

# 学位論文内容の要旨

愛知学院大学

論文提出者

藤井 仁

論文題目

上顎骨切り術の翼突上顎縫合部分離の  
3次元有限要素解析と下顎骨切り術術後の安定性

I. Le Fort I型骨切り術における翼突上顎縫合部の分離位置の3次元有限要素解析を用いたシミュレーション

【緒言】Le Fort I型骨切り術(以下 LF1)における合併症には異常出血、視力障害等がある。異常出血の原因の一つとして翼突上顎縫合部の分離(以下 PMD)時の出血があり、これは翼状突起の破折(以下 PPFx)による血管の損傷や盲目的なカーブオステオトーム(以下 CO)の操作による直接的な損傷のリスクもある。合併症の回避のために PMD に際しては様々な CO の開発や PMD に際し CO を用いない(LF1 non-curved osteotome separation 以下 LF1-non-COSep)手術手技等の改善がされてきた。これらの手術手技の改善は合併症を軽減させたが未だに PMD における PPFx のリスク解消には至っていない。また最近では Computed tomography (以下 CT) データを用いた3次元有限要素解析(以下 3D-FEA)を用いた骨折予測が行なわれている。これまで 3D-FEA を用い PMD を再現している報告は無い。本研究では LF1-non-COSep における PMD の 3D-FEA での予測が可能か、また 3D-FEA を用い骨切り線を変更し、PPFx のリスクを分析する事を目的とした。

【対象及び方法】愛知学院大学歯学部顎顔面外科学講座にて LF1-non-COSep を施行した 50 例、左右 100 側を対象とした。実際の PMD 位置の確認には術後の 3D-CT を用い、上顎結節部、翼突上顎縫合部、翼状突起の 3 種類に分類した。3D-FEA は術前 CT データから 3D-FEA ソフト(MECHANICAL FINDER)にて 3D-FEA モデルを作成した。骨切り線を咬合

平面に水平に上顎第二大臼歯の遠心面と翼突上顎縫合部の midpoint までの深さまで付与したのもの(以下 Default model)と、骨切り線を翼突上顎縫合部まで延長させたモデル(以下 Extended model)、骨切り線の角度を咬合平面に対し  $5^\circ$  付与したモデル(以下  $+5^\circ$  model)と  $10^\circ$  付与したモデル(以下  $+10^\circ$  model)の計 4 つのモデルを作成した。解析方法は相当応力、最大主応力、骨折線解析で行なった。翼突上顎縫合部の応力集中部位を先と同様に 3 種類に分類した。

**【結果】** 術後の 3D-CT でみた PMD 分離位置と 3D-FEA によるシミュレーションモデルの応力の集中部位とは近似していた。そのなかでも骨折線解析が最も一致率が高く  $87.0\%$  であり、 $\kappa$  係数は  $0.79$ (excellent)と良好な結果であった。また Extended model での PPFx の発生率は  $66\%$  であり、Default model と比較して PPFx のリスクは高くなった。 $+5^\circ$ 、 $+10^\circ$  model で PPFx の発生は  $14\%$ 、 $18\%$  と減少した。

**【考察】** 3D-FEA とは CT データを用い 3 次元の骨密度・力学特性分布を有限要素モデルに置き換え、骨強度・骨折危険部位などを予測する方法であり有用性が示されている。本研究は LF 1 -non-COSep での PMD を 3D-FEA を用いて予測した初めての研究であった。今回の研究において骨折線解析が最も良好に予測可能であった。最大主応力の解析は骨の圧縮破壊に、MPSE の解析は骨の引張破壊を検出しており、骨折線解析はこれらの両者を総合して解析をしていることから、骨折線解析が LF 1 -non-COSep の際の骨

折線を最も正確に予測できたのは PMD には骨の圧縮破壊、引張破壊の両方が起こっているためであろう。Extended model の場合、Default model と比較すると PPFx のリスクは増加した。骨切り線を延長した場合、分離応力はダイレクトに翼状突起にかかり PPFx が生じると考えられる。また翼突上顎縫合部の厚さは加齢とともに上顎洞は拡大し、その構造を薄くなる。その場合、より応力は翼状突起に集中し PPFx が生じると考えられた。 $+5^{\circ}$  model、 $+10^{\circ}$  model の場合のいずれも Default model と比較すると PPFx のリスクを下げられる結果となった。これは骨の破壊は引っ張り応力に強く影響を受ける。骨切り線に角度をつけても破壊は引っ張り応力に垂直すなわち咬合平面に平行に進んでいく。そのため、骨切り線に角度をつける事により破壊が生じる後端を下げる事が可能となる。角度をつけ骨切り線の後端の位置を下げる事により、骨折線は硬い翼突上顎縫合を避け、より前方の上顎結節部に骨折線が行き易くなった結果、PPFx が減少したと考えられる。咬合平面に対し $+10^{\circ}$ 角度をつけ骨切り線が上顎歯列の歯根にかからない様にする  
と骨切り線が上方になる症例が見られる、そのため $+5^{\circ}$  model より PPFx が増加したと考えられる。

## II. 下顎枝矢状分割術術後の近位骨片の安定性

【緒言】 下顎枝矢状分割術(以下 SSRO)の術後評価において顎位の安定は重要な達成目標である。顎位の安定に最も影響する因子は骨片固定法であり、特にスクリュー固定(以下 SC)とプレート固定(以下 PL)の固定方法の違いに

よる安定性を比較した研究は多く報告されている。それらの評価に従来は、X線写真が多く用いられてきた。X線写真は、計測部位の拡大率の差により画像に歪み、解剖学的構造の重複などが問題となる。これらの欠点を補うために、3D-CTを用いて3次元的に評価が行なわれる様になってきた。また3D-CTを重ね合わせる事によってより詳細な評価が可能となった。しかしこれらの報告では、頭蓋を基準に重ねる重ね合わせ方法が用いられており、顎関節や咬合の影響を受けない上顎の変化には有効であるが、それらおよび骨接合面で変化する下顎骨単体の変化を評価するには不十分であると考えられ、その問題点を改善するために下顎骨単体内での評価が可能な「下顎3D-CT重ね合わせ法」が報告された。しかしこの方法でも基準点が不足している事から近位骨片全体の変化を詳細に評価することが十分ではない虞があり、より下顎骨の複雑な変位を評価する方法の開発が必要である。今回の研究では3D-CTの下顎体重ね合わせ像から2次元平面を抽出し、下顎骨の変位を評価する方法を考案し、さらにSCとPLの骨片の安定性を比較する事を目的とした。

**【対象及び方法】** 愛知学院大学歯学部顎顔面外科学講座においてSSRO単独症例33症例とした。術後7日目(以下PO7D)と術後1年目(以下PO1Y)の3D-CTから下顎骨の遠位骨片を抽出し重ね合わせを行い、その後不視化しておいた近位骨片を復元させた。次いで3D-CT重ね合わせ像から咬合平面を基準として頭側に5mm間隔で7スライス、尾側に2スライス、合計

10 スライスの 2 次元平面画像を抽出した。得られた画像の PO 7 D と PO 1 Y の下顎枝の外形線を抽出し近位骨片の変位を評価した。

**【結果】** 得られたスライス平面像は全 660 スライスであった。その内 273 スライス(41.3%)に変位を認めた。230 スライスが後方変位であったのに対して、前方変位は 2 スライスのみと有意に少なかった( $P < 0.0001$ )。外側変位が 12 スライスであったのに対して内側変位は 166 スライスと有意に多かった( $P < 0.0001$ )。また、筋突起の変位方向は後方変位が有意に多く、内外側方向は一定の差は認めなかった。また、固定方法の違いによる解析では、変位したスライス数は、SC 群に比べて PL 群が統計学的に有意に多かった(PL 群 51%、226/440 スライス、SC 群 21%、47/220 スライス;  $P < 0.0001$ )。また固定方法の違いにおける変位のしやすさのリスクは SC 群を 1.0 とすると PL 群は Odds 比 20.06 ( $P$  値  $< 0.001$ 、95%信頼区間は 3.2-391.4)であった。

**【考察】** 今回用いた分析方法は、3D-CT 重ね合わせ像からの直観的評価情報の損失を最小にとどめ、かつ近位骨片の変化を正確に評価が可能になった。今回の分析方法では SSRO 術後の近位骨片の変位は、後縁部は総合すると内側かつ後方に、特に関節突起付近では多く変位し下顎下縁にいくに従ってその程度は少なくなる傾向にあった。筋突起の変位も総合的にみると近位骨片は全体的には後方に変位し、その後縁は内方へ変位し筋突起部付近は内側にも外側にも変位しており近位骨片は回転していると考えられた。固定方法では CS に比べ PL の変位が統計学的に有意に多く SC の方が

安定性が高いことが示された。これは今回、固定に用いたのは比較的堅牢に固定できるとされるロッキングミニプレートであったがプレートを軸とした回転は起こりやすく特に下顎下縁まで変位が起されたものと考えられた。

【結語】 3D-FEA によって翼突上顎縫合部の分離をシミュレートし、予測可能とした。LF 1 -non-COSep における骨切り線を種々にかえて 3D-FEA のシミュレーション下にて翼突上顎縫合部の分離を行ったところ、骨切り位置は従来のように上顎結節の midpoint までとし咬合平面に対して +5° 角度をつけることによって翼状突起の破折のリスクが低くなる可能性が示された。3D-CT 重ね合わせ像から抽出した 2次元平面解析法を用いる事によって SSRO 後の下顎の変形(近位骨片の移動)の詳細な検討が下顎の 3D-CT を重ね合わせ法により初めて行い得た。さらにそこから 2次元平面を抽出して骨断面像をみる事によって各基準平面における術後の変位を直感的にとらえる事が可能となり、複雑に変位する SSRO 術後の近位骨片の評価に有効な方法であることが判明した。