

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 10 日現在

機関番号：12602

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24593082

研究課題名(和文)新しい外科的矯正治療スキームの検討：上顎移動術に起因する呼吸・睡眠機能の変調

研究課題名(英文)Computational fluid dynamics study on the nasal respiratory function before/after maxillo-mandibular orthognathic surgery

研究代表者

島崎 一夫(Shimazaki, Kazuo)

東京医科歯科大学・歯学部附属病院・助教

研究者番号：10420259

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：上顎骨上方移動を伴う上下顎移動術を施行し、梨状孔下縁を切削した患者において術前および術後(術前： 0.9 ± 0.88 ヶ月、術後： 11.5 ± 1.27 ヶ月)の2時点でCTを撮影し、Mimics17.0を用いて3Dモデル(20モデル)を作製した。流体解析はFluent14.0を用いて行い、入り口境界条件は流量 200ml/s から算出した速度を付与し、術前後における鼻腔の圧力損失を比較検討した。上顎骨を上方へ移動させる術式に、梨状孔下縁を切削するというオプションを加えることで、術後に鼻腔の圧力損失が低下するという結果を得た。さらに鼻腔前方1/3で圧力損失が多く生じていることが分かった。

研究成果の概要(英文)：The subjects consist of 10 patients with mandibular prognathism who underwent maxillo-mandibular orthognathic surgery with the maxillary upward movement. The three-dimensional (3-D) model of the nasal cavity was reconstructed from the pre- and post-operative CT images (pre-operation: 0.90 ± 0.88 months, post-operation: 11.5 ± 1.27 months). The software used to build the 3-D models and perform the fluid analysis of the nasal respiration was Mimics 17.0 (Materialise) and Fluent 14.0 (Ansys). The inlet velocity was calculated from the flow rate ($2.00 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$) and the area of inlet. Using the provided calculation results, we compared the pressure drop of the nasal cavity before and after surgery. By simulating nasal respiration and comparing models, changes in configuration of the nasal cavity with bone trimming in the inferior edge of the pyriform aperture decreased the pressure drop. Furthermore, pressure drop in one third from nostril was greater than other parts of the nasal cavity.

研究分野：咬合機能矯正学分野

キーワード：外科的矯正治療 上顎移動術 上下顎移動術 呼吸機能

1. 研究開始当初の背景

近年、顎矯正手術に伴う上顎骨移動前後の鼻腔や咽頭などの上気道の形態的变化に加え、鼻呼吸機能についても注目されている。特に上顎骨上方移動が呼吸・睡眠動態に与える影響は大きく機能的評価が必要であるが、形態的評価と比較して不十分である。また、それに対し梨状孔下縁切削などの対策が取られているが根拠はない。先行研究において、手術が咽頭部換気に与える影響に関する報告は増加しているが、上顎骨「上方移動」に伴う「鼻腔」の狭窄に関する報告は認められない。そこで、上顎骨上方移動に伴う顎矯正手術が鼻呼吸機能に与える影響を機能的に明らかにすること目的に、研究を開始することとなった。

2. 研究の目的

上顎骨上方移動に伴う顎矯正手術が鼻呼吸機能に与える影響を機能的に明らかにすること、また、より優れた治療法を提案することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 対象およびモデル作製方法

横浜市立大学附属市民総合医療センターにて、上顎骨上方移動を伴う上下顎移動術を施行し、梨状孔下縁を切削 [上方移動量(前鼻棘: $0.95 \pm 2.01\text{mm}$, 後鼻棘: $4.70 \pm 1.75\text{mm}$)を目安に] した患者 10 名 (M:3 名、F:7 名) を対象とした。

DICOM データ(術前: 0.9 ± 0.88 ヶ月, 術後: 11.5 ± 1.27 ヶ月)から画像処理ソフト (Mimics®, 3-matic®)を用いて、術前後合わせて 20 モデルを作製し、ICEM-CFD®でモデルに計算格子 (Mesh) を付与し、流体解析 (FLUENT®, CFD-Post®)を行った。

(2) 解析条件

解析条件は大気圧下気温 20 安静時呼吸を想定し、物性条件 (非圧縮性ニュートン流体定常流, 密度: 1.205kg/m^3 , 粘度: 1.822

$\times 10^{-6}\text{Pa} \cdot \text{s}$)、支配方程式 (連続の式, Navier-Stokes 方程式, 乱流モデル: 低レイノルズ型 $k-\epsilon$)、離散化手法 (有限体積法, SIMPLE 法)、境界条件 (Inlet: 流量 200ml/s , 乱流強度: 1.0% , Outlet: 自由流境界条件, 壁面: Non-slip) と設定した。また、入口境界条件の影響を緩和するためドライバーを付与した。

(3) 境界、評価部位および評価方法

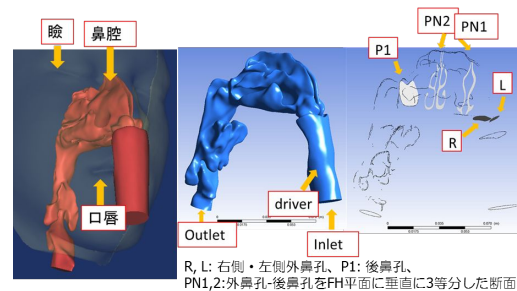


図1 モデル外形および境界

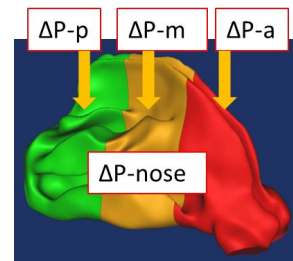


図2 鼻腔評価部位および評価項目

- ・外鼻孔-後鼻孔の圧力損失: P-nose
- ・外鼻孔-後鼻孔を FH 平面に対して垂直に 3 等分した区間の圧力損失: P-a (前方部), P-m (中央部), P-p (後方部)

図1および2は鼻腔を向かって左やや前方から見たものであり、また統計学的解析は以下のものを用いた。

- ・ Wilcoxon signed rank test with Bonferroni correction

(図3,4,6) (*: $p < 0.05$)

4. 研究成果

図3に示すように、鼻腔全体および鼻腔前方部において、術前と比べて術後の P が有

意に小さくなった。つまり、術前と比べて術後に通気度が改善したということである。

また、図4に示すように鼻腔全体を含めた全ての部位において、術前後の体積に有意差は認められなかった。

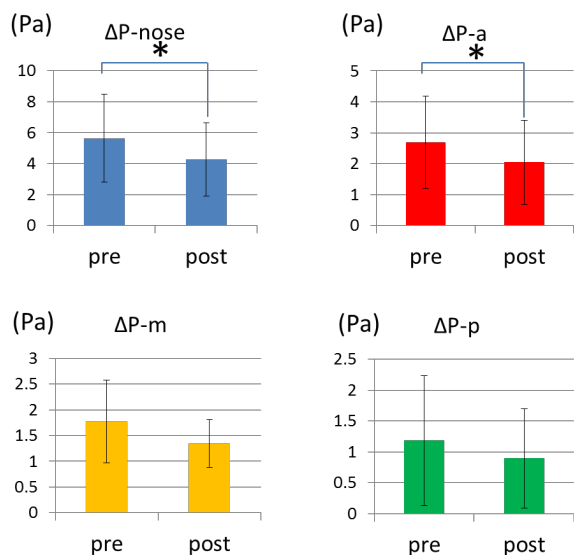


図3 術前後における鼻腔の圧力損失

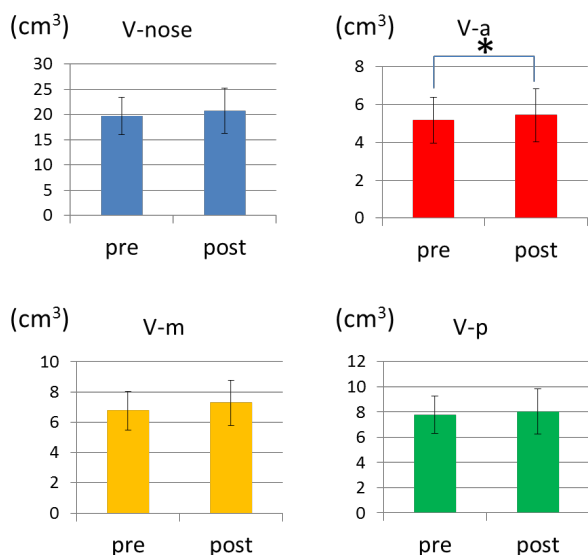


図4 術前後における鼻腔の体積変化

図3に示すように、鼻腔全体および鼻腔前方部において、術前と比べて術後のPが有意に小さくなった。つまり、術前と比べて術後に通気度が改善したということである。

また、図4に示すように鼻腔前方部において、術後の体積が術前と比べて有意に増加した。

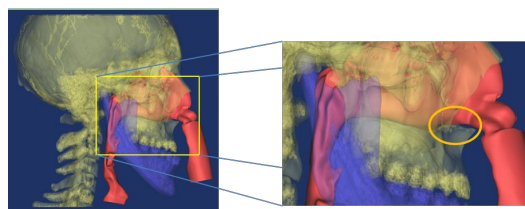


図5 鼻腔周辺構造物の重ね合わせ

今回、P-nose, P-aが術後有意に減少するという結果になった。それは鼻腔換気の改善と同義であるが、その原因としては図5に示すように梨状孔下縁切削による影響が考えられる。

先行研究において、吸気時の空気の通り道に関する報告がある。その研究によると流速最大部位つまり主な空気の流路は前方部では下鼻道、中央部では中鼻道、後方部（後鼻孔より後方）では下鼻道であるとある。

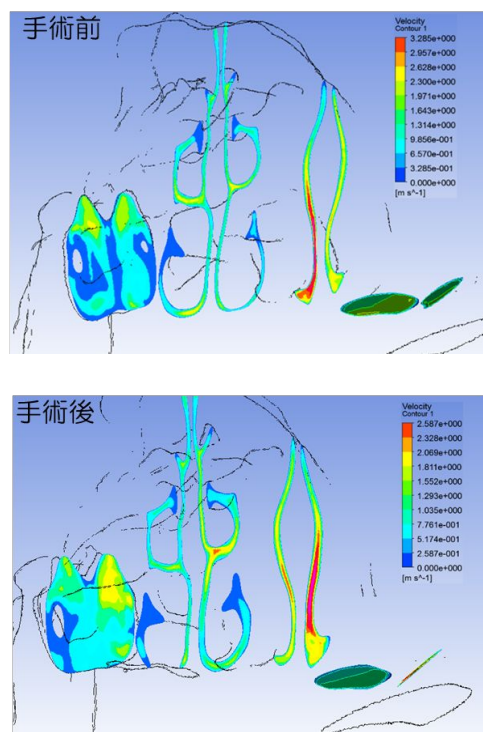


図6 術前後の速度 contour 表示

本研究においても図6に示すように術前後の速度 contour 表示を行ったところ、先行研究と同様に鼻腔下方から上方へ向かって空気が流れていく結果となった。

また、術前と術後において流速最大部位が

左右反対となっているが、それは Nasal Cycle によるものである。Nasal Cycle とは人体の生理的な反応であり、換気しやすい側が定期的に変化するというものである。

これらのことから鼻腔前方部は、鼻腔下方部狭窄の影響を大きく受けると考えられる。

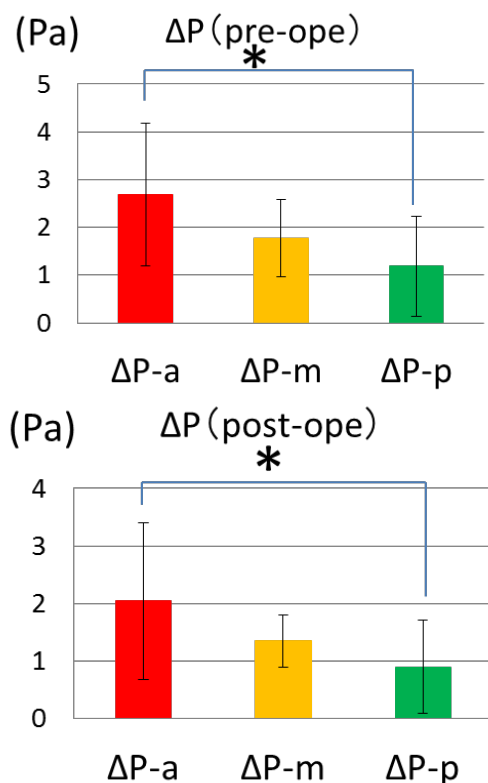


図7 術前後の部位による P の変化

鼻腔を前後方向に3分割し、それぞれの部位における P を図7に示す。術前後ともに、鼻腔後方部と比較して、鼻腔前方部の P が有意に大きくなっていた。

これは鼻腔における空気の通りやすさを制御している部位が鼻腔前方部であることを示しており、手術に際して鼻腔前方部における形態に配慮することが生体にとって有意義であるということを示している。

具体的には、術式や上顎骨の上方移動量に留意することが必要であると考えられる。

耳鼻咽喉科の領域においては鼻腔通気度に関する研究は数多く進められており、それらによると鼻腔通気を制御する部位は、鼻弁

に代表されるような鼻腔前方部の構造物であるとするものが数多く見られる。

それらの研究の中には、鼻腔抵抗の半分以上を鼻腔前方 3cm (図8参照) が占めるというものもある。

他の研究では、鼻閉の原因となる部位は同じく鼻腔前方部であるが、人種によってその部位がやや変わってくるという報告もある。

つまり、白人では鼻閉の原因となる再狭窄部位は鼻弁であるが、黒人や日本人では下鼻甲介先端付近、梨状孔縁付近であるとする報告である。よって、白人と比較して、黒人や日本人ではより梨状孔縁レベルでの配慮が求められると考えられる。

また、鼻腔前方 3cm、鼻弁および下鼻甲介先端付近、梨状孔縁付近は全て、作製したモデルの前方 1/3 に含まれており、今回のシミュレーション結果を裏付けるものである。

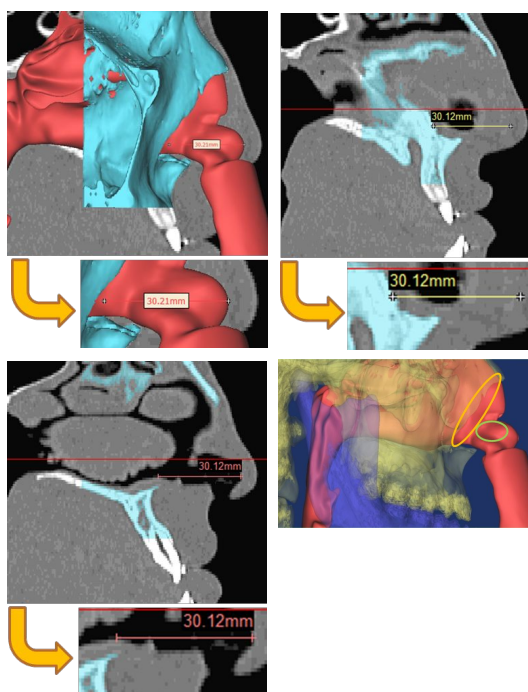


図8 鼻腔前方 3cm、鼻弁および下鼻甲介先端付近、梨状孔縁付近の狭窄部位

今後は鼻腔前方部の影響についてさらに深く追究していく予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

喜田 壮馬、島崎 一夫、矢島 康治、大村 進、小野 卓史、大島 まり、上下顎移動術前後における鼻呼吸機能の流体解析、生産研究、査読無、Vol.67、No.1、2015、p.55-58、DOI:10.11188/seisankenkyu.67.55

〔学会発表〕(計2件)

喜田 壮馬、島崎 一夫、矢島 康治、岩井 俊憲、大村 進、大島 まり、小野 卓史、Computational fluid dynamics study on the nasal respiratory function before/after maxillo-mandibular orthognathic surgery、The 37th Annual Scientific Conference on Dental Research、2015.4.13-14、ホーチミン市医科薬科大学(ベトナム・ホーチミンシティ)

喜田 壮馬、島崎 一夫、矢島 康治、大村 進、大島 まり、小野 卓史、上下顎移動術前後における鼻呼吸機能の流体解析、第73回日本矯正歯科学会大会、2014.10.20-22、幕張メッセ(千葉・幕張)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

6. 研究組織

(1)研究代表者

島崎 一夫(SHIMAZAKI, Kazuo)
東京医科歯科大学・大学院医歯学総合研究科・助教
研究者番号:10420259

(2)研究分担者

小野 卓史(ONO, Takashi)
東京医科歯科大学・大学院医歯学総合研究科・教授
研究者番号:30221857

(3)連携研究者

大島 まり(OSHIMA, Marie)
東京大学・生産技術研究所・教授
研究者番号:40242127

大村 進(OMURA, Susumu)
横浜市立大学・市民総合医療センター・准教授
研究者番号:50145687

岩井 俊憲(IWAI, Toshinori)
横浜市立大学・大学病院・助教
研究者番号:00468191

(4)研究協力者

矢島 康治(YAJIMA, Yasuharu)

喜田 壮馬(KITA, Soma)