

人工声帯をもちいた実験的声帯外転障害 —多系統萎縮症における非侵襲的陽圧換気療法の圧設定—

磯崎 英治^{1)*} 飛澤 晋介¹⁾ 西沢 美里²⁾
中山 英人³⁾ 福井孝太郎⁴⁾ 高西 淳夫⁴⁾

要旨：声帯外転障害を呈した多系統萎縮症患者における非侵襲的陽圧換気療法（NPPV）の安全な導入について検討するため、人工声帯をもちいた上気道モデルを作製した。特徴的な声帯奇異性運動は、非麻痺性要素を持たない人工声帯においても再現することができ、とくに声帯がほぼ正中位にある高度狭窄モデルにおいては、奇異性運動を解除するためには、expiratory positive airway pressure（EPAP）をある一定圧（閾値）以上に設定する必要がある。このことから、麻痺性要素を主因とする声帯外転障害に対してNPPVを導入するにあいには、EPAPを主導とした設定方法が有効と思われる。

（臨床神経，49：407—413，2009）

Key words：人工声帯，奇異性運動，声帯外転障害，多系統萎縮症，非侵襲的陽圧換気

はじめに

多系統萎縮症（MSA）における声帯外転障害は、生命予後を左右する重篤な合併症の一つである。それに対する治療法の一つとして、本邦では1997年頃から鼻マスクによる非侵襲的陽圧換気療法（non-invasive positive pressure ventilation：NPPV）が導入されるようになり、一定の効果を上げつつある^{1)~6)}。さらに、最近の研究から上気道における閉塞部位は、声帯・舌根・軟口蓋ばかりでなく披裂部や喉頭蓋などにもおよび^{7)~9)}、しかもこれらは複数が同時に閉塞したり、あるいは疾患の進行にともなって閉塞部位が新たに加わったりすることもあり、いわば上気道閉塞における「空間的」かつ「時間的」多発と表現することができる⁹⁾。

しかし、スリット状にしか声門間隙をみとめない高度の声帯外転障害例に対して、NPPVがどの程度有効なのか、また換気モードはcontinuous modeとbilevel modeのどちらがより有効なのかなど、NPPVが比較的簡便に導入されるようになってきたがゆえに、多くの問題が生じてきている。これらの問題を少しでも解明するため、われわれはヒトの声帯に模して作られた人工声帯をもちいて声帯外転障害のシミュレーションモデルを作製し、NPPVの効果を検討した。

なお、近年の研究から、MSAにおける吸気性喘鳴は必ずし

も麻痺の要素だけではなく、筋緊張を始めとする種々な非麻痺性の要素も加わって発症することもあるため、従来もちいられてきた声帯外転麻痺という表現は声帯外転障害と表している。また、BiPAPという用語は、ときにNPPVと同義語として使われることもあるが、もともとはレスピロニクス社製NPPV機器の登録商標名であるため、本稿ではcontinuous positive airway pressure（CPAP）に対してbilevel positive airway pressure（Bilevel PAP）と表現し、NPPVという用語はこの両者を包括した概念としてもちいた。また、NPPVには従圧式と従量式とがあるが、ここでは前者のタイプに限定して検討をおこなった。

方 法

人工声帯は、早稲田大学理工学術院高西研究室にて発話ロボットののために開発されたものをもちいた。材質は流動パラフィンを適度に混ぜた特殊な熱可塑性エラストマー（セプトン、クラレ社）であり、その外形および大きさ（直径22mm、高さ16mm）はヒトの成人男性の喉頭に模して作られている（Fig. 1A~C）。この人工声帯は、発話のための音源（ヒトにおける喉頭原音に相当）として作製されているため声帯はほぼ正中位にあり、これに呼気を送り込むことにより声帯に振動（ヒトにおける声帯粘膜波動に相当）が惹起される。こうして

*Corresponding author: 東京都立神経病院脳神経内科 [〒183-0042 東京都府中市武蔵台2-6-1]

¹⁾東京都立神経病院脳神経内科

²⁾同 中央機材室

³⁾同 麻酔科

⁴⁾早稲田大学理工学術院

（受付日：2008年8月28日）

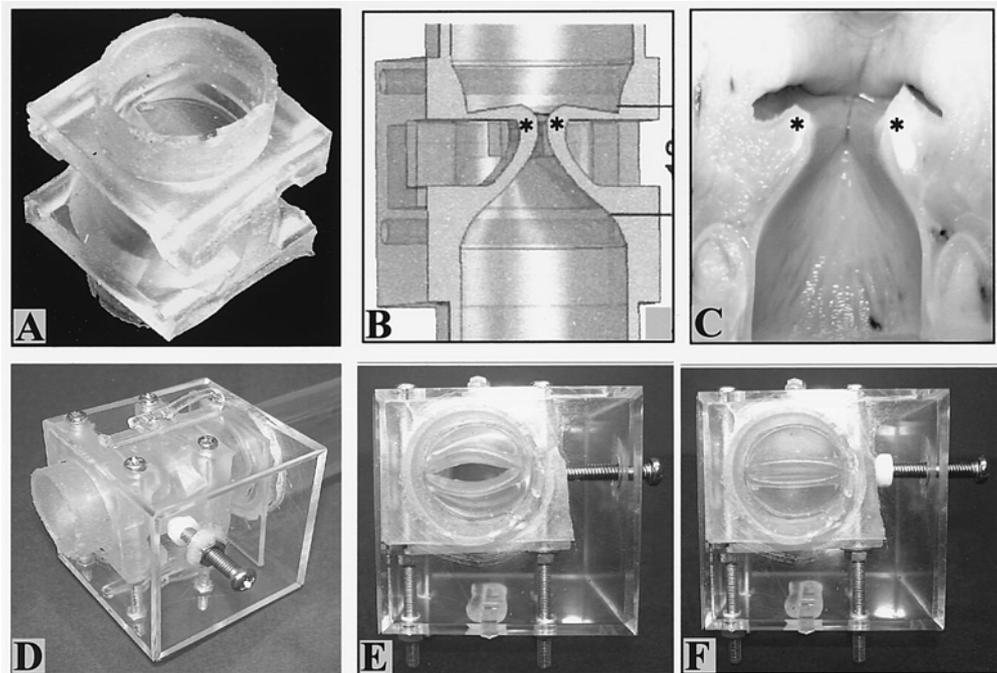


Fig. 1 A model of artificial vocal cord

The artificial vocal cord (A), which is made of the soft rubber, has a strong resemblance to the human larynx (B, C). A pair of asterisks shows bilateral vocal cords. The artificial vocal cord is fixed within a transparent cube made of the acrylic resin (D) and the glottic space is kept with some space (E) or severely narrow space like a slit (F) controlled by driving or loosening a screw on the side face.

えられた声帯振動や発話は、高速度カメラによる解析や音響分析の結果、ヒトのそれにきわめて類似しており、この人工声帯は形態のみならず機能的にもヒトの声帯に酷似したモデルであることが確認されている¹⁰⁾¹¹⁾。なお、発話ロボットにおける人工声帯には、声帯の内外転や緊張を調節するための駆動装置が組み込まれているが、本実験ではこれらの駆動装置は付いていない。

この人工声帯を、一辺が5cmのアクリル製立方体の中に固定し、声門幅を調節するためのねじをその側面に取り付けた (Fig. 1D)。このねじの先端は人工声帯に直接接しており、ねじをすすめることにより声帯の長軸方向に力が加わる結果、声門は押し開けられる構造になっている。この調整により、二種類の声門幅を有したモデル—声門幅が2~3mmのモデル (中等度の声帯外転障害に相当, Fig. 1E) および1mm以下のスリット状のモデル (高度の声帯外転障害に相当, Fig. 1F)—において検討した。なお、声門幅については、一般にほぼ臥床状態の患者においては体動による運動負荷がほとんどかからないため、声門幅は5mm程度開大していれば気道としては十分と考えられている。したがって、本実験における中等度の狭窄モデルの声門幅を2~3mmに設定した。このアクリル製立方体を、プラボトル製の上気道カプセルに連結させ、その尾側端には自発呼吸をおこなわせるためのTTLモデル肺5600i (ミシガン・インスツルメント社) を接続し、また吻側端には実際に患者で使用するものと同じタイプのNPPV用人工呼吸器 (シンクローニー、フジ・レスピロニクス社) を接続

した (Fig. 2)。このNPPVから、種々なinspiratory positive airway pressure (IPAP) およびexpiratory positive airway pressure (EPAP) を人工声帯にかけたときの声帯運動を喉頭ファイバースコープで観察し、ビデオ録画をおこなった。声帯の開大度を半定量的に評価するため、呼気時と吸気時のそれぞれにおいて声門がもっとも開大した時の幅をモニター画面上でノギスをもちいて計測した。

Fig. 3は、TTLモデル肺の機能を示すための模式図である。駆動用人工呼吸器 (LP-6, IMI社) から設定に応じた陽圧が送り込まれてベローズAが膨らみ、その結果パネルAが持ち上がる。この時、パネルAの先端に固定されたフックによって、パネルBも連動して持ち上がり、ベローズBには陰圧が生ずる。これが、患者における吸気に相当し、自発呼吸が生ずることになる。換気条件は、健常人を想定して、一回換気量を400ml、吸気時間を1.2秒としたところ、駆動用人工呼吸器側での吸気圧は12~13cmH₂Oであった。なお、NPPVを装着したばあいには、それによる陽圧のためにパネルBは水平位には戻らず、その結果左右のパネルの高さがことなり、一回換気量に誤差が生ずる。それを補正するため、駆動用人工呼吸器側とTTLモデル肺との間にPEEP valveを入れ、NPPV側と同じ圧 (EPAP) を手動で設定した。また、コンプライアンスの設定は、それぞれのパネルの外側にあるバネの位置によって調整する構造になっており、今回の実験では左右のベローズに等しくかかる必要があるため、同じ位置に固定した。NPPVの設定は、臨床での条件に合わせてBilevel PAPモー

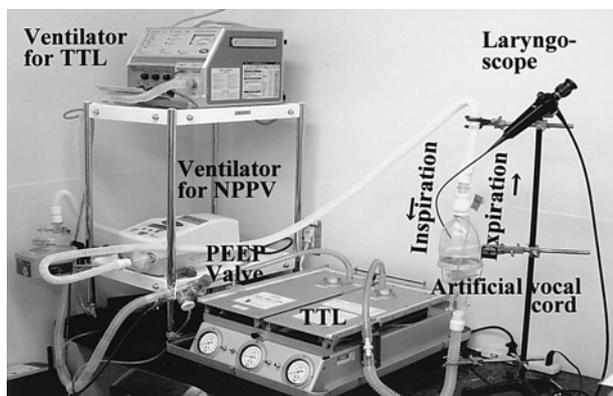


Fig. 2 Experimental respiratory system

The artificial vocal cord is attached to the training/test lung (TTL) at the caudal site and to the ventilator for NPPV at the rostral site. Vocal cord movement is observed by a fiberoptic laryngoscopy inserted through a small hole on the capsule containing the artificial vocal cord. PEEP valve is placed between TTL and the ventilator for TTL to avoid the influence of EPAP from NPPV.

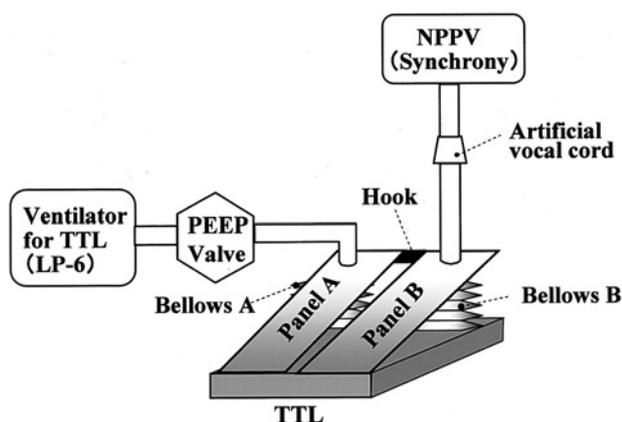


Fig. 3 A schema of the experimental respiratory system focusing on the role of TTL

Panel A is lifted by the air flow from the ventilator for TTL (LP-6). Then, Panel B is passively lifted by a hook attached to the Panel A, resulted in the production of negative pressure in the bellows B. Thereby spontaneous breathing develops in this respiratory system.

ドまたは CPAP モードとし、IPAP は 4~20cmH₂O、EPAP は 4~10cmH₂O の範囲とした。

結 果

TTL モデル肺による自発呼吸下の状態では、高度狭窄モデル (Fig. 4B) と中等度狭窄モデル (Fig. 4C) のいずれにおいても、声帯は吸気時には内転、呼気時にはやや外転という典型的な奇異性運動を呈し、MSA 患者でみられる声帯外転障害 (Fig. 4A) と同一の特徴を呈した。そこで、こうした実験的声

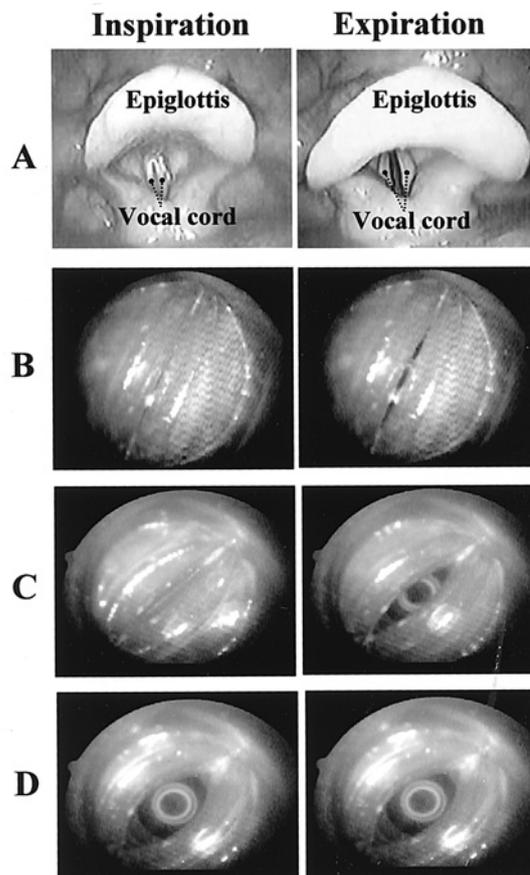


Fig. 4 Fiberscopic photographs of the vocal cord from a patient with MSA and the artificial vocal cords under various conditions

Typical paradoxical movement is demonstrated in a MSA patient presenting with vocal cord abductor impairment showing adduction during inspiration and abduction during expiration (A). Similar paradoxical movement is also seen in the artificial vocal cords with the severely (B) and the moderately (C) narrow glottis. After applying 8 cmH₂O of CPAP in the latter model with moderate narrow glottis (C), the vocal glottis became apparently wider during both inspiration and expiration (D).

帯奇異性運動に対する NPPV の声門開大効果を検討したところ、呼気時には、いずれのモデルにおいても EPAP が増大していくにしたがい声門幅は圧依存性に開大し、IPAP の強さによる影響は受けなかった (Fig. 5)。しかし、吸気時には、高度狭窄モデルにおいて、EPAP が 7cmH₂O 以上のばあい (Fig. 6 における右肩上がりの直線部分) には、声門幅は IPAP の強さに応じて圧依存性に開大したが、EPAP が 6cmH₂O 以下のばあいには IPAP を上げて奇異性運動は容易には解除されなかった。すなわち、EPAP = 4cmH₂O では IPAP を上限 (20cmH₂O) まで上げて奇異性運動はまったく解除されなかったが、EPAP = 5cmH₂O にすると、IPAP を 14 cmH₂O から 15cmH₂O に上げた直後に突然奇異性運動は解除され、さらに EPAP = 6cmH₂O にすると、IPAP はより低いレ

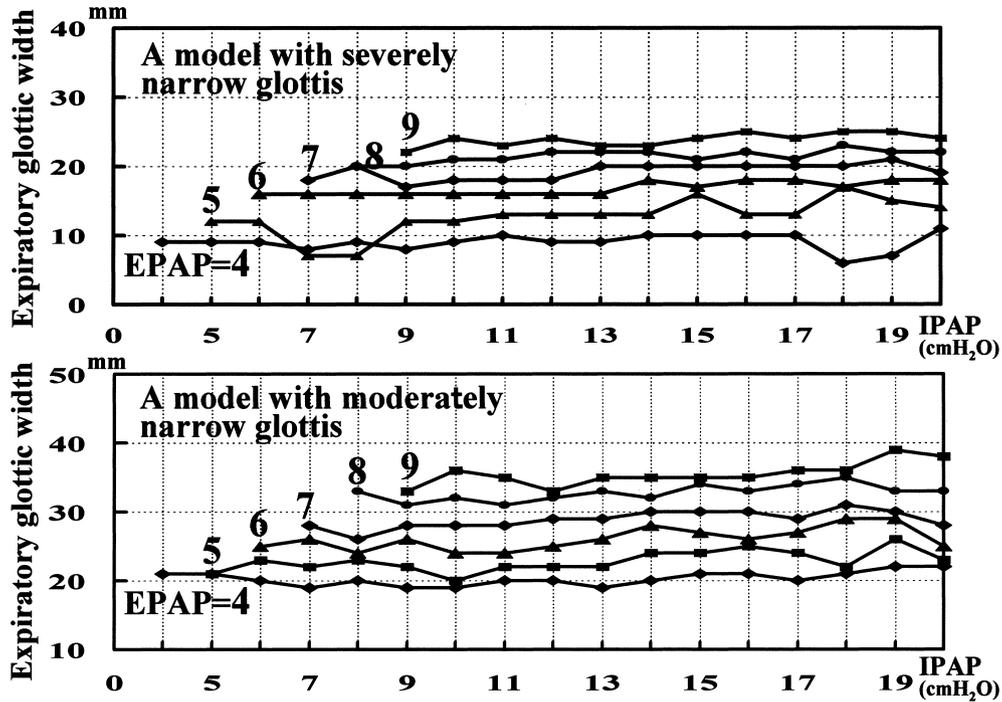


Fig. 5 Plot graphs of the expiratory glottic width and the level of positive pressure in the two models
 The vocal glottis during expiration dilates with the level of EPAP, but does not with that of IPAP in both models with severely and moderately narrow glottis.

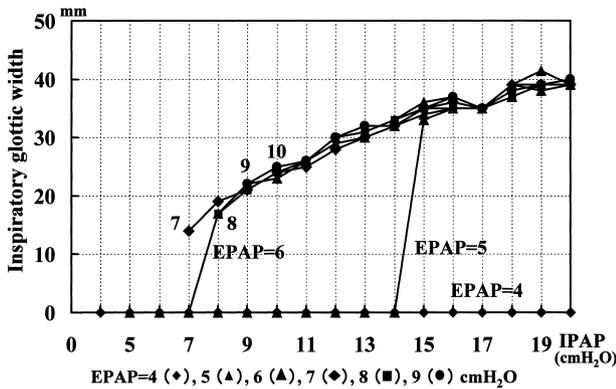


Fig. 6 Plot graph of the inspiratory glottic width and the level of positive airway pressure in the model with severely narrow glottis
 The vocal glottis does not dilate even in the high pressure of IPAP (20 cmH₂O) when EPAP is fixed at 4 cmH₂O. However, it dilates suddenly at the points of 15/5 cmH₂O and 8/6 cmH₂O of I/EPAP. Then, it dilates from the beginning when EPAP is more than 7 cmH₂O.

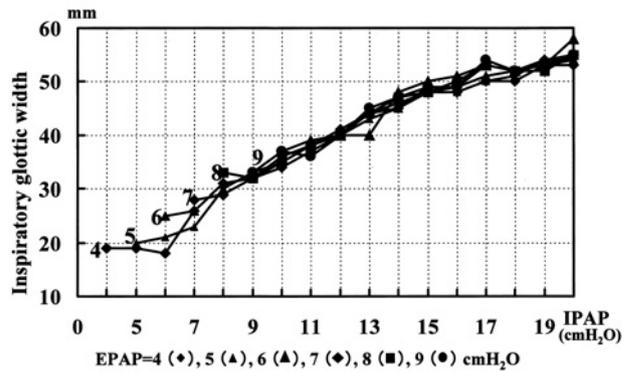


Fig. 7 Plot graph of the inspiratory glottic width and the level of positive airway pressure in the model with moderately narrow glottis
 The vocal glottis dilates on the level of IPAP, having no relationship with the level of EPAP.

ベル (8cmH₂O) で解除された。そして、EPAPが7cmH₂O以上では最初から奇異性運動は出現しなかった。それに対し、中等度狭窄モデルにおいては(Fig. 7), EPAP=4cmH₂Oにおいてのみ軽度の奇異性運動が残存したが、それ以上のEPAPではどのようなIPAPの設定圧であっても、呼気時のばあい

と同様に圧依存性に開大効果がみとめられた。

奇異性運動の有無という立場から、改めて Fig. 6 の結果を X 軸に IPAP を、Y 軸に EPAP をとったプロット図として展開してみると、右肩下がりの閾値曲線がえられ、その変曲点は IPAP/EPAP=7/7cmH₂O, 8/6cmH₂O, 15/5cmH₂O であった (Fig. 8A)。すなわち、設定圧がこの閾値曲線より上になれば、奇異性運動は回避されることを示している。Fig. 4D はその一例であり、奇異性運動を呈した人工声帯 (Fig. 4C) に、CPAP

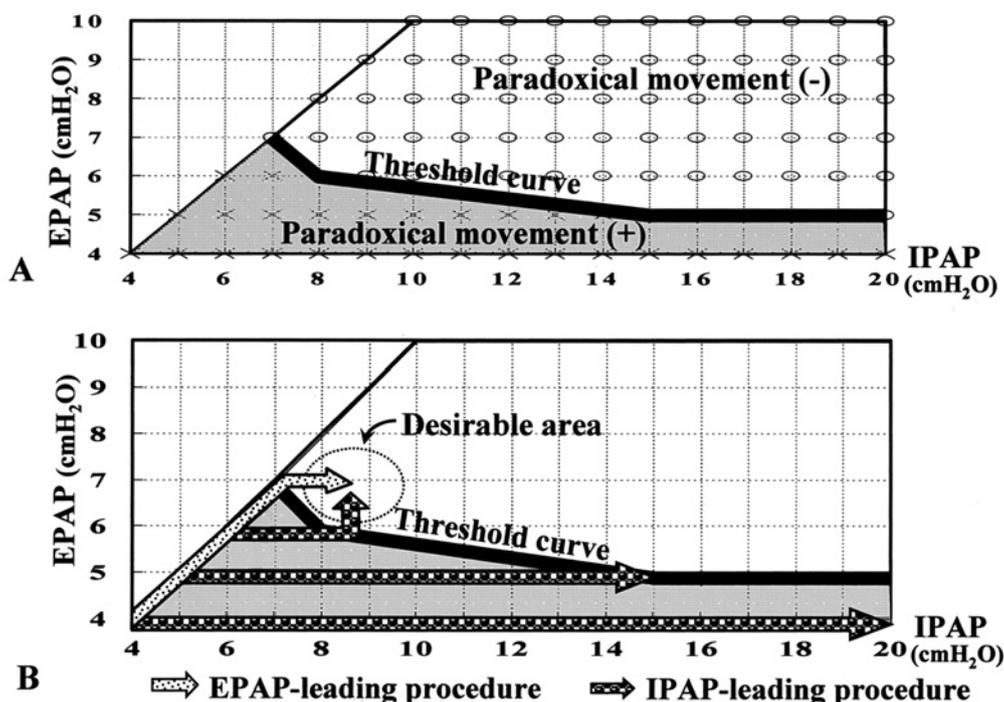


Fig. 8 The presumed threshold curve of the paradoxical vocal cord movement in the model with severely narrow glottis

A: The threshold curve can be drawn by plotting the all conditions of I/EPAP according to the presence (×) or absence (○) of the paradoxical movement.

B: In this model with severely narrow glottis, EPAP-leading procedure seems to be getting more easily to the desirable area rather than IPAP-leading procedure.

(このばあいは8cmH₂O)をかけたところ、声帯は吸気時にも呼気時にも明らかに開大したことを示している。

考 察

MSAにおける声帯外転障害の発症メカニズムについては、まだ不明の点が多い。われわれは、多数の自験例を検討した結果、声帯外転障害は麻痺性要素(声帯開大筋の神経原性萎縮による開大力低下と遅延反応)と非麻痺性要素(甲状披裂筋の吸気性放電^{12)~14)}に代表される声帯内転筋群の筋緊張亢進による閉鎖力増大)の両者が混合して発症すると考えている。そして、この混合比(バランス)は症例毎にことなり、また同一症例においても原疾患の進行とともに変化しうると考えられ、さらに喉頭蓋や披裂部においても上気道閉塞をきたしうる(sleep-induced laryngomalacia)⁹⁾。このように、声帯外転障害の発症には多くの因子が関与しているが、今回の実験は麻痺性要素に的を絞って、人工声帯を使用することによりほぼpassiveな要素だけからなる系において検討した。その結果、そうした単純化された条件下でも、MSA患者のばあいと同様な声帯奇異性運動を再現することができた。とくに興味深い点は、声門狭窄が高度のモデルにおいては、NPPVによる声門開大効果を与えるためには、EPAPをある一定圧以上に上げる必要が生じたことである。すなわち、EPAPの設定には閾値

が存在することが示された(Fig. 8A)。

そこで、こうしたEPAPにおける閾値の存在が、実際のNPPVの設定においてはどのように反映されるのかについて考察した。一般に、NPPVの圧設定においてはIPAPを上げるにより換気量は増加し、その結果PaO₂の上昇やPaCO₂の低下をもたらされる。またEPAPを上げるにより、閉塞した上気道を開大させたり、拘束性換気障害のばあいには機能的残気量を増すことによってPaO₂を上げる効果もあるといわれている¹⁷⁾¹⁸⁾。通常は、まずEPAPを最低値(多くは4cmH₂O)に固定した状態で徐々にIPAPを上げていき、有効な換気がえられなければEPAPを一段階上げ(5cmH₂O)、ふたたびIPAPを上げていくという、いわばIPAPを優先した方法が比較的よくおこなわれる。この方法は、今回の実験結果にしたがって考えると、中等度の声門狭窄例ではとくに問題を生じないが、高度の声門狭窄ではEPAPに閾値が存在することから、前述したように設定中にIPAPが異常に高値となる可能性があり、そのばあいには患者への負担が大きくなるばかりでなく、危険ですらある。

一方、個々の症例報告における圧設定についてみると、笹原ら¹⁵⁾はIPAP/EPAP=10/10cmH₂O(すなわちCPAP)とIPAP/EPAP=8/4cmH₂O(Bilevel PAP)とが、酸素分圧上は同程度の換気効果を示したことから、患者負担を考えより低圧であるBilevel PAPを推奨している。また、Nonakaら⁶⁾も

IPAPを20cmH₂O以上, EPAPを10cmH₂O以上に上げてても奇異性運動が改善しなかった例(この例はその後の再検により14/6cmH₂Oで良好な結果をえている)やIPAP/EPAP=8/8cmH₂O(CPAP)では有効換気がえられず, 12/4cmH₂O(Bilevel PAP)で良好な結果がえられた例などを報告し, 加えてMSAではいずれ中枢性呼吸障害をきたしうることも考えて, CPAPよりBilevel PAPの使用を推奨している. 一方, CPAPが長期にわたって有効であるという報告も複数あるが⁴⁾⁵⁾, なかにはCPAPを装着しても喘鳴をみとめた例¹⁶⁾や原疾患の進行により日中の喘鳴が増悪した例もあり, そのばあいには気管切開術が望ましいという⁵⁾. Ghorayebら⁴⁾も, CPAPが有効なのは, MSAとしての運動機能障害が比較的軽度(すなわち初期)な症例であり, 重症例では気管切開術のほうが望ましいとしているが, 彼らは声帯外転障害そのものの重症度との関連については検討していない.

以上のことから, われわれは閉塞した上気道を効率よく開大させるためには, 最初はCPAP(IPAP=EPAP)で奇異性運動が解除されるまで徐々に圧を上げていき, 声門開大がえられてもなお十分な換気量がえられないばあいには, 今度はIPAPを徐々に上げていくという方法をとれば, IPAPが不必要に高値となることが避けられ, 安全に比較的早く望ましい目標圧に近づくことができると考えた. この方法は, EPAPを優先して決めることからEPAP主導方式と表現することができ, これに対して前述した従来の方法はIPAPを優先的に決めることからIPAP主導方式と表現すると両者の違いがわかりやすい(Fig. 8B). 従来の表現を使えば, 前者はCPAPモード, 後者はBilevel PAPモードにて設定を開始することになる. このBilevel PAPという方法は, Sandersら¹⁷⁾によって考案された吸気時と呼気時に別々にことなった陽圧を加えるNPPVである. かれらは閉塞性睡眠時無呼吸症候群の患者に対する検討から, EPAPがある閾値に達した時にはじめて無呼吸が減少したことを報告し, 気道閉塞におけるEPAPの重要性を指摘している. 対象疾患が声帯外転障害と閉塞性睡眠時無呼吸症候群という違いはあるものの上気道閉塞という点は共通しており, かれらの結果はわれわれの実験結果—EPAPには閾値が存在する—と本質的には同一と考えられる. 彼らの圧設定法は, IPAP/EPAP=5/2.5cmH₂Oから開始し, 無呼吸が消失するまでIPAPとEPAPとを2.5cm cmH₂Oずつ交互に上げていき, 無呼吸が消失した時点でもなお酸素化が不十分なばあいには, 今度はIPAPだけをさらに上げていくという方法をとっている. この方法は, 基本的には上気道を開大させるためにはEPAPを上げ, 酸素化を図るためにはIPAPを上げるという考えに基づいている.

MSAにおいて, NPPV導入時の換気モードや圧の設定法については, まだ一定の基準が設けられておらず, また筋ジストロフィーや筋萎縮性側索硬化症のように呼吸筋麻痺を主徴とする疾患のばあいとも明らかにことなる. 現在のところ, 各施設ごとにそれぞれの経験的な方法でおこなわれているのが実状であるが, 今後もMSAに対するNPPV適応の拡大が見込まれることを考えると, 安全で有効な導入法は重要な課題

の一つである. すでに臨床面においては睡眠時無呼吸症候群による上気道閉塞に対するEPAPの重要性は知られているが, このことが人工声帯をもちいた実験の声帯外転障害においても成り立つことを本研究では証明することができた. また, MSAにおける上気道閉塞は, 前述したような様々な要因が関与するため, NPPVを装着する前に閉塞部位や程度について予め評価しておくことも重要である. その上で, 麻痺性要素からなる声帯外転障害が主体であれば, EPAP主導方式による圧設定法が有効であることを示した.

文 献

- 1) 飯島 睦, 太田宏平, 宇野野忠ら: オリーブ橋小脳萎縮症における睡眠時無呼吸症候群に対するBi-level positive airway pressure ventilation (BIPAP)の有効性. 臨床神経 1997; 37: 492—496
- 2) 宮本雅之, 宮本智之, 片山宗一ら: 睡眠中に著明ないびきと奇異性呼吸を合併した多系統萎縮症—経鼻的持続陽圧呼吸 (Nasal CPAP) 療法が著効した1例—. 臨床神経 1998; 38: 1059—1063
- 3) Iranzo A, Santamaria J, Tolosa E, et al: Continuous positive airway pressure eliminates nocturnal stridor in multiple system atrophy. Lancet 2000; 356: 1329—1330
- 4) Ghorayeb I, Yekhle F, Bioulac B, et al: Continuous positive airway pressure for sleep-related breathing disorders in multiple system atrophy: long-term acceptance. Sleep Med 2005; 6: 359—362
- 5) Iranzo A, Santamaria J, Tolosa E, et al: Long-term effect of CPAP in the treatment of nocturnal stridor in multiple system atrophy. Neurology 2004; 63: 930—932
- 6) Nonaka M, Imai T, Shintani T, et al: Non-invasive positive pressure ventilation for laryngeal contraction disorder during sleep in multiple system atrophy. J Neurol Sci 2006; 247: 53—58
- 7) Shimohata T, Shinoda H, Nakayama H, et al: Daytime hypoxemia, sleep-disordered breathing, and laryngopharyngeal findings in multiple system atrophy. Arch Neurol 2007; 64: 856—861
- 8) 平山正昭, 渡辺宏久, 深津 博ら: 多系統萎縮症における睡眠時無呼吸時の上気道閉塞の多様性 (会). 臨床神経 2002; 42: 1270
- 9) 磯崎英治: 多系統萎縮症における上気道閉塞. 神経進歩 2006; 50: 409—419
- 10) 福井孝太郎, 新宅英滋, 誉田雅彰ら: 生理学的構造に基づく人間形発話ロボットの発声機械モデル. 日本機械学会論文集 (機論) 2007; 73: 2750—2756
- 11) Fukui K, Shintaku E, Shimomura A, et al: Control methods based on neural network forward and inverse models for a biomechanical structured vocal cord model on an anthropomorphic talking robot. In IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2008, pp 3648—

- 3653
- 12) Isozaki E, Osanai R, Horiguchi S, et al: Laryngeal electromyography with separated surface electrodes in patients with multiple system atrophy presenting with vocal cord paralysis. *J Neurol* 1994; 241: 551—556
- 13) Shiba K, Isono S, Nakazawa K: Paradoxical vocal cord motion; A review focused on multiple system atrophy. *Auris Nasus Larynx* 2007; 34: 443—452
- 14) Vetrugno R, Liguori R, Cortelli P, et al: Sleep-related stridor due to dystonic vocal cord motion and neurogenic tachypnea/tachycardia in multiple system atrophy. *Mov Disord* 2007; 22: 673—678
- 15) 笹原鉄平, 中原康雄, 上坂義和ら : Bi-level positive airway pressure (BiPAP) により夜間呼吸不全が改善した多系統萎縮症の63歳女性例. *神経治療* 2006 ; 23 : 151—156
- 16) Silber MH, Levine S: Stridor and death in multiple system atrophy. *Mov Disord* 2000; 15: 699—704
- 17) Sanders MH, Kern N: Obstructive sleep apnea treated by independently adjusted inspiratory and expiratory positive airway pressures via nasal mask. *Physiologic and clinical implications*. *Chest* 1990; 98: 317—324
- 18) Elliot MW, Simonds AK: Nocturnal assisted ventilation using bi-level positive airway pressure: the effect of expiratory positive airway pressure. *Eur Respir* 1995; 8: 436—440

Abstract

Experimental vocal cord abduction impairment with an artificial vocal cord

Eiji Isozaki, M.D.¹⁾, Shinsuke Tobisawa, M.D.¹⁾, Misato Nishizawa, M.D.²⁾,
Hideto Nakayama, M.D.³⁾, Kotaro Fukui, M.D.⁴⁾ and Asuo Takanishi, M.D.⁴⁾

¹⁾Department of Neurology, Tokyo Metropolitan Neurological Hospital

²⁾Clinical Engineering Technologist, Tokyo Metropolitan Neurological Hospital

³⁾Department of Anesthesiology, Tokyo Metropolitan Neurological Hospital

⁴⁾Department of Modern Mechanical Engineering, School of Creative Science and Engineering, Waseda University

Non-invasive positive pressure ventilation (NPPV) has recently been applied to the patients with multiple system atrophy (MSA) with various respiratory complications including vocal cord abduction impairment and respiratory disturbance by the central origin. Any consensus guidelines on setting up the inspiratory positive airway pressure (IPAP) and expiratory one (EPAP), however, have not been raised yet. To investigate this problem, we made the upper airway tract model with moderately and severely narrow glottis using a training/test lung and the artificial vocal cord which was developed for a humanoid talking robot in Waseda University. The artificial vocal cord was molded out of a high performance thermoplastic rubber in imitation of the human larynx. Previous studies using with a high-speed camera and a sound analyzer showed that the artificial vocal cord resembled human larynx closely both morphologically and functionally. The opening and closing movements of the artificial vocal cord were observed fiberscopically under various conditions of IPAP (4-20 cmH₂O) and EPAP (4-10 cmH₂O). The maximal glottic width during inspiration and expiration were measured by a pair of calipers on the video-monitored display. Both of the moderately and the severely narrow artificial vocal cords without non-paralytic factors showed typical paradoxical movement showing adduction in inspiration and abduction in expiration, which is characteristic to vocal cord abductor impairment seen in MSA. In the model with moderately severe narrow glottis, this paradoxical movement was released under any positive pressures of continuous (CPAP) and bilevel (Bilevel PAP) modes. In the model with severely narrow glottis, however, there existed a threshold in setting up the optimal EPAP to release the paradoxical movement. In conclusion, EPAP-leading procedure seems to be preferable to IPAP-leading procedure to dilate the narrow glottis as a pneumatic splint in the managements of the patients with MSA presenting with a paralytic type of vocal cord abductor impairment.

(*Clin Neurol*, 49: 407—413, 2009)

Key words: artificial vocal cord, paradoxical movement, vocal cord abduction impairment, multiple system atrophy, non-invasive positive pressure ventilation