

●症例報告●

慢性閉塞性肺疾患に NAVA モードが有効であった 1 例

小山昌利¹⁾・長谷川隆一²⁾・横山俊樹³⁾・春田良雄¹⁾

キーワード：NAVA, トリガー Delay (delayed triggering), ミストリガー (ineffective triggering), 内因性 PEEP

要 旨

今回、著しい気流制限を伴う慢性閉塞性肺疾患 (chronic obstructive pulmonary disease : COPD) 症例に対し NAVA (neurally adjusted ventilatory assist : 神経調節換気) を使用することで、人工呼吸器のトリガーと患者の呼吸困難感が著明に改善した症例を経験したので報告する。

I. はじめに

慢性閉塞性肺疾患 (chronic obstructive pulmonary disease : COPD) における内因性 PEEP (positive end-expiratory pressure) の増加は人工呼吸器との同調不全である吸気開始相の不同調 (trigger asynchrony) を引き起こす原因の 1 つである。同調不全を改善させるための人工呼吸器の設定として、トリガー感度の調整、カウンター PEEP¹⁾ が有効な場合がある。しかし、トリガー感度調整や PEEP の調整によって改善が得られない場合人工呼吸管理に難渋する。今回、著明な内因性 PEEP による人工呼吸器のトリガー不良に対して横隔膜の興奮に伴う電気的信号をトリガーすることができ神経調節換気 (neurally adjusted ventilatory assist : NAVA) を用いたことで、トリガー Delay (delayed triggering)、ミストリガー (ineffective triggering) が改善し、さらにオーバーサポートも回避できた COPD の症例を経験したため報告する。

II. 症 例

患者：71 歳、男性。身長 160cm、体重 47kg。

既往歴：急性硬膜下血腫。COPD にて 4 年前より長期酸素療法 (Long term oxygen therapy : LTOT) を導入。5 年前には気胸の治療歴あり。

現病歴：入浴後に呼吸困難、チアノーゼが出現し自宅にて安静にしていた。その後夜間にトイレから戻ってきたところで、意識レベルの低下を認め救急要請となった。

来院時現症：血圧 157/85、脈拍 50bpm、体温 36.3℃、SpO₂ 100% (酸素 6L/分リザーバマスク)。呼吸数 20 回。

胸部単純 X 線画像：横隔膜低下し、平坦化を認めていた (Fig. 1-A)。

胸部 CT 画像：右肺の巨大なブラを認めた (Fig. 1-B)。

動脈血液ガス分析：pH 6.980、PaCO₂ 113mmHg、PaO₂ 156mmHg、HCO₃⁻ 25.4mmol/L と著明な呼吸性アシドーシスを認めた。

入院後経過：COPD 増悪と診断し救急外来にて非侵襲的陽圧換気 (noninvasive positive pressure ventilation : NPPV) を導入した。初期設定は Spontaneous/Timed (S/T) モードで吸気気道陽圧 (inspiratory positive air-

1) 公立陶生病院 臨床工学部

2) 元 筑波大学附属病院水戸地域医療教育センター／水戸協同病院 救急・集中治療科

現 獨協医科大学埼玉医療センター 集中治療科

3) 公立陶生病院 呼吸器・アレルギー疾患内科

[受付日：2018 年 1 月 9 日 採択日：2018 年 6 月 28 日]



Fig. 1-A Chest X ray ICU admission before



Fig. 1-B Computed tomography ICU admission before

way pressure : IPAP) 10cmH₂O、呼気気道陽圧 (expiratory positive airway pressure : EPAP) 6cmH₂O、呼吸数 25 回 / 分、FiO₂ 0.5 とし、同時にサルブタモール吸入、メチルプレドニゾン静注を行った。NPPV 導入後の血液ガス所見では pH 6.979、PaCO₂ 130mmHg、PaO₂ 80mmHg、HCO₃⁻ 29.0mmol/L と改善は乏しく、意識障害も認めため、挿管人工呼吸管理となった。集中治療室入室後、人工呼吸器を装着、設定は FiO₂ 0.4、吸気圧 20cmH₂O、PEEP 5cmH₂O、呼吸数 15 回 / 分にて血液ガス pH 7.429、PaCO₂ 32.5mmHg、PaO₂ 101mmHg、HCO₃⁻ 21.1mmol/L と改善、第 2 病日、意識レベルも改善したため、圧支持換気 (pressure support ventilation : PSV) FiO₂ 0.4、PS 8cmH₂O、PEEP 5cmH₂O へ変更した。PSV モードにて吸気開始相の不同調は時折認められたが、呼吸性アシドーシスの悪化なく経過。第 3 病日、循環動態も安定したため抜管し、抜管後の呼吸不全を防止する目的で直後から NPPV を導入した。NPPV は S/T モード、IPAP 10cmH₂O、EPAP 5cmH₂O、呼吸数 15 回 / 分、FiO₂ 0.5 の設定にて装着したが、呼吸困難出現したため IPAP 15cmH₂O へ変更し安定した。第 4 病日、再び呼吸困難増悪し、努力様呼吸、酸素化低下、去痰不全、吸気開始相の不同調の増加が認められたため、再挿管を行い再度人工呼吸管理となった。設定は PCV-SIMV モード、吸気圧 12cmH₂O、PEEP 8cmH₂O、PS 12cmH₂O、呼吸数 10 回 / 分、FiO₂ 0.5 とした。気管支鏡にて内腔を確認したところ、呼気時に膜様部側が可動し気道狭窄が著明に認める状態であったため、気管・気管支内腔の虚脱を防ぐ目的で一時的

に PEEP を 15cmH₂O へ増加しカウンター PEEP をかけて対応した。一過性に呼吸状態の改善を認めたものの、浅い鎮静で自発呼吸主体の人工呼吸管理へ移行すると発作的に努力呼吸となり、気流閉塞も著明で内因性 PEEP の増加によるミストリガーやトリガー Delay、二重トリガー (double triggering) といった同調不良が出現した。呼吸仕事量の増大、呼吸筋疲労に伴う換気量低下による二酸化炭素の貯留も認め、同時に酸素化も悪化するといった悪循環に陥り、適宜鎮静を必要とした。NAVA 導入前の設定は VCV-SIMV モード、一回換気量 420mL、PEEP 6cmH₂O、PS 13cmH₂O、呼吸数 10 回 / 分、FiO₂ 0.4 でカウンター PEEP や通常の流量トリガーの設定では管理が困難であると判断し、吸気開始相の不同調の改善を期待して第 10 病日、NAVA モードを導入した。NAVA モードの設定は、NAVA level 1.5cmH₂O / μ V、Edi トリガー 0.3 μ V、PEEP 6cmH₂O、FiO₂ 0.45 とし、導入後ミストリガー、トリガー Delay は減少し患者の自発呼吸と人工呼吸器との同調は改善した (Fig. 2)。本人の自覚症状でも明らかに呼吸困難の改善を認めたため NAVA モードにて管理継続とし、その後、第 16 病日気管切開術を行い、第 17 病日、NAVA モードのまま集中治療室を退室した。本症例は ICU 退室後も病棟で NAVA モードにて管理を継続したが、通常的人工呼吸器へ変更するとミストリガーやトリガー Delay などが著明となり、NAVA モードへ依存した人工呼吸管理となり離脱が困難であった。この結果、長期人工呼吸管理が続き、最終的には 291 病日 COPD 増悪にて死亡された。

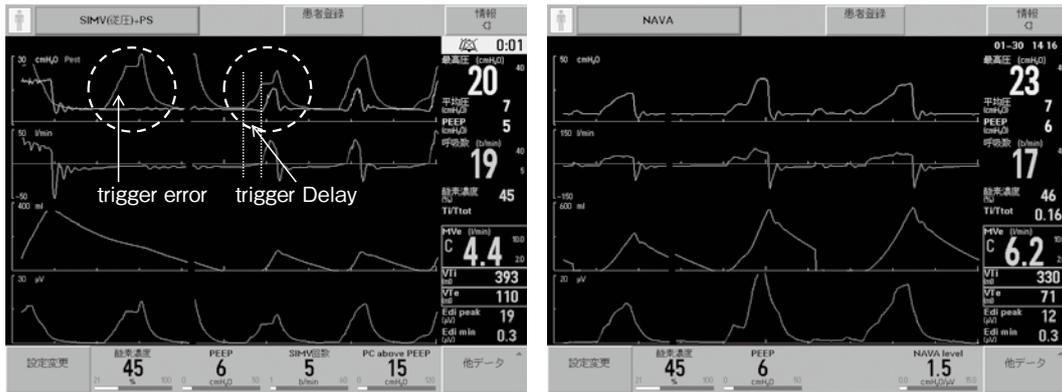


Fig.2 NAVA mode after the change graphic waveform

I admit trigger error, the trigger Delay.

Trigger error is not permitted.

Eadi (μV)
 EEF (L/min)
 P0.1 (cmH₂O)
 MAP (cmH₂O)

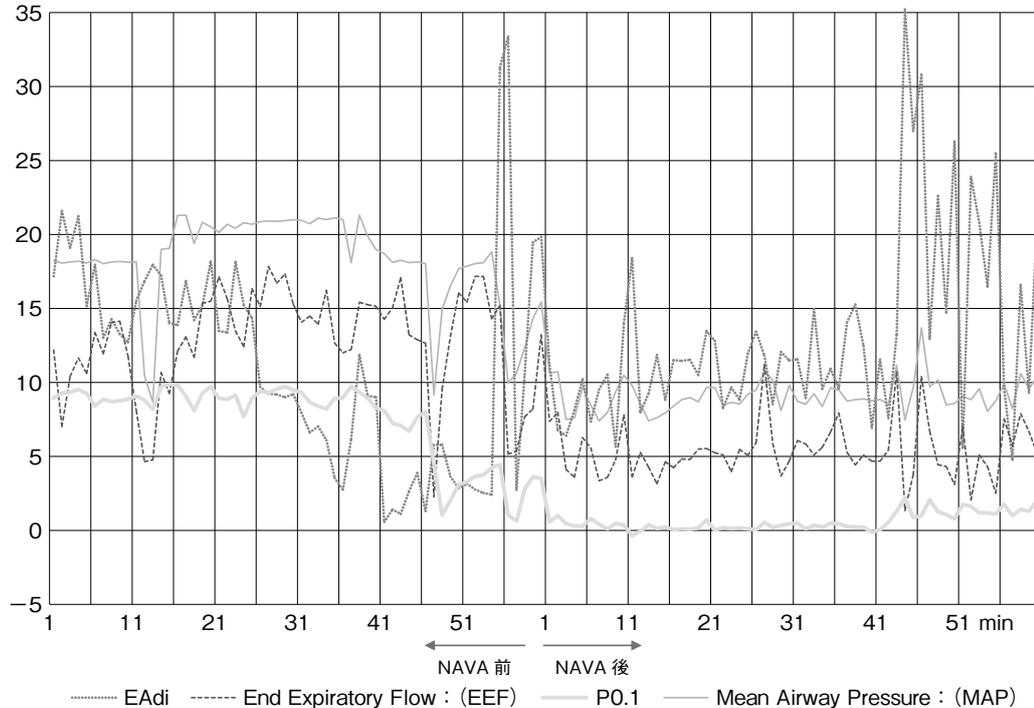


Fig.3 Data before and after introduction NAVA

Ⅲ. 結 果

通常の人工呼吸器設定とNAVA設定との換気パラメータの実測値(人工呼吸器から抽出された1分毎実測値)をNAVA導入前後で比較すると、平均気道内圧(mean airway pressure: MAP)はNAVAへ変更後に低下を認めた。呼吸仕事量(work of breathing: WOB)に関してもNAVA導入後では低下していた(Fig.3)。呼吸困難の指標でもある、Borg Scaleも導入前「5」か

ら導入後「1」へと低下を認め、自覚症状も改善した。NAVA導入後に呼吸パターンは安定し、分時換気量(Minute Volume)は変化がなく、二酸化炭素分圧も上昇することなく経過した。なお、導入前後とも体位はセミファーラー位で管理を行った。

Ⅳ. 考 察

COPD増悪に対してNPPVには強いエビデンスがある^{2,3)}。さらに挿管人工呼吸管理についても、COPD増

悪患者における院内死亡率は17～49%と報告され、他疾患と比較してむしろ良好とされている^{1,4)}。しかし本症例のように著明な気流制限を伴う症例では挿管人工呼吸管理に難渋する場面も見受けられ、その際の換気様式は定まっていないのが現状である。著しい気流制限はミストリガーやトリガー Delay、二重トリガーといった同調不全を招きやすく、しばしば適切な PEEP 値、トリガーレベルの調節が必要となる場合がある。吸気開始相の不同調の頻度が全呼吸の10%以上となると人工呼吸器装着日数の長期化と相関するとの報告⁵⁾もあり、吸気開始相の不同調を回避することが重要となる。NAVA は人工呼吸器 (Servo-i, MAQUET 社、フクダ電子) に搭載されている換気モードであり、電極を内装し経鼻胃管を兼ねた専用の食道カテーテルを、電極が横隔膜の位置へ到達するよう留置することで横隔膜電気活動 (electrical activity of diaphragm : Edi) を拾うことができる。そのため、回路内の気流や圧を感知する一般的な人工呼吸器のトリガーとは異なり、横隔膜の興奮を直接電氣的信号で自発呼吸として人工呼吸器がトリガーすることができ、より生理的な換気サポートが期待できる。自発呼吸信号をより早期にとらえ換気サポートが始まるため、トリガー Delay が改善し、同時にミストリガーの減少も期待できる。

本症例では NAVA モードに移行前、同調不良を認め、内因性 PEEP を考慮して PEEP を高く設定し、トリガーを鋭敏にしても改善は得られなかった。NAVA への変更後は PEEP の設定を高くすることなくミストリガー、トリガー Delay、二重トリガーが改善した。気流制限が著明な内因性 PEEP が高い患者において、胸腔内圧の変化を人工呼吸器が感知しにくくなるため、Edi を捉えるのは有効であった。ARDS においてもプレッシャーサポートと比較して NAVA を用いた人工呼吸では吸気開始相の不同調や二重トリガーの回数が有意に減少したとの報告や⁶⁾、急性呼吸不全患者において NAVA はプレッシャーサポートと比較してトリガー Delay が有意に短く、非同期の頻度が有意に減少しているとの報告もある⁷⁾。

NAVA におけるサポート圧は「NAVA レベル」を変化させることによって Edi に応じたサポート圧が人工呼吸器からの供給圧として送気することが可能であり、呼吸補助の強度を調節することができる。横隔膜運動の程度により、サポート圧は変化するため努力呼

吸時にはよりサポート圧が高くなる。一方サポート圧の上昇により、楽に呼吸ができるようになると横隔膜電位は低下し、相対的にサポート圧も低下することとなる。このため、過剰なサポート圧設定がされにくいのが NAVA の特徴である⁸⁾。つまり、NAVA では呼吸努力の程度によりサポート圧を変動させるため、患者の呼吸に合わせてより生理的な換気サポートが得られると考えている。実際に NAVA 開始 30 分後および 3 時間後の最高気道内圧がプレッシャーサポートよりも有意に低下したとする報告や⁹⁾。COPD 患者の Edi は健常者に比較して高値であることが報告されている¹⁰⁾ 本症例では NAVA モードへの移行前後で Edi の変化は認めていないが、EEF (End Expiratory Flow) の改善は顕著であり、トリガー相におけるトリガー Delay の改善が、呼吸困難感の改善につながり、Borg 評価における自覚症状の改善に効果があった。また、気道閉塞圧 (P_{0.1}) も低下を認めており、トリガー Delay の改善が吸気努力の減少につながり最高気道内圧、平均気道内圧を低くし過剰なサポートを減少させたのではと考えられた。

また、NAVA 施行時には良好な Edi を拾うことが重要である。良好な Edi 計測をするためには専用のカテーテルを適切な位置に挿入する必要がある、Nose : 鼻梁、Earlobe : 耳朶、Xiphoid : 剣状突起の距離を合わせた NEX という長さを指標として挿入深さを決定する。本症例では NEX 値が 54.2cm だったが、カテーテルの深さを 54.2cm としても横隔膜電気信号は得られず、63cm まで深くして結果良好な横隔膜電気信号が得ることができた。これは COPD のため横隔膜の位置が通常より低かった可能性が考えられた。

V. 結 語

COPD による重度の気流制限を認めた患者に、NAVA モードを使用したところ、同調不良が著明に改善した。NAVA は横隔膜の筋電位をトリガーする新しい換気モードであり、自発呼吸下での同調性・トリガー Delay の改善が期待できる。

COI に関し、長谷川隆一は 2018 年 3 月まで JA 茨城県厚生連による寄附講座を担当した。その他の著者には規定された COI はない。

参考文献

- 1) 榎原利博, 長谷川隆一, 近藤康博: COPD 急性増悪の呼吸管理. 人工呼吸. 2012 ; 29 : 212-9.
- 2) 日本呼吸器学会 NPPV ガイドライン作成委員会: NPPV (非侵襲的陽圧換気法) ガイドライン. 日本呼吸器学会. 東京, 南江堂, 2006.
- 3) Ram FS, Picot J, Lightowler J, et al : Non-invasive positive pressure ventilation for treatment of respiratory failure due to exacerbations of chronic obstructive pulmonary disease. Cochrane Database Syst Rev. 2004;3: CD004104.
- 4) GOLD 日本委員会: 慢性閉塞性肺疾患の診断、治療、予防に関するグローバルストラテジー 2011 年改訂版 (日本語版).
https://goldcopd.org/wp-content/uploads/2016/04/GOLDReport2011_Japanese.pdf (2017 年 12 月 6 日アクセス)
- 5) de Wit M, Miller KB, Green DA, et al : Ineffective triggering predicts increased duration of mechanical ventilation. Crit Care Med. 2009 ; 37 : 2740-5.
- 6) Terzi N, Pelieu I, Guittet L, et al : Neurally adjusted ventilator assist in patients recovering spontaneous breathing after acute respiratory distress syndrome : physiological evaluation. Crit Care Med. 2010 ; 38 : 1830-7.
- 7) Piquilloud L, Vignaux L, Bialais E, et al : Neurally adjusted ventilator assist improves patients-ventilator interaction. Intensive Care Med. 2011 ; 37 : 263-71.
- 8) 高橋大二郎, Sinderby C, 中村友彦ほか: Neurally adjusted ventilatory assist (NAVA). 人工呼吸. 2012 ; 29 : 220-31.
- 9) Breatnach C, Conlon NP, Stack M, et al : A prospective crossover comparison of neurally adjusted ventilatory assist and pressure-support ventilation in a pediatric and neonatal intensive care unit population. Pediatr Crit Care Med. 2010 ; 11 : 7-11.
- 10) Beck J, Weinberg J, Hamnegard CH, et al : Diaphragmatic function in advanced Duchenne muscular dystrophy. Neuromuscul Disord. 2006 ; 16 : 161-7.

Neurally adjusted ventilatory assist was effective in chronic obstructive pulmonary disease

Masatoshi KOYAMA¹⁾, Ryuichi HASEGAWA²⁾, Toshiki YOKOYAMA³⁾, Yoshio HARUTA¹⁾

¹⁾ Clinical Engineering, Tosei General Hospital Seto

²⁾ Department of Emergency and Intensive Care Medicine, MitoClinical Education and Training Center, Tsukuba University Hospital, Mito Kyodo General Hospital

*Present affiliation : Department of Intensive Care Medicine, Dokkyo Medical University Saitama Medical Center

³⁾ Department of Respiratory Medicine and Allergy, Tosei General Hospital, Seto

Corresponding author : Masatoshi KOYAMA

Clinical Engineering, Tosei General Hospital Seto
160 Nishioiwake-cho, Seto, Aichi, 489-8642, Japan

Key words : NAVA, Trigger Delay, Trigger error, Intrinsic PEEP

Abstract

In patients with COPD treated by mechanical ventilation, intrinsic PEEP is a major cause of ventilator asynchrony. In general, adjusting trigger sensitivity and counter PEEP can improve the ventilator asynchrony, however, it can fail sometimes in severe case. Neurally adjusted ventilator assist (NAVA) is a new ventilator mode with sensing diaphragm electrical activity and can improve ventilator asynchrony. We reviewed a case with severe acute exacerbation of COPD treated with NAVA. In our experience, using NAVA can improve ventilator asynchrony and reduce patient's respiratory effort with airflow limitation.

Received January 9, 2018

Accepted June 28, 2018