positive airway pressure、持続気道陽圧) 回路で使用すべきと結論づける報告もある<sup>13～15)</sup>。人工呼吸器機種や、人工呼吸器のモード設定により同調性や再呼吸量に差があるか、また時間的な経過による影響は

どうかなど今後の検討が必要である。

一方、ヘルメットの装着に関しては、マスクで問題となる顔面への圧迫感、皮膚損傷がなく、フィッティングが容易で馴染みのためのケアが不要になる等、患者にも治療者にも明らかな利点がある。その特徴を理解して使用することで、呼吸障害の管理上有用な選択肢の一つとなり得ると考えられた。

## 結 語

本研究により、ヘルメットをNPPVインターフェイスとして使用した場合、PEEPを高めに設定することで人工呼吸吸気との同調性を確保できる可能性が示唆された。但し本研究は健康なボランティア1名を対象にしたものであり、臨床においてのヘルメットの有用性については、今後の更なる検討が必要である。

本稿の要旨は第34回日本集中治療医学会学術集会で報告した。また兵庫医科大学・丸川征四郎教授より、御支援を頂いた。ここに深謝申し上げます。

## 参 考 文 献

- 1) Kramer N, Meyer TJ, Meharg J, et al : Randomized, prospective trial of noninvasive positive pressure ventilation in acute respiratory failure. *Am J Respir Crit Care Med* 151 : 1799-1806, 1995
- 2) Brochard L, Mancebo J, Wysocki M, et al : Noninvasive ventilation for acute exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease. *N Engl J Med* 333 : 817-822, 1995
- 3) Masip J, Betbese AJ, Paez J, et al : Non-invasive pressure support ventilation versus conventional oxygen therapy in acute cardiogenic pulmonary oedema : a randomised trial. *Lancet* 356 : 2126-2132, 2000
- 4) Schettino GPP, Tucci MR, Sousa R, et al : Mask mechanics and leak dynamics during noninvasive pressure support ventilation : a bench study. *Intensive Care Med* 27 : 1887-1891, 2001
- 5) Navalesi P, Fanfulla F, Frigerio P, et al : Physiologic evaluation of noninvasive mechanical ventilation delivered with three types of masks in patients with chronic hypercapnic respiratory failure. *Crit Care Med* 28 : 1785-1790, 2000
- 6) Kwok H, McCormack J, Cece R, et al : Controlled trial of oronasal versus nasal mask ventilation in the treatment of acute respiratory failure. *Crit Care Med* 31 : 468-473, 2003
- 7) Gregoretti C, Confalonieri M, Navalesi P, et al : Evaluation of patient skin breakdown and comfort with a new face mask for non-invasive ventilation : a multi-center study. *Intensive Care Med* 28 : 278-284, 2002
- 8) Moretti M, Cilione C, Tampieri A, et al : Incidence and causes of non-invasive mechanical ventilation failure after initial success. *Thorax* 55 : 819-825, 2000
- 9) Tonnelier JM, Prat G, Nowak E, et al : Noninvasive continuous positive airway pressure ventilation using a new helmet interface : a case-control prospective pilot study. *Intensive Care Med* 29 : 2077-2080, 2003
- 10) Principi T, Pantanetti S, Catani F, et al : Noninvasive continuous positive airway pressure delivered by helmet in hematological malignancy patients with hypoxemic acute respiratory failure. *Intensive Care Med* 30 : 147-150, 2004
- 11) Patroniti N, Saini M, Zanella A, et al : Danger of helmet continuous positive airway pressure during failure of fresh gas source supply. *Intensive Care Med* 33 : 153-157, 2007
- 12) Moerer O, Fischer S, Hartelt M, et al : Influence of two different interfaces for noninvasive ventilation compared to invasive ventilation on the mechanical properties and performance of a respiratory system : a lung model study. *Chest* 129 : 1424-1431, 2006
- 13) Racca F, Appendini L, Gregoretti C, et al : Effectiveness of mask and helmet interfaces to deliver noninvasive ventilation in a human model of resistive breathing. *J Appl Physiol* 99 : 1262-1271, 2005
- 14) Taccone P, Hess D, Caironi P, et al : Continuous positive airway pressure delivered with a "helmet" : effects on carbon dioxide rebreathing. *Crit Care Med* 32 : 2090-2096, 2004
- 15) Antonelli M, Pennisi MA, Pelosi P, et al : Noninvasive positive pressure ventilation using a helmet in patients with acute exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease. *Anesthesiology* 100 : 16-24, 2004
- 16) 丸川征四郎 : NPPVの新しい動向. *救急・集中治療* 17 : 87-91, 2005

