

令和 元年 5月 20日現在

機関番号：22701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K11260

研究課題名(和文)顎矯正手術後の睡眠呼吸障害を考慮した新しい数値流体解析を用いた治療計画の確立

研究課題名(英文) Treatment plan using computational fluid dynamics considering sleep disorder after orthognathic surgery

研究代表者

大村 進 (Omura, Susumu)

横浜市立大学・附属市民総合医療センター・診療教授

研究者番号：50145687

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)：本研究では下顎枝矢状分割術(SSRO)によって影響を受けた上気道での気流を変化させたうえで流体解析を用い検討することで、形態だけでなく呼吸も考慮した治療計画を立案可能とすることである。下顎前突症患者11名に対して撮影された術直前と術後1年のCTデータを用いて、流量を変化させたうえで流体解析を行ったところ、どの流量においても気道の最小断面積が1cm<sup>2</sup>以下になると圧力損失の急激な上昇を認めた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

顎変形症患者の治療前後の気道の変化から流体解析を用いたシミュレーションを行い、顎骨の移動距離や方向による呼吸への影響を検討することで、理想的な顎骨の移動に関し呼吸への影響も考慮した治療計画や治療効果予測が可能になると考えている。つまり、本研究により形態だけでなく呼吸機能も考慮した治療が実現できるため、これまで以上に患者ごとに最適な治療法や治療計画の立案が可能となり患者のQOLの向上に寄与すると考えられる。

研究成果の概要(英文)：This study showed treatment plan using computational fluid dynamics considering sleep disorder after SSRO. Computational fluid dynamic was performed under different condition using preoperative and 1 year after surgery in 11 patients with dentofacial deformity. In all condition, delta P increased drastically when minimal cross sectional area of airway was 1 cm<sup>2</sup> or less.

研究分野：口腔外科学

キーワード：顎変形症 閉塞型睡眠時無呼吸症候群 流体解析 シミュレーション 気道

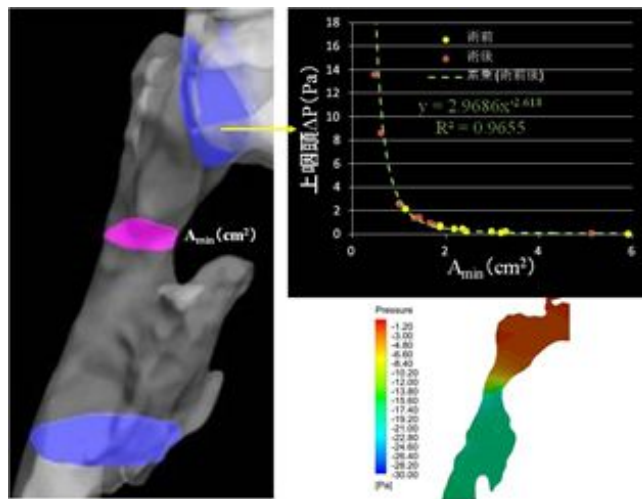
## 1. 研究開始当初の背景

### 研究の学術的背景

閉塞型睡眠時無呼吸症候群や顎変形症患者の治療前後の気道の形態変化に関する研究はこれまで2次元側面画像であるセファログラムから気道スペースを距離や面積として評価するものがほとんどであった。その後、CTの発達に伴いaxial画像より気道の断面積で評価するようになり、さらに3D-CTで体積の評価が行われるようになってきたが(Rachmiel A, et al. Int J Oral Maxillofac Surg, 2005.),それらは解剖学的・形態学的評価のみである。

閉塞型睡眠時無呼吸症候群に対するオーラルアプライアンスによる治療前後の気道の変化、無呼吸回数、低呼吸回数、無呼吸・低呼吸指数(apnea hypopnea index: AHI), Lowest SpO<sub>2</sub>などの評価は以前より数多くの研究者により行われてきたが、airflowに関する研究は非常に数少ない。特に、顎変形症に対してはほとんど行われておらず、顎矯正手術による気道の解剖学的変化による呼吸状態の評価も術後のSpO<sub>2</sub>程度しか測定されていないのが現状で、機能的な検討はほとんど行われていない(Kitagawa K, et al. Int J Oral Maxillofac Surg, 2008. Kobayashi T, et al. Br J Oral Maxillofac Surg, 2013.)。そこで、われわれは顎変形症患者に対する顎矯正手術前後の呼吸状態の評価にも流体解析を用いることで気道のairflowシミュレーションが可能になると考え、下顎枝矢状分割術による下顎後方移動による呼吸機能への影響について流体解析を用いて検討し、下顎後方移動術により上咽頭(軟口蓋レベル)部の気道断面積が1cm<sup>2</sup>以下になると急激に圧力損失が大きくなり、気道抵抗の増加を認めることを明らかにした(右図, Yajima Y, et al. JOMS, 2017)。つまり、術後の気道断面積が1cm<sup>2</sup>以下になると医原性に睡眠呼吸障害を引き起こす可能性が高くなるということである。

そこで、本研究ではさらに境界条件を変化させたうえで流体解析によるairflowシミュレーションを行い、顎骨の移動距離や方向による呼吸への影響を評価することで、理想的な顎骨の移動に関し呼吸への影響(睡眠呼吸障害のリスク)も考慮した新しい治療計画や治療効果予測が可能になると考えている。



## 2. 研究の目的

本研究の目的は下顎枝矢状分割術(SSRO)によって影響を受けた上気道での気流を変化させたうえで流体解析を用い検討することで、形態だけでなく呼吸も考慮した治療計画を可能とすることである。

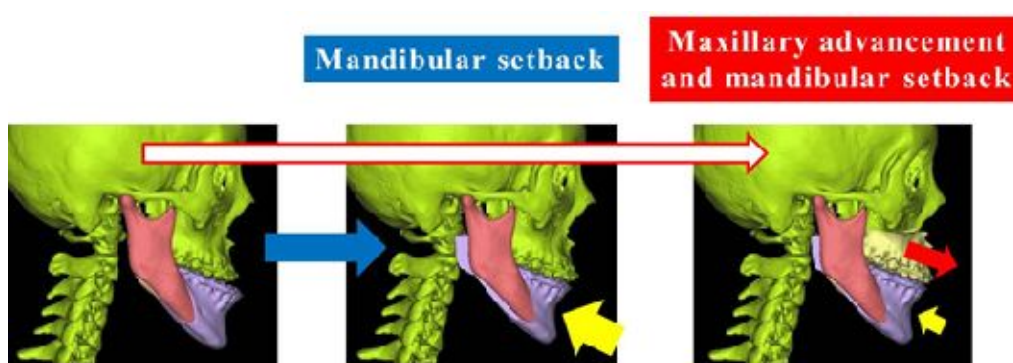
## 3. 研究の方法

対象は下顎前突症患者11名であり、術直前と術後1年でCTの撮影を行った。スライス厚は1mm、幅・高さは512×512ピクセルとし、患者は意識下でフランクフルト平面を床と垂直にした仰臥位にて一呼吸した時の吸気の最後で息を止めてもらいCTの撮影を行った。CTデータはDICOM形式で保存し、三次元画像処理ソフトウェアであるmimicsにインポートしたうえでセグメンテーションを行った。閾値は障害陰影を除くためと気道領域を抽出するために調整した。三次元気道モデルは副鼻腔を除く外鼻孔から正門下腔までを構築し、上気道形態の患者特性を失わないようにモデルの平滑化を行った。両側入口平面は両側の外鼻孔で鼻腔壁面に対し垂直であり、出口平面は正門下腔の壁に垂直とした。表面メッシュは「mimics」で三次元気道モデルから作製し出力した。表面メッシュは流体解析の前処理としてポリウムメッシュを作成するためICEM-CFDに入力した。非構造的なテトラプリズムメッシュを気道内部に作成した。プリズムメッシュは壁面から3層とし、ポリウムメッシュはおよそ180万であった。流体解析ソフトウェアのFluentを用いて流体の支配方程式を解き、作成した気道モデルでの流体指標(速度と圧力)値の分布を算出した。支配方程式はNavier-Stokes方程式を用い、空間上の離散化は二次精度の有限体積法を用い、時間に対しては二次精度の陰解法を用いた。速度圧力のカップリングはコロケート格子上でSIMPLE法を適用した。乱流モデルは低レイノルズ型 $k-\epsilon$ を用いた。このシミュレーションは大気圧下( $1.013 \times 10^6 Pa$ )気温20度で、ヒトの安静時吸気を想定した。流体データとして、粘性( $1.82210^{-5} Pa \cdot s$ )、密度( $1.205 kg/m^3$ )の物性条件を与え

た．流入条件は境界面に垂直な速度で定義し，流量  $Q$  [ml/sec] を 200, 300, 400, 500 と二か所の入り口の面積から速度算出した．出口は自由流境界条件(圧力勾配 0)として定義した．壁面境界条件は non-slip の剛体壁と定義した．計算収束後，結果ファイルをポスト処理ソフトウェア CFD-post に入力した．咽頭気道スペース (PAS) は 2 つの平面で切り分けられた．PAS を上咽頭から喉頭蓋の先端までと定義し，上面は鼻腔と上咽頭の間であり，下面は喉頭蓋の先端を通る平面の面積平均圧力から圧力損失 ( $P$ ) を算出し，軟口蓋レベルでの狭窄した最小断面積 ( $A_{min}$ ) も算出した．

#### 4．研究成果

どの流量においても気道の最小断面積  $A_{min}$  が  $1\text{cm}^2$  以下になると圧力損失  $P$  の急激な上昇を認めた． $P$  と  $A_{min}$ ,  $Q$  関係は近似曲線から  $P = 2.83 \times 10^{-4} Q^{1.79} \cdot A_{min}^{-2.13}$  と表せ，近似曲線の決定係数は 0.9 以上であった．気道は複雑な形態をしているが，高い決定係数から本数式で圧力損失  $P$  を予測できる可能性が示唆された．気道の最小断面積  $A_{min}$  の小さい症例や体格が大きく流量  $Q$  が大きいことが予想される症例に顎矯正手術を行う場合には，気道へ配慮を行う必要があると思われた（下顎後方移動術だけではなく，上下顎移動術を行うことで下顎の後方移動量を減少させる．）．



#### 5．主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 9 件)

1. Yajima Y, Oshima M, Iwai T, Kitajima H, Omura S, Tohnai I. Computational fluid dynamics study of the pharyngeal airway space before and after mandibular setback surgery in patients with mandibular prognathism. *Int J Oral Maxillofac Surg* 46, 839-844, 2017.
2. 岩井俊憲．口腔顎顔面領域におけるシミュレーションと computer assisted surgery (CAS) - 現状と将来展望 - . *日口外誌* 65, 242-248, 2019 .

〔学会発表〕(計 7 件)

1. Iwai T. Computer assisted surgical simulation and surgery in orthognathic surgery. The 55th Congress of the Korean Association of Maxillofacial Plastic and Reconstructive Surgeons, Gwangju, Korea, 2016 年 11 月 .
2. 岩井俊憲 . Computer assisted simulation and surgery in orthognathic surgery . Dolphin Meeting Japan 2016, 東京, 2016 年 12 月 .
3. Iwai T. Computer assisted simulation in oral and maxillofacial surgery. 6th Triennial Congress of Advanced Digital Technology in Head and Neck Reconstruction (Invited lecture, Amiens, France, 2017 年 6 月 .
4. 岩井俊憲 . 口腔顎顔面領域における computer assisted simulation and surgery - 現状と将来展望 - . 第 62 回日本口腔外科学会総会・学術大会 (シンポジウム「最先端 technology の口腔外科への応用」), 京都, 2017 年 10 月 .
5. 岩井俊憲, 大村 進, 林 雄一郎, 山下陽介, 高須 曜, 村田彰吾, 藤内 祝 . 顎矯正手術における simulation と CAD/CAM wafer . 第 62 回日本口腔外科学会総会・学術大会 (ワークショップ「手術シミュレーション」), 京都, 2017 年 10 月 .
6. 岩井俊憲 . 口腔顎顔面領域における simulation surgery . 第 27 回日本シミュレーション外科学会 (シンポジウム「様々な領域のシミュレーション外科」), 横浜, 2017 年 11 月 .
7. Iwai T. Computer assisted oral and maxillofacial surgery. 第 63 回日本口腔外科学会総会・学術大会 (国際シンポジウム (日韓セッション)「3D digital technology for oral & maxillofacial

- surgery」), 千葉, 2018年11月.
8. 岩井俊憲, 大村 進. 横浜市立大学における顎変形症治療のイノベーション. 第63回日本口腔外科学会総会・学術大会(シンポジウム「口腔外科のイノベーション - 顎変形症 - 」), 千葉, 2018年11月.
  9. 矢島康治, 岩井俊憲, 北島大朗, 山下陽介, 竹田 敦, 今井治樹, 藤田紘一, 高須 曜, 大村 進. 下顎前突症に対する下顎後方移動術における咽頭気道の数値流体力学的解析. 第63回日本口腔外科学会総会・学術大会, 千葉, 2018年11月.

## 6. 研究組織

### (1)研究分担者

研究分担者氏名：岩井俊憲

ローマ字氏名：Toshinori Iwai

所属研究機関名：横浜市立大学

部局名：附属病院

職名：診療講師

研究者番号(8桁): 00468191