一側声帯麻痺患者に対する音声改善術前後での超高精細CT評価

宮 本 真・渡 邊 格・茂 木 麻 未
中 川 秀 樹・齋 藤 康一郎

Pre- and Postoperative Evaluations of Patients with Unilateral Vocal Fold Paralysis Using Ultra-high-resolution Computed Tomography

Makoto Miyamoto, Itaru Watanabe, Ami Mogi
Hideki Nakagawa and Koichiro Saito

Computed tomography is useful for diagnosing laryngeal trauma, the extension of laryngeal cancer and lymph node metastasis of carcinoma. Yumoto et al. reported that helical CT was useful for evaluating three-dimensional images of the laryngeal structure. Furthermore, they performed helical CT in patients with unilateral vocal fold paralysis in order to understand the laryngeal morphology. Hiramatsu et al. reported that this approach visualized the movement of the arytenoid cartilages on reconstruction imaging.

The present study evaluated six patients with unilateral vocal fold paralysis whose voices improved after phonosurgery. Two patients underwent arytenoid adduction and thyroplasty type I, two underwent only thyroplasty type I, and two underwent injection surgery. The virtual endoscopic images reconstructed from ultra-high-resolution CT (UHRCT) showed a gap in the posterior glottal region in the cases for whom preoperative evaluations using flexible laryngoscopy had been very difficult due to supraglottic hypertension. Postoperative changes in the arytenoid position were observed on three-dimensional images.

UHRCT was shown to be effective for selecting the phonosurgery approach. This modality is a very important tool for determining which phonosurgical procedures to perform and for evaluating the postoperative change. We successfully evaluated the anatomical changes, glottal closure and position of arytenoid cartilages pre- and postoperatively using UHRCT.

Keywords : laryngeal structure, ultra-high reconstruction CT, virtual endoscopic images, three-dimensional images

はじめに

喉頭、特に声帯の器質的病変の観察・診断において、日常診療で最も有用な検査は喉頭内視鏡検査である。これらの検査により喉頭疾患の多くは診断可能である。CTやMRIといった画像検査は、喉頭外傷、癌の進展具合や頸部リンパ節腫脹の有無、声帯麻痺患者の原因診断に用いられてきた。湯本らがヘリカルCTを用いて喉頭構造を立体的に評価し、声帯麻痺における喉頭の形態評価に応用できることを報告¹⁻³⁾、平松らが再構築画像をもとに披裂軟骨の運動を立体的に視覚化したことで、複雑な喉頭運動の理解が容易になった^{4,5)}。空間分解能の高いコーンビームCTを喉頭領域に用いた報告もあり⁶⁾、CTは音声改善手術の術式選択や手術前後の効果判定に重要な検査となっている⁷⁻⁹⁾。

今回われわれは、手術により音声機能が改善した一側声帯麻痺患者の手術前後に超高精細CT (ultra-high-resolution computed tomography: UHRCT, Aquilion PrecisionTM;

Canon Medical Systems, 日本) による撮影を行い、作成したバーチャル内視鏡像 (virtual endoscopic images: VE 像) と3次元再構築画像 (three-dimensional reconstructed images: 3DCT 像) を基に、術前後で安静時と発声時における解剖学的な変化、声門閉鎖および披裂軟骨の位置の変化など検討したので、若干の文献的考察を加え報告する。

対象と方法

2018年当院に導入されて以降、音声改善手術を施行した一側声帯麻痺患者において、手術前後でUHRCT撮影を行うことができた6名を対象とした。喉頭内視鏡検査、音声検査、CT撮影は術後3カ月後の時点で施行した。

統計解析は、手術前後の音声機能の改善の有無を、Wilcoxon signed-ranks testを用い、 $P < 0.05$ を有意差ありとした。

本研究は杏林大学医学部倫理委員会の承認を得て行った (承認番号 1212)。

撮影条件

UHRCTは、検出器厚が面内方向と体軸方向の両方において従来のCTと比べ1/2倍となったコントラスト分解能の高い画像が得られる装置である。最小スライス厚0.25mmで検出器が160列のCTであり、CT値が大きく異なる空気と軟部組織で構成される喉頭領域ではアーチファクトの少ない画像撮影が可能となった。従来の高精細CTにおける頸部の撮影条件を踏まえ、管電圧はノイズの少ない（コントラストのよい）120kVとし、さらに時間分解能が良く、かつアーチファクトが最小となるように、回転時間と焦点サイズをそれぞれ0.5秒/rotation、 $0.6 \times 1.3\text{mm}$ に設定した。3種類の撮影モードのうち一番分解能の高いsuper high resolution (SHR) モードで撮影した。喉頭領域に限定すれば、撮影時間は約1秒である。

以前われわれが報告した吸気（鼻から息を吸う）と発声（母音イーの発声）の条件で撮影し、このデータを医用画像処理ワークステーションZIOSTATION（version 2.4, ザイオソフト株式会社, 日本）に送り、VE像と3DCT像を作成した。吸気と発声の2条件のVE像と3DCT像作成に必要な時間はそれぞれ約10分である¹⁰⁾。

症 例

症例は一側声帯麻痺患者6名、男性4名、女性2名、年齢は47歳から86歳（平均年齢：67.2歳）。声帯麻痺の原因は、弓部大動脈瘤置換術後が3名、大動脈解離置換術後2名、腐食性食道炎に対する食道亜全摘術後が1名で、患側は全例左側であった。軟性の喉頭内視鏡による観察では、声帯の固定位置は副正中位が4名、中間位が2名であった。声帯萎縮を認めたのは5名、左右声帯のレベル差や発声時に声門上絞扼症例を認めた症例があった（表1）。症例2は2回手術を施行しているが、UHRCT撮影を行った2回目の手術時の前後について検討した。

術式は披裂軟骨内転術（Arytenoid Adduction：AA）＋甲状軟骨形成術I型（Thyroplasty I：TH I）を2例、TH I単独を2例、リン酸カルシウム骨ペースト（Biopex[®]）注入術を2例に施行した。手術前後の音声機能検査は、voice handicap index（VHI）は術前平均64.3から23.7（ $P<0.01$ ）、VHI-10は25から11（ $P<0.01$ ）、GRBAS評価のGは2.5から0.8（ $P<0.01$ ）、Bは2.5から0.5（ $P<0.01$ ）、maximum phonation time（MPT）は4.8秒から17.2秒（ $P<0.01$ ）、mean air flow rate（MFR）は618.6 ml/secから321.7 ml/sec（ $P<0.01$ ）へと、すべて有意に改善していた

表1 症例の一覧

		症例①	症例②	症例③	症例④	症例⑤	症例⑥
年齢		86歳	70歳	78歳	75歳	47歳	47歳
性別		男性	男性	男性	女性	女性	男性
麻痺の原因		弓部 大動脈瘤 置換術後	弓部 大動脈瘤 置換術後	弓部 大動脈瘤 置換術後	大動脈 解離 置換術後	食道亜 全摘術後 (腐食性食道炎)	大動脈 解離 置換術後
軟性内視鏡所見	患側	左側	左側	左側	左側	左側	左側
	固定位置	副正中位	副正中位	副正中位	中間位	中間位	副正中位
	声帯所見	萎縮著明	萎縮著明	萎縮著明	萎縮軽度	萎縮なし	萎縮軽度
	レベル差	なし	あり	あり	あり	なし	なし
	その他	過緊張（絞扼）	過緊張（軽度）	過緊張（絞扼）	過緊張（軽度）	過緊張なし	過緊張なし

表2 術前後の音声機能

	症例①	症例②	症例③	症例④	症例⑤	症例⑥	平均	P-value
VHI	48⇒23	113⇒50	87⇒62	33⇒6	23⇒1	82⇒0	64.3⇒23.7*	$P<0.01$
VHI-10	25⇒11	48⇒14	50⇒26	25⇒4	11⇒2	35⇒0	32.3⇒9.5*	$P<0.01$
G	3⇒1	2⇒1	3⇒1	3⇒1	3⇒1	1⇒0	2.5⇒0.8*	$P<0.01$
B	3⇒0	2⇒1	3⇒0	3⇒1	3⇒1	1⇒0	2.5⇒0.5*	$P<0.01$
MPT(sec)	2⇒12	7⇒30	3⇒9	2⇒6	3⇒5	12⇒41	4.8⇒17.2*	$P<0.01$
MFR (ml/sec)	485.3 ⇒323.0	671.7 ⇒250.7	530.7 ⇒337.5	414.8 ⇒299.4	1460.5 ⇒563.7	148.5 ⇒155.8	618.9 ⇒321.7*	$P<0.01$

VHI：voice handicap index, MPT：maximum phonation time, MFR：mean air flow rate

* Wilcoxon signed-pair test

(表2).

代表的な症例を提示する

症例1は、86歳、男性。X年8月弓部大動脈瘤置換術が施行された。術直後より嗄声を認め、4ヵ月後に当科紹介となった。喉頭内視鏡所見は、左声帯麻痺(副正中位)、左声帯の著明な萎縮、発声時に声門上絞扼を認め、声帯の観察は困難であった。UHRCT撮影を行い、VE像で左声帯の萎縮、弓状弛緩、発声時の声門間隙を認めたが(図1a)、発声時における3DCT像で左右声帯のレベル差を認

めなかった(図1b)。VHIは48点、MPTは2秒、G3B3と氣息性の強い嗄声であった。外切開による音声改善手術を希望されず、麻痺発症1年半経過した時点で全身麻酔下にBiopex®注入術を施行した。術後3ヵ月の時点で、喉頭内視鏡所見では前方および後方の声門ともに閉鎖が得られた。UHRCTのVE像で左声帯の弓状弛緩は改善、初声時の声門閉鎖も得られ(図1c)、3DCT像で注入したBiopex®により左披裂軟骨の内転を確認できた(図1d)。VHIは23点に減少、MPTは12秒に延長、G1B0に改善した。

図1 症例1のVE像と3DCT像

* : 注入したBiopex®

図2 症例2のCTと3DCT像(2回目の手術前)

▼ : 挿入したGore-tex®
矢印 : 甲状軟骨の開窓部分

症例2は、70歳、男性。Y年2月から嗄声が出現し当科受診となった。喉頭内視鏡検査で左声帯の運動障害を認め、原因精査の胸部CTにおいて弓部大動脈瘤を認め、心臓血管外科にて弓部大動脈置換術が施行された。術後の喉頭内視鏡検査で左声帯麻痺（副正中位）、著明な声帯萎縮と発声時の大きな声門間隙、左右声帯のレベル差を認め、VHIは71点、MPTは2秒、G2B2であった。弓部大動脈置換術後半年ほどで、AAとTH Iを施行した。術後気息性嗄声は改善し、G1B1、MPTは術前の2秒から14秒に延長した。しかし術後半年ごろから気息性嗄声が悪化、G2B2、MPTは7秒に短縮、喉頭内視鏡では声門後部は閉鎖も声帯膜様部で間隙を認めた。2回目の音声改善手術に際しUHRCT撮影を施行したところ、1回目のAA+TH I手術で挿入したGore-tex[®]は前下方への移動が確認された（図2a）。初回手術時にTH Iの開窓部分は、正中より5mm外側で、声帯レベルに5×10mmの大きさに開窓したが、再構築した3DCT像ではI型の開窓部分は縮小していた（図2b）。Maragosらの報告に準じて削除した甲状軟

骨後方の半円状部分に披裂軟骨を確認できた¹¹⁾。再構築した発声時の3DCT画像で、披裂軟骨の傾きの左右差と左右声帯のレベル差を認めなかったため、披裂軟骨が発声時の方向に正確に牽引されていることを確認した（図2c）。これらより1回目の手術で挿入したGore-tex[®]がUHRCTでの計算上2mm下方に偏移したことで、発声時の声門間隙が生じたと考えた。1回目の手術から1年後に2回目の手術（TH I単独）を施行した。1回目の開窓部分は骨化縮小しており再度同じ位置に開窓した。開窓部分から前回挿入したGore-tex[®]は確認できたが、開窓部分より下方に約3mm偏移していたため一度摘出し、再挿入とした。2回目の術後3ヵ月で、喉頭内視鏡では発声時の声門間隙は消失、MPTは30秒に延長、G1B1と改善した。UHRCTで再度挿入したGore-tex[®]は声帯の高さに挿入されていた。

術前後UHRCTによる評価（表3, 4）

6症例に行われた手術は、AA+TH Iが2例、TH I単独が2例、Biopex[®]注入術が2例であった。術前の喉頭

表3 喉頭内視鏡所見

喉頭内視鏡 所見	術前	患側	症例①	症例②	症例③	症例④	症例⑤	症例⑥
			左側	左側	左側	左側	左側	左側
		固定位置	副正中位	副正中位	副正中位	中間位	中間位	副正中位
		声帯所見	萎縮著明	萎縮著明	萎縮著明	萎縮軽度	萎縮なし	萎縮軽度
		声門間隙	大きい	大きい	大きい	大きい	大きい	小さい
		レベル差	観察困難	あり	観察困難	あり	なし	なし
		声門上絞扼	強い	軽度	強い	軽度	なし	なし
	術後	固定位置	正中へ	正中へ	正中へ	正中へ	正中へ	正中へ
		声門間隙	なし	小さい	小さい	小さい	小さい	なし
		レベル差	なし	改善	改善	なし	なし	なし
		その他	声門上絞扼は改善	声門上絞扼は改善	声門上絞扼は改善	声門上絞扼は改善	なし	なし

表4 術前後での超高精細 CT 所見

UHRCT 所見	術前	VE 3DCT	症例①	症例②	症例③	症例④	症例⑤	症例⑥
			萎縮著明 声門上絞扼 なし レベル差 なし	左弓状弛緩 声門上絞扼 あり レベル差 あり	声門上絞扼 あり レベル差 あり	声門間隙 著明	声門後部の 間隙著明	声門間隙 小さい レベル差 なし
	術式		Biopex注入	TH I	AA+TH I	AA+TH I	Biopex注入	TH I
	術後	VE 3DCT	左声帯の volume up 正中へBiopex 確認できる	左声帯正中へ レベル差 改善	左声帯正中へ レベル差 改善	声門間隙 小さい	声門後部の 間隙小さい	声門閉鎖

内視鏡および喉頭ストロボスコープで声門上絞扼が強く、声門閉鎖、特に後部声門の観察が困難であった2例(症例①と③)においてVE像で声門後部の間隙を、うち1例(症例③)において披裂軟骨のレベル差が確認できた。AAを施行した2例とBiopex®注入術を行った2例において、術後の3DCT像で披裂軟骨の内転が確認でき、VE像で声門後部は小さくなっていることが確認できた。AA+TH Iの2例とTH I単独の2例の計4例において、甲状軟骨の開窓部分は通常のAxial像やCoronal像では評価困難であったが、3DCT像では3例で確認できた。40代の1例は甲状軟骨の骨化が進んでおらず開窓部位の判断は困難であった。

考 察

CTは現在世界中に普及し、その利用目的も健康診断、精密検査、CT透視下の治療と多岐にわたり、日常診療に必要不可欠な装置である。検出器は4列、16列、64列と列数が増加し、2007年には320列CTも登場した。臨床の現場では、放射線画像診断の進歩によって非常に大きな恩恵を受けている¹²⁾。

UHRCTであるAquilion Precision™(キャノンメディカルシステムズ、日本)は、従来装置よりも面内方向と体軸方向の両方でコントラスト分解能の高い画像を収集できる装置で、最小スライス厚0.25mmで検出器160例のCTである。CTの分解能は空間分解能、時間分解能、コントラスト分解能に優れており、UHRCTは特に空間分解能に優れている。つまり組織と空気の境界を明瞭に抽出できるため従来のCTに比べ微細な構造も抽出できる可能性がある^{13,14)}。

UHRCTのメリット

微細で精巧な画像が抽出できるため、撮影したデータからVE像および3DCT像を作成することで発声における披裂軟骨のslidingとrotationという複雑な運動を3次元的に構築することで可視化でき、手術前後の病態把握が容易となった。特に再手術が必要な症例において、初回手術による軟骨の位置変化なども容易に把握でき、再手術の術式選択にも有用な情報が得られた。UHRCTは0.25mm×160列の管球であり、1回転で4cmの範囲が撮影できるため、喉頭領域に限定すれば、約1秒で撮影が可能である。今回対象とした最長発声持続時間の非常に短い一側声帯麻痺患者においても発声時の喉頭評価が可能であった¹⁰⁾。

喉頭撮影時の被曝

一番の問題はきれいな画像を得られる反面大きな線量が必要となり、被ばく線量が大きくなることである。国際放射線防護委員会(International Commission on Radiological Protection: ICRP)が提供している変換係数(年齢、撮影部位により数値が異なる)から¹⁵⁾、被ばく線量を計算したところ、喉頭部分に限局した1回の撮影はおおよそ0.8mSvであった。

発声時と吸気時の2回撮影を行っても、2回の合計は約1.6mSvとなる。頭部1回あたりの撮影で2.4mSv、胸部9.1mSv、上腹部12.9mSv、下腹部10.5mSvとされており¹⁶⁾、頭部1回の撮影より小さい被ばく線量である。

他の問題点として、撮影したデータからVE像や3DCT像を作成するには、担当している放射線科技師であってもそれぞれ10分程度必要となり、撮影直後に患者に説明できないことである。UHRCTに限ったことではないが、骨化していない軟骨の抽出には限界があり¹⁷⁾、70代の4名に比べ、40代の2名では甲状軟骨の抽出が不明瞭であった。

ま と め

- 1) 今回、手術により音声改善の得られた一側性声帯麻痺患者6例に対し、UHRCTを用いて術前後の解剖学的変化、声門閉鎖や披裂軟骨の位置の変化などを確認した。
- 2) 手術前後においてCT像を比較することで、喉頭内視鏡では観察困難であった声門後部の閉鎖や左右声帯のレベル差、披裂軟骨の内転具合などを確認することができた。
- 3) 吸気と発声の2回の撮影でも、被曝線量は1.6mSvと頭部1回に比べ少ない。VE像と3DCT像の再構築には放射線科技師の経験も必要であり、検査直後での説明には不向きである。

謝辞: 本紙面を借りまして、今回超高精細CTによる撮影にあたりさまざまなご協力いただきました放射線科 横山健一教授、大原有紗先生、放射線科技師 小柳正道さまに感謝いたします。特に画像の再構築などで多大なるご協力をいただきました放射線技師の新井隆弘さまには深謝いたします。

利益相反に該当する事項はない。

参 考 文 献

- 1) Yumoto E, Sanuki T, Hyodo M et al: Three dimensional endoscopic model for observation of laryngeal structures by helical computed tomography. Laryngoscope 107: 1530-1537, 1997.
- 2) 湯本英二, 讃岐徹治, 安原美文ほか: 喉頭のCT内視鏡-ヘリカルCTの応用-. 日食 49: 71-77, 1998.
- 3) Yumoto E, Nakano K, Oyamada Y: Relationship between 3D behavior of the unilateral paralyzed larynx and aerodynamic vocal function. Acta Otolaryngol 123: 274-278, 2003.
- 4) 平松宏之, 渡嘉敷亮二, 鈴木 衛: 喉頭領域の3DCTと実態モデル. 喉頭 18: 96-100, 2006.
- 5) Hiramatsu H, ToKashiki R, Nakamura M et al: Characterization of arytenoid vertical displacement in unilateral vocal fold paralysis by three-dimensional

- computed tomography. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 266: 97-104, 2009.
- 6) 矢部はる奈：喉頭領域での活用法. *耳喉頭頸* 85: 260-265, 2013.
 - 7) 平松宏之, 渡嘉敷亮二, 鈴木 衛：3次元画像診断の実際：喉頭・気管領域の3次元画像診断 声帯麻痺. *JOHNS* 22: 1296-1302, 2006.
 - 8) 齋藤康一郎, 稲垣康治, 矢部はる奈ほか：声帯麻痺. *JOHNS* 26: 450-453, 2010.
 - 9) 原 浩貴：両側声帯麻痺：Ejnell法. *耳喉頭頸* 87: 183-188, 2015.
 - 10) Miyamoto M, Ohara A, Arai T et al：Three-dimensional imaging of vocalizing larynx by ultra-high-resolution computed tomography. *European Arch of Oto-Rhino-Laryngology* 276: 3159-3164, 2019. <https://doi.org/10.1007/s00405-019-05620-4>
 - 11) Maragos NE：The posterior thyroplasty window：Anatomical consideration. *Laryngoscope* 109: 1228-1231, 1999.
 - 12) 木村文子：CTの進歩とCT被曝. *埼玉医科大学雑誌* 38: 106-108, 2012.
 - 13) Kakinuma R, Moriyama N, Muramatsu Y et al：Ultra-high-resolution computed tomography of the lung：Image quality of a prototype scanner. *PloS One* 10: e0137165, 2015. doi: 10.1371/journal.pone.0137165.
 - 14) Hata A, Yanagawa M, Honda O et al：Effect of matrix size on the image quality of ultra-high-resolution CT of the lung：Comparison of 512 x 512, 1024 x 1024, and 2048 x 2048. *Acad Radiol* 25: 869-876, 2018.
 - 15) ICRP Publication 102 (2007) Managing Patient Dose in Multi-Detector Computed Tomography (MDVP).
 - 16) 西沢かな枝, 松本雅紀, 岩井一男ほか：CT検査件数およびCT検査による集団実効線量の推定. *日本放射線学会雑誌* 64: 67-74, 2004.
 - 17) Klein R, Fletcher GH：Evaluation of the clinical usefulness of roentgenologic findings in squamous cell carcinomas of the larynx. *Am J. Roentgenol* 92: 43-54, 1964.
-
- 別刷請求先 〒181-8611 東京都三鷹市新川 6-20-2
杏林大学医学部耳鼻咽喉科学教室 宮本 真