

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 24 日現在

機関番号：82643

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24592586

研究課題名(和文) 3次元気流解析(CFD)に基づいた内視鏡下鼻内手術の最適化の検討

研究課題名(英文) optimization of endoscopic nasal surgery by 3D airflow analysis

研究代表者

野村 務(Nomura, Tsutomu)

独立行政法人国立病院機構(東京医療センター臨床研究センター)・人工臓器・機器開発研究部・医師

研究者番号：20228365

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究ではCTを基にした鼻副鼻腔の3次元再構築と気流解析を行い、これまでの手術手技を気流という観点から再検討して内視鏡下鼻内手術の手技の最適化のためのエビデンスを確立することが目的である。正常の鼻副鼻腔の3次元ボリュームデータを作成、メッシュ化し、モデルを作成した。また、鼻中隔穿孔患者2名の気流解析を行った。患者の術前、術後の状態の比較検討を行い、穿孔閉鎖後では、応力集中の低下を認め、正常な気流状態に回復していた。1例の手術前後における気流の変化を数値化し、論文がすでに掲載されている。今後はさらに症例を重ね、データを集積する予定である。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research is to create a three-dimensional volume data of the normal nasal sinus and diseased sinus, and to establish the evidence of optimization of endoscopic nasal surgery. We created the normal sinus model and two cases of septal perforation patients. Preoperative patient, performs comparison of the post-operative state, after the piercing closure and observed a decrease in stress concentration, and was restored to normal air flow conditions. The change in the air flow before and after surgery in one case to quantify, paper has already been published. Further piled up cases in the future, it is planned to integrate the data.

研究分野：鼻科学

キーワード：鼻副鼻腔疾患 内視鏡手術 3次元気流解析

1. 研究開始当初の背景

アレルギー性鼻炎や慢性副鼻腔炎などの炎症性鼻副鼻腔疾患に対して内視鏡下鼻内手術が数多く施行されているが、気道の形成、嗅覚、air conditioning 作用、共鳴作用という基本的な機能を術後に最適化するためにどのような手術手技を採用すればよいのかという点についてはエビデンスが蓄積されていない。この点に鑑み、本研究ではCTを基にした鼻副鼻腔の3次元再構築と気流解析を行い、これまでの手術手技を気流という観点から再検討して内視鏡下鼻内手術の手技の最適化のためのエビデンスを確立することを目的とする。現在我々は正常人、鼻中隔穿孔患者の気流解析を開始しており、本研究ではさらにこれを鼻副鼻腔手術一般に展開し、最終的には個々の患者の病態に合わせて最適な手術操作のシミュレーションを術前に行うという内視鏡下鼻内手術のオーダーメイド化を確立することが目標である。

2. 研究の目的

(1) 鼻腔の形態に影響を及ぼす鼻腔疾患の代表として鼻中隔彎曲症、肥厚性鼻炎、鼻中隔穿孔患者の鼻副鼻腔の3次元構造の再構築と鼻内気流シミュレーション解析を進め、鼻腔の各構成要素の形態と鼻内気流パターンの相関を解析する。さらに術後のCTを基にした気流のシミュレーション解析も行い、上記の相関の妥当性を検討する。

(2) 現在標準的に行われている内視鏡下鼻内副鼻腔手術の手技に即した切除範囲(鉤状突起、篩骨胞の切除、中鼻甲介基板開窓、上顎洞開窓、上鼻道拡大など)をモデル上で作成し、術後の気流の変化をシミュレーション分析する

(3) 術前術後にCTを撮影している患者の鼻副鼻腔の再構築を行って気流のシミュレーションを行い、これが術前後の嗅覚検査の改善や鼻閉に関する自覚症状の改善度と相関があるかどうか検討する

(4) 上記で得られた情報をもとに、気流解析にて最適化された手術方法と過去の手術方法を術後の自覚症状の改善度、嗅覚検査結果等のパラ

メータで前向きに比較検討する

ことを目的とする。これらの解析を通じて、これまでの手術手技を気流という観点から再検討して内視鏡下副鼻腔手術の手技の最適化のためのエビデンスを確立し、最終的には個々の患者の病態に合わせて術後の気流を最適化するための手術操作のシミュレーションを術前に行うという内視鏡下鼻内手術のオーダーメイド化を確立することが究極の目標である。

3. 研究の方法

(1) 鼻中隔穿孔、鼻中隔彎曲症、肥厚性鼻炎患者の鼻副鼻腔の3次元ボリュームデータの作成と気流解析

鼻副鼻腔疾患の精査目的に撮影されたCT画像をDICOMデータで出力する。次に3次元ボリュームデータ処理ソフトである、INTAGE Volume Editorにて、鼻腔・副鼻腔のみを再構築し、ボリュームデータを作成し、STLフォーマットで出力する。出力されたデータをANSYS ICEM CFDを用いて、ボリュームデータを修正し、さらにメッシュ化を行い、ANSYS CFXにて気流解析を行う。メッシュ操作等の詳細については、申請者の報告した有限要素法の操作に準じて行う。

気流解析において、気流と乱流の解析、せん断応力の測定、さらに鼻腔内の温度分布を測定する。気流については、嗅裂への気流の速度、乱流の発生度合いを検討し、粘膜の損傷の推定のため乱流とせん断応力の解析、吸気の熱交換の効率の検討のために、温度分布を測定する。これらのデータを集約し、正常人のデータと比較検討を行うことで、鼻腔の各構成要素と気流パターンとの相関を解析する。

(2) 鼻中隔彎曲症、肥厚性鼻炎、鼻中隔穿孔患者の術後の評価

鼻中隔彎曲症、肥厚性鼻炎、鼻中隔穿孔患者に対して行われる鼻中隔矯正術、下鼻甲介切除術、穿孔閉鎖術の術後のCTを元に、術前と同様のモデルを作成し、気流解析を行う。これにより1.で検討した鼻腔の各構成要素と気流パターンとの相関を再検討する。また、術前のモデルをコンピューター上で仮想手術したモデルも作成する。これらのモデルの解析を実際の術後CTに基づいたシミュレーションのデータと

比較し、モデル作成の妥当性を気流解析の結果をもとに検討する。手術効果の目標としては、嗅裂に確実に気流が到達すること、強い乱流が発生しないこと、粘膜損傷の可能性のあるせん断応力が最小であること、吸気と鼻粘膜の熱交換が確実に行われることである。

これらの点を考慮し、術前術後のモデルの比較を行う。

(3) 標準的な内視鏡下副鼻腔手術の手技に即した切除範囲のモデル作成と術後の気流の変化の分析

内視鏡下副鼻腔手術で標準術式として行われている手技(鉤状突起、篩骨胞の切除、中鼻甲介基板開窓、上顎洞開窓、上鼻道拡大など)に即した鼻副鼻腔の切除範囲を仮想手術としてモデル上で作成し、気流、乱流、せん断応力、温度分布のデータを採取する。

効果の判定は、上記の手術効果の目標の4点を考慮する。

嗅裂方向の流れについては、過剰であってもよくないとの報告もあり、正常人の気流解析をもとに至適な流速を検討する。

(4) 患者の術前術後のデータの比較

術前術後にCTを撮影している患者の鼻副鼻腔の再構築を行って気流のシミュレーションを行い、上記の仮想手術モデルの妥当性を検討するとともに、術前後の嗅覚検査の改善や鼻閉に関する自覚症状の改善度が解析データのどのパラメータと相関するかという点を検討する。

(5) 前向き研究による手術の最適化の検討

以上で得られた情報をもとに前向き研究として、いままでの手術方法で行った群と、気流解析にて算出されて最適とされた手術方法とを比較検討する。最終的には個々の患者の病態に合わせて術後の気流を最適化するための手術操作のシミュレーションを術前に行うという内視鏡下鼻内手術のオーダーメイド化を確立する。

機能評価の標準化においては、生体工医学が専門であり今回の申請の研究協力者である、Kansas 大学 Mechanical Engineering & Surgery,

Orthopedics Schools of Engineering & Medicine の Dr.Katz の協力の元、各計測方法の妥当性を検討する。

また、すべての研究において、患者の臨床データ使用については倫理委員会に申請中である。

4. 研究成果

正常の鼻副鼻腔の3次元ボリュームデータを作成、メッシュ化し、モデルを作成する。ANSYS FLUENT を用いて、気流と乱流の解析、せん断応力の測定、鼻腔内の温度分布を測定した。

現在、鼻中隔穿孔患者2名の気流解析を行った。患者の術前、術後の状態の比較検討を行った。穿孔閉鎖後では、応力集中の低下を認め、正常な気流状態に回復していた。

1例の手術前後における気流の変化を数値化し、論文がすでに掲載されている。

今後はさらに症例を重ね、データを集積する予定である。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計1件)

Nomura T, Ushio M, Kondo K, Yamasoba T. Effects of nasal septum perforation repair surgery on three-dimensional airflow: an evaluation using computational fluid dynamics. Eur Arch Otorhinolaryngol. 2014 Dec 13. [Epub ahead of print]

[学会発表](計1件)

野村 務, 牛尾宗貴, 近藤健二, 山岨達也 鼻中隔穿孔患者の閉鎖術前後の3次元気流解析第51回日本鼻科学会総会、千葉、2012

6. 研究組織

(1) 研究代表者

野村 務 (NOMURA Tsutomu)
東京医療センター(臨床研究センター)・人工臓器・機器開発研究部・医師
研究者番号: 20228365

(2) 研究分担者

角田 晃一 (TSUNODA Koichi)
東京医療センター(臨床研究センター)・

人工臓器・機器開発研究部・部長
研究者番号：30197751

近藤 健二 (KONDO Kenji)
東京大学 医学部附属病院 医師
研究者番号：40334370

(3) 連携研究者 無

(4) 研究協力者

Lawrence J Katz
Kansas 大学 Mechanical Engineering
&Surgery, Orthopedics Schools of Engineering
& Medicine