

平成30年6月6日現在

機関番号：12602

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K11361

研究課題名(和文) 外科的矯正治療における上気道閉塞部位診断評価システムと治療予測モデルの構築

研究課題名(英文) construction of evaluation system of obstructive part and prediction model in 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) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：顎矯正手術などによる上顎骨の移動は、上部気道形態変化を介して呼吸・睡眠動態に大きな影響を与えられられる。そこで、上顎骨上方移動を伴う顎矯正手術が鼻呼吸機能に与える影響を部位特異的に明らかにすること、および術中に併用する梨状孔下縁切削の効果を検証することを目的として、計算流体力学を用いて解析し、検討を行った。その結果、鼻腔の各部位における断面積と圧力損失は強い相関を示した。また、鼻腔前方部の圧力損失は術後に有意に減少し、中央部および後方部における圧力損失は術後に減少する傾向を示した。梨状孔下縁を切削しなかったシミュレーションの解析結果より、梨状孔下縁切削の有用性が示された。

研究成果の概要(英文)：This study aimed to evaluate the influence of maxillary impaction orthognathic surgery on nasal respiratory function and the efficacy of bone trimming at the inferior edge of the pyriform aperture. In the preoperative and postoperative models, there were significant correlations between the cross-sectional area and the pressure effort in each part of the nasal cavity. The postoperative pressure effort showed a tendency to decrease and the cross-sectional area showed a tendency to increase in each part of the nasal cavity. In four 2 mm stenosis models, the pressure effort in the anterior nasal cavity was larger than the preoperative pressure effort, and the cross-sectional area of the anterior nasal cavity was smaller than the preoperative cross-sectional area. Bone trimming at the inferior edge of the pyriform aperture appears to be useful for avoiding nasal respiratory complications with maxillary impaction.

研究分野：歯科矯正学

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

顎矯正手術による上下顎骨の移動は、硬組織や軟組織の形態変化による審美性のみならず、鼻呼吸機能についても影響を与える。下顎骨後方移動により咽頭が狭窄し、睡眠時無呼吸 (OSA) のリスクが高まると報告されている。下顎骨と同様に、上顎骨の移動も呼吸・睡眠動態に与える影響は大きいものと考えられ、それに対する機能的評価が必要である。従来、顎矯正術による上顎骨の上方移動を施行した場合、鼻腔は狭窄すると考えられてきた。そのため、上顎骨の上方移動に伴う鼻腔狭窄防止のために、梨状孔下縁切削術を併用しているが、その効果の詳細な検討は未だ行われていない。

近年、コンピュータの発展に伴い、シミュレーション技術の高速化がなされ、医学分野で活用されている。鼻腔通気に関しても、計算流体力学 (CFD) を用いた研究が行われており、上顎骨の前方移動が咽頭部の体積を増加させることにより OSA を改善させるという報告や、小児に対する急速拡大が鼻腔通気を改善させるという報告は認めるが、上顎骨の上方移動が鼻腔に与える影響を CFD で評価した報告は認められない。

そこで本研究では、上顎骨上方移動を伴う顎矯正手術が鼻呼吸機能に与える影響を明らかにするため、3次元狭窄モデルを作成し、CFD を用いて評価を行った。

2. 研究の目的

CFD を用いて、上顎骨上方移動を伴う顎矯正手術が鼻呼吸機能に与える影響を明らかにすること、狭窄部位を特定すること、3次元狭窄モデルを作成し特定の移動を行った際に鼻呼吸機能にどのような影響が生じるのかを明らかにすること (具体的には手術時に梨状孔下縁を切削することの効果を明らかにすること) を目的に解析を行った。

3. 研究の方法

対象

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、梨状孔下縁を切削した患者 10 名を対象とした。種々の症候群や著しい非対称を伴う症例は除外した。

鼻腔 3次元モデル

各患者の術前および術後の CT を用い、術前モデルおよび術後モデルを 10 モデルずつ作製した (図 1)。また、梨状孔下縁を切削していない場合を想定して、術後モデルの鼻弁 (Nasal valve) 部分を 1mm および 2mm 狭窄させたモデルを 10 モデルずつ作製した (図 2)。

流体解析

解析条件は大気圧下 (1.013×10^5 Pa)、気温 20 安静時呼吸を想定し、非圧縮性ニュ-

トン流体定常流、密度： 1.205 kg/m^3 、粘度： $1.822 \times 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ とした。支配方程式は連続の式、ナビエ ストークス方程式を用い、乱流モデルは低レイノルズ型 k-モデルを適用した。境界条件は入口境界条件を流量 200 ml/s、出口境界条件を自由流出境界条件とし、壁面は Non-slip と設定した。また、本研究における主な解析部位は鼻腔である。その鼻腔に対する初期条件の影響を緩和するため、外鼻孔にドライバーを付与した。

鼻腔を外鼻孔前縁と後鼻孔により囲まれた領域と定義し、前後的に 3 等分した各部位における圧力損失を P-a (前方部)、P-m (中央部) および P-p (後方部) とし、合計を P-nose とした (図 3)。また後鼻孔から喉頭蓋上縁までを咽頭とし、同部位における圧力損失を P-PA とした。鼻腔前方部、中央部、後方部および咽頭部を代表する部位の断面積を CSA-NV、CSA-m、CSA-p および CSA-PA と定義し、術前後における断面積および圧力損失について比較を行った。

また、統計学的解析にはウィルコクソンの符号順位検定 ($p < 0.05$) およびスピアマンの順位相関係数 ($p < 0.05$) を用いた。



図 1 モデル外形

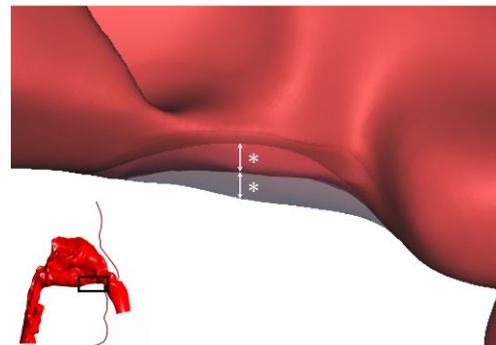


図 2 狭窄モデル (*:1mm)

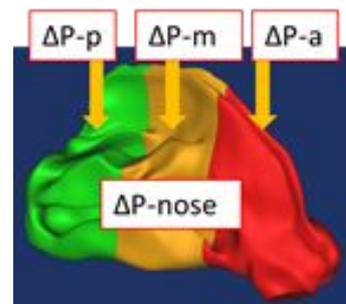


図 3 鼻腔評価部位および評価項目

4. 研究成果

圧力損失

P-a は術後に有意に減少し、P-PA は術後に有意に増加した。P-m および P-p は術後に減少傾向を示した。一方、術前後ともに P-nose が P-PA より有意に大きな値を示した。

断面積

CSA-NV は術後に有意に増加し、CSA-PA は術後に有意に減少した。CSA-m および CSA-p は術後に増加傾向を示した。

断面積と圧力損失の相関

術前後モデルにおいて、CSA-NV と P-a、CSA-m と P-m、CSA-p と P-p および CSA-PA と P-PA におけるスピアマンの順位相関係数はそれぞれ、 $\rho = -0.938$ 、 $\rho = -0.708$ 、 $\rho = -0.720$ および $\rho = -0.928$ と、いずれも強い負の相関を示した (図 4-7)。

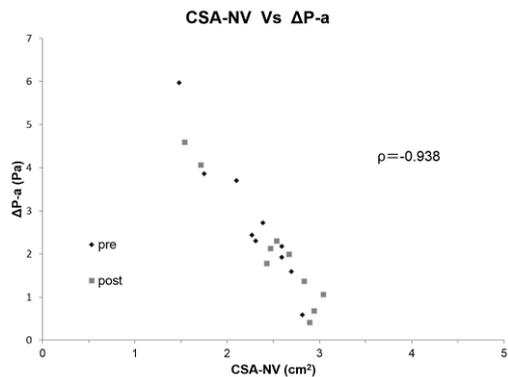


図 4 鼻腔前方部 断面積 × 圧力損失

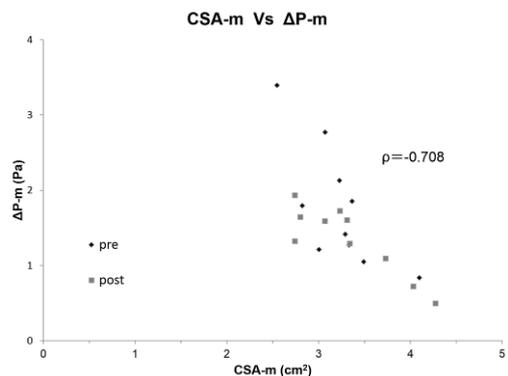


図 5 鼻腔中央部 断面積 × 圧力損失

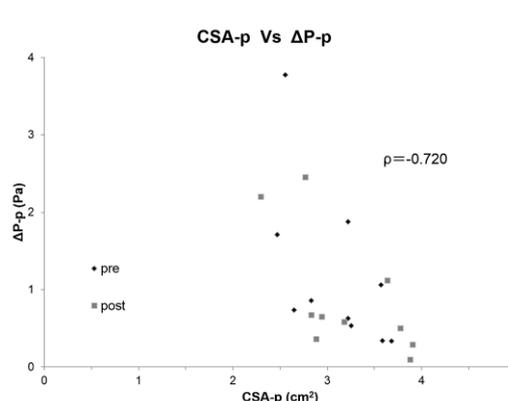


図 6 鼻腔後方部 断面積 × 圧力損失

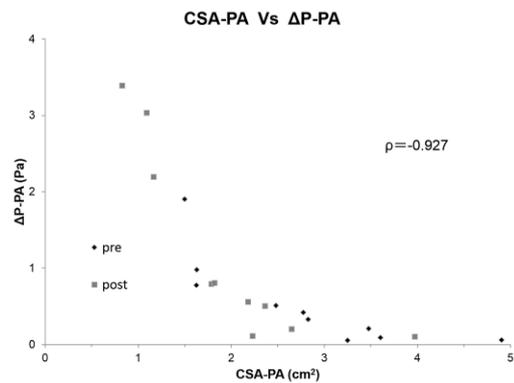


図 7 咽頭部 断面積 × 圧力損失

狭窄モデル

1mm および 2mm 狭窄モデルの CSA-NV は全てのケースにおいて術後より減少し、P-a は全てのケースにおいて術後より増加した。また、4 ケースにおいて、2mm 狭窄モデルの CSA-NV が術前より小さくなり、2mm 狭窄モデルの P-a が術前より大きくなった (図 8)。

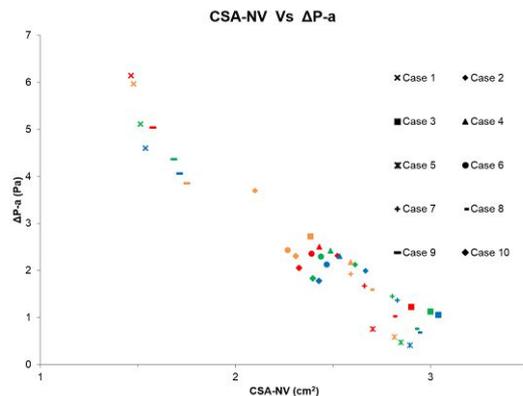


図 8 狭窄モデル鼻腔前方部 断面積 × 圧力損失

考察

本研究から、上顎骨上方移動および梨状孔下縁切削を伴う上下顎移動術を施行した場合、圧力損失は咽頭よりも鼻腔の影響を受けやすい可能性が示唆された。このことから顎矯正手術の際には、以前より行われてきた咽頭への配慮のみならず、鼻腔に対する配慮が求められると考えられる。また、鼻腔の各部位における圧力損失は、それぞれの部位の断面積と強い負の相関を示した。したがって、鼻腔の断面積を拡大させる手術法が、鼻腔通気の改善に繋がる可能性がある。

従来の計測方法である rhinomanometry や acoustic rhinometry を用いた先行研究では、術後に鼻腔抵抗が減少し、鼻腔通気が改善するという報告が多く認められる。本研究においても、多くの症例で術後に圧力損失が減少しており、その要因の一つとして術中に梨状孔下縁を切削したことによる鼻弁断面積の増加が考えられる。梨状孔下縁切削に伴う鼻弁断面積増加の鼻腔通気への効果を明らかにするため、梨状孔下縁を切削しなかった場合を想定した 1mm および 2mm の鼻腔狭窄モデル

ルを作製し比較を行った。その結果、両狭窄モデルの全ての症例において、術後モデルと比較し、鼻腔前方部の圧力損失が増加し、鼻腔通気が減少していた。さらに、2mm 狭窄モデルの 10 症例中 4 症例において、術前モデルと比較し、鼻腔前方部の圧力損失が増加し、鼻腔通気が術前よりも減少していた。これらのことから鑑みて、梨状孔下縁を術中に切削し、その部位の断面積を縮小させないことが、鼻腔前方部の通気の維持あるいは改善に重要であることが示された。

一方、2mm 狭窄モデルにおける鼻弁断面積の術後の減少量は、鼻弁断面積の 5%であったが、鼻弁断面積が元々小さな症例にとってこの変化は大きな影響を持ち、わずかな鼻弁断面積の減少が著しい圧力損失の増加に繋がると考えられる。前述のように、症例によっては梨状孔下縁を 2mm 切削していなければ、術前に比較して、術後に鼻腔前方部の圧力損失が増加し、鼻腔通気が減少していた可能性が CFD を用いたことから明らかとなった。

さらに、術後に圧力損失が減少し、鼻腔通気が改善した別の要因としては次のことが考えられる。上顎骨の上方移動を行う場合、上方移動を円滑に行うため、また鼻中隔の湾曲を防ぐために、down fracture の際に余剰の鼻中隔は切除される。本研究においても、術後に鼻腔前方部以外に鼻腔中間部および鼻腔後方部の断面積が増加し、圧力損失が低下しているモデルが多く見られ、その手技が影響していると考えられる。先行研究では、鼻腔抵抗減少の要因として鼻腔前方部のみが指摘されていたが、CFD を用いたことで鼻腔前方部のみならず、鼻腔中間部および鼻腔後方部にも鼻腔通気改善の要因があることが明らかとなった。

以上のように CFD を用いることで、上顎骨上方移動を伴う顎矯正手術が鼻腔通気に与える影響について部位特異的な解析を行い、術中に併用する梨状孔下縁切削術の効果について検証することができた。さらには、呼吸に対する影響を考慮した理想的な顎骨の移動を行う治療計画や治療効果予測が可能となり、より優れた治療法を考案する際の一助となると考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 1 件)

Kita S, Oshima M, Shimazaki K, Iwai T, Omura S, Ono T. Computational Fluid Dynamic Study of Nasal Respiratory Function Before and After Bimaxillary Orthognathic Surgery With Bone Trimming at the Inferior Edge of the Pyriform Aperture. J Oral Maxillofac Surg. 査読有, 2016;74(11):2041-51, DOI: 10.1016/j.joms.2016.06.171

〔学会発表〕(計 1 件)

喜田 壮馬、島崎 一夫、矢島 康治、岩井 俊憲、大村 進、小野 卓史、梨状孔下縁切削を併用した上下顎移動術前後における鼻呼吸機能の流体解析、第 26 回日本顎変形症学会総会・学術大会、2016.6.24-25、学術総合センター橋講堂(東京・神田)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

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・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)

青柳 美咲 (Aoyagi, Misaki)