

内視鏡下鼻副鼻腔手術による 術前・術後の形状と音響特性の変化の検討

☆杉浦唯, 竹本浩典 (千葉工大), 北村達也 (甲南大), 鴻信義 (慈恵医大)

1 はじめに

鼻腔・副鼻腔は音声の個人性に関与すると考えられている部位である。形状は非常に複雑で、鼻音スペクトルには多数のディップやピークが存在する[1]。この部位の手術によって形状が変化し、音声の個人性にも変化が生じることが知られているが、今のところ術前にその程度等を予測するすべがない。そこで我々は術前・術後の CT 画像と音声データを検討し、形状の変化による音声の変化を音響シミュレーションで術前に予測したいと考えている。

本研究では、内視鏡下鼻副鼻腔手術 (ESS: Endoscopic Sinus Surgery) を受けた被験者 1 名の術前・術後の形状と音響特性の変化を検討したので報告する。

2 材料と方法

2.1 被験者と術式

被験者は慢性副鼻腔炎の成人男性 1 名で、両側 ESS IV型鼻中隔湾曲矯正術 (前頭洞、篩骨洞、上顎洞、蝶形骨洞を型通りに開放し単洞化, 病的粘膜の処置, 鼻中隔湾曲の矯正) を受けた。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 CT 撮像と音声収録

被験者が仰臥位発声した鼻音/m/の音声を録音し, 声道形状を CT (術前: Canon Aquilion Prime, 術後: SIEMENS SOMATOM Definition Flash) で撮像した。空間解像度は術前が $0.535 \times 0.535 \times 0.5$ mm, 術後は $0.507 \times 0.507 \times 0.5$ mm である。スキャン時間は 1 s であった。/m/ の発声は, できるだけ舌を口蓋に密着させ, 発声しやすい音高とするように指示した。

2.3 分析に用いた声道形状

術前・術後に撮像した被験者の舌は口蓋に

密着しておらず, 口腔が明確に分岐管となっていた。声門から外鼻孔までの声道形状を領域拡大法で CT 画像から抽出した。このとき, 体組織と空気を -190 の閾値で分離した[2]。抽出した声道形状に厚さ 3 mm の壁を付与し, 0.5 mm の間隔で等方向に離散化した。

2.4 伝達関数の計算

閉鎖した声門の中央直上に置いた音源点から, 正中面で外鼻孔から 2 cm の位置に置いた観測点までの 20 ms のガウシアンパルス応答を時間領域差分法[3]で計算して伝達関数を得た (Fig. 1)。なお, シミュレーションの周波数は 2 MHz とした。

2.5 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可視化した。

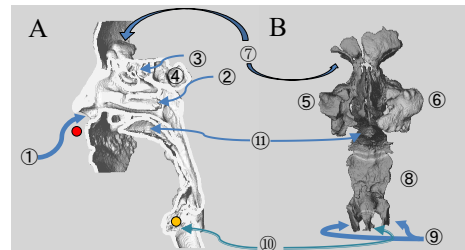


Fig. 1 部位の説明

A: 右半分の顔面形状, B: 鼻腔・副鼻腔, 咽頭・喉頭の前面観, ①外鼻孔, ②後鼻孔, ③篩骨洞, ④蝶形骨洞 (SS), ⑤右上顎洞 (MSR), ⑥左上顎洞 (MSL), ⑦前頭洞 (FS), ⑧咽頭, ⑨梨状窩, ⑩声門, ⑪口腔, 赤点: 観測点, 黄点: 音源点

3 結果と考察

Fig.2 は被験者の術前・術後の CT 画像である。手術により上顎洞自然口が解放され, 篩骨洞と上顎洞が連結した。また, 全ての副鼻腔を開放し単洞化した。Table 1 は各副鼻腔の術前・術後の容積の変化を示す。右上顎洞に

* Examination of changes in shape and acoustic characteristics of before and after operation by Endoscopic Sinus Surgery, by SUGIURA, Yui, TAKEMOTO, Hironori, (Chiba Institute of Technology), KITAMURA, Tatsuya (Konan Univ.), and OTORI, Nobuyoshi (The Jikei Univ.).

術後性変化を認めるが、それ以外の副鼻腔の容積は増大した。なお、外鼻孔から後鼻孔までの全容積 (Table 1 ALL) は 13.482 cc で、術前より約 11.8%増加した。

Fig.3 は術前・術後の伝達関数と鼻音/m/のスペクトルを示す。術前も術後も伝達関数とスペクトルの概形は類似した。術前では、鼻音に特徴的な 200 Hz, 1000 Hz 付近にピークが、500 Hz 付近にディップが見られた[1]。しかし、術後はこれらのスペクトル構造が失われ、500 Hz 以下に 2つのピーク、1000 Hz 付近に 2つの大きなディップが観察された。なお、この被験者の術前の鼻音/m/は、鼻づまりを感じさせる響きを持ち、弱々しく不明瞭であった。しかし、術後は力強く明瞭度の高い鼻音となり、明らかに個性が変化した。

Fig.4 は術前・術後の伝達関数の 4つのディップ (▲) における瞬時音圧分布である。術前の 560 Hz のディップでは右蝶形骨洞と左上顎洞が同相、口腔が逆相で振動し、1500 Hz のディップでは口腔、右前頭洞、左篩骨洞がほぼ同相で振動した。術後の 900 Hz のディップでは、右蝶形骨洞と左上顎洞と左前頭洞が同相、口腔が逆相で振動した。また、術後の 1140 Hz のディップは、右前頭洞と右上顎洞が同相、口腔が逆相で振動した。また、術前の 3100 Hz と 3960 Hz のディップは左右の梨状窩により生成されていたが、これに対応すると予想された術後の 3540 Hz と 4560 Hz のディップは梨状窩だけでなく口腔や喉頭蓋谷も振動することによって生成されていた。

鼻音生成時に分岐管は連成振動系としてディップを生成する[4]。その周波数と連成する分岐管の組み合わせは ESS によって変化した。これは、篩骨洞などの複雑な形状が単純化され、各分岐管の共鳴周波数や相互の音響的な連結が変化したためと考えられる。また、ESS は、梨状窩など鼻咽腔より下の分岐管の連成にも影響を与えることが明らかになった。

4 おわりに

本稿では、両側 ESS IV型鼻中隔湾曲矯正術を受けた男性被験者 1名の術前・術後の形状と音響特性の変化を検討した。その結果、全副鼻腔を開放したことにより、ディップ周波数と、ディップ生成に関与する分岐管の組み合わせが変化した。特に、上顎洞と前頭洞が

音響的に一体化する傾向が強くなった。この知見は、術後の鼻音の変化を予測する手掛かりの一つとなると考えられる。

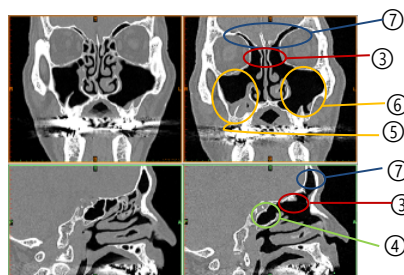


Fig.2 CT 画像 (左：術前, 右：術後, 上段：冠状断面, 下段：矢状面断面)

Table 1 各副鼻腔の大きさの変化 (cc)

	MSR	MSL	FS	SS	ALL
volume	-7.436	2.738	7.148	4.312	13.482

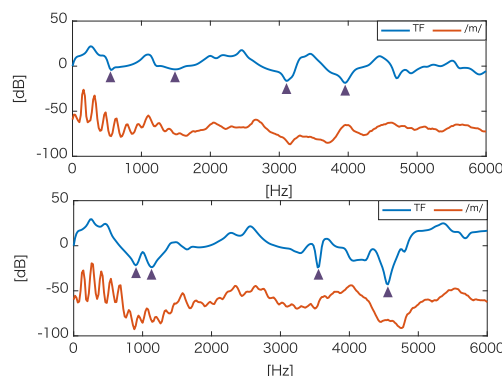


Fig.3 音声スペクトル (青) と伝達関数 (赤) (上：術前, 下：術後)

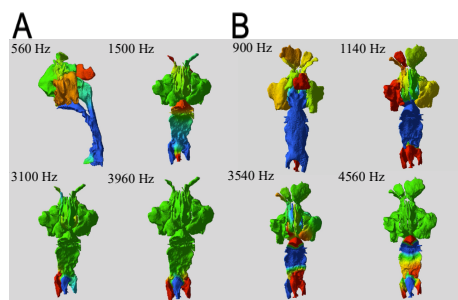


Fig.4 瞬時音圧分布パターン

A：術前 (560 Hz：左側面観, 1500 Hz~3960 Hz：前面観), B：術後 (900 Hz：背面観, 1140 Hz~4560 Hz：前面観)

謝辞

本研究は JSPS 科研費 19K12048, 19K12031 の助成を受けた。本研究の実施にあたり、内尾紀彦氏、慈恵医大 今川記恵氏の協力を得た。

参考文献

- [1] Dang *et al.*, JASA, 2088-2100, 1994.
- [2] 杉浦ら, 音講論(春), 767-768, 2020.
- [3] Takemoto *et al.*, JASA, 3724-3738, 2010.
- [4] 杉浦ら, 音講論(秋), 651-652, 2020.