

非接触型三次元形状計測装置を用いた下顎後方移動術による顔面軟組織の三次元的形状変化に関する研究

角町, 鎮男

九州大学大学院歯学府口腔顎顔面病態学講座口腔顎顔面外科学分野

<https://doi.org/10.15017/14245>

出版情報：九州大学, 2008, 博士（歯学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：

非接触型三次元形状計測装置を用いた下顎後方移動術による
顔面軟組織の三次元的形状変化に関する研究

九州大学大学院歯学研究院

口腔顎顔面病態学講座 口腔顎顔面外科学分野

角町 鎮男

指導教員

九州大学大学院歯学研究院

口腔顎顔面病態学講座 口腔顎顔面外科学分野

白砂 兼光 教授

目次

I. 要旨	P.1
II. 緒言	P.3
III. 第1章 下顎後方移動術による顔面軟組織変化と変化様式に影響を与える因子の検討	P.5
1) 資料と方法	
2) 結果	
IV. 第2章 下顎後方移動術における術後顔貌シミュレーションシステムの構築	P.20
1) 資料と方法	
2) 結果	
V. 考察	P.30
VI. まとめ	P.37
VII. 謝辞	P.38
VIII. 参考文献	P.39

本研究の一部は下記論文にて採用され掲載予定である。

対象論文：

非接触型三次元形状計測装置を用いた下顎後方移動術による顔面軟組織の三次元的形状変化の解析

角町鎮男、蔵原慎一、佐々木匡理、竹之下康治、樋口 惣、堀之内康文、芦塚慈美、
首藤 肇、白砂兼光

日本口腔科学会雑誌 第58巻 第1号

I. 要旨

顎変形症の診断、治療方針の決定ならびに治療結果の評価に際して、さまざまな装置を用いた三次元的形態計測が行われるようになり、より詳細な評価が可能となってきた。その中でも、被爆がなく複数回の撮影が可能で、しかも短時間で計測できる非接触型三次元形状計測装置（VIVID 900®、ユニカミノルタ(株)、東京、以下 VIVID とする）を用いた軟組織評価は被験者の負担も少なく非常に有用であると思われる。今回私は、この VIVID を用いて下顎前突症患者における下顎後方移動術前後の顔面軟組織形態分析を行った。さらにその結果をもとに、術前に術後顔貌をシミュレーションするシステムの構築を行った。

対象は、骨格性下顎骨前突症の診断のもと下顎枝矢状分割術にて下顎後方移動術を施行した 18 名（男性 7 名、女性 11 名）である。術直前、術後 1 か月、術後 3 か月、術後 6 か月、術後 1 年に同装置を用い顔面軟組織の三次元撮影を行い、得られたデータを三次元形状解析ソフトにて解析した。

まず、下顎後方移動術による側貌の変化を評価したところ、術後 3 か月まで下顎角部を中心に頬部に至る領域に軟組織の変化が認められ、術後 3 か月から術後 6 か月までの期間においては軟組織の形態は安定していた。手術による頬部腫脹は術後約 3 か月持続し、それ以降では消退した。以後の研究では、術後画像としては腫脹が完全に消退する時期である術後 6 か月のものを用いた。

下顎後方移動術前後の正貌顔面軟組織変化は、設定したオトガイ部の評価領域における

変化量の分布により、客観的に「下縁型」と「オトガイ型」の2つに分類できた。そこで、この2つの変化様式を決定する要因を検索するため、オトガイ部の骨格形態・軟組織の厚み、下顎骨の後方移動量や回転方向を計測し、変化様式との関係性について比較・検討を行った。その結果、下顎後方移動術に伴う2つの変化様式は下顎骨の後方移動量と有意に相関 ($p=0.0015$) していた。さらに、三次元形状解析ソフトの平均顔作成ツールを用いて、後退量別に顔貌軟組織変化をみたところ、後退量が大きくなるにつれて「下縁型」から「オトガイ型」へ変化していくことがわかった。次に、上記の後退量別の変化様式を用いて、術前に術後顔貌のシミュレーションを行った。それにより作成されたシミュレーション画像は、実際の術後画像との比較をしたところ、マッチング度約80%以上と極めて類似した3D画像であった。以上より、この術後顔貌のシミュレーションシステムは臨床において十分使用可能であり、インフォームド・コンセントを行う上で極めて有用であると考えられた。

Ⅱ. 緒 言

顎変形症の治療として行われる外科的矯正治療は、咀嚼障害や構音障害などの機能障害の改善とともに顔貌の美的障害の改善も重要な目的の一つである。そのため、術前の正確な術後顔貌の予測は、患者に対してインフォームド・コンセントを行う上で極めて有用であり、また手術法の選択や他科との症例検討を行う際にも重要な資料にもなる。

従来より、この疾患の診断、治療方針の決定ならびに治療結果の評価に際しては、頭部 X 線規格写真や顔面規格写真が用いられてきた¹⁻⁴⁾。しかしながら、外科的矯正治療による顎骨の移動や軟組織の変化は三次元的な複雑な動きであり⁵⁾、二次元的な情報では限界がある。そのため、近年では機器の進歩も相まって、様々な装置を用いた三次元的な形態評価や分析が行われるようになり、さらに、その結果をもとにした三次元的な術後顔貌のシミュレーションに関する報告も散見されるようになってきた。Computed Tomography (以下 CT) を用いて硬組織のみのシミュレーションを行っている報告⁶⁻⁸⁾や、顔面頭蓋の三次元的モデルをもとに、頭部 X 線規格写真と咬合歯列模を用いて硬組織、軟組織も含めたシミュレーションを行っている報告等⁹⁾も見受けられる。しかし、いずれも側面セファログラムの二次元的な術後変化の結果をもとに術後顔貌のシミュレーションを行っているため、三次元的な軟組織変化を示すことはできない。

近年、レーザーを利用した非接触型三次元形状計測装置による顔面軟組織の形態計測と画像処理ソフトを用いた形態分析が臨床応用されるようになってきた¹⁰⁾。この装置は CT と異なり、被曝がなく、しかも短時間かつ高精度に三次元画像を測定できる。また画像処

理ソフトの発達により、撮影した三次元画像を様々な方法で分析可能となった。そのため、手術前後のデータにより術後の顔貌変化を視覚的かつ定量的に把握することが可能となった。この特性を利用した下顎後方移動術後の顔面軟組織変化についての報告¹⁾では顔面の基準点毎の数値変化の評価のみを行っており、三次元的な変化をイメージすることは困難である。また、その数値データをもとに術後顔貌のシミュレーションを行っているものの、骨格形態や下顎の移動に応じた顔貌の変化をもとにシミュレーションを行っていない。

そこで本研究の目的は、下顎後方移動術前後の正貌および側貌顔面軟組織変化を非接触型三次元形状計測装置および三次元形状解析ソフトを用い、三次元的に分析することによって、下顎後方移動術に伴う軟組織変化様式把握することと、さらには、その結果をもとに術後顔貌のシミュレーションが可能なシステムの構築を行うことである。

Ⅲ. 第 1 章 下顎後方移動術による顔面軟組織変化と 変化様式に影響を与える因子の検討

1) 資料および方法

1-1) 資料

対象は、九州大学病院顔面口腔外科において骨格性下顎前突症の診断のもと下顎枝矢状分割術にて下顎後方移動術を施行した 18 名（女性 11 名、男性 7 名、平均年齢 25.1 歳）で、術前の overbite が -1 mm 以上、下顎の偏位は 3 mm 以下の症例とした。

また対照として、研究の趣旨を説明し同意の得られた、ボディマス指数（Body Mass Index ; 以下 BMI）が標準内（ $18.5\sim 25$ 未満）で、顎顔面の骨格形態に異常が認められず、個性正常咬合を有する九州大学病院顔面口腔外科医局員 4 名（男性 2 名、女性 2 名、平均年齢 26.8 歳）を用いた。

1-2) 計測装置及び撮影方法について

今回用いた非接触型三次元形状計測装置（VIVID 900[®]、コニカミノルタ（株）、東京、以下 VIVID とする）（図 1-①）はレーザービームによる光切断方式を採用している。これは、スリット状のレーザー光で対象をスキャンして、その反射光を CCD カメラで受光し、三角測量の原理（図 1-②）で被写体との距離情報を得て、三次元的データを得ることがで

きる。

撮影にあたっては、まず被験者を規格写真用の椅子に座らせ、イヤードットにて眼耳平面が床と平行になるよう頭部を固定する。次に咬頭嵌合位にて口唇を軽く閉じるよう指示し、顔面全体がモニターに入るよう VIVID の位置を調整する。撮影は、正面、左右 45 度の 3 方向から行い (図 1-©)、各症例とも術前、術後 1 か月、術後 3 か月、術後 6 か月、術後 1 年で計 5 回撮影を行った。

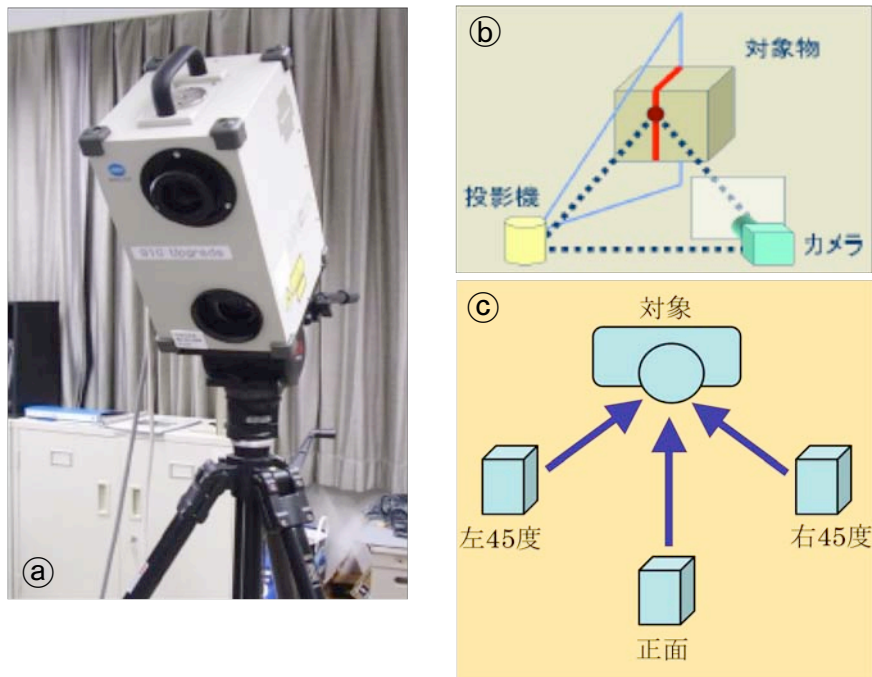


図 1 実際のVIVID900[®]と撮影原理

VIVIDはレーザー光を用いて三角測量の原理で三次元画像の撮影を行う。3方向から撮影を行い、画像を結合するので顔面全体の三次元画像を得ることができる。

1-3) 画像の統合と基準座標軸の設定

VIVIDにて得られた3方向からの三次元画像データは、撮影ソフト (MINOLTA Polygon Edition Tool Version 1.03) 上で1つの画像 (以下、3D画像) に統合し、その画

像上に三次元形状解析ソフト（3D-Rugle ver5.0[®]、メディック・エンジニアリング社、京都、以下 Rugle とする）を用い、以下のように座標軸の設定を行った。座標軸は、原点 O を右側内眼角点①と左側内眼角点②の中点とし、両側の外耳道に固定したイヤールッドの上縁（耳点）⑤と左側の眼点④を通る、いわゆるフランクフルト水平面（以下 FH 平面とする）に直交し原点を通る直線を Y 軸、原点及び鼻尖点③を通り FH に直交する平面を YZ 平面、原点を通り YZ 平面に垂直な直線を X 軸、原点を通り XY 平面に垂直な線を Z 軸とした（図 2）。これらの軸と Rugle の座標軸が一致するよう顔面の傾きを補正し入力した。なお、この Rugle は、画像の回転、修正、面積・体積計算をはじめ画像間演算、重ね合わせ、形態変形シミュレーションなどの処理が可能である。

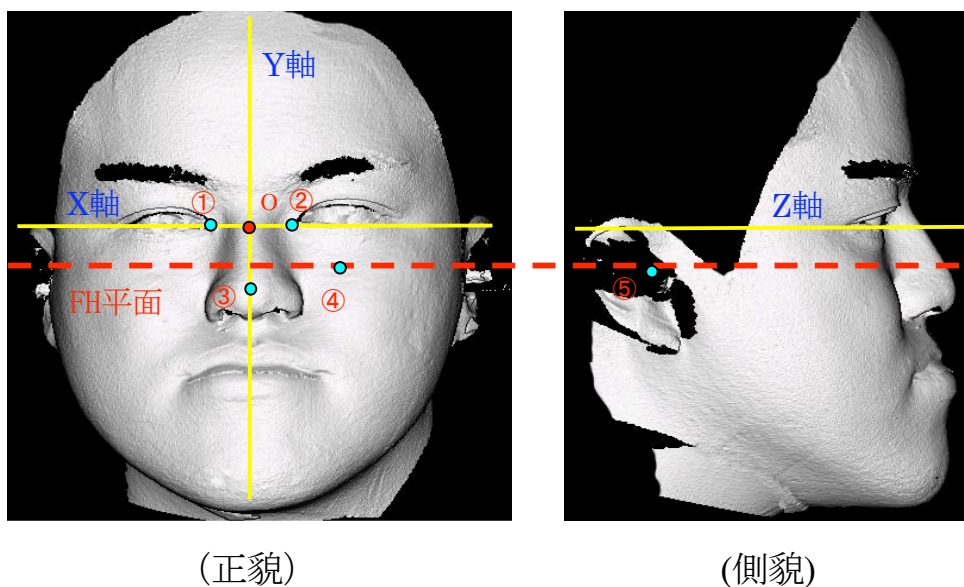


図2 基準座標の設定

FH平面：両側の外耳道に固定したイヤールッドの上縁（耳点）⑤と左側の眼点④を通る平面
Y軸：FH平面に直交し原点を通る直線 YZ平面：原点および鼻尖点③を通りFHに直交する平面
X軸：原点を通りYZ平面に垂直な直線 Z軸：原点を通りXY平面に垂直な直線

1-4) 3D 画像の重ね合わせと評価方法

1-4- i) 3D 画像の重ね合わせ (図 3)

顔面軟組織変化の評価は、3D 画像を **Rugle** の面間距離計測機能を用いて重ね合わせすることにより行った。この機能は、2 画像間のずれを **Z** 方向への距離の差として計測することができる。そのため、変化のない領域の距離の差を限りなく **0** に近づけることで、変化のある部位の距離の差を変化量として確認することが可能である。また、重ね合わせの基準は、下顎枝矢状分割術の術前術後で最も変化が少ないと考えられる鼻根点および左右前頭部で外眼角上部を含む領域、いわゆる **T** ゾーンと呼ばれる三次元曲面とした。まず、2 つの 3D 画像を位置合わせ機能により大まかな重ね合わせを行う。次いで、重ね合わせの精度を上げるため、マッチング度を用いて微調整を行った。マッチング度とは 2 画像の重ね合わせの状態を評価する方法で、任意の評価領域を設定した場合、カラースケールの最小設定数値(図 3☆の領域)の割合が多い程マッチング度は高く、重ね合わせの精度は高いと判定できる。今回の重ね合わせでは、最小設定数値を±0.5 mm に設定し、その際の 2 画像の **T** ゾーンにおけるマッチング度が 100%となるまで手動にて画像の微調整を行った。

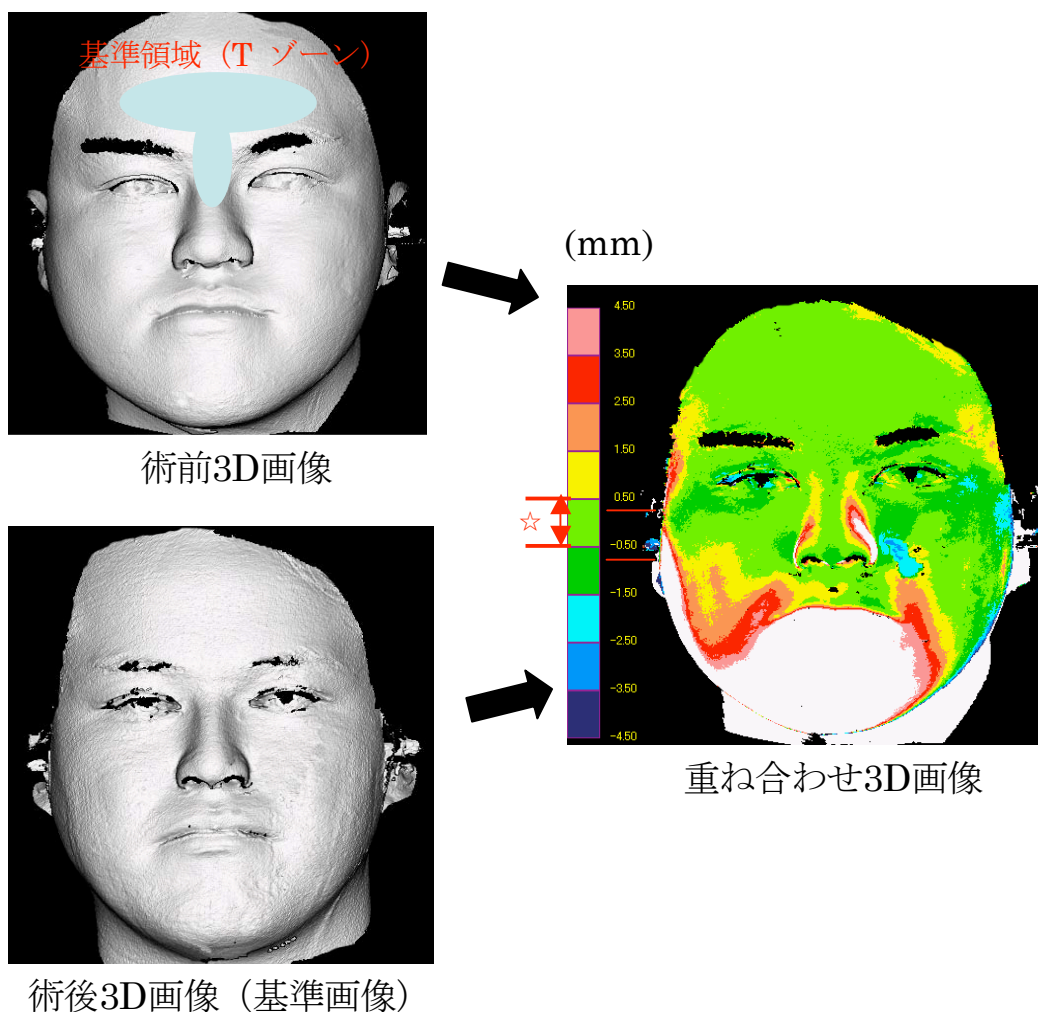


図3 術前・術後の画像の重ね合わせ方法

術前・術後の画像の3D画像をTゾーンを基準に重ね合わせを行った。
 重ね合わせ3D画像にてTゾーンのマッチング度が100%になるまで
 微調整を行った

1-4- ii) 側貌軟組織評価方法

重ね合わせた 3D 画像を Y 軸を中心軸とし 45 度回転させる。そして、前述のように設定した FH 平面を直交し口角を通る直線と耳珠前縁を通る直線を描く。次に画像の陰影を目安に下顎下縁のラインを設定する。この 3 直線および 1 曲線にて囲まれる領域を側貌対象領域 (図 4) とし、その領域における変化量の分布を表示させる。分布の割合は百分率

にて表され、変化量のスケールを変更することで、任意の割合が表示される。そこで、その分布の99%以上が緑の領域（変化量スケールの絶対値が一番小さい領域）を占める際の変化量①を計測した（図5）。なお、左右両方向において同様に対象領域を設定した。

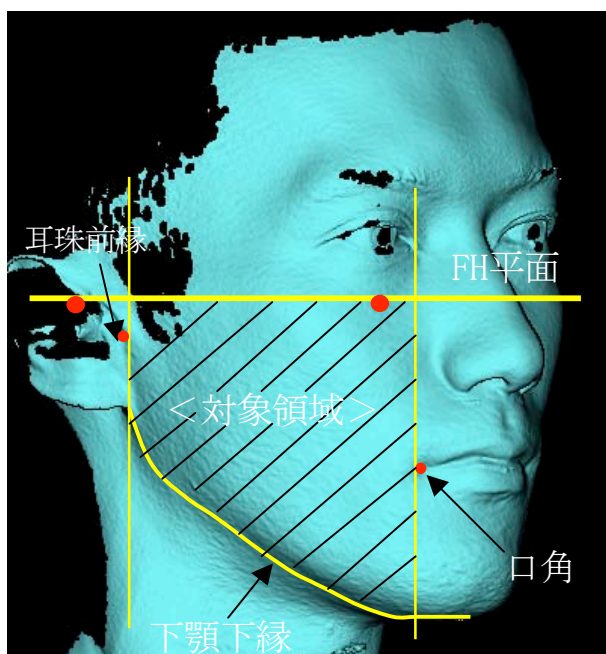


図4 側貌対象領域の設定方法

FH平面、FH平面を直交し口角を通る直線、耳珠前縁を通る直線および下顎下縁のラインにて囲まれる領域を側貌対象領域とした。

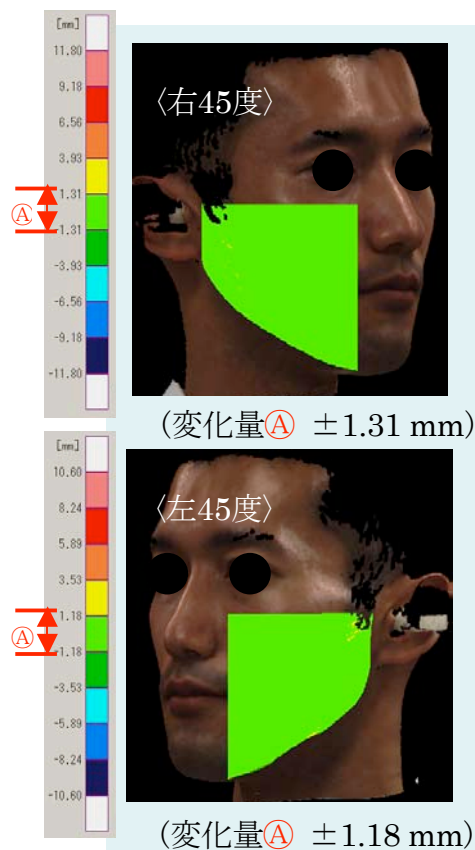


図5 側貌対象領域の変化量計測方法

側貌対象領域の99%以上が緑の領域を占める際の変化量①を計測した。

1-5) 下顎後方移動術による正貌軟組織評価と軟組織変化様式の分類

下顎後方移動術による正貌軟組織評価は、各症例にて術前と術後の3D画像の重ね合わせを行い、Rugleの面間距離計測機能を用いてZ軸の移動量を軟組織変化量として計測・評価した。

次に、各症例での正貌軟組織変化様式の違いを客観的に分類するため、軟組織の評価領域を以下のように設定した（図6）。まず、両側の口角を通る直線を設定し、そこから下顎下縁までオトガイ部を縦に4等分した。加えて、両側の口角からそれぞれ下顎下縁まで垂線を描き、さらに、下1/4を規定する直線と口角からの垂線との交点から2/4を規定する直線と顔貌輪郭との交点までの直線を描き、オトガイ部のほぼ中央を含む領域①と、下顎下縁部を含む領域②を設定した。

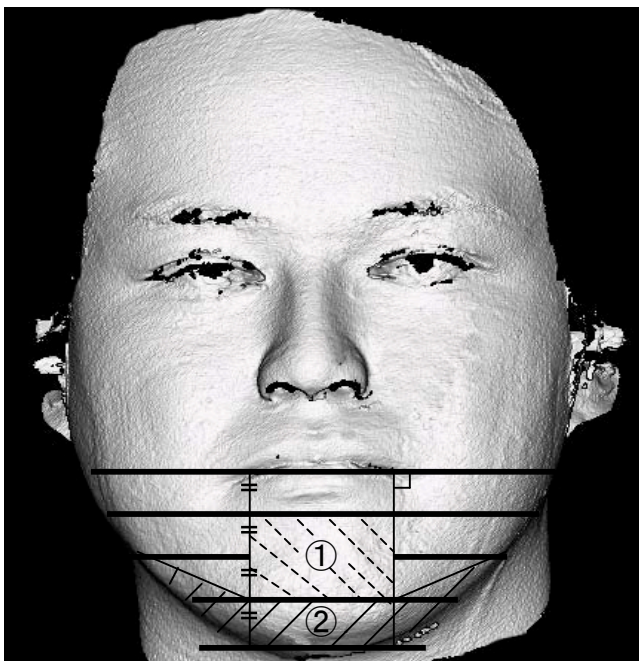


図6 軟組織変化の評価領域の設定

領域①:両側の口角を通る直線から下顎下縁までを4等分した中央の1/2と両側の口角からの垂線に囲まれた領域
領域②:下1/4と下2/4の外側下縁を含む領域

1-6) セファロ分析による計測

WinCeph ver.6.0[®]（ライズ株式会社、宮城）を用いて、下顎骨の移動量、オトガイ部硬組織形態、オトガイ部軟組織の厚みを側面セファログラムの分析にて計測した。

1-7) 統計学的分析

下顎骨の移動量および顔面硬組織における各計測値の比較検定には Mann-Whitney's U test を用い、危険率 5%以下の場合を有意差ありと判定した。

2) 結果

2-1) 個性正常咬合者における週内側貌軟組織変化 (表 1)

VIVID による撮影は、各被験者とも初回および 1 週後の 2 回撮影を行った。構築した 3D 画像の重ね合わせを行い、側貌軟組織変化の評価を行ったところ、全ての被験者における左右を含めた 6 つの対象領域の平均の週内変化量は ± 1.28 mm であった。

	性別	年齢(歳)	BMI	週内変化量(mm)	
				右側	左側
1	男	27	20.3	± 1.31	± 1.18
2	男	28	20.3	± 1.12	± 1.20
3	女	28	18.9	± 1.34	± 1.43
4	女	24	18.5	± 1.36	± 1.33
平均値		26.8	19.5	± 1.28	

表1 個性正常咬合者の週内変化量

2-2) 下顎前突症患者における下顎後方移動術後の側貌軟組織変化

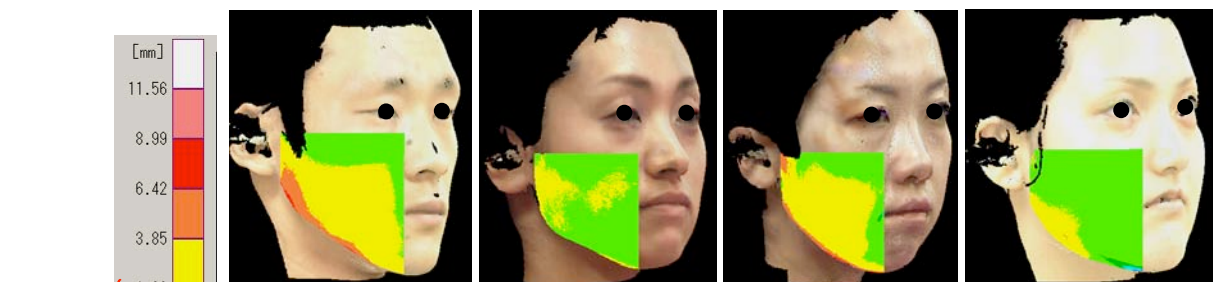
対象症例より無作為に抽出した 4 症例 (表 2) において、術後 1 か月と術後 3 か月、そして術後 3 か月と術後 6 か月でそれぞれ 3D 画像の重ね合わせを行い、側貌対象領域 (両側) における軟組織変化を評価した。なお、2-1) で求めた週内変化量を基準変化量とし、それ以上の変化が認められない状態を、側貌の軟組織変化なしと評価した。

術後 1 か月から術後 3 か月の間においては、下顎角部を中心として頬部に至る領域で軟組織表面間 ± 1.28 mm 以上の領域が散在していた。また、術後 3 か月から術後 6 か月の間においては、軟組織表面間に ± 1.28 mm 以上の変化は認めなかった (図 7)。

症例	性別	年齢(歳)	Pog部後退量 (mm)	0. j. (mm)	0. b. (mm)	下顎の偏位 (mm)
1	男	21	10.2	-6.0	2.5	左側へ0.5
2	女	33	10.4	-6.5	2.6	右側へ1.0
3	女	24	10.5	-7.0	3.0	右側へ2.5
4	女	21	8.5	-8.0	1.0	左側へ1.0
平均値		24.8	9.9	-6.9	2.3	

表2 側貌軟組織変化を評価した下顎前突症患者

i) 術後1-3か月の比較 (術後3か月を基準)



ii) 術後3-6か月の比較 (術後6か月を基準)

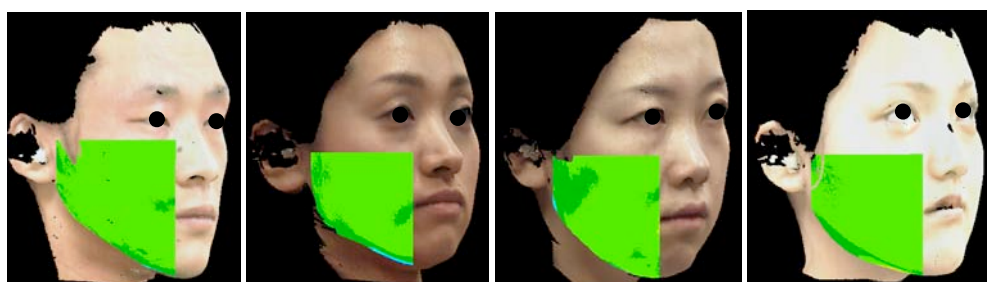


図7 術後の側貌軟組織変化

- i) 術後1-3か月では1.28 mm以上の領域が散在していた。
- ii) 術後3-6か月では1.28 mm以下の変化のみみられた。

2-3) 下顎後方移動術前後の正貌軟組織変化 (図 8)

術直前と術後 6 か月の画像の重ね合わせを行い、術前術後での正貌軟組織変化について評価を行ったところ、全ての症例で下顎後方移動術により主に口裂より下方の領域で軟組織変化を認めた。また、各症例毎にみていくと、視覚的に軟組織変化量の大きい領域がオトガイ部の中心に認められる症例(図 8-④) と、軟組織変化量の大きい領域が下顎下縁部に認められる症例(図 8-⑤) の 2 つの変化様式に分けることができると思われた。

そこで、オトガイ部に設定した領域①の軟組織の変化量の平均から領域②の軟組織の変化量の平均を差し引き、数値が (+) であればオトガイ部の中心付近の軟組織変化量が下顎下縁領域よりも大きいと考え「オトガイ型」と定義した。一方、数値が (-) であれば下顎下縁領域の軟組織変化量がオトガイ部の中心よりも大きいと考え「下縁型」と定義したところ、オトガイ型は 11 症例、下縁型は 7 症例であった(表 3)。

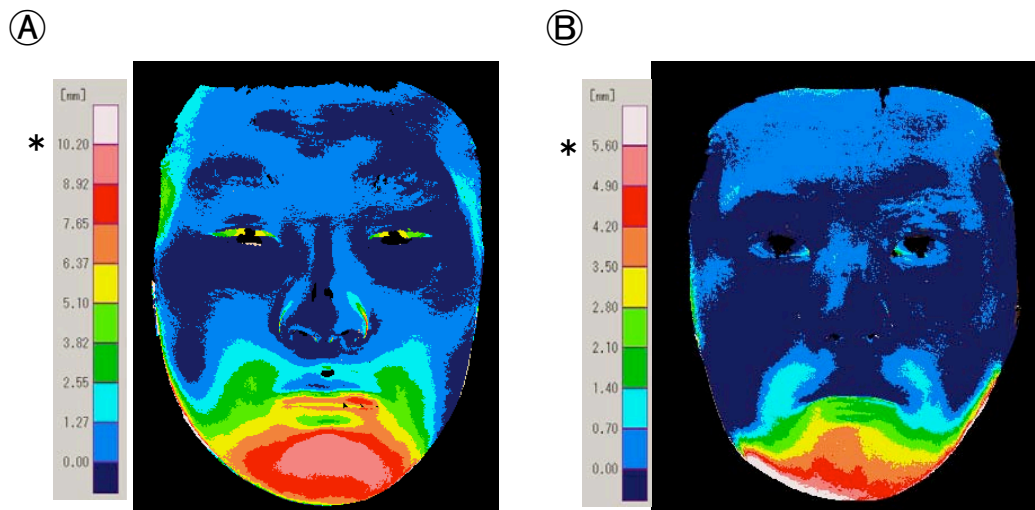


図8 正貌軟組織変化様式の視覚的な違い

- ④: 変化量の大きい領域がオトガイ部の中心に認められる症例
- ⑤: 変化量の大きい領域が下顎下縁部に認められる症例
(カラースケールの最大値*はPog部の骨の後退量を示す)

症例番号	変化量の平均			変化様式	オトガイ 突出角 (度)	Pog部 軟組織幅 (mm)	咬合平面 回転角 (度)	Pog部 後退量 (mm)
	領域①(mm)	領域②(mm)	差(①-②)					
1	8.832	8.209	0.623	オトガイ	66.4	9.7	5.1	10.5
2	7.523	7.044	0.479	オトガイ	65.0	15.2	0.4	10.3
3	7.179	6.481	0.698	オトガイ	55.3	12.2	-3.0	11.0
4	10.050	9.414	0.636	オトガイ	70.0	14.0	-4.9	13.5
5	8.089	6.563	1.526	オトガイ	66.6	11.5	-2.7	10.4
6	6.437	6.186	0.251	オトガイ	59.2	10.5	-0.9	11.0
7	3.815	3.488	0.327	オトガイ	51.5	11.0	1.5	8.5
8	7.997	7.440	0.557	オトガイ	55.2	12.0	-0.4	10.2
9	7.906	7.025	0.881	オトガイ	60.5	13.9	-3.0	11.0
10	6.413	6.022	0.391	オトガイ	63.0	8.5	0	9.0
11	7.431	6.366	1.065	オトガイ	71.8	13.6	0	8.0
平均値					62.2	12.0	-0.7	10.3
12	7.767	7.768	-0.001	下縁	53.1	8.6	-1.4	9.9
13	3.361	3.921	-0.560	下縁	49.4	11.9	0.5	5.6
14	4.579	4.618	-0.039	下縁	57.2	10.9	2.7	5.5
15	4.165	4.551	-0.386	下縁	53.7	13.5	-2.5	6.0
16	4.517	4.910	-0.393	下縁	67.3	12.5	2.3	6.6
17	5.631	5.721	-0.090	下縁	50.7	8.6	-2.3	8.0
18	3.771	4.585	-0.814	下縁	64.8	14.0	0	5.0
平均値					56.6	11.4	-0.1	6.7
総平均値					60.0	11.8	-0.5	8.9

表 3 全症例の正貌軟組織変化様式の分類とセファロ分析の計測値

2-4) 軟組織変化様式に影響を与える因子についての検討

2-4-i) オトガイ部骨格形態との関係 (図 9-a)

軟組織変化様式とオトガイ部骨格形態の関係を検討するため、まず側面セファログラムにて Mandibular plane と B point (以下、B 点)、Pogonion point (以下 Pog) を通る直線のなす角度 (オトガイ突出角と定義) を計測し (表 3)、オトガイ型、下縁型の 2 群で比較を行った。その結果、オトガイ型は 62.2 ± 6.2 度、下縁型は 56.6 ± 6.4 度とオトガイ型が大きかったが、統計学的な差は認められなかった。

2-4-ii) オトガイ部軟組織厚みとの関係 (図 9-b)

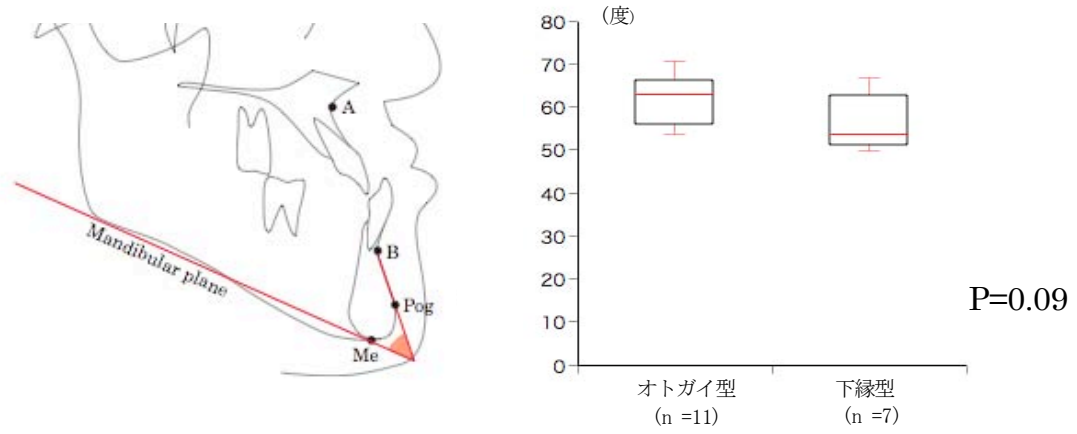
軟組織変化様式とオトガイ部軟組織の厚みとの関係を検討するため、Pog 部の軟組織幅を計測し (表 3)、同様に 2 群間で比較した。オトガイ型は平均 12 ± 1.9 mm、下縁型は平均 11.4 ± 2.0 mm と大きな差はなく、統計学的にも差は認められなかった。

2-4-iii) 手術による下顎骨の移動との関係 (図 10)

下顎後方移動術による下顎骨の移動との関係を検索するため、術前術後の下顎咬合平面回転角の変化と下顎骨の後方移動量について検討を行った。まず、咬合平面回転角変化においてオトガイ型の群と下縁型の群を比較した。オトガイ型は平均 -0.7 ± 2.6 度、下縁型は平均 -0.1 ± 1.9 度で両者間に有意な差は認められなかった (図 10-a)。

次に、下顎骨の後方移動量の関係として、Pog 部後退量においてオトガイ型の群と下縁型の群を比較したところ、オトガイ型は平均 10.3 ± 1.4 mm、下縁型は 6.6 ± 1.6 mm で有意にオトガイ型の後退量が大きかった ($p=0.0015$)。 (図 10-b)。

a : オトガイ突出角との関係



b : Pog部軟組織厚みとの関係

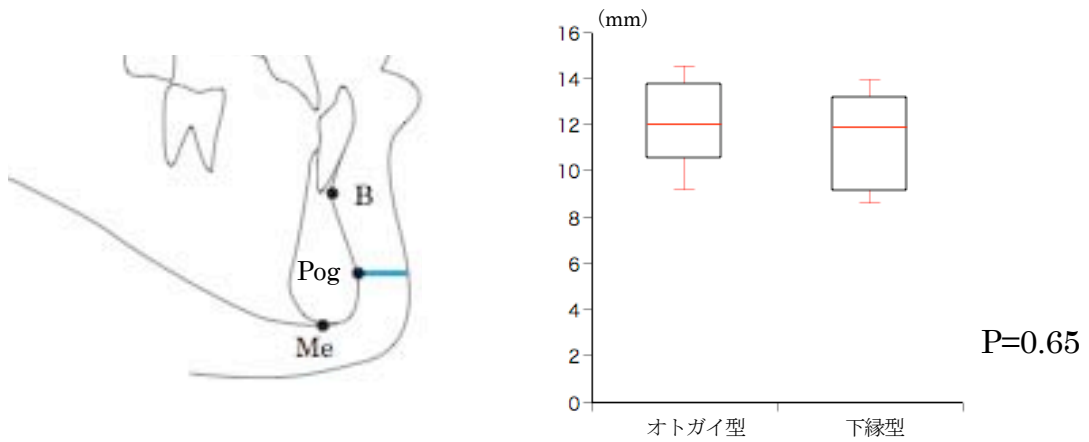
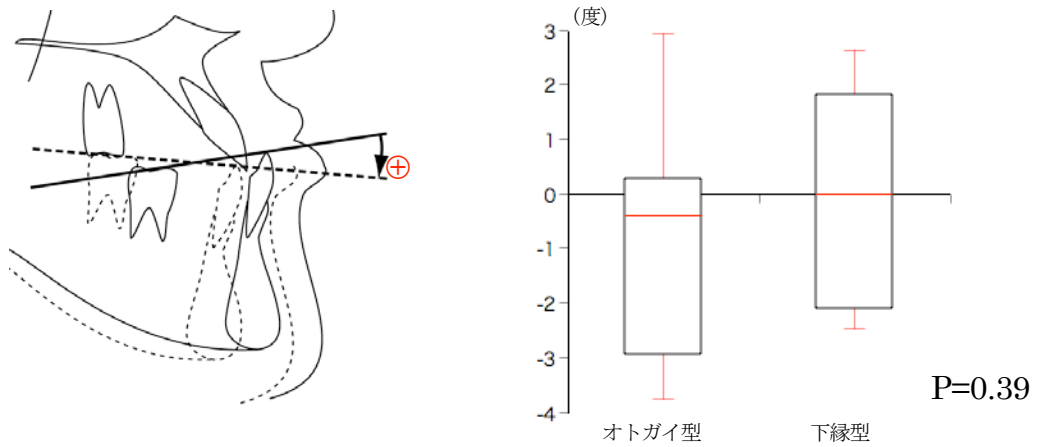


図9 オトガイ部骨格形態及び軟組織厚みと正貌軟組織変化との関係

- a. オトガイ突出角（B-Pog直線と下顎下縁平面のなす角度）と正貌軟組織変化様式に相関は認めなかった。
- b. オトガイ部軟組織厚みと正貌軟組織変化様式に相関は認めなかった。

a : 咬合平面回転角との関係



b : Pog部後退量との関係

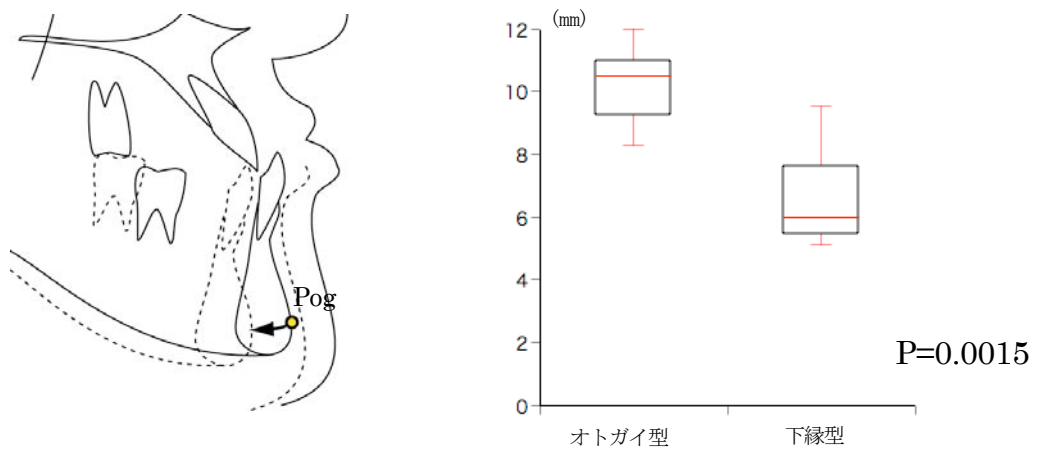


図10 手術による下顎骨の移動と正貌軟組織変化との関係

- a. 手術による咬合平面回転角の変化と正貌軟組織変化様式に相関は認めなかった。
- b. Pog部後退量は、下縁型に比べオトガイ型が有意に大きかった。

IV. 第 2 章 下顎後方移動術における術後顔貌 シミュレーションシステムの構築

1) 資料および方法

1-1) 資料

対象は第 1 章にて用いた下顎前突症患者 18 症例と、シミュレーション対象症例として術後半年以上経過し、同様の基準を満たした下顎前突症患者 2 症例とした。症例において、術前および術後 6 か月以上で VIVID を撮影し、得られた 3D 画像を用いて分析を行った。

1-2) 平均顔作成ツールの使用による症例の比較 (図 11)

症例間の顔面軟組織変化様式の比較を行う際、症例毎に顔面の大きさや形態が異なるため重ね合わせによる比較ができない。また、術後顔貌のシミュレーションを行う上で症例群毎の軟組織変化率の平均をする必要がある。そこで今回は、Rugle の平均顔作成ツールを用いて顔貌を平均化させ軟組織変化様式を比較するとともに軟組織平均変化率を算出した。まず、術前・術後の 3D 画像の重ね合わせにより各部位の軟組織変化量の距離表示を行った (図 11-A)。次に、その各部位における変化量を下顎骨の Pog における後方移動量で除し、各症例の正貌での軟組織変化率を算出し、カラーマッピング表示を行った (図 11

-B)。さらに、平均顔作成ツールにおける顔面形状ワイヤーフレームテンプレートモデルをモニター上で軟組織変化率を表示した画像に適合させる（図 11-C）。そして、各々の症例毎に作成したワイヤーフレームにおける各格子点の X, Y, Z 座標の平均値を左右内眼角間の midpoint に位置する格子点を中心に算出する。これにより、それぞれの群における平均顔を描くことができ（図 11-D）、同時に各部位における軟組織変化率の平均値、つまり軟組織平均変化率が算出される（図 11-E）。なお、軟組織平均変化率を表示した画像において鼻部に生じる白い領域は、平均顔を軟組織変化率の表示画像で作成する際の操作で便宜的に生じるものであり、計測値および評価に特に関係はない。

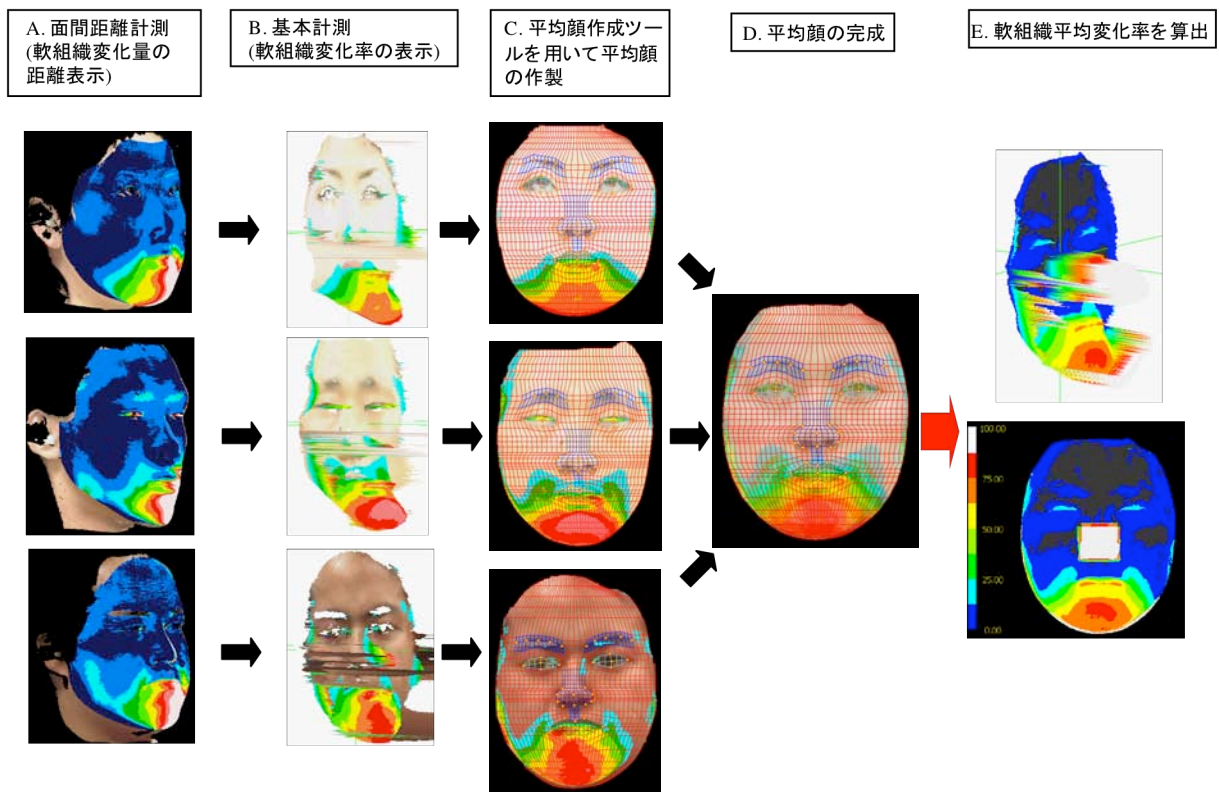


図11 軟組織平均変化率の作製方法

各症例の術前後の軟組織変化量を出し (A) , Pog 後退量から軟組織変化率を算出、表示 (B) した。次に、平均顔作成ツールを用いて顔貌を平均化させ (C) , 平均顔を作成し (D) 軟組織平均変化率も同時に算出する。

軟組織変化率を表示した画像においては、軟組織変化率がほぼ 0%になる部位、例えば手術前後で変化のない T ゾーン等においては Z 座標値がほぼ 0 となり、変化のある領域においてはその変化率に応じた Z 座標値が設定される。つまり、表示される Z 座標値はそのまま軟組織変化率として考えることができるため、平均顔ツールにより平均化された画像には、各格子点の軟組織平均変化率が表示されることとなる。また、格子点間の自動補完機能により格子点周囲の変化率も算出されるため、変化率毎（12.5%間隔）にカラーマッピングを行うことで変化様式をより視覚的にわかり易く表示することができ、さらに任意の症例群毎の変化様式を作成することが可能となる。このように、顔貌を平均化することにより症例群間の比較をすることが可能となった。

次に、その平均顔ツールを使って、第 1 章と同様に、軟組織変化様式に影響を与える因子についての検討を行った。まず、オトガイ突出角が計測値の平均値（60.0 度）以上か未満かで群分けし、Pog 部軟組織の厚みについても、平均値（11.8 mm）以上か未満かで群分けを行った。下顎後方移動による咬合平面回転角の変化については、時計方向に回転するものと反時計方向に回転するもので群分けを行った。Pog 部後退量については、後退量別に 3 群（8 mm 未満、8 -11 mm、11 mm 以上）に群分けを行った。そして、各々の群を平均顔作成ツールを用い軟組織平均変化率を表示した画像により視覚的に比較した。

1-3) 術後顔貌シミュレーションシステムの構築 (図 12)

第 1 章にて、下顎後方移動術に伴う下顔面の変化様式の違いは主に下顎骨の後方移動量に関係することが明らかになった。そのため、今回 Pog 部後退量別の軟組織変化様式を用

い術後顔貌シミュレーションシステムの構築を行った。

まず、シミュレーションを行う症例の術前 3D 画像に平均顔作成ツールにおける顔面形状ワイヤーフレームテンプレートモデルを適合させた。次に、症例の予測 Pog 部後退量を計測し、それに応じて軟組織変化様式を選択した。その選択された変化様式の各格子点毎の軟組織平均変化率と症例の予測 Pog 部後退量から術前画像の各格子点における軟組織変化量を算出した。さらに、その各格子点毎の軟組織変化量に応じて術前 3D 画像が変形するように設定し、術後のシミュレーション画像を作成した。

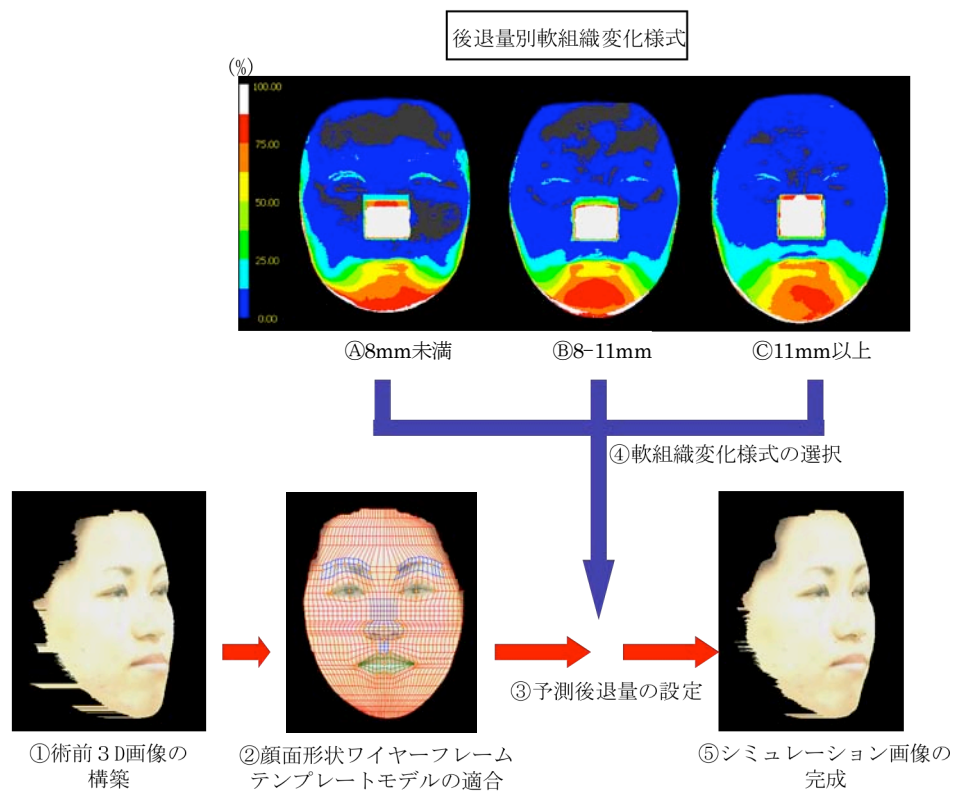


図12 術後のシミュレーション画像の作成方法

術前3D画像に予測後退量に応じた軟組織変化様式をあてはめ、術後のシミュレーション画像を作成した。

1-4) 術後顔貌シミュレーション画像と術後 3D 画像の比較方法

今回構築した術後顔貌シミュレーションシステムを用い、シミュレーション対象症例 2 例の術後顔貌シミュレーション画像を作成した。変化様式毎の術後顔貌シミュレーション画像の比較を行うため、各症例とも 3 タイプの術後顔貌シミュレーション画像を作成した。次に、術後 3D 画像と各シミュレーション画像の重ね合わせを行い、口裂より下方の基準変化量 (± 1.28 mm 以内) 以内の領域の割合、つまり面間距離計測の最小設定数値を ± 1.28 mm とした時のマッチング度を比較した。そして、術前の画像、シミュレーション画像、実際の術後画像を表示し視覚的な評価を行った。

2) 結果

2-1) 各因子における軟組織変化様式の視覚的評価 (図 13)

平均顔作成ツールを用いて、オトガイ突出角、Pog 部軟組織厚み、咬合平面回転角、Pog 部後退量の各因子別に平均顔を作成し、下顎後方移動術によるそれぞれの因子の軟組織変化様式に与える影響について視覚的に評価した。

その結果、オトガイ突出角においては、オトガイ突出角が平均値 (60.0 度) 未満の症例群は軟組織平均変化率の高い領域が下顎下縁部に認められ、平均値以上ではオトガイ部の中心に変化率の高い領域を認めた (図 13-a)。Pog 部軟組織厚みにおいては、平均値 (11.8 mm) 以上、未満の症例群間に明らかな違いは認められなかった (図 13-b)。咬合平面回転角においても、平均値 (-0.5 度) 以上、未満に群分けし比較したが明らかな違いは認められなかった (図 13-c)。Pog 部後退量においては、後退量を 8 mm 未満、8 -11 mm、11 mm 以上と 3 分類し評価したところ、変化様式が後方移動量の増大に順じて下縁型からオトガイ型に移行していく傾向が視覚的に認められた (図 13-d)。

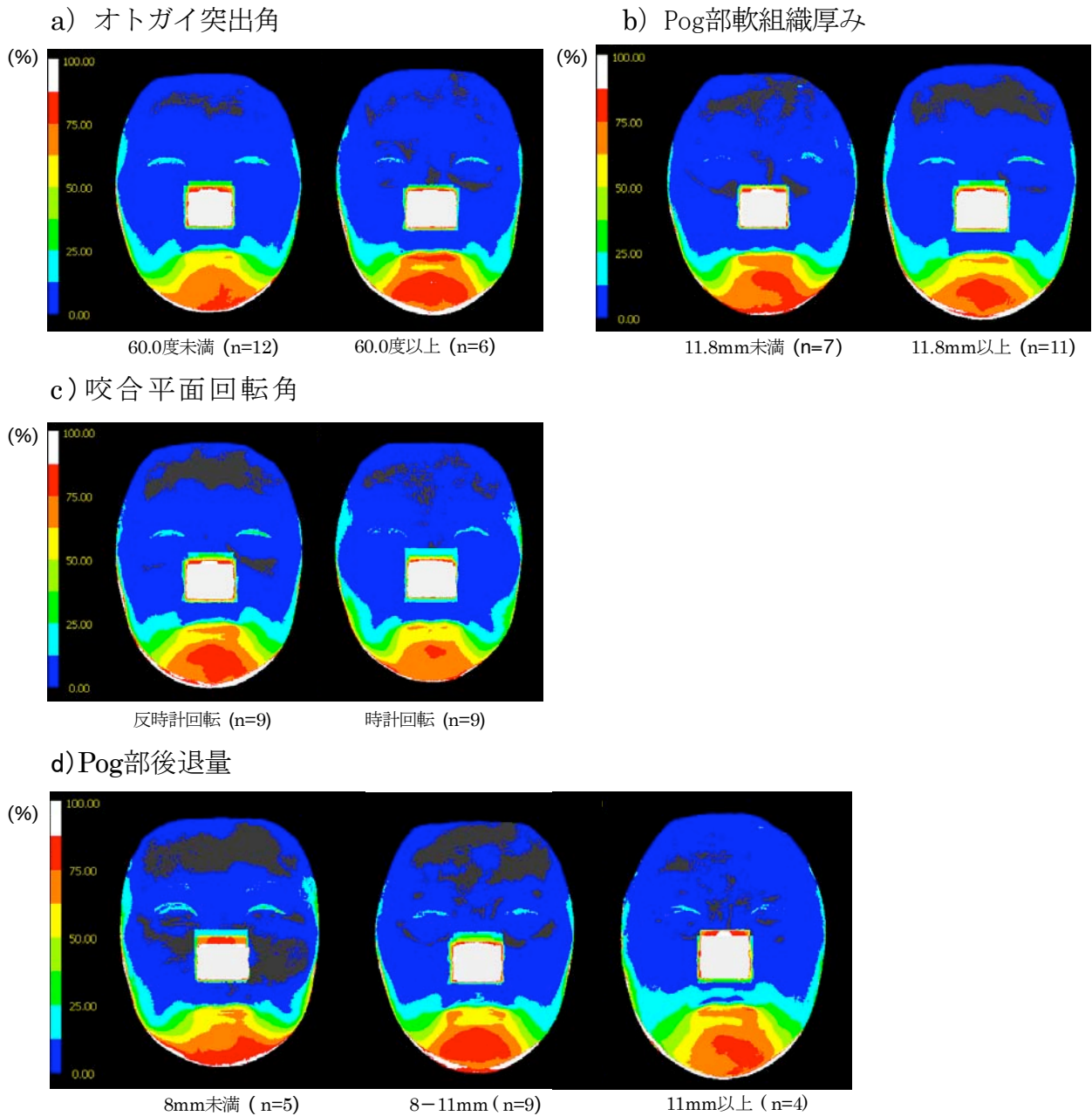


図13 各因子における軟組織変化様式

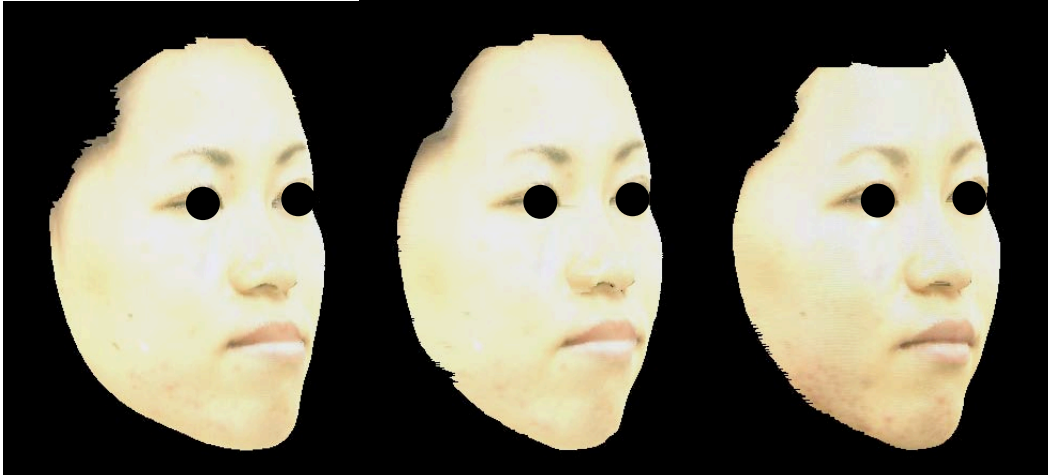
- a) オトガイ突出角においては、オトガイ突出角が平均値未満の症例群は下縁型、平均値以上の症例群はオトガイ型を示す傾向がみられた。
- b) Pog部軟組織の厚みにおいては、平均値以上、未満で明らかな違いは認められなかった。
- c) 咬合平面回転角においては、角度の違いによる変化様式の違いは認められなかった。
- d) Pog部後退量においては、変化様式が後方移動量の増大に順じて下縁型からオトガイ型へ移行していた。

2-2) 術後顔貌シミュレーション画像と術後 3D 画像の表示と比較 (図 14・15)

まず、術後顔貌シミュレーションシステムにより作成した症例 1 と症例 2 の術後顔貌シミュレーション画像を作成した (図 14)。

次に、各症例とも、変化様式の異なる残り 2 タイプの術後顔貌シミュレーション画像を作成し、これら 3 タイプのシミュレーション画像と実際の術後顔貌 3D 画像との重ね合わせを行った。実際の Pog 部後退量が 8 mm の症例 1 においては、後退量が 8 mm 未満、11 mm 以上の変化様式を用いたシミュレーション画像に比べ、8 -11 mm の変化様式を用いたシミュレーション画像が、実際の術後顔貌と重ね合わせを行った際、最も基準領域内の領域が広く (図 15-a)、マッチング度も、87.7%と最も高い値を示した (表 4)。次に、後退量が 11 mm の症例 2 においては、変化様式が 11 mm 以上のシミュレーション画像との重ね合わせが最も基準領域内の領域が広く (図 15-b)、マッチング度も 79.3%と最も高かった (表 4)。

(症例1)

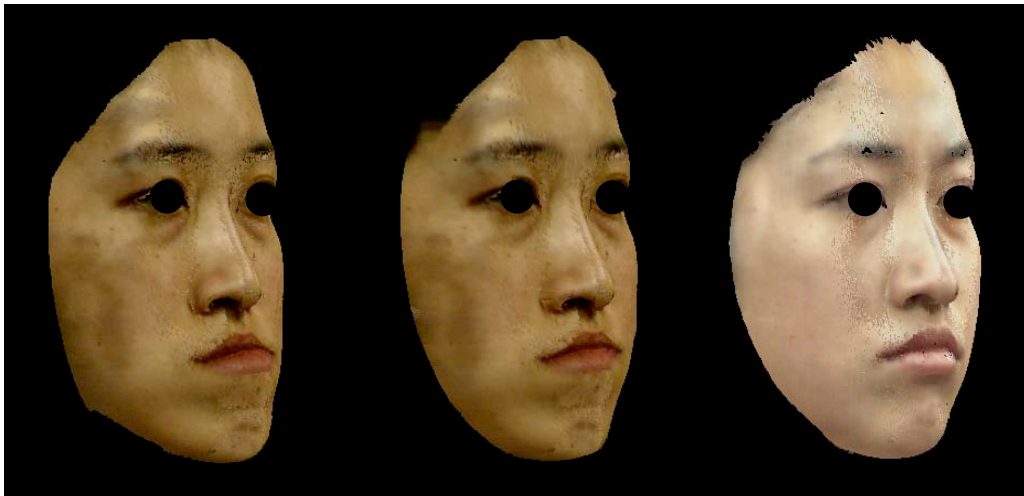


(術前の画像)

(シミュレーション画像)

(実際の術後画像)

(症例2)



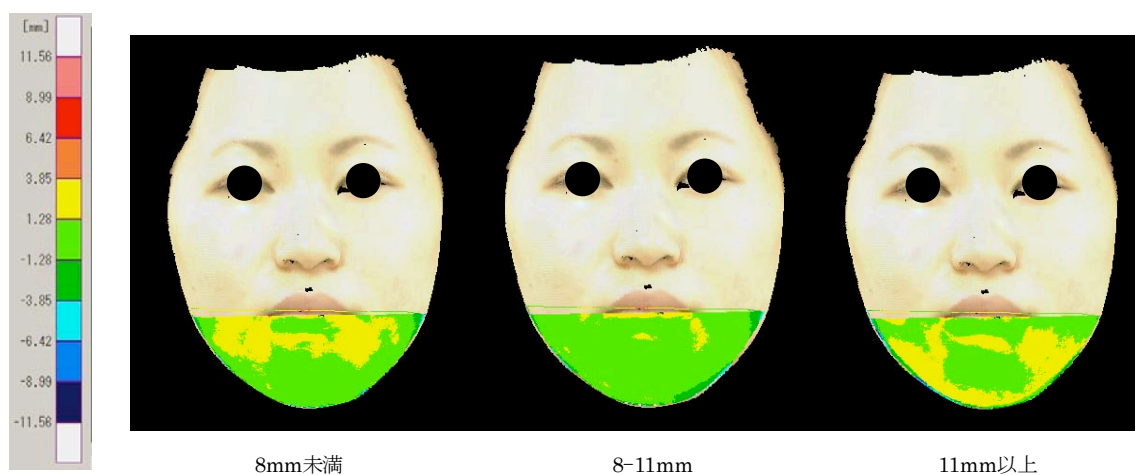
(術前の画像)

(シミュレーション画像)

(実際の術後画像)

図14 術前の画像、シミュレーション画像、実際の術後画像

a) 症例1



b) 症例2

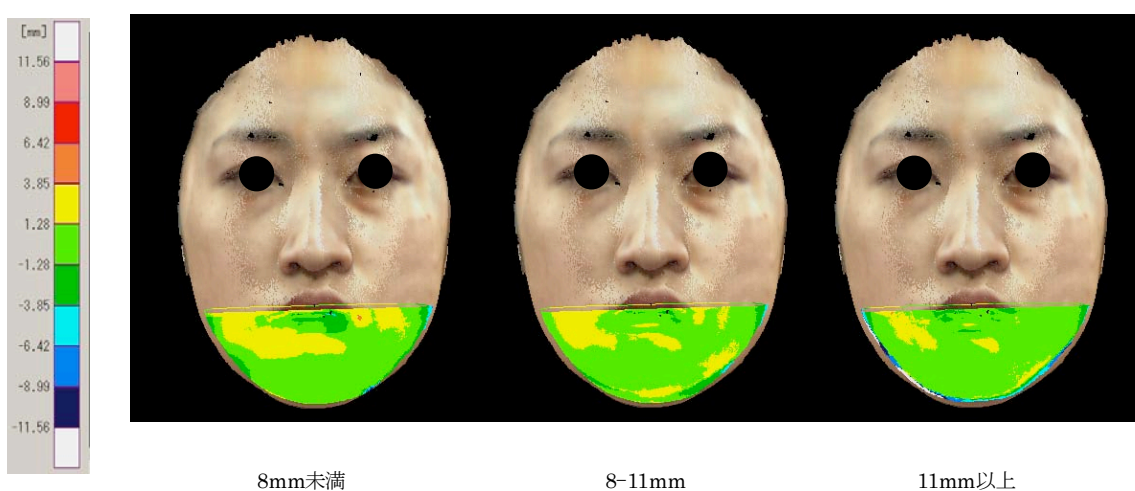


図15 Pog部後退量別のシミュレーション画像と術後3D画像との重ね合わせ

	マッチング度(%)		
	8mm未満	8-11mm	11mm以上
症例1 (Pog後退量：8mm)	60.3	<u>87.7</u>	53.8
症例2 (Pog後退量：13mm)	62.0	71.3	<u>79.3</u>

表4 Pog部後退量別のシミュレーション画像と術後3D画像との比較

- 症例1) 手術による実際の後退量8mm：8-11mm未満の変化様式を用いた術後のシミュレーション画像との重ね合わせにおいて、最も基準変化量以内の領域が広く、マッチング度も87.7%と最も高い値を示した。
- 症例2) 手術による実際の後退量11mm：変化様式が11mm以上のシミュレーション画像との重ね合わせにおいて最も基準変化量以内の領域が視広く、マッチング度も79.3%と最も高い値を示した。

V. 考察

1. 資料について

対象症例の術式は両側下顎枝矢状分割術に統一した。なぜなら、今回は二次元的な正中矢状面の評価のみではなく正貌全体の軟組織変化について検討するため、頬部に近い領域では手術術式の違いが影響を及ぼす可能性があると考えたからである。また、極端な偏位や開咬のある症例についても、下顎骨の移動方向や軟組織変化が複雑になると考えられるため除外した。

資料の採取は、術前は手術前 1 週間以内に、術後は 1 か月、3 か月、6 か月、1 年に行った。各時期から得た画像を重ね合わせて、顔貌変化の評価を行ったところ、いずれの症例も術後 3 か月以降は術後の腫脹の減少に起因する変化は認められなかった。そこで、術前術後の比較分析には安定した時期である術後 6 か月のデータを使用した。

2. 画像の重ね合わせによる顔面軟組織変化の評価について

2 つの画像の重ね合わせを、Rugle を用いて行った。Rugle は、体積などの三次元計測、画像表示、面間距離計測、シミュレーションなどが可能である。重ね合わせ評価時の 3D 画像の座標設定については、加納ら¹²⁾の設定を参考にした。軸位の水平面の設定に関して、Bai, H.S.ら¹³⁾は鼻翼基部と両側耳点を通る水平面を 7.5 度回転させ、それが軟組織鼻根点を通る位置を理想的な水平面と設定している。しかし、今回の研究では VIVID 撮影時、被験者の頭部の位置決めを FH 平面を基準としているため、3D 画像の水平面の設定

においても FH 平面を水平面として用いた。それにより、容易に水平面を定義することができた。

さらに軟組織上に設定された計測点の術後変化を三次元的に求めるため、神尾¹⁴⁾の報告を参考に、手術により最も影響が少ないと考えられる T ゾーンと呼ばれる三次元曲面を基準領域とした。非接触型三次元形状計測装置を用いて顔面全体を計測した時の誤差については 0.8 ~1.0 mm といわれている¹⁵⁻¹⁷⁾。そのため重ね合わせの精度を上げるため T ゾーンにおける 2 画像の重ね合わせのずれが、±0.5 mm 以内になるまで手動にて微調整を行った。また、今回重ね合わせの精度をマッチング度を用いて評価することにより、2 画像の相違を客観的に評価することが可能となった。

3. 個性正常咬合者および下顎後方移動術後の側貌軟組織変化について

正常咬合者において、初回と 1 週後の画像の重ね合わせにより認められる変化量は、実際の顔貌の変化量に加えて撮影誤差による変化量も含まれているものと考えられ、純粋な人体の変化量としてとらえることは難しいと思われる。しかし、そのような測定誤差も含まれた変化量は、手術前後や手術後にしか認められない軟組織変化の評価を行うために必要不可欠である。本研究で下顎後方移動術後の側貌軟組織の変化を評価したように、そのような測定誤差の平均も含まれている変化量を、基準変化量として術後の側貌軟組織変化量から差し引くことで、より純粋な術後の側貌軟組織変化を評価することができたと思われる。

今回、被験者数が少ないため変化量の性差の厳密な検討を行っていない。しかし週内変

化量が男女で異なる場合、手術による軟組織変化の評価に違いが生じる可能性がある。そのため、今後は男女別やその他の要因を考慮に入れて、変化量の設定を行って行くことが必要であると思われた。

外科矯正手術の影響による側貌軟組織変化がどの時点で消失するかというのは、インフォームドコンセント上で重要な事項である。側貌の軟組織変化の評価は、側面セファログラム等では十分に行うことができず、被爆量の多いCTにおいても、患者の負担が大きく、年に何回も撮影することができないため、経時的な評価は困難である。しかしながら、今回患者への負担が少なく、短時間で撮影できる非接触型三次元形状計測装置型を用いることで、術後の軟組織変化を短い間隔で経時的に評価することができた。

Kau,C.H ら^{18,19)}の報告によると、術後1か月では顔貌腫脹の約60%が消失し、術後6か月の時点では約100%顔貌腫脹は消失するとして、我々の結果とほぼ一致している。高橋²⁰⁾も同様の評価を行い、術後2日目の下顎角部の腫脹がピークで、術後11日で腫脹がほぼ消失したと報告している。しかし、これらの症例は術後ステロイドの投薬を受けており、修飾を受けた上での結果である。また、術後の側貌変化を評価する上で顎間固定解除後の食事量の増加による体重増加を問題視している高橋²⁰⁾の報告もある。そのため、今回の症例においては自己申告ではあるものの、BMIの変化がない状態で計測を行った。

4. 下顎後方移動術前後での正貌軟組織変化について

比地岡¹¹⁾によると、下顎骨の移動による軟組織変化率は下唇下部が最大で同心円状に減少する傾向（本研究でのオトガイ型）にあると述べている。本研究においては変化量の

減少が同様にオトガイ型の傾向を示すものと、下顎下縁が最大で上方へ行く程変化量の減少を認める症例（下縁型）を認めた。これは、実際の臨床の場において、術前の予想より術後のオトガイ部の変化が小さかったり、逆に予想以上の変化がみられたりすることがあるが、このような変化様式の違いを示しているのかも知れない。今回は軟組織の変化様式を、オトガイ部の中心及び下顎下縁の領域を設定し、領域毎の軟組織変化量の差を算出することで、客観的に分類することができた。

次に、その2つの様式がどのような要因によって生じるのかについて検討を行った。比地岡¹⁴⁾も三次元構築画像データを用い手術前後の軟組織形態変化の分析を行っているが、下顎後方移動術における顔貌変化の様式が一種類しかなく、下顎骨の移動形式や骨格形態による分類はなされていなかった。今回の結果でもわかるように各症例で顔面軟組織変化様式は異なっているため、変化様式に影響を与えている因子を検索しなければ、より正確な術後顔貌のシミュレーションは困難と考えられる。そこで、オトガイ部の骨格形態、オトガイ部の軟組織、手術による咬合平面回転角の変化、下顎骨の後方移動量の4つの因子について、軟組織変化様式との関連性の検討を行ったところ、下顎骨の後方移動量のみ有意に相関を認め、Pog部後退量が大きくなるに伴い、下縁型からオトガイ型に移行していく傾向にあった。以上より、下顎骨の後方移動量は軟組織変化様式の違いを決定する大きな因子であることが示された。

5. 平均顔ツールを用いた症例の比較について

術前後の顔面軟組織の変化率を症例群毎に平均することにより変化様式の違いを視覚的

に症例群間で比較し、さらに、術後顔貌のシミュレーションを行うため、Rugle の平均顔作成ツールを使用した。これは、宮下ら²¹⁾によりその作成方法の再現性が検証が行われ、その実用性が認められている。このツールは 36 本の縦軸と 37 本の横軸で構成される 1332 個の交点（以下格子点とする）を有する顔面形状のワイヤフレームテンプレートモデル（以下ワイヤフレーム）を、モニター上で各被験者の顔面に適合するように変形させたのち、すべての被験者のワイヤフレームにおける各格子点の X、Y、Z 座標の平均値を左右内眼角点間の中点(原点)に位置する格子点を中心に算出するというものである。この原理を用い、各部位における軟組織平均変化率を算出し、変化率に応じてカラーマッピングすることで症例群間の軟組織変化様式の視覚的な比較を可能にした。また、顔面の輪郭周囲において軟組織平均変化率が 100%を超える領域が生じることがある。これは、術前術後の画像間で輪郭の違いがあるためであると考えられるが、画像の重ね合わせの時点で可及的に重なるの無い領域について削除作業を行っており、また全ての変化様式でほぼ同様に生じてくるため、軟組織変化様式を判断する際には特に問題にならなかった。

下顎後方移動術による軟組織変化に関して、これまでの報告^{11,22,23)}では、Pog、B 点等各計測点の後方移動量の平均にて一種類の軟組織平均変化率を示しているのみで、計測点の後方移動量の違いでの軟組織平均変化率の比較はなされていなかった。また、Soncul M. ら²⁴⁾は上下顎の移動における軟組織変化率を示しており、上顎の移動に関しては移動量別に軟組織変化率を示しているものの、下顎については移動量別の軟組織変化率は示していない。しかし、本研究では平均顔作成ツールを使うことにより、各因子別に軟組織平均変化率を表示させ変化様式を比較できるようになり、その結果、第 1 章の結果 2-4) と第 2

章の結果 2-1) はほぼ同様の結果で、下顎骨の後方移動量が大きくなるにつれ変化様式が下縁型からオトガイ型に移行していくことが確認できた。また、後退量が大きくなるに従って、オトガイも上下的に大きい傾向にあった。これは逆にオトガイが大きい症例程、手術で下顎を大きく後方移動させる必要があるということで、オトガイが大きい程、変化様式が「オトガイ型」になることが示唆され、今後検討が必要と考えられた。

6. 術後顔貌シミュレーションシステムの構築について

近年、X線CT撮影装置の発達や非接触型三次元形状計測装置型、周辺機器の高性能化およびコンピューターグラフィック技術の進歩により、医療分野における手術シミュレーション等の臨床応用が行われるようになってきた。その一つは、CTデータをCADデータに変換後、光造形法等により実体モデルを作成し、モデルサージェリーを行う方法である^{25,26)}。この方法は、実際にモデルを観察できるため現実感があるが、複数回の切削操作は経済的に困難で、モデル作成に多大な労力や時間がかかることなどの問題点がある。もう一つはCTデータを統合して三次元画像を構築し、このモデルを変形させる方法である。それらの報告^{6,8)}は、硬組織のみの三次元予測であり、骨片の三次元的な移動予測が正確に行え、セファロメトリックプレディクションと同様に硬組織の術後予測法としては有用であるものの、軟組織の術後予測はできていない。そのため、確実に手術を受ける患者にとっての手術シミュレーションとしては有効であるが、手術を行うか否か迷う患者にとっては被爆量の問題等で敬遠される可能性が考えられる。また、寺嶋ら⁹⁾は硬組織、軟組織および歯列の三次元統合個人モデルを構築し顎矯正患者の三次元シミュレーションモデルの

報告をしている。しかし、硬組織の移動量に対する軟組織の移動量は土屋ら²⁷⁾の側貌軟組織における計測点の変化率を用いており、正中線から離れた部位の軟組織変化に関してはその予測精度に問題があるものと考えられる。また、本法のように非接触型三次元形状計測装置型を用いた比地岡の報告¹¹⁾では、単一の軟組織変化様式をもとにシミュレーション画像を作成しており後退量の違い等でのシミュレーション画像の変化はない。しかし、今回我々は後退量に応じた軟組織変化率をもとに三次元予測画像を作成することが可能なシステムを構築することができた。

さらに、このシミュレーションシステムの精度を確認するため、後退量別の軟組織変化様式を用い、3タイプの術後顔貌のシミュレーション画像を作成し実際の術後画像と比較を行なったところ、適切な後退量が当てはまる変化様式のシミュレーション画像は、それ以外の画像と比べ、実際の術後画像とのマッチング度が約80%以上と高い値を示し、患者の実際の術後顔貌に極めて類似していた。つまり、適切な変化様式を用いることで、より正確な術後顔貌のシミュレーションが可能となった。さらに、以前のような側貌のみの2次元的な予測画像ではなく、XYZ各座標の180度以内の回転表示が可能であるため、立体的に顔貌変化を把握することができ、インフォームドコンセントを行う上で非常に有効な手段になりうると考えられる。

しかし、開咬症や偏位症例、そして上顎骨移動術を行った症例など、この変化様式を当てはめることができない症例も多いのは事実である。そのため、今後はこの変化様式を決定する因子をさらに検索して行くとともに、開咬や偏位を認める症例においても術後顔貌シミュレーション画像を作成できるよう解析を行っていく予定である。

VI. まとめ

1. 本研究では、VIVID および Rugle を用いることにより下顎後方移動術後の顔面軟組織変化を三次元的に解析することができた。
2. 側貌軟組織変化の解析において、手術による頬部腫脹は術後約 3 か月間持続することが示された。
3. 正貌軟組織変化の解析において、軟組織変化様式を「オトガイ型」と「下縁型」の 2 つのタイプに分類することができ、その変化様式を決定する重要な因子は下顎骨の後方移動量であることが示された。
4. Rugle の平均顔作成ツールを用いて、後退量別に軟組織変化様式をみたところ、後退量が大きくなるにつれ「下縁型」から「オトガイ型」へ変化していた。
5. 後退量別の変化様式をもとに術後顔貌のシミュレーションシステムの構築を行った
6. 構築したシステムにより作成した術後顔貌シミュレーション画像と実際の術後顔貌を比較したところ、マッチング度は約 80%以上と極めて類似した画像を示した。

今後は本システムの適応症例をさらに増やし、臨床応用の幅を広げて行く予定である。

VII. 謝辞

稿を終えるにあたり、御懇篤なる御指導、御高閲の労を賜りました白砂兼光教授に深甚なる謝意を表します。また、研究のみならず臨床全般にわたり御助言、御指導下さいました竹之下康治准教授、そして本研究の課題を与え、直接御指導下さいました蔵原慎一助教に深甚なる謝意を表します。また、本研究を遂行するにあたり多大なご協力を頂きましたメディック エンジニアリングの谷尻豊寿様、講座が違うにもかかわらず快く御助言を頂きました九州大学大学院歯学研究院口腔保健推進学講座の中島昭彦元教授、寺嶋雅彦助教に深謝致します。そして、九州大学大学院歯学研究院口腔顎顔面病態学講座口腔顎顔面外科学分野の教官各位、医局員の皆様、研究生活を支えて下さった全ての皆様に心から深く感謝致します。

VIII. 参考文献

- 1) 田代教平：頭部 X 線規格写真による下顎前突症患者の軟組織側貌に関する研究. 歯科学報 86(7):1083-1117,1986.
- 2) 山田明子, 玉置幸雄, 他：外科的矯正治療にともなう硬組織と軟組織形態の変化の関連性. Orthod Waves-Jpn Ed63(2):85-94,2004.
- 3) 岡村正彦, 村井成幸, 他：骨格性下顎前突症に対する両側下顎枝矢状分割術術後の正貌形態変化の検討. 日顎変形誌 8(3):151-156,1998.
- 4) 陳 信光, 中納治久, 他：骨格性下顎前突症に対する外科的矯正治療前後の正貌顔貌変化-正面顔面規格写真の有用性に関して-. 昭歯誌 26 : 19-28,2006
- 5) James Xia, Nabil Samman et al : Computer-assisted three-dimensional surgical planning and simulation:3D soft tissue planning and prediction. Int.J.Oral Maxillofac.Sug. 29 : 250-258,2000.
- 6) 大内 豪, 西井 康, 他:顎矯正手術における 3D シミュレーションシステムの応用. 歯科学報 105:200-206,2005.
- 7) 安井常晴 :3D-CT と歯列 3 次元データの融合モデルを用いた顎変形症手術シミュレーションシステムの開発. 歯科医学 67(2):186-194,2004.
- 8) James Xia, Horance H.S.lp et al : Computer-assisted three-dimensional surgical planning and simulation:3D virtual osteotomy. Int.J.Oral Maxillofac.Sug. 29 :

11-17,2000.

9) 寺嶋雅彦, 青木義満, 他 : 下顎前突症患者の下顎枝矢状分割術による形態変化の三次元的シミュレーション. *Jpn. J. Jaw Deform.* 11(3):194-204,2001.

10) MacCance,A.M.,Moss,J.P. et al : A three-dimensional soft tissue analysis of 16 skeletal class III patients following bimaxillary surgery. *Br J Oral and Maxillofac Surg* 30 : 221-232,1992

11) 比地岡浩志 : 下顎前突症患者の下顎後方移動術前後における顔面形態の三次元的分析. *日顎変形誌* 8:157-169,1998.

12) 加納浩之, 小林正治, 他 : 非接触型三次元表面形状計測装置による上下顎移動術前後における中顔面軟組織形態の変化の検討-とくに外鼻形態について-. *日顎変形誌* 14:1-10,2004.

13) Baik,H.S., Jeon,J.M. et al: Facial soft-tissue analysis of Korean adults with normal occlusion using a 3-dimensional laser scanner. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 131:759-766,2007.

14) 神尾 崇, 高木多加志, 他 : 頭部固定装置を備えた非接触型三次元計測装置を用いた顎顔面軟組織形状の計測-ソフトウェア上での頭位補正機能の精度検証-. *日顎変形誌* 15:47-58,2005.

15) 三島克章, 菅原利夫, 他 : 顔面形態 (特に外鼻形態) の三次元計測法の方法と精度の検討. *日口外誌* 38:1645-1651,1996.

16) 野口信宏, 後藤昌昭, 他 : 顔面非対称の三次元分析 (第1報) -顔面正中面の自動設定

法の開発-. 日口外誌 42 : 599-601,1996.

17) 中川公貴, 寺田員人, 他 : 非接触型顔面三次元表面形状計測装置の計測特性に関する検討. 新潟歯学会誌 31 : 147-152,2001.

18) Kau,C.H., Cronin,A.J. et al: A new method for the 3D measurement of postoperative swelling following orthognathic surgery. Orthod Craniofacial Res. 9 : 31-37,2006.

19) Kau,C.H., Cronin,A.J. et al: A three-dimensional evaluation of postoperative swelling following orthognathic surgery at 6 month. Plast. Reconstr. Surg.119:2192-2199,2007.

20) Takahashi I.: Changes in facial soft tissues after orthognathic surgery. J Osaka Dent Univ 41(2):101-106,2007.

21) 宮下 渉, 中原リザ子 : 日本人正常咬合者の三次元的平均顔-作成方法および再現性の検証-. Orthod Waves-Jpn Ed64:36-43,2005.

22) Kajikawa Y.: Change in soft tissue profile after surgical correction of skeletal Class III malocclusion. J.Oral Surg. 37 : 167-174,1979.

23) 江俣和代, 三谷英夫 : 骨格性下顎前突症に対する外科的矯正治療の影響-とくに軟組織側貌・咽頭部軌道の形態および舌骨の位置変化について-. 日矯誌 42 : 69-84,1983.

24) Soncul M.and Bamber M.A.: Evaluation of facial soft tissue changes with optical surface scan after surgical correction of classIII deformities. J Oral Maxillofac Surg 62:1331-1340,2004.

25) 後藤昌昭, 香月 武, 他 : X線 CT 写真から作成した光硬化樹脂製頭蓋顔面骨 3次元立体模型. 日口外誌 38:1128-1135,1992.

26) 古森秀高, 高戸 毅, 他 : 顎変形症に対するレーザー硬化型 3次元実体モデルの利用. 日口外誌 39:871-878,1993.

27) 土屋雅文, 吉田健美, 他 : 骨格性下顎前突症に対する外科的矯正治療前後の軟組織側貌変化について-手術前後の変化を中心として-. 日矯歯誌 42:168-177,1983.