

●呼吸管理の工夫●

神経筋疾患における睡眠時鼻マスク NPPV の口からのエアリーク対策

竹内伸太郎・高田 学・石川悠加

キーワード：エアリーク，鼻マスク，NPPV，神経筋疾患

要 旨

睡眠時の鼻マスクによる非侵襲的陽圧換気（noninvasive positive pressure ventilation：NPPV）では、開口によるエアリークが問題となる。エアリーク対策として、よく知られている市販のチンストラップは、効果が不十分であった。NPPV を使用している神経筋疾患患者の多くは、四肢体幹の筋力低下により、自身で睡眠時の体位変換やインターフェイスの調節ができない。加えて、フルフェイスマスクでは必要時に介護者と会話ができなくなり、使用が困難であった。そこで、エアリーク対策として、キッチンペーパーで口元を覆うことにより、エアリーク対策前に比べて、睡眠中の経皮的酸素飽和度（oxygen saturation by pulse oxymeter：SpO₂）が上昇し、経皮炭酸ガス分圧（transcutaneous carbon dioxide tension：tcPCO₂）と心拍数は低下する傾向を示した。睡眠時の鼻マスクによる NPPV では、口元をキッチンペーパーで覆い固定することにより、効果的なエアリーク対策が可能になることがあると考える。

I. はじめに

非侵襲的陽圧換気療法（noninvasive positive pressure ventilation：NPPV）はデュシェンヌ型筋ジストロフィー（Duchenne muscular dystrophy：DMD）患者の換気低下に対する第一選択である^{1～5)}。NPPVにより気管切開を回避した DMD 患者の延命が可能になってきており、他の神経筋疾患患者にも応用できるとされる⁶⁾。

神経筋疾患患者は、夜間の体位変換や手足の位置調整など、日常生活の多くに介助を要し、その際に介助者とのコミュニケーションが必須である。このため、神経筋疾患患者の NPPV では、口鼻を覆うフルフェイスマスクより、会話が容易な鼻マスクが選択される傾向がある。しかし、鼻マスク NPPV では、開口に

よるエアリークが問題となることがある。

一般に、神経筋疾患においては、胸郭の変形や肺コンプライアンスの低下があると、従圧式人工呼吸では吸気が入りにくい。それに対して換気量が保障され、エア・スタッキング（吸気を吐かずに2～3回分息溜め）を活用して咳嗽も促進できる従量式人工呼吸のほうが適することもあるとされるが、エアリークの代償ができない^{3, 4, 7～10)}。一方、リーク代償が可能な従圧式人工呼吸であっても、鼻マスクによる NPPV を使用した睡眠時は、開口によってエアリークが発生する^{11～14)}。対策として、下顎を保持して開口を防ぐチンストラップ[®]（フィリップス・レスピロニクス社、米国）^{3, 13, 14)}が市販されている。しかし、過去に様々な装着方法で試しても、十分な効果が得られなかった。

著者らは、鼻マスクによる NPPV 管理において、睡眠中に著しいエアリークを生じ、十分な換気が確保できない DMD 患者の口唇を手で覆うことで、吸気に伴う胸の上がり改善が改善する現象を経験した。そこで、睡

国立病院機構八雲病院

[受付日：2013年2月5日 採択日：2015年2月25日]

眠時のNPPVにおけるエアリーク対策として、キッチンペーパーで口元を覆い固定する方法を考案し、有効な結果が得られたので報告する。

Ⅱ. 対象と方法

夜間睡眠時に鼻マスクを用いたNPPV中に開口でエアリークが頻発し、 SpO_2 低下および CO_2 高値が問題となっているDMD患者3名を対象とした。患者の承認、ならびに当院の倫理委員会の承認を得た。

睡眠時の鼻マスク式NPPV使用中の開口によるエアリーク対策として、市販されている天然パルプ素材で縦横385mm×240mmのキッチンペーパーを、12折り（横に四つ折り、それを縦に3つ折り）にして口元を覆った。

キッチンペーパーの固定方法については、チンストラップ®とプレミアムチンストラップ®（フィリップス・レスピロニクス社、米国）の両方を試し、患者の希望するほうを選択した。

症例2では、キッチンペーパーの固定にチンストラップ®を用いた。チンストラップの下顎部にあてる布を、鼻マスク直下まで引き上げて、キッチンペーパーを覆った。通常、チンストラップの固定は、鼻マスクのベルト上部に止めることで行われるが、それでは頻回にずれてペーパーの固定が緩む。このため、チンストラップを頭頂部まで延長加工し、ベルクロテープで固定した。さらに、チンストラップが前にずれて外れやすいことに対して、後頭部に外れ防止のベルトを1本追加した（Fig.1）。

症例1と症例3のキッチンペーパーの固定には、プ

レミアムチンストラップ®を用いた。チンストラップに比べると、ソフトな素材で最初から前側にずれないように、後頭部に外れ防止ベルトが付いている。ただし、下顎にあたる部分の布がマスク下まで覆うことができない狭い幅のため、ベルクロテープを縫ったベルトを追加して、キッチンペーパーを押さえた（Fig.2）。

エアリーク対策の効果として、対策前後の睡眠時NPPVにおける非侵襲的血液ガスモニター値を比較した。非侵襲的血液ガスモニターには、TOSCA 500®（ラジオメーター社、デンマーク）を使用した。TOSCA 500®の SpO_2 /tc PCO_2 一体型センサを耳朶に装着して、 SpO_2 、tc PCO_2 、心拍数を、20時から6時まで10時間（一部症例は21時30分から8時30分間）連続測定した（Fig.3）。TOSCA 500®の専用解析ソフトによる10時間トレンドグラフとともに、 SpO_2 、tc PCO_2 、心拍数の平均値、最低値および最高値を、エアリーク対策の前後で比較した。エアリーク対策前には、チンストラップなどは使用していなかった。対策後の測定は、キッチンペーパーを装着し、これ以外は同条件とした。TOSCA 500®は常にリアルタイムの SpO_2 、tc PCO_2 、心拍数を表示しているので^{15, 16)}、対策後の測定値が増悪した際には、キッチンペーパーの装着状態を確認し、修正する方針とした。睡眠時のNPPVにおけるエアリークの要因の1つとして、咽頭の虚脱、声門が閉鎖することによる気道閉塞や高度狭窄を繰り返すことが挙げられる。このため、TOSCA 500®の測定値が増悪した際には、従量式人工呼吸器の使用では気道内圧の上昇（通常より10hPa以上）、従圧式人工呼吸器の使用では送気量の減少（VTiが100mL以



Fig.1 Chin strap is used to fix kitchen paper (Case 2)



Fig.2 Premium chin strap is used to fix kitchen paper (Case 1 and Case 3)

下)の有無を確認した。

平均値は、TOSCA 500®の専用解析ソフトで得られた数値を四捨五入し小数第1位までとした。SpO₂の最低値とtcPCO₂の最高値は、同様に得られた整数を用いた。対策開始1ヶ月後の自覚症状や会話のしやすさ、体位変換の可否について、看護師と全患者から聞き取り調査をした。なお、今回は睡眠深度の測定を併用しなかった。

症例1と症例3は、Trilogy100®(フィリップス・レスピロニクス社、米国)の呼気弁を有する回路(アクティブ回路)の従量式モード(CV)で、症例1は一回換気量810mL、呼吸回数17回/分、PEEP OFF、吸気時間1.5秒、吸気トリガOFF、症例3は一回換気量950mL、呼吸回数18回/分、PEEP OFF、吸気時間1.6秒、吸気トリガOFFを使用した。症例2は、Carina®(ドレーゲル社、ドイツ)のエアリーク補正が可能な呼



Fig.3 Transcutaneous monitor of SpO₂ and tcPCO₂ is attached to the earlobe

SpO₂ : oxygen saturation by pulse oximeter
tcPCO₂ : transcutaneous carbon dioxide tension
HR : heart rate

気弁を持たない回路(パッシブ回路)の従圧式モード(BIPAP)で、Pinsp 2l、PEEP 3、Ti 1.5、f 17、Trigger OFFを使用した。なお、全例が終日(24時間)NPPVを使用していたが、酸素の付加はしていなかった。

Ⅲ. 結 果

キッチンペーパーによるエアリーク対策実施中、全症例において、TOSCA®でリアルタイムに表示された数値の悪化はなく、キッチンペーパーの固定調整や除去を行わず、10時間装着できた。気道閉塞による人工呼吸器の気道内圧上昇や送気量の減少も認めなかった。

睡眠時NPPV使用中に連続測定した各症例の対策前SpO₂平均値および最低値が、対策後に全症例で上昇した(Table 1)。エアリーク対策前に連続測定したtcPCO₂平均値および最高値は、対策後に全症例で低下した(Table 1)。同様に心拍数の平均値も、対策後に全症例で低下した(Table 1)。リーク代償がある症例2をトレンドグラフで比較すると、エアリーク対策前後でSpO₂やtcPCO₂が改善し、心拍数が安定した(Fig.4)。症例2のトレンドグラフ(Fig.4)において、心拍数を示すグラフ縦軸の数値が対策前後で異なっているが、これは最高値が異なるためである。時間軸を示す横軸の中間付近で心拍数が一度上昇しているのは、覚醒し体位調整などを行った時間帯であった。対策前はtcPCO₂の上昇とほぼ同様に心拍数が上昇しており、80回/分を下回ることが少なかった。しかし、対策後は、心拍数が80回/分を上回ることが減った。

エアリーク対策開始1ヶ月後の聞き取りで、全患者から「朝の目覚めが良い」「熟睡感が得られるようになった」と感想があった。また、フルフェイスマスクとは違い、鼻マスクでは会話が容易で、夜間の体位変

Table 1 Change before and after the application of kitchen paper

		Mean SpO ₂ (%)	Minimum SpO ₂ (%)	Mean tcPCO ₂ (mmHg)	Maximum tcPCO ₂ (mmHg)	Mean Heart Rate
Case 1	Before	96.5	84	54.6	68	56.8
	After	98.2	96	38.4	49	53.6
Case 2	Before	97.6	95	53.2	61	88.3
	After	99.0	98	41.6	48	71.5
Case 3	Before	98.2	93	49.8	55	81.1
	After	99.0	97	41.6	48	71.5

SpO₂ : oxygen saturation by pulse oximeter
tcPCO₂ : transcutaneous carbon dioxide tension

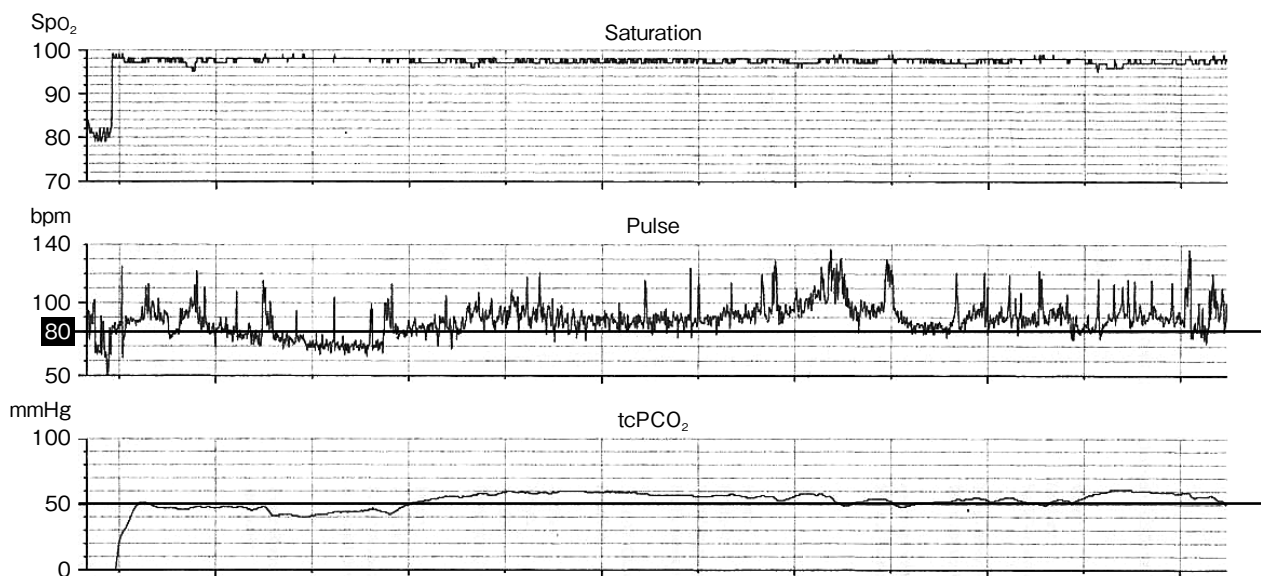
換の際のコミュニケーションに支障がなかった、と看護師および全患者が答えた。

Ⅳ. 考 察

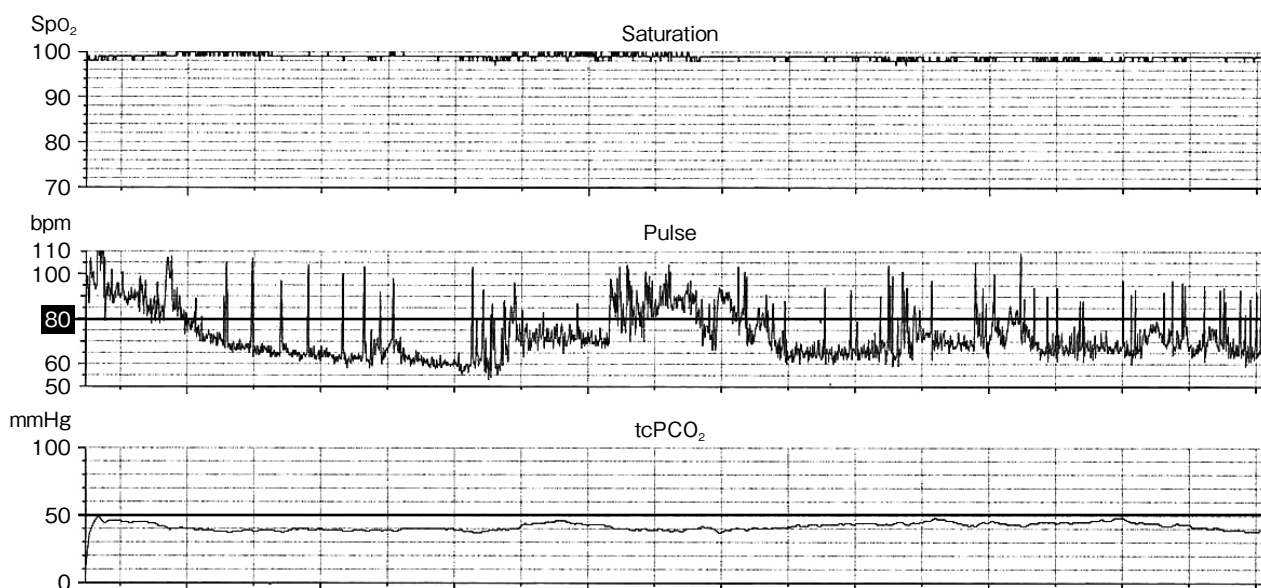
睡眠時の鼻マスク NPPV では、エアリークが換気効果に影響を及ぼす^{10, 12)}。NPPV の呼吸モニターとして、エアリークが多いと、SpO₂ 低下に比べて換気障害による tcPCO₂ の上昇が著しい場合がある^{15~17)}。

エアリーク対策として知られている市販のチンストラップで顎を持ち上げ開口を最小限にしても、口角や上下口唇の隙間からもれるエアを防ぐことは難し

い^{11, 12, 14)}。しかし、今回実施したキッチンペーパーで口元を覆うエアリーク対策では、SpO₂ は平均値と最低値が全症例で上昇し、特に問題となっていた tcPCO₂ は平均値と最高値が許容できる範囲まで低下した。症例2のトレンドグラフ (Fig.4) において、対策後にはエアリークが減少したため、換気不足による tcPCO₂ 上昇がなく、心拍数上昇も見られなくなった。tcPCO₂ と心拍数が許容範囲で安定したことにより、睡眠時を通して換気が維持されたと考える。以上から、キッチンペーパーを用いたエアリーク対策は有効であったと考える。



(a) The trend graph before using kitchen paper



(b) The trend graph after using kitchen paper

Fig.4 The trend graph of SpO₂, tcPCO₂ and heart rate in Case 2

また、朝の目覚めの良さなど自覚症状が改善した。この理由として、換気が良くなり睡眠の質が改善したことが考えられるが¹⁰⁾、今回は睡眠深度の測定を行っていないため確認できなかった。今回の結果から、本法は、従量式人工呼吸器と従圧式人工呼吸器のどちらの場合でも、高値であった tcPCO_2 改善に有効であったが、症例数が少ないため、今後さらに検証が必要である。

欧米ではエアリーク対策として、口唇にテープを貼って塞ぐ方法が効果的と報告され、本邦でも施行されている^{3, 12, 14)}。しかし、全介助を要する神経筋疾患では、口唇をテープ固定すると、夜間の体位変換時に介助者との会話ができなくなるとともに、唾液を誤嚥するリスクが生じる。このため、著者らは、会話が可能で、流涎した唾液を吸収できるエアリーク対策の工夫を要し、ネル布やガーゼ、ティッシュペーパーなど、さまざまな素材を試した。ガーゼではエアリークが改善せず、ティッシュペーパーは唾液ですぐに破れてしまった。キッチンペーパーは、口唇に吸着し、湿気で崩れにくく、唾液や痰を多量に吸湿した際の交換頻度も少なく、エアリーク対策に最も効果的であった。また、キッチンペーパーは換気に影響しない程度のわずかなエアの通過があり、話すことに支障が少なく、吞気も少なかった。ただし、比較的薄くて硬い安価なキッチンペーパーでは、硬いために顔面皮膚への侵襲があり、唾液の吸収が少なかった。また、安価なキッチンペーパーでは、エアの通過がさらに少ないため、吞気に伴う腹部膨満を生じた。エアリーク対策を強化することで、吞気が増えることに対しては、注意が必要であった。今後、同様の試みをする場合は、キッチンペーパーの選択と、腹部膨満に留意する必要があると考える。

今回は、睡眠時 NPPV 中にエアリーク対策を行った全症例で気道閉塞を認めなかった。しかし、咽頭や喉頭の異常、上気道の筋トーン低下、胸郭や頸部の変形、心筋症に伴う重症心不全などが原因となり、睡眠時 NPPV 中に気道閉塞を起こしやすいと考えられる¹⁰⁾。さらに、高い圧をかけると閉塞が強まることもある^{10, 11, 14)}。声門が閉じると、鼻から入ったエアは、口やマスク周囲からリークとしてもれるが、このリークを遮ると、吞気になることがある。このように、エアリークは、単純に口からのエアリークを防ぐだけで

は解決されないことがあり¹⁰⁾、気道閉塞に対して口元を覆うエアリーク対策がさらなる問題をひき起こす場合もある。そのため、普段から気道閉塞の発見に努め、気道閉塞の場合には人工呼吸器の機種選択やモード、条件設定、インターフェイス選択、体位による改善をはかる必要がある。

今後は症例数を増やし、睡眠深度モニターを併用し、NPPV 設定条件の工夫をも含めて、キッチンペーパーによるエアリーク対策のさらなる検討を行いたい。

V. 結 語

神経筋疾患における睡眠時の鼻マスク NPPV の口からのエアリークに対して、キッチンペーパーで口元を覆う対策が有効なことがある。

本稿の全ての著者には規定された COI はない。

参考文献

- 1) American Thoracic Society Board of Directors: Respiratory care of the patient with Duchenne muscular dystrophy: ATS Consensus Statement. *Am J Respir Crit Care Med*. 2004; 170: 456-65.
- 2) Katz SL: Assessment of sleep-disordered breathing in pediatric neuromuscular diseases. *Pediatrics*. 2009; 123: S222-5.
- 3) Boitano LJ: Equipment options for cough augmentation, ventilation, and noninvasive interfaces in neuromuscular respiratory management. *Pediatrics*. 2009; 123: S226-30.
- 4) Ishikawa Y, Miura T, Ishikawa Y, et al: Duchenne muscular dystrophy: Survival by cardio-respiratory interventions. *Neuromuscul Disord*. 2011; 21: 47-51.
- 5) 日本呼吸器学会 NPPV ガイドライン作成委員会:【総論】3. NPPV で使用される人工呼吸器と換気モード. NPPV (非侵襲的陽圧換気療法) ガイドライン. 日本呼吸器学会 NPPV ガイドライン作成委員会編. 東京, 南江堂, 2006, pp11-5.
- 6) Bach JR: Mechanical insufflation-exsufflation: comparison of peak expiratory flows with manually assisted and unassisted coughing techniques. *Chest*. 1993; 104: 1553-62.
- 7) 笠井 学: NPPV の導入—適切な器械の選択. NPPV (非侵襲的陽圧換気療法) のすべて—これからの人工呼吸 (JJN スペシャル no.83). 石川悠加編. 東京, 医学書院, 2008, p57-61.
- 8) Mehta S, Hill NS: Noninvasive ventilation. *Am J Respir Crit Care Med*. 2001; 163: 540-77.
- 9) Kacmarek R, Hill N: Ventilators for noninvasive positive pressure ventilation: technical aspects. *Eur Respir Mon*. 2001; 16: 76-105.
- 10) Gonzalez-Bermejo J, Perrin C, Janssens JP, et al: Proposal

- for a systematic analysis of polygraphy or polysomnography for identifying and scoring abnormal events occurring during non-invasive ventilation. *Thorax*. 2012 ; 67 : 546-52.
- 11) Schönhofer BL, Sortor-Leger S : Equipment needs for noninvasive mechanical ventilation. *Eur Respir J*. 2002 ; 20 : 1029-36.
- 12) Meyer TJ, Pressman MR, Benditt J, et al : Air leaking through the mouth during nocturnal nasal ventilation : effect on sleep quality. *Sleep*. 1997 ; 20 : 561-9.
- 13) Teschler H, Stampa J, Ragette R, et al : Effect of mouth leak on effectiveness of nasal bilevel ventilator assistance and sleep architecture. *Eur Respir J*. 1999 ; 14 : 1251-7.
- 14) 石川悠加：呼吸が問題になる時。非侵襲的人工呼吸療法ケ
アマニュアル～神経筋疾患のための～。石川悠加編著。千葉、日本プランニングセンター、2004、pp10-4.
- 15) Storre JH, Magnet FS, Dreher M, et al : Transcutaneous monitoring as a replacement for arterial PCO₂ monitoring during nocturnal non-invasive ventilation. *Respir Med*. 2011 ; 105 : 143-50.
- 16) Felemban O, Leroux K, Aubertin G, et al : Value of gas exchange recording at home in children receiving non-invasive ventilation. *Pediatr Pulmonol*. 2011 ; 46 : 802-8.
- 17) Paiva R, Krivec U, Aubertin G, et al : Carbon dioxide monitoring during long-term noninvasive respiratory support in children. *Intensive Care Med*. 2009 ; 35 : 1068-74.

Management of air leakage from mouth in nocturnal NPPV using nasal masks in patients with neuromuscular disease

Shintaro TAKEUCHI, Manabu TAKADA, Yuka ISHIKAWA

National Organization Yakumo Hospital

Corresponding author : Shintaro TAKEUCHI

National Organization Yakumo Hospital

128 Miyazono-cho, Futami-gun, Yakumo-cho, Hokkaido, 049-3198, Japan

Key words : air leak, NPPV, nasal masks, neuromuscular disease, Duchenne muscular dystrophy

Abstract

Air leakage from an open mouth has been a problem in nocturnal NPPV using nasal masks. We found that the use of commercially available chinstraps, one of the well-known measures against mouth air leak, is not very effective in neuromuscular disease patients. In addition, we consider it difficult to use full face masks instead, which disturb patients from speaking to their caregivers when needed because most of those patients are unable to change postures or fix interfaces due to muscle weakness of limbs and trunk. We covered the patient's lips by kitchen paper towel to prevent air leakage. When we used a kitchen paper towel to cover the mouth for dealing with air leakage, overnight saturation of Hb with oxygen using pulse oximetry (SpO₂) increased, and both transcutaneous carbon dioxide tension (tcPCO₂) and heart rate decreased. Based on this result, we estimate using kitchen paper towel may become one of solutions of preventing air leakage from nasal mask used for patient in nocturnal NPPV.

Received February 5, 2013

Accepted February 25, 2015