

## 論文の内容の要旨

氏名：荻 澤 翔 平

博士の専攻分野の名称：博士（歯学）

論文題名：数値流体力学を用いた上下顎前方移動術前後の気道評価

閉塞性睡眠時無呼吸症：Obstructive sleep apnea (OSA) に対する睡眠外科として上下顎前方移動術：Maxilla-Mandible advancement (MMA)がある。本術式は LeFort I 型骨切り術および 下顎枝矢状分割：Sagittal Splitting Ramus Osteotomy (SSRO) の術式を応用して、上下顎骨を前方に移動する方法であり、良好な結果を得た報告が多数ある。しかし、顎骨の前方移動により上気道は拡大するが、どのくらい前方に移動すれば効果が得られるか不明な点が多い。また、顎顔面形態を無視し、単純に上下顎骨を過度に前方へ移動しても、力学のおよび機能的な安定が得られないばかりか審美的な面で悪影響を示す危険がある。したがって、MMA を行う際に、最適な移動量の設定を決定することは単に OSA の治療を行うことにとどまらず、患者の QOL の改善を行う上でも重要である。現在、顎骨の移動に関する評価方法は、従来からあるセファログラム分析、ペーパーサージェリーやモックサージェリーなどの骨格、歯列などの形態学的分析が主体である。この分析法では咬合、顔面形態の不調和は評価、修正の指標となり得るが、これらの方法は、術前後での上気道形態の変化と呼吸に及ぼす生理学的機能の変化を評価することに適していない。従って、MMA を睡眠外科として行う際に、その効果の予測に使用できないという欠点がある。また、顎骨移動を計画する時点で、どの程度移動すればどの程度の気道が拡大するか、上気道の抵抗を軽減するためにはどのくらい移動するべきか不明な点が多い。以上のことから、MMA を 睡眠外科として応用する際に、上下顎骨の移動量と術前後における気道の変化を予測するモデルを確立することを目的に、顎変形症患者で、MMA を施行した患者を対象とし、術前後で撮影した医科用 CT を用いて、その気道変化による機能改善効果を数値流体力学：Computational Fluid Dynamics (CFD) を用いて検討し、MMA の有用性およびシミュレーションによる治療介入の可能性を検討した。

本研究では、2012 年～2013 年に咬合の改善を目的とし日本大学歯学部口腔外科及び歯科矯正科を受診した患者で側方単純撮影の X 線写真を Northwestan 分析法に則り骨格分析を行い、顎変形症と診断された患者のうち、顎外科手術を施行した患者を対象とした。

術前および術後 1 年時に治療目的で撮影された医科用 CT 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 (Standard Triangulated Language) 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 5.2 を使用しメッシュを作成した。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格子を作成した。また CT 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シミュレーション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。シミュレーションの解析には NUMECA 社の FINE™/Open with OpenLabs version 5.2 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。シミュレーション項目は静圧力、全圧力、流速とした。さらに断面積から 1 次元モデルを作成して、実測値、シミュレーション結果および 1 次元モデルの比較検討を行い術前における術後の効果予測の可能性を検討した。

結果は、術前後で側貌において審美ラインの改善がみられた。また気道幅径や前後径においては術後 1 年時においても有意差をもって拡大していた。シミュレーションにおいて、術前症例においては流量条件を変更してもいずれの計測データでも鼻腔通気度の測定誤差内において一致した。またいずれの症例においても術前に比較し術後のシミュレーションでは鼻腔通気性は改善しており、手術前後の効果予測に定性的に十分対応できることが示唆された。静圧力は外鼻孔と軟口蓋部の差圧は術後 1 年時において減少していた。全圧力に関しては、流速の早い外鼻腔直後で圧損が大きくなっていることがわかった。流速に関しては、外鼻孔直後に最も速度が早くなっていた。また術後においてはその流速は減少しており、さらに術前において、気流が流れていない鼻閉がある部位に関しても術後においては流れを認め、流速の均一化が

はかられていた。実測値、シミュレーション結果および1次元モデルとの比較では全て実測値の測定誤差範囲内であり、結果に矛盾はなかった。1次元モデルでは効果を控え目に評価し、シミュレーションは効果を大きく予想する傾向があった。

本研究では顎骨移動による術後気道の変化と効果を予測するためにシミュレーションの導入を検討した。これまで生体に対する流体解析では、シミュレーション結果が実際の生体の事象を再現できているか確認できないことが問題として挙げられていたが、鼻腔通気度で実際の患者の実測値を使用することでシミュレーションと実際の事象が概ね一致することが確認できた。

手術前に比較し術後症例では気道径が上気道のいずれの部位においても増加しており、静圧力が負圧（鼻腔前の圧力より圧力が減少する状態）となる程度の低減（鼻腔前との圧力差の低減）を認めた。これにより呼吸が楽になることで、睡眠時無呼吸患者に対してMMAが有効な治療手段であることを意味している。また1次元モデル作成することにより、術後予測を得るための提唱が可能になった。実測値、シミュレーションのいずれも誤差や控えめに予想される特徴を把握した上で、術前における術後評価を行う必要がある。現段階では、計測値、1次元モデルおよび3次元解析から総合的に判断する必要があることが示唆された。すなわち、手術前に3次元シミュレーションと1次元モデル計算を行い、手術後の鼻腔から喉部における拡大した流路断面積を予測して、その予測から1次元モデル計算を行うプロセスを繰り返すことで、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。手術後にシミュレーション、実測及び1次元モデル計算を行って、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、モデルの精度を更に向上して行くことができると考えている。

今後、気道の構造解析を加えることで、術前により高い精度で術後の気道の状態を評価できることが予想される。これは術前における顎骨の移動量の決定する一助になることが示唆された。