

鼻副鼻腔の模擬手術が伝達関数に及ぼす影響

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

1 はじめに

鼻副鼻腔の形状は非常に複雑で個人差が大きい。そのため、音声の個人性の生成要因の一つである。そのため、副鼻腔炎などによる鼻副鼻腔手術によって形状が変化すると術後に音声の個人性に変化が生じる。しかし、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、我々は患者の術前と術後の CT 画像と音声データを分析し、形状の変化による音声の変化をシミュレーションによって術前に予測する研究に取り組んでいる。

本研究では、内視鏡下鼻副鼻腔手術 (ESS : Endoscopic Sinus Surgery) を受けた患者 2 名の術前術後の形状データを用いて鼻副鼻腔の模擬手術と音響シミュレーションを行い、形状変化が伝達関数に及ぼす影響を検討したので報告する。

2 材料と方法

2.1 被験者と内視鏡下鼻副鼻腔手術(ESS)

被験者は成人男性の患者 2 名である。両側 ESS III型鼻中隔湾曲矯正術 (前頭洞, 前篩骨洞, 上顎洞の開放, 病的粘膜の処置, 鼻中隔湾曲の矯正) を行った患者を M1 とする。また, 両側 ESS IV型鼻中隔湾曲矯正術 (全副鼻腔の開放, 病的粘膜の処置, 鼻中隔湾曲を矯正) を行った患者を M2 とする。事前に本研究の趣旨等を説明し, 同意書に署名することで承諾を得た。なお, 事前に研究の趣旨等を説明し, 同意書に署名することで承諾を得た。

2.2 CT 画像

被験者が仰臥位で鼻音/m/を発声中の声道形状を 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被験者に指示した。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))。

2.3 模擬手術

医療用 CAD ソフトを使用し, 被験者の術後データを参考にしながら, 鼻腔と副鼻腔を接続する自然孔 (M1 は上顎洞と前頭洞, M2 は以上の 2 つと蝶形骨洞の自然孔) と篩骨洞, 鼻中隔の形状を変化させたモデルを作成し, 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。この時, 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。なお, 声道形状において術前・術後に撮像した被験者の舌は M1 の術後以外は口蓋に密着しておらず, 口腔内に咽頭腔と接続する空間が残存した。

2.4 伝達関数の計算

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。シミュレーションの周波数は 2 MHz とした。

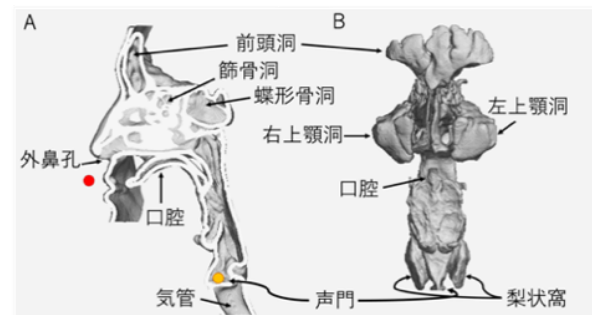


Fig. 1 部位の説明

A: 頭頸部の正中矢状面より右側, B: 鼻腔・副鼻腔, 咽頭・喉頭の前面観, 赤点: 観測点, 黄点: 音源点

2.5 瞬時音圧分布

伝達関数のディップ周波数を持つ正弦波を音源点に入力して励振した。定常状態に移行後, 瞬時音圧分布を計算して可視化した。

3 結果と考察

Fig.2 は M1 の術前, 模擬手術後, 術後の CT 画像である。術後では鼻腔と副鼻腔を接続する自然孔が拡大され, 篩骨洞が開放されて単洞化されていた。模擬手術では術後と形状が近似するように組織を除去した。

* Effects of simulated nasal sinus surgery on transfer function, by SUGIURA, Yui, TAKEMOTO, Hironori, (Chiba Institute of Technology), KITAMURA, Tatsuya (Konan Univ.), UCHIO, Norihiko, and OTORI, Nobuyoshi (The Jikei Univ.).

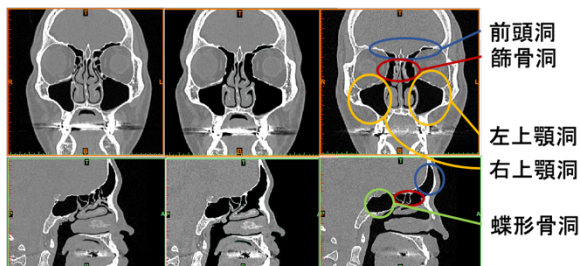


Fig. 2 M1 の CT 画像 (上段:環状断面, 下段:矢状断面, 左:術前, 中:模擬, 右:術後)

Fig.3 は M1, M2 の術前, 模擬手術後, 術後の伝達関数である。模擬手術後の伝達関数は術後の伝達関数と特に低域で類似した。術後では 1000 Hz 付近に 2 つのディップが新たに生成され(▲), 術前に 3000 Hz から 5000 Hz の帯域にあった 2 つの大きなディップは術後に高域へシフトした(↑)。模擬手術後, 術後と同様に 1000 Hz 付近に新たに 2 つのディップが生成され(○), 術前に 3000 Hz から 5000 Hz の帯域にあった 2 つの大きなディップは術後と同様に高域にシフトした。

Fig. 4 は, 模擬手術で篩骨洞のみを開放した場合と, 上顎洞の自然孔のみを拡大した場合の伝達関数を示す。篩骨洞のみを開放した場合より, 上顎洞の自然孔のみを拡大した場合の方が伝達関数に大きな影響を与え, 術後の伝達関数に概形が近づいた。なお, M1 では M2 に比べて篩骨洞の開放が伝達関数に与える影響が小さかった。これは, 実際の手術に合わせて前篩骨洞のみを開放したためと思われる。

模擬手術で篩骨洞のみを開放すると, M1 では 480 Hz と 720 Hz に, M2 では 660 Hz にディップが生じた。上顎洞の自然孔のみを拡大すると M1 では 520 Hz と 800 Hz に, M2 では 820 Hz にディップが生じた。これらのディップは, 模擬手術後の伝達関数の 1000 Hz 付近の 2 つのディップに対応すると考えられる。

Fig.5 は術後(▲)と模擬手術後(○)の 1000 Hz 付近の 2 つのディップにおける瞬時音圧分布である。術後では前頭洞と蝶形骨洞, 上顎洞が連成振動していた。そして, 模擬手術の場合も同じ 3 つの副鼻腔が連成振動していた。すなわち, 術後に 1000 Hz 付近に生成される 2 つの大きなディップを模擬手術によって再現できた。そして, そのディップは主に上顎洞の自然孔の拡大と篩骨洞の開放が原因で生成されることが明らかになった。

4 終わりに

本研究では, 内視鏡下鼻副鼻腔手術を受けた患者の術前術後の形状データを用いて, 手術によ

る形状変化が伝達関数に及ぼす影響をシミュレーションした。その結果, 術前のデータの副鼻腔と自然孔を開放する模擬手術によって, 術後の伝達関数の 1000 Hz 付近に生成される 2 つの大きなディップが生成メカニズムも含めて再現された。また, このディップは, 主に上顎洞の自然孔の拡大と篩骨洞の開放によって生じることが明らかになった。

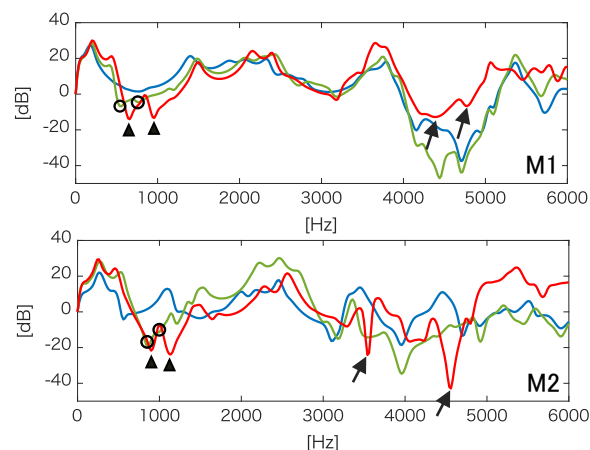


Fig. 3 伝達関数 (青:術前, 緑:模擬, 赤:術後)

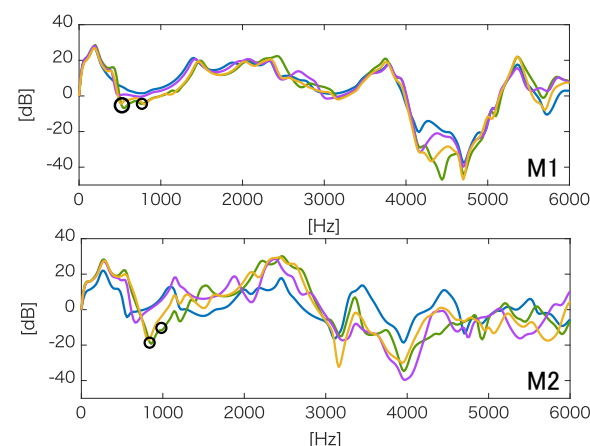


Fig. 4 伝達関数 (青:術前, 緑:模擬, 紫:模擬_篩骨洞のみ開放, 黄:模擬_自然孔のみ拡大)

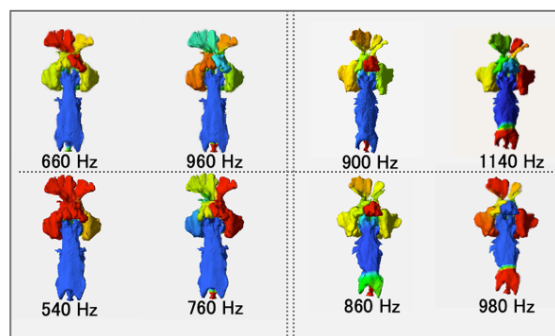


Fig. 5 瞬時音圧分布パターン (全て背面観, 右: M1, 左: M2, 上段: 術後(▲), 下段: 模擬(○))

謝辞

本研究は JSPS 科研費 19K12048, 19K12031 の助成を受けた。

参考文献

- [1] 杉浦ら, 音講論(春), 767-768, 2020.
- [2] Takemoto *et al.*, JASA, 3724-3738, 2010.