

# 鼻副鼻腔悪性腫瘍手術の術前・術後の鼻腔形態とその音響変化の検討\*

☆福島侑希, 竹本浩典 (千葉工大),

△鴻信義, △武田鉄平, △今川記恵, △小黒亮史, △大村和弘 (慈恵医大)

## 1 はじめに

鼻副鼻腔の形状は非常に複雑であり, 音声の個人性の生成要因の一つである[1]。そのため, 副鼻腔炎などによる副鼻腔手術によって形状が変化すると, 音声の個人性が変化する。そこでわれわれは, 手術による音声変化を予測するために, 鼻副鼻腔の CT 画像を用いた模擬手術や音響シミュレーションを行ってきた[2,3]。その結果, 切除部位が小さい手術であれば, ある程度の精度で術後の音声を予測できることを示した[3]。しかし, 悪性腫瘍の手術など, 切除部位が大きい手術についてはまだ検討していない。

そこで本稿では, その前段階の研究として, 悪性腫瘍を切除する手術の術前・術後の鼻副鼻腔の形態と音響変化を検討する。特に術後では, 鼻副鼻腔形態は単純化されるものの, 音響伝搬経路は複雑化する可能性があるため, 音声スペクトルと伝達関数を比較してシミュレーションの妥当性を吟味する。

## 2 材料・方法

### 2.1 被験者と CT データ

被験者は成人の患者 3 名 (PM1, PM2, PM3) である。PM1 は左上顎洞の手術歴があり, 左嗅裂に局限する腫瘍と中鼻甲介を切除した。PM2 は両側全ての副鼻腔の開放と, 右嗅裂に局限する腫瘍と鼻中隔, 右中鼻甲介の切除を行った。PM3 は左篩骨洞以外の副鼻腔開放と, 右中鼻甲介の腫瘍と鼻中隔の切除を行った。

鼻音/m/発声時の声道形状を CT で撮像した。空間解像度は  $0.447 \times 0.447 \times 0.5$  mm (PM1 術後, PM2 術後),  $0.5 \times 0.5 \times 0.5$  mm (その他) であった。また, CT 撮像に先立って, 別室で仰臥位における鼻音/m/の発声を外鼻孔から 2 cm の位置で録音した。なお, 本研究は東京慈恵会医科大学附属病院の倫理委員会の承

認を受けた (受付番号: 30-471(9492))

### 2.2 鼻腔形状の抽出

先行研究[2]に従って, CT 画像から, 声門から外鼻孔に至る声道形状を抽出した。そして, 周囲に厚さ 5 mm の壁を付与し, 0.5 mm の間隔で等方向に離散化して声道形状データを作成した。このデータの鼻副鼻腔の容積を求めて術前・術後で比較した。なお, PM2 術後, PM3 術前の CT 画像では口腔が分岐管となっていたため, 抽出時に除去した。

### 2.3 伝達関数の計算

声道形状データの声門直上に置いた音源点から, 正中面で外鼻孔より下前方 2 cm の観測点までの 20 ms のガウシアンパルス応答を時間領域差分法で計算した[4]。なお, シミュレーション周波数は 2 MHz とした。

### 2.4 瞬時音圧分布

伝達関数のディップ周波数を特定し, その周波数の正弦波を音源点に入力して声道を励振した。そして, 定常状態における瞬時音圧分布を計算して可視化した。

## 3 結果・考察

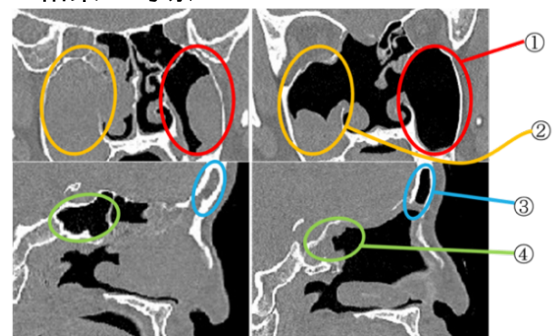


Fig. 1 PM3 の CT 画像 (左:術前 右:術後, 上段:冠状断面 下段:矢状断面) ①左上顎洞, ②右上顎洞, ③前頭洞, ④蝶形骨洞

鼻副鼻腔の術後の容積変化の割合を Table 1 に示す。最も大きな変化が見られたのは PM3 であった。その PM3 の術前・術後の CT

\* Examination of morphological and acoustic changes before and after surgery for malignant tumors of the nasal and paranasal sinuses, by FUKUSHIMA, Yuki, TAKEMOTO, Hironori, (Chiba Institute of Technology), OTORI, Nobuyoshi, TAKEDA, Teppei, IMAGAWA, Norie, OGURO, Ryoji and OMURA, Kazuhiro (The Jikei Univ.).

画像を Fig. 1 に示す。手術により、鼻中隔、右中鼻甲介が除去され、全ての副鼻腔が開放されて空間が拡大した（冠状断面）。Table 2 は術後の各副鼻腔の容積変化である。蝶形骨洞のみ容積が減少しているのは、術後性変化により粘膜が肥厚したためである（矢状断面）。

Fig. 2 は 4 kHz 以下の術前・術後の伝達関数、音声スペクトル、ケプストラムによるスペクトル包絡である。全ての被験者の術前・術後で伝達関数とスペクトル包絡の概形は一致した。術前では、副鼻腔に由来すると考えられる大きなディップ[5]が約 1 kHz 以下に見られた。術後では、大きなディップが約 1~2 kHz に見られた。

各副鼻腔はヘルムホルツ共鳴器と類似した形状をしており、自然孔は頸部に相当する。そして、各副鼻腔はその共鳴周波数近傍にディップを生成する。その共鳴周波数  $f$  は音速を  $c$ 、頸部の断面積を  $S$ 、長さを  $l$ 、胴部の体積を  $V$  とすると、 $f = c/2/\pi \cdot \sqrt{S/l/V}$  となるため、副鼻腔の開放によって自然孔が拡大し、 $S$  が増大すると、 $f$  が上昇する。これより、術後の約 1~2 kHz に見られる大きなディップは各副鼻腔に由来すると予想される。

Fig. 4 は PM3 の術後の 3 つのディップ周波数における瞬時音圧分布である。1 kHz では左上顎洞、1.54 kHz では前頭洞、1.9 kHz では右上顎洞で大きな振幅変動が見られた。よって、術前に約 1 kHz 以下に見られた大きなディップが、自然孔の拡大により、約 1~2 kHz に移動したことが確認された。

#### 4 終わりに

本研究では、3 名の患者の悪性腫瘍の切除手術前後における鼻副鼻腔の形態と音響変化を検討した。その結果、手術により鼻副鼻腔の容積はそれぞれ 2.7 %、6.0 %、60.2 % 増加した。また、音声スペクトルと形状から計算した伝達関数は術前・術後とも概形はよく一致し、手術によって音響経路が複雑化してもシミュレーションの精度に問題がないことを確認した。そして、術前に約 1 kHz 以下に見られた副鼻腔に由来するディップは、術後に高域（約 1~2 kHz）に移動した。これは、主に自然孔の拡大による副鼻腔の共鳴周波数の上昇によると考えられる。

Table 1 術後の容積変化の割合 (%)

PM1	PM2	PM3
102.7	106.0	160.2

Table 2 PM3 の容積の変化量 (cc)

左上顎洞	右上顎洞	前頭洞	蝶形骨洞	全体
11.2	12.3	1.4	-6.0	34.2

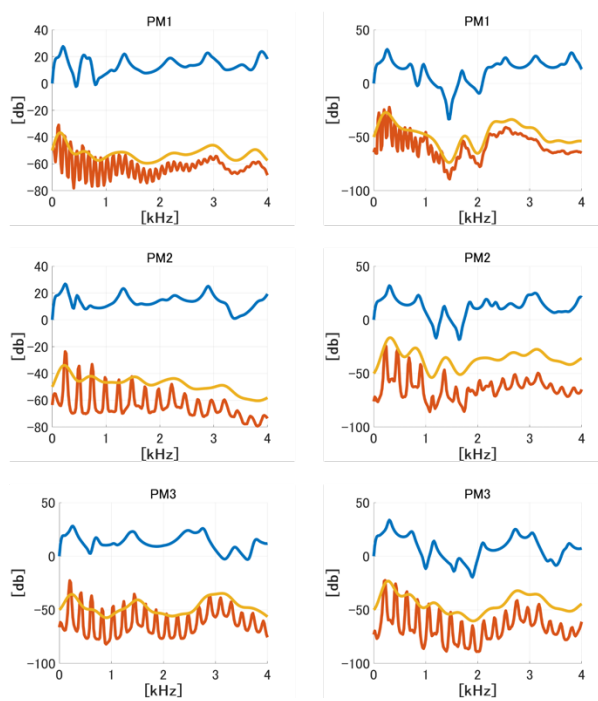


Fig. 2 術前（左列）・術後（右列）の伝達関数（青）、音声スペクトル（赤）、ケプストラムによるスペクトル包絡（黄）

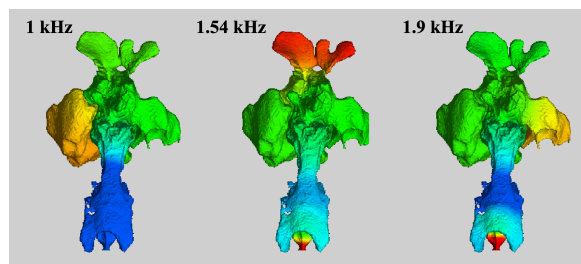


Fig. 3 PM3 術後の 3 つのディップにおける音圧分布（背面観）

#### 謝辞

本研究は JSPS 科研費 23K11172 の助成を受けた。

#### 参考文献

- [1] Dang *et al.*, JASA, 2088-2100, 1994
- [2] 杉浦他, 音講論 (春), 743-744, 2021.
- [3] 杉浦他, 音講論 (秋), 799-800, 2021.
- [4] Takemoto *et al.*, JASA. 128 (6), 3724-3738, 2010.
- [5] Fujimura and Lindqvist, JASA. 49 (2B), 541-558, 1971.