声帯内方移動術

松 島 康 二

Medialization Thyroplasty

Koji Matsushima

Vocal fold paralysis impairs breathing, swallowing, and the vocal function. Since it was first described by Isshiki in the 1970s, type I thyroplasty has become an increasingly common procedure for the surgical treatment of glottic incompetence in patients with unilateral vocal fold paralysis. The early days when the medialization laryngoplasty was started, a patient's own tissue, such as cartilage, was used for the fixation of a medialization. Over the years, to reduce invasion and increase the efficacy of surgery, ready-made implants have been developed. In addition, an instrument designed exclusively for performing these operations smoothly has also been developed. The characteristics and problems associated with various types of thyroplasty implants are herein reported.

Keywords : laryngoplasty, thyroplasty, vocal fold palsy, titanium medialization laryngoplasty implant

はじめに

声帯内方移動術は、声帯の振動部体積を増加すること、そして声帯を正中へ移動することの一方もしくは両方を目的として行われている。そして内方移動した状態を維持するためには自家組織や人工材料の留置による固定が必要となる。対象疾患として声門閉鎖不全をきたす疾患、具体的には声帯麻痺に対して施行されることが多い。本論文では声帯内方移動術の歴史やこれまでに開発されたインプラントやシムについて論ずる。

術式の変遷

1915年にPayr¹⁾が甲状軟骨翼を“コ”の字に切開し内方へ押し込む甲状軟骨弁法(図1)を報告した以降、声門の閉鎖不全を解消するために、さまざまな方法が報告されてきた。甲状軟骨下軟骨挿入法として1955年にOpheim²⁾は患側甲状軟骨翼の頭側の一部を採取し、傍声帯間隙に留置する術式を(図2)、そして1968年にSawashimaら³⁾は健側甲状軟骨翼の頭側の一部を採取し、甲状軟骨と内軟骨膜の間に留置する術式を(図3)報告した。また筋肉弁挿入法として1967年にBernstein⁴⁾は胸骨舌骨筋を用いて内方移動する術式を考案し(図4)、この術式はSuら⁵⁾によって実際に行われている。

1974年にIsshiki⁶⁾は甲状軟骨を操作し内部に存在する声帯の位置や緊張度を変化させる“Thyroplasty”を提唱し報告した。その中で内方移動術の初期段階は甲状軟骨の側面を縦切開し、重ね合わせる現行のⅢ型の手技に近い方法

などが試された後に、甲状軟骨に投影される声帯の位置を開窓し内方移動する術式となった⁷⁾(図5)。そして現在では声帯麻痺に対する標準術式として広く世界で行われている。

インプラント、シムの開発

内方移動した声帯を固定するために、初期は軟骨などの自家材料が用いられていたが、侵襲を減らし手術効果を高めるために人工材料を用いた固定が行われるようになった。また手術操作を円滑に進めるための鉗子類も開発されている。これまでに数種類の素材のインプラントおよびインプラントシステムが製品化され各国の使用認可を得ている。

-シリコン製インプラント-

現行の内方移動術が行われるようになってから現在まで、多くの施設でシリコンブロックが使用されてきた。シリコンブロックは適度な弾性をもち固定素材として適しているが、成形に技術と時間を要するため、既製のインプラントが開発された。製品化されたインプラントとしてMontgomery[®] system (Boston Medical Products, Inc.)⁸⁾(図6)とNetterville Phonoform[®] silicone block (Medtronic ENT, Inc.)⁹⁾がある。Montgomery[®]は大小2種類の各5サイズで合計10規格に対して、Netterville Phonoform[®]は左右の2規格で製品化されていたが、現在製造中止となっている。さらにMontgomery[®]は専用の鉗子やダミーも含めたインプラントシステムとして製品化され、FDA (food and drug administration) の承認とCEマーキングを取得

している。またMontgomery[®]は披裂軟骨にも作用し、声帯を正中へ移動する効果を期待した形状となっている。

－延伸ポリテトラフルオロエチレン (Gore-Tex[®]) 製インプラント－

McCullochら¹⁰⁾が報告した以後、多くの施設で使用されており、Gore thyroplasty device (Gore and Associates) として一時製品化されたが、現在製造中止となっている(図7)。特徴としては組織親和性に優れ、柔らかい素材の

ため扱い易く、挿入方法の自由度が高い点があげられるが、多孔素材であるため体積が変化し意図した形状での維持が難しいという側面もある。また後に述べるが、固定に関する問題は多く報告されている。

－水酸アパタイト製インプラント－

Cummingら¹¹⁾が報告しVoCoM[®] (Gyrus ACMI, Inc.) として製品化されている。内方移動の程度を調節する5種類のインプラントとインプラントの位置を調節する4種類の

図1 甲状軟骨弁法 (payr)
声帯レベル(丸矢印)で軟骨を“コ”の字に切開し、
内方へ押し込む(矢印)
a. 側面 b. 軸位断

図2 甲状軟骨下軟骨挿入法 (Opheim)
患側甲状軟骨翼の頭側の一部を採取し、声帯と平行
に留置する
a. 正面 b. 軸位断

図3 甲状軟骨下軟骨挿入法 (Sawashima)
健側甲状軟骨翼の頭側の一部を採取し、軟骨と内軟骨膜
の間に留置する
a. 正面 b. 軸位断

図4 筋肉弁挿入法(軸位断)
内方移動に胸骨舌骨筋を用いる

図5 Type I thyroplasty (lateral compression)
a. 側面(開窓位置)
b. 軸位断 開窓部の軟骨片ごと内方移動しシリコン
ブロックを用いて固定する

図6 Montgomery[®] (軸位断)
披裂軟骨にも作用する形状と
なっている

シムを組み合わせる仕様となっており、専用の鉗子やダミーも含めたインプラントシステムとして製品化されている(図8)。人工骨として用いられている素材のため、術後に周囲の軟骨組織と一体化し再手術は難しいことを予想していたが、再手術にも対応可能であると報告されている¹²⁾。

・チタン製インプラント-

- ・TVFMITM (titanium vocal fold medializing implant; Heinz Kurz Medical GmbH)

TVFMITMはFriedrichが報告し¹³⁾、大中小の3規格で製品化され、FDAの承認とCEマーキングを取得している。可変部分はインプラントの背側部にあり、任意の位置での曲げ加工により内方移動の調節を行う(図9)。厚さは0.25mmだが、ASTM grade4の最高強度の純チタン材からなるインプラントのため、細かな調節は難しいことが予想される。またインプラントの形状から声帯前方が過矯正になり得ることや¹⁴⁾、固定部と調節部の軸が同一のため麻痺声帯と平行に留置出来ないケースも存在することが推察される¹⁵⁾。

- ・ThyroProtipTM (Alcis)

Devosら¹⁶⁾により報告され大小の2規格がある(図10)。

スクリューにより内方移動の調節が可能な構造になっているが、喉頭に用いるにはやや大きく普及していないようである。

- ・TMLITM (titanium medialization laryngoplasty implant)

著者が開発したTMLIはシンプルなプレート状であり、ひとつの規格で男女に対応出来る^{17, 18)}。さらに0.2mmの厚さで加工性と強度のバランスが良いJIS2種 (ASTM grade2相当)の純チタン製のため、任意の箇所での折り曲げることができ、レーザーマーキングに沿って曲げ加工を加えることにより、声帯の前方を押す深さ、声帯全体を押す幅、声帯後方を押す深さのより細かな調節が可能となる。金属を折り曲げることで強度の低下が懸念されるが、インプラント留置後の傍声帯間に結合組織が形成され自家組織で補強される効果もあり、これまでにインプラントの破断を認めた症例は1例もない。さらにTMLIは術後の移動を防ぐための構造を有し、固定の安定性も証明されている(図11)。

声帯内方移動術は矯正不足を修正する目的で再手術が必要となる症例が一定数存在するが、TMLIは成形した形状の計測や内方移動の状態が画像検査で詳細に把握できるため、再手術にも柔軟に対応できる。

図7 Gore-Tex® ePTFEシート- (軸位断)

図8 VoCoM®
内方移動の程度を調節する5種類のインプラントとインプラントの位置を調節する4種類のシムを組み合わせる仕様となっている
a. インプラント(左)とシム(右) b. 軸位断

図9 TVFMITM
a. シェーマ
b. 軸位断 インプラント背側部の曲げ加工(矢印)により内方移動を調節する

図10 ThyroprotipTM (軸位断)
スクリューにより内方移動を調節する

図 11 TMLI™

- a. シェーマ、レーザーマーキングに沿って曲げ加工を加える（i：固定部、ii：調節部）
 b. 軸位断 インプラント挿入後約3ヶ月で傍声帯間隙に結合組織が形成され（矢印）、インプラントが補強される。

図 12 APrevent® VOIS implant (軸位断)

- a. 注入前 b. 注入後

－チタン＆シリコン製インプラント－

Hoら¹⁹⁾が報告しAPrevent® VOIS implant (APrevent Biotech GmbH)として製品化されている。インプラントは大きさの異なる4規格からなり、専用の鉗子も含めたインプラントシステムとして製品化されている。このインプラントの特徴はシリコンバルーンを膨らませることにより内方移動を調節する点にある(図12)。この構造により術後にも再切開を必要とせず注入により内方移動の修正ができると報告している。インプラントは披裂軟骨にも作用する形状となっている。

インプラント間での比較

Suehiroら²⁰⁾が行ったシリコンブロックとGore-Tex®の比較では、Gore-Tex®群の方が手術時間の短縮を認め、音響分析検査において有意な改善効果を認めたと報告しているが、Iwahashiら²¹⁾が行ったシリコンブロックと水酸アパタイト、Gore-Tex®を用いた患者に対して術後に行ったCTによる評価では、Gore-Tex®群の方が過小矯正の傾向があることを報告している。またNouwenら²²⁾が行ったMontgomery®とGore-Tex®の比較ではMontgomery®の方が音響分析検査と単位時間毎に発声できる単語数において有意な改善効果を認めたと報告している。これらの報告か

らGore-Tex®は挿入方法の自由度が高いインプラントであるが故に、術後成績が施設や術者の術式・技量に依るインプラントであることが推察される。

Storckら²³⁾が行ったVoCoM®とTVFMI™の比較では、TVFMI™群の方が聴覚印象および空気力学的な検査で有意な改善効果を認めたと報告している。Ardenneら²⁴⁾が行ったシリコンブロックとTVFMI™の比較ではTVFMI™群の方がvoice handicap indexにおいて有意な改善効果を、聴覚印象および空気力学的な検査で改善傾向を認めたと報告している。Malikら²⁵⁾が行った既成形のシリコンブロックとTVFMI™の比較では術後の音声改善効果に有意な差は認めなかったが、TVFMI™群の方が手術時間の短縮を認めたと報告している。これらの報告から幅と長さのある平面構造体で内方移動を固定するインプラントの方が良好な機能改善効果を期待出来ることが示唆された。

術後合併症

声帯内方移動術の合併症としてインプラントの露出・排出が挙げられる。その頻度は報告によりさまざまだが、Rosen²⁶⁾やYoungら²⁷⁾によって行われた大規模な調査では約1%と報告されている。インプラントの露出・排出はGore-Tex®(ePTFEシート)²⁸⁾とシリコンブロック²⁹⁾が多

く報告されている。これらは使用されている症例数が多いため、報告数も多くなっていることが予想されるが、報告されているなかには76cmものePTFEシートが留置されていた症例も存在した³⁰⁾。一方で製品化されたインプラントは固定構造を有しているため、シリコン製であるMontgomery[®]は多くの施設で使用されているにもかかわらず報告数は少ない。ePTFEシートとシリコンブロックは術後数年経過してから露出・排出を認めた症例も報告されており、手術後の経過中にインプラントが移動する可能性も示唆される。ePTFEシートは入手し易く、扱い易いインプラントだが挿入方法の規準の作成や固定に関する工夫が必要と思われる。

お わ り に

内方移動術について、術式の変遷とインプラントについて述べた。なお実際の手術手技や術前の検査、周術期の管理に関しては、著者が“喉頭機能外科を極める－甲状軟骨形成術Ⅰ型⁻³¹⁾”と“音声障害評価法の普及に向けて－喉頭の動的静的検査⁻³²⁾”、“器質性疾患に伴う音声障害－声帯麻痺のマネージメント⁻³³⁾”を報告しているので、合わせて参照するとこの術式に対する理解がより深まると考える。

本論文に利益相反に該当する事項はない。

参 考 文 献

- 1) Payr E : Plastik am schildknorpel zur behebung der folgen einseitiger stimmbandlähmung. Dtsch Med Wochenschr 43 : 1265-1270, 1915.
- 2) Opheim O : Unilateral paralysis of the vocal cord, operative treatment. Acta otolaryngol 45 : 226-230, 1955.
- 3) Sawashima M, Totsuka G, Kobayashi T et al : Surgery for hoarseness due to unilateral vocal cord paralysis. Arch Otolaryngol 87 : 289-294, 1968.
- 4) Bernstein L : Correction of vocal cord abduction in unilateral recurrent laryngeal nerve paralysis by transposition of the sternohyoid muscle. An experimental study in dogs. Laryngoscope 77 : 876-885, 1967.
- 5) Su CY, Lui CC, Lin HC et al : A new paramedian approach to arytenoid adduction and strap muscle transposition for vocal fold medialization. Laryngoscope 112 : 342-350, 2002.
- 6) Isshiki N, Morita H, Okamura H et al : Thyroplasty as a new phonosurgical technique. Acta Otolaryngol 78 : 451-457, 1974.
- 7) Isshiki N, Okamura H, Ishikawa T : Thyroplasty type I (lateral compression) for dysphonia due to vocal cord paralysis or atrophy. Acta Otolaryngol 80 : 465-473, 1975.
- 8) Montgomery WW, Blaugrund SM, Varares MA : Thyroplasty: a new approach. Ann Otol Rhinol Laryngol 102 : 571-579, 1993.
- 9) Netterville JL, Stone RE, Luken ES et al : Silastic medialization and arytenoid adduction: the Vanderbilt experience. A review of 116 phonosurgical procedures. Ann Otol Rhinol Laryngol 102 : 413-424, 1993.
- 10) McCulloch TM, Hoffman HT : Medialization laryngoplasty with expanded polytetrafluoroethylene. Surgical technique and preliminary results. Ann Otol Rhinol Laryngol 107 : 427-432, 1998.
- 11) Cummings CW, Purcell LL, Flint PW : Hydroxyapatite laryngeal implants for medialization. Ann Otol Rhinol Laryngol 102 : 843-851, 1993.
- 12) Lundeborg MR, Flint PW, Purcell LL et al : Revision medialization thyroplasty with hydroxylapatite implants. Laryngoscope 121 : 999-1002, 2011.
- 13) Friedrich G : Titanium vocal fold medializing implant: introducing a novel implant system for external vocal fold medialization. Ann Otol Rhinol Laryngol 108 : 79-86, 1999.
- 14) Schneider-Stickler B, Gaechter J, Bigenzahn W : Long-term results after external vocal fold medialization thyroplasty with titanium vocal fold medialization implant (TVFMI). Eur Arch Otorhinolaryngol 270 : 1689-1694, 2013.
- 15) Witt RE, Hoffman MR, Friedrich G : Multiparameter analysis of titanium vocal fold medializing implant in an excised larynx model. Ann Otol Rhinol Laryngol 119 : 125-132, 2010.
- 16) Devos M, Schulz P, Guilere F et al : Thyroplasty for unilateral vocal fold paralysis using an adjustable implant in porous titanium. Eur Ann Otorhinolaryngol Head Neck Dis 127 : 204-212, 2010.
- 17) Matsushima K : Type I thyroplasty using a titanium implant combined with modified arytenoid Adduction. Laryngoscope 130 : 2625-2630, 2020.
- 18) Sano D, Matsushima K, Isono Y et al : Long-term treatment outcome of type 1 thyroplasty using novel titanium medialization laryngoplasty implant combined with arytenoid adduction for unilateral vocal cord paralysis: single-arm interventional study at a single institution. Laryngoscope Invest Otolaryngol 30 : 895-902, 2020.
- 19) Ho GY, Leonhard M, Denk-Linnert DM et al : Pre- and intraoperative acoustic and functional assessment of the novel APrevent[®] VOIS implant during routine medialization thyroplasty. Eur Arch Otorhinolaryngol 277 : 809-817, 2020.

- 20) Suehiro A, Hirano S, Kishimoto Y et al : Comparative study of vocal outcomes with silicone versus Gore-Tex thyroplasty. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 118 : 405-408, 2009.
- 21) Iwahashi T, Ogawa M, Hosokawa K et al : Computed tomographic assessment of the causal factors of unsuccessful medialization thyroplasty. *Acta Otolaryngol* 135 : 283-289, 2015.
- 22) Nouwen J, Hans S, De Mones E et al : Thyroplasty type I without arytenoid adduction in patients with unilateral laryngeal nerve paralysis: the montgomery implant versus the Gore-Tex implant. *Acta Otolaryngol* 124 : 732-738, 2004.
- 23) Storck C, Fischer C, Cecon M et al : Hydroxyapatite versus titanium implant: Comparison of the functional outcome after vocal fold medialization in unilateral recurrent nerve paralysis. *Head Neck* 32 : 1605-1612, 2010.
- 24) van Ardenne N, Vanderwegen J, Van Nuffelen G et al : Medialization thyroplasty: vocal outcome of silicone and titanium implant. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 268 : 101-107, 2011.
- 25) Malik A, Ramalingam WV, Nilakantan A et al : Comparison of the use of silastic with titanium prefabricated implant in type I thyroplasty. *Braz J Otorhinolaryngol* 80 : 156-160, 2014.
- 26) Rosen CA : Complications of phonosurgery: results of a national survey. *Laryngoscope* 108 : 1697-1703, 1998.
- 27) Young VN, Zullo TG, Rosen CA : Analysis of laryngeal framework surgery: 10-year follow-up to a national survey. *Laryngoscope* 120 : 1602-1608, 2010.
- 28) Watanabe K, Hirano A, Honkura Y et al : Complication of using Gore-Tex in medialization laryngoplasty: case series and literature review. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 276 : 255-261, 2019.
- 29) Laccourreye O, Benkhatar H, Menard M : Lack of adverse events after medialization laryngoplasty with the Montgomery thyroplasty implant in patients with unilateral laryngeal nerve paralysis. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 121 : 701-707, 2012.
- 30) Feinberg S, Lopez-Guerra G, Zeitels SM : Hypopharyngeal extrusion of 2.5 feet (76cm) of polytetrafluoropethylene (Gore-Tex): initial laser-assisted office-based removal and micropharyngeal completion. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 119 : 573-577, 2010.
- 31) 松島康二 : 音声障害評価法の普及に向けて 喉頭の動的静的検査. *喉頭* 28 : 88-91, 2016.
- 32) 松島康二 : 喉頭機能外科を極める - 喉頭枠組み手術 - 甲状軟骨形成術 I 型. *喉頭* 31 : 112-116, 2019.
- 33) 松島康二 : 器質性疾患に伴う音声障害 声帯麻痺のマネージメント. *JOHNS* 37 : 565-567, 2021.

別刷請求先 〒143-8541 東京都大田区大森西 6-11-1
東邦大学医療センター大森病院耳鼻咽喉科

松島康二