

論文の内容の要旨

氏名：山 縣 加夏子

博士の専攻分野の名称：博士（歯学）

論文題名：上下顎前方移動および舌骨上筋群牽引術前後における数値流体力学解析を用いた上気道呼吸動態の変化

閉塞性睡眠時無呼吸症（Obstructive sleep apnea, 以下OSA）の要因のひとつに、解剖学的に狭窄もしくは閉塞した上気道があげられる。この閉塞を引き起こす要因には、一般的に肥満、鼻内疾患、アデノイド・口蓋扁桃肥大、巨舌など軟組織の要因があるが、小顎、過蓋咬合など硬組織の形態異常も原因のひとつとして考えられている。また、OSAの治療方法のひとつに睡眠外科手術があるが、このうち、上下顎前方移動術（Maxillo-Mandibular Advancement, 以下MMA）と舌骨を牽引する舌骨上筋群前方移動術（Genioglossus Advancement, 以下GA、両手術を同時に行うことを以後、MMA+GAと略する）は、無呼吸低呼吸指数（Apnea and hypopnea index, 以下AHI）を減少し、睡眠の質を改善すると報告されている。しかし、これまでの研究では、形態学的分析が主体で、上気道形態の変化と呼吸生理学的機能の変化は評価されていなかった。そこで本研究では、MMA+GA術後に起こる気道の変化について、術前後の上気道の断面積、気道内の気流速度、気道壁にかかる静圧および全圧、気道抵抗の変化を、CFD解析を用いて検討し、MMA+GAの効果を評価した。

本研究は、2012年9月から2017年8月に咬合の改善を目的とし日本大学歯学部附属歯科病院口腔外科での顎変形症の診断のもと、顎矯正手術を施行した患者のうち、MMAとGAを同時に行い、術前および術後1年経過時にmulti-detector computed tomography（以下MDCT）を撮影し、本研究の趣旨に同意が得られた6名（男性1名、女性5名、平均年齢32歳 ± 8歳、平均BMI20.63 ± 2.68）を対象とした。術前および術後1年経過時に治療目的で撮影されたMDCTより得られたDICOMデータより、Cybernet社のIntage Volume Editor version 1.1を用いて気道と軟組織の境界を抽出し、STLファイルの作成をおこない解析モデルとした。作成したモデルからNUMECA社のHEXPRESS™ version 7.2を使用し、顔面前方部に入口境界を設定し、気道最下方部に出口境界を設定して計算メッシュを作成した。またMDCT撮影時と同時期にアンテリオール・マスク法による鼻腔通気度検査を行い、得られた患者個々の実測値を解析時の流量として設定した。鼻腔通気度検査は、日本光電社製の鼻腔通気度計であるMPR3100を用いた。CFD解析にはNUMECA社のFINE™/Open with OpenLabs version 7.2を用い、鼻腔から上気道の空気の流れを解析する為に圧縮性流体のNavier-Stokes equationsを解く解析法を用いた。まず、CFDモデルより作成した気道について、測定した境界断面は、両鼻合流部、口蓋咽頭の上端、軟口蓋の最下点、喉頭蓋の上端とこれらの中間点に設定した。そして、これらの境界断面における断面積をそれぞれ測定した。また、手術前後に最も断面積の変化が大きかった境界断面において、入口境界から出口境界までの気流の速度、流体が外界に及ぼす圧力である静圧力、静圧力と動圧力の和の全圧力、気道の換気程度を示す気道抵抗をそれぞれ計測し比較検討した。

結果は、口蓋咽頭の上端から喉頭蓋の上端にかけて、術後、気道断面積の明らかな増大を認め、特に軟口蓋の最下点で最も拡大していた。気流の流速について、最も断面積の変化のあった軟口蓋の最下点での術前後の流速を比較すると術後で明らかな減速を認め、気道全体で流速が均一化していた。さらに鼻腔内および上気道全体において、気流の整流化を認めた。軟口蓋の最下点における静圧力を術前後で比較すると、術後に減圧していた。また、外部圧力と気道内との静圧力の差（静圧差）を比較するために、入り口である外鼻孔と出口の喉頭蓋先端との静圧差を調べた結果、術後に統計学的に有意な減少を認めた。軟口蓋の最下点における全圧力は、術後で有意に減少していた。また、入口境界である外鼻孔と出口境界の喉頭蓋先端との全圧力の差（全圧差）を調べた結果、術後で大きく減圧していた。軟口蓋最下点における気道抵抗は、術後で有意に減少し、減少率は44%であった。

以上より、MMA+GAを行うことで、気道の断面積が拡大し、気道内の流速が減少して、気道にかかる静圧、全圧が減少し、安定した潰れにくい気道になったことが示唆された。さらに、静圧差が大きいと、気道内の陰圧による軟口蓋や舌根部を引き込む力が大きくなり、力学的に咽頭付近の気道狭窄を

促進する要因となるが、静圧差の減少を認めたことから、力学的な気道狭窄促進リスクが、手術によって低減されたことが分かる。また、気道抵抗は定義された気体の体積を指定された時間内に押し出すために必要な特定の圧力を表し、抵抗が高いと気道が流れにくいことを示しており、吸気の難易度を決定する重要な指標である。その結果についても抵抗が減少したところから、気道内換気が容易になったこと、すなわち呼吸が楽になったことが示唆された。したがって、MMA+GAはOSAに対する有効的な治療法である根拠となり、いままでの報告とも一致する結果となった。また、今回の結果からCFD解析は、術前に気道狭窄部位の確認や静圧の高い部位の確認ができ、気道閉塞が生じる可能性を警鐘することや、MMA+GAの移動量や方向を検討する手段として有用性が高いことが示唆された。今後、症例数をさらに増やし、予測値との差異を反映した修正をモデル計算にフィードバックすることで、モデルの精度をさらに向上させ、手術での最適な各部位の移動量の検討に有効な予測データを提供できる可能性があると考えられた。