

## 相同モデル化技術を用いた新しい顔面軟組織形態解析法の確立

安田, 光佑

<https://doi.org/10.15017/4060093>

---

出版情報 : Kyushu University, 2019, 博士 (歯学), 課程博士  
バージョン :  
権利関係 :



KYUSHU UNIVERSITY

相同モデル化技術を用いた新しい顔面軟組織形態解析法の確立

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

安田 光佑

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

森 悅秀 教授

本研究の内容は下記の学術雑誌に公表済である。

Identifying differences between a straight face and a posed smile using the homologous modeling technique and the principal component analysis.

Yasuda K, Nakano H, Yamada T, Albougha S, Inoue K, Nakashima A, Kamata Y, Sugiyama G, Tajiri S, Sumida T, Mishima K, Mori Y.

J Craniofac Surg 30(8): 2378-2380, 2019.

## 目次

1. 要旨

2. 緒言

3. 研究

研究 I : 顔面軟組織の形態評価における相同モデル化技術の確立

研究 I-1 : 相同モデル化技術に必要な解剖学的ランドマークの設定

研究 I-2 : 健常人の“笑顔”と“真顔”を用いた相同モデル化技術の有用

性に関する検証

研究 II : 相同モデル化技術を用いた顎矯正手術における顔面軟組織形態の評価

4. 結語

5. 謝辞

6. 参考文献

## 要旨

顎変形症患者が顎矯正手術を受けるとき、患者は咬合の改善だけでなく、顔貌の形態を健常人と同じになることを望んでいることは少なくない。近年では、ビデオカメラや 3D カメラを用いた三次元的に顔貌の形態評価を行う研究が進められているが、これらの研究の問題点として、頬部やオトガイ部などは表面が滑らかため解剖学的ランドマークの設置が困難であり、顔面軟組織の全体を再現性高く評価する方法は確立されていなかった。

本研究では、骨格性下顎前突症患者の顎変形症術後患者の顔面軟組織の形態変化を、産業技術総合研究所の持丸らが開発した相同モデル化技術を用いて、新しい形態計測法で評価することを目的とし、以下の 3 つについて研究を行った。

研究 I -1 : 顔面軟組織の三次元データを相同モデル化するためには、解剖学的ランドマークの設定が重要となる。そこで、先天性疾患および顎顔面外傷の既往がなく、顎矯正手術の治療歴がない人を健常人と定義し、健常人 10 人（男性 5 人、女性 5 人）の“真顔”を 3D カメラ VECTRA® H1 で撮影して、各解剖学的ランドマークの再現性を検証した。

研究 I -2 : 従来の方法では、頬部やオトガイなどの解剖学的ランドマークを設置することが困難な部位もあわせて顔面軟組織形態を評価する方法は確立されていなかった。そこで、健常人 38 人（男性 19 人、女性 19 人）の“笑顔”と“真

“顔”を VECTRA® H1 で撮影して全データが同一数のポリゴンとなるよう相同モデル化し、これらを主成分分析して有意差を認めた主成分を三次元データに可視化して形態評価を行った。この結果を過去の報告と比較して、相同モデル化技術が顔面軟組織形態の評価方法として有用であるか検証した。

研究Ⅱ：顎矯正手術後に、健常人と同じ顔面軟組織形態を得ることは重要となる。そこで、下顎後方移動術を行った骨格性下顎前突症患者 26 人（男性 10 人、女性 16 人）および健常人 26 人（男性 10 人、女性 16 人）の“笑顔”と“真顔”を VECTRA® H1 で撮影して相同モデル化および主成分分析し、術後における顔面軟組織の形態変化を評価した。

研究 I-1 では、過去に報告された解剖学的ランドマーク 26 点のうち 11 点が再現性が高いと判定され、以降の研究における相同モデル化するための解剖学的ランドマークとして採用した。研究 I-2 では、対象者全体（男女混合）において“真顔”と比べて“笑顔”では上下眼瞼間距離の短縮、鼻翼の挙上、頬部の豊隆および上下唇の後方移動を認め、さらに男性では鼻翼基部に、女性では頬部と鼻唇溝により強く違いが強調されていた。これらの結果は過去における“笑顔”的特徴と合致していたことから、相同モデル化技術は顔面軟組織の形態評価に有用だと考えられた。研究Ⅱでは、相同モデル化技術を用いることで術後患者と健常人の比較ではオトガイ部と下唇の突出が残存している傾向があり、女性で

特にその傾向が強くみられることが明らかになった。

## 緒言

顎変形症患者が顎矯正手術を受ける時は、患者は咬合の改善だけでなく、顔貌の形態を健常人と同じになることを望んでいることは少なくない。顎変形症患者に対する顎矯正手術では、術前後の顔貌の変化については平面写真や各種 X 線写真を用いて評価されてきた<sup>1-8</sup>が、これらの方法は二次元的な評価に留まっていた。しかしながら、近年ではビデオカメラや立体カメラを用いることで、同手術で調和のとれた顔面の軟組織形態の改善も術前後の評価の対象として、形態解析が進められている<sup>9-11</sup>。

また一方で、顎変形症患者の術前後の評価の多くは“真顔”の評価までにとどまり、“笑顔”などを用いて表情の変化にまで検討したものは少ない。しかしながら、表情の変化、特に“笑顔”は人物の印象を決定つける重要な因子であり、“真顔”だけでなく“笑顔”についても検討する必要がある<sup>12,13</sup>。

中道らは正常咬合群と歯性 Class II 群、骨格性 Class II それぞれにおける笑顔になるまでの唇の動きを動画撮影して、設定した解剖学的ランドマークごとに XYZ 座標軸で評価しており、骨格性 Class II 群が他の群と比べて上下唇の動きが大きい傾向にあることを報告した<sup>14</sup>。しかしながら、これらの報告は XYZ 座標軸での移動量について検討したものであり、また頬部やオトガイ部などは表面が滑らかであることから解剖学的ランドマークの設置が困難であり、顔面の

軟組織全体を再現性高く評価する方法は確立していなかった<sup>12,13</sup>。

そこで、本研究では、頬部やオトガイ部なども含めた軟組織全体を再現性高く評価する新しい顔面軟組織形態解析法を確立するために、相同モデル化技術を用いることとした。

相同モデル化技術とは、画像ごとにばらつきがある立体データのポリゴン（三角形）数をすべて統一してポリゴンの変形を解析することで、解剖学的ランドマークの設定が困難な部位でも形態評価できることを目的としたものである<sup>15-20</sup>。相同モデル化技術を用いた評価方法については、過去に当科の井上らが偏位を有する骨格性下顎前突症患者の下顎枝形態の解析に有用であったと報告している<sup>21</sup>。

本研究では、顎矯正手術術後患者と健常人の“笑顔”と“真顔”それぞれの顔面軟組織形態の違いについて、相同モデル化技術を用いて解析を行い、手術の治療成績の評価を行うこととした。

本研究では下記に示す3つの項目について検討を行った。

- ① 相同モデル化に必要な解剖学的ランドマークを明らかにする。（＝研究 I - 1）
- ② 健常人の“笑顔”と“真顔”的違いについて検討を行い、相同モデル化技術の顔面軟組織形態の評価に対する有用性について明らかにする。（＝研

究 I -2)

③ 顎矯正手術後と健常人の“笑顔”と“真顔”的違いについて明らかにし、手術後における顔面軟組織形態の評価を行う。(=研究 II)

なお、本研究は九州大学医系地区部局臨床研究倫理審査委員会における許可(許可番号 30-295)を得たうえで行った。

## 研究 I : 顔面軟組織における相同モデル化技術の確立

### 研究 I -1 : 相同モデル化技術に必要な解剖学的ランドマークの確立

#### マークの確立

顔面軟組織の立体 (3D) データを相同モデル化するためには、

解剖学的ランドマークの設定が重要となる<sup>22</sup>。そこで研究 I -1 で

は、再現性の高い解剖学的ランドマークを明らかにすることを目的とした。

#### 1. 用語の定義

##### 1.1. 相同モデル化技術

ビデオカメラや立体カメラなどで取得できる立体データは、ポリゴンと呼ばれる三角形の集合体でできており、各立体データによってポリゴン数にばらつきがあるため、統計処理をすることが困難である。

そこで各立体データに対して、ポリゴン数を決めた共通のテンプレートデータを、設定した解剖学的ランドマークに一致させながら各立体データに貼り付けることにより、すべての立体データのポリゴン数が一致したモデルを作製する技術を相同モデル化技術と呼ぶ<sup>15-21</sup> (図

1)。この結果でできたモデル（＝相同モデル）を用いることで多変量解析などの統計処理ができ、解剖学的ランドマークの設定が困難な部位でも形態評価が可能となる。

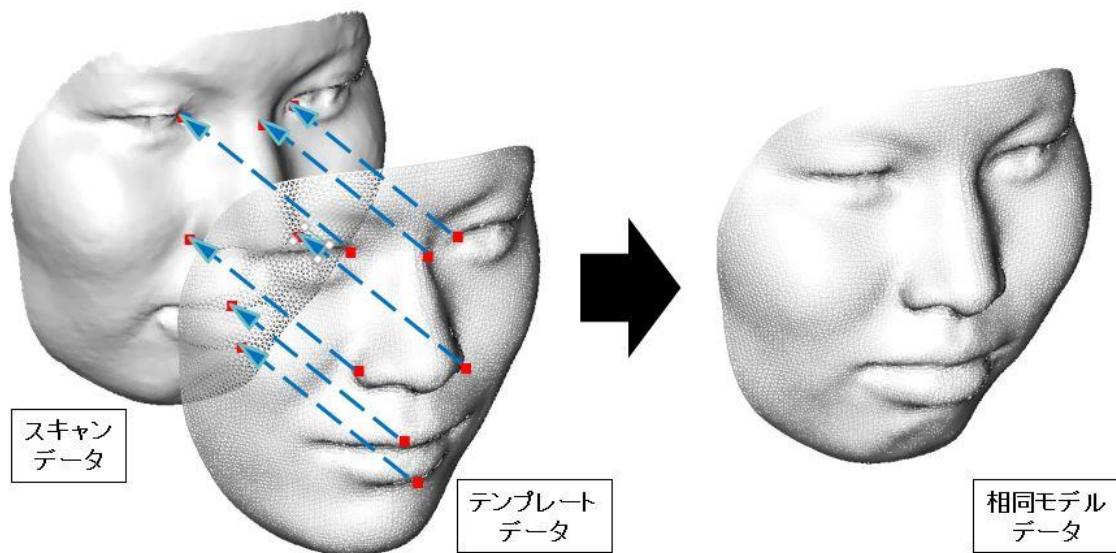


図1：相同モデル化技術のイメージ図

### 1.2. 健常人

先天性疾患および顎顔面外傷の既往がなく、顎矯正手術の治療歴がない人を健常人と定義した<sup>13</sup>。

### 1.3. “笑顔”、“真顔”

3D画像撮影解析装置を用いて、撮影を意識しながら自律的に口角を上げて上顎前歯部を露出させる動作を数回練習させた後、同動作を数秒間維持させながら撮影したときの対象の表情を“笑顔”、嚙下を促して

数秒後に撮影したときの対象の表情を“真顔”とそれぞれ定義した<sup>13</sup>。

## 2. 対象および方法

### 2.1. 対象

2016年4月から2017年3月までに九州大学歯学部に所属した日本国籍の学生のうち男性5人、女性5人の計10人（平均年齢23.6±1.2歳）を対象とした。対象は先天性疾患、顎顔面外傷の既往および顎矯正手術の治療歴がある学生を除外した。

### 2.2. 方法

#### 2.2.1. 顔面データの構築

被検者に前頭部の頭髪を収納するためにサージャンキャップを頭部に装着し、デンタルチェアに座位のまま背もたれによりかからずに背筋を伸ばすよう姿勢を指示した（図2）。3D画像撮影解析装置（VECTRA® H1, Canfield Scientific, Parsippany, NJ）を用いて正面、右側、左側の3つのアングルで被検者の“真顔”を撮影した<sup>23</sup>。撮影者はすべて同一人物とした。撮影後、得られた画像データは3Dデータ構築ソフト（VECTRA Capture Module, Canfield）で画像を三次元構築し、医療画像キャプチャソフトウェア（Mirror® PhotoFile®, Canfield）を用いてSTL（Stereo lithographic）形式に変換して顔面データとして保存した。

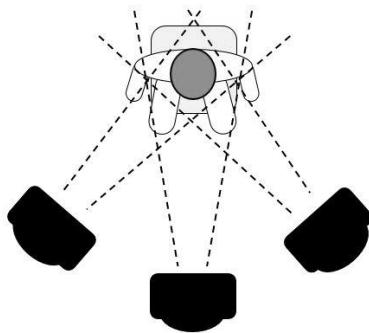


図 2 : VECTRA® H1 を用いた撮影の模式図

### 2.2.2. 基準座標の設定

得られた顔面データを相同モデル支援ソフトウェア (HBM-Rugle, メディックエンジニアリング, 京都) に転送し、基準座標を設定した。顔面データ上の鼻根点 N (Nasion) を原点とし、N と鼻下点 Sn (Subnasale) を通過する直線を Y 軸、左右の内眼角点 En (Endcanthion) を結んだ直線と平行かつ Y 軸と直行して N を通過する直線を X 軸、XY 平面と直行して N を通過する直線を Z 軸と定義した。各顔面データは N、Sn、左右の En が各直線を通るように位置を調整した。

さらに顔面データを正面から観察し、X 軸の正方向を右方、Y 軸の正方向を上方、Z 軸の正方向を前方とし、右手系の三次元座標を設定した (図 3)。

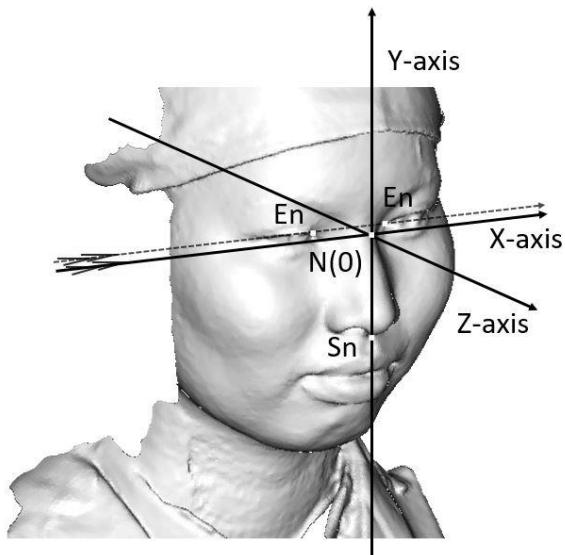


図 3：基準座標の設定

#### 2.2.3. 解剖学的ランドマークの設置

顔面データ上に、過去の文献を参考にし、以下に示す解剖学的ランドマーク計 26 点（うち左右対称となるランドマークは 9 対 18 点）を計測点としてプロットした<sup>9,22</sup>（図 4）。

##### 【上顔面】

- ① Nasion (N) 鼻根点
- ②,③ Exocathion (Ex-R, Ex-L) 左右外眼角点
- ④,⑤ Endcathion (En-R, En-L) 左右内眼角点
- ⑥,⑦ Palpebrale superius (Ps-R, Ps-L) 左右上眼瞼最上点
- ⑧,⑨ Palpebrale inferius (Pi-R, Pi-L) 左右下眼瞼最下点
- ⑩,⑪ Orbitale (Or-R, Or-L) 左右眼窩下点

## 【中顔面】

⑫ Pronasale (Pr) 鼻尖部

⑬,⑭ Alar curvature point (Ac-R, Ac-L) 左右鼻翼溝外側点

⑮,⑯ Sub-alare (Sbal-R, Sbal-L) 左右鼻翼基部

⑰ Subnasale (Sn) 鼻下点

## 【下顔面】

⑱,⑲ Christaphiltri (Cph-R, Cph-L) 左右キュー<sup>ビ</sup>ッド弓

⑳ Labial superius (Ls) 上唇移行部中点

㉑ Stomin (St) 上下唇交差部中点

㉒,㉓ Cheilion (Ch-R, Ch-L) 左右口角点

㉔ Labial infeius (Li) 下唇移行部中点

㉕ Submentale (Sm) 下唇-オトガイ最深部

㉖ Pogonion (Pog) オトガイ点

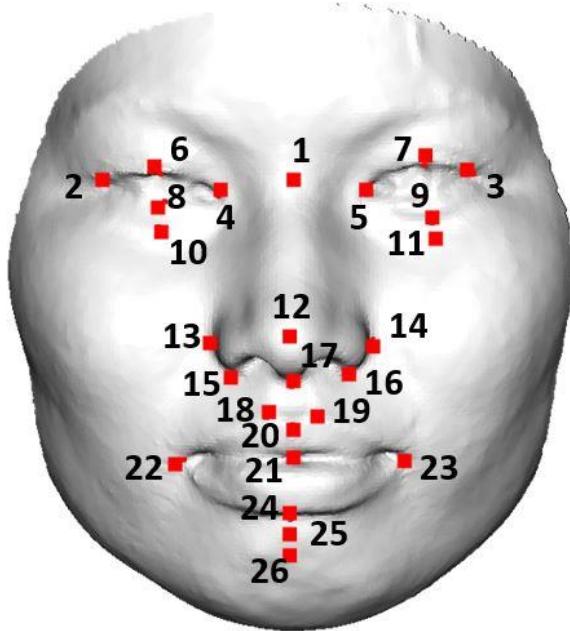


図 4：検証する解剖学的ランドマーク

#### 2.2.4. 解析方法

プロットする計測者は同一人物とし、それぞれ 1 週間以上の間隔を空けて計 3 回プロットした。1 回目と 2 回目、2 回目と 3 回目、1 回目と 3 回目それぞれにおける点間距離を測定して同一解剖学的ランドマーク内で比較し、再現性を検討した。計測点の再現性の統計学的検定には ICC (級内相関係数、intraclass correlation coefficients) を採用した。左右対称となるランドマーク 9 対 18 点については、左右それぞれにおける同一試行回における点間距離の平均値を算出して 1 対ごとに計測点の再現性を検討した。統計解析は JMP® (SAS Intsitute Inc. Cary, NC) を用いた。

### 3. 結果

ICCにおける再現性は  $0.40 < \text{ICC} \leq 0.60$  を”moderate”、 $0.60 < \text{ICC} \leq 0.80$  を”substantial”、 $\text{ICC} \geq 0.80$  を”almost perfect”とし、”almost perfect”を再現性が高いランドマークとした。本検証にて、N, Ps-R, Ps-L, Ac-R, Ac-L, Sn, Cph-R, Cph-L, St, Li, Srn は”almost perfect”、Pi-R, Pi-L, Prn, Ch-R, Ch-L, Po は”substantial”であった（表 1）。

以降の研究において、相同モデル化するための解剖学的ランドマークを”almost perfect”と判定された①’N, ②’Ps-R, ③’Ps-L, ④’Ac-R, ⑤’Ac-L, ⑥’Sn, ⑦’Cph-R, ⑧’Cph-L, ⑨’St, ⑩’Li, ⑪’Srn の 11 点とすることにした（図 5）。

表1：各解剖学的ランドマークの再現性の検証結果

番号	解剖学的 ランドマーク	点間距離 (mm)			ICC	再現性
		1 <sup>st</sup> - 2 <sup>nd</sup>	1 <sup>st</sup> - 3 <sup>rd</sup>	2 <sup>nd</sup> - 3 <sup>rd</sup>		
1	N	0.20±0.09	0.24±0.15	0.26±0.12	1.00	a.p.
2	Ex-R	1.06±0.09	1.36±0.67	0.72±0.46	0.54	m
3	Ex-L	1.16±1.19	1.48±1.17	0.52±0.26		
4	En-R	0.58±0.30	1.38±0.70	1.43±0.84	0.51	m
5	En-L	0.43±0.31	1.52±0.59	1.92±0.55		
6	Ps-R	0.97±0.60	1.11±0.72	0.96±0.48	0.99	a.p.
7	Ps-L	0.94±0.41	1.29±0.97	1.00±0.75		
8	Pi-R	0.94±0.53	1.09±0.84	1.07±0.83	0.76	s
9	Pi-L	0.84±0.47	1.65±0.67	1.29±0.78		
10	Or-R	2.21±1.21	1.73±1.25	1.28±0.94	0.53	m
11	Or-L	1.91±1.37	2.05±1.35	0.86±0.56		
12	Prn	0.36±0.21	0.61±0.40	0.60±0.23	0.77	s
13	Ac-R	0.75±0.31	0.76±0.47	0.76±0.47	1.00	a.p.
14	Ac-L	0.79±0.53	1.00±0.43	0.97±0.36		
15	Sbal-R	0.71±0.28	0.70±0.49	0.90±0.41	0.56	m
16	Sbal-L	0.78±0.46	0.69±0.43	1.11±0.56		
17	Sn	0.62±0.39	0.61±0.73	0.50±0.49	1.00	a.p.
18	Cph-R	0.57±0.31	0.82±0.27	0.69±0.32	1.00	a.p.
19	Cph-L	0.86±0.50	0.88±0.76	0.90±0.36		
20	Ls	0.60±0.24	0.54±0.22	0.39±0.27	0.56	m
21	St	0.42±0.15	0.46±0.26	0.43±0.21	1.00	a.p.
22	Ch-R	0.57±0.28	1.38±1.56	1.28±1.45	0.68	s
23	Ch-L	0.74±0.41	1.50±0.82	1.51±0.85		
24	Li	0.56±0.36	0.70±0.43	0.89±0.50	0.82	a.p.
25	Srn	1.58±1.81	1.25±0.78	1.80±1.75	1.00	a.p.
26	Pog	1.56±1.00	1.90±0.69	2.20±0.99	0.76	s

m : "moderate" ( $0.40 < \text{ICC} \leq 0.60$ ), s : "substantial" ( $0.60 < \text{ICC} \leq 0.80$ ), a.p. : "almost perfect" ( $\text{ICC} \geq 0.80$ )

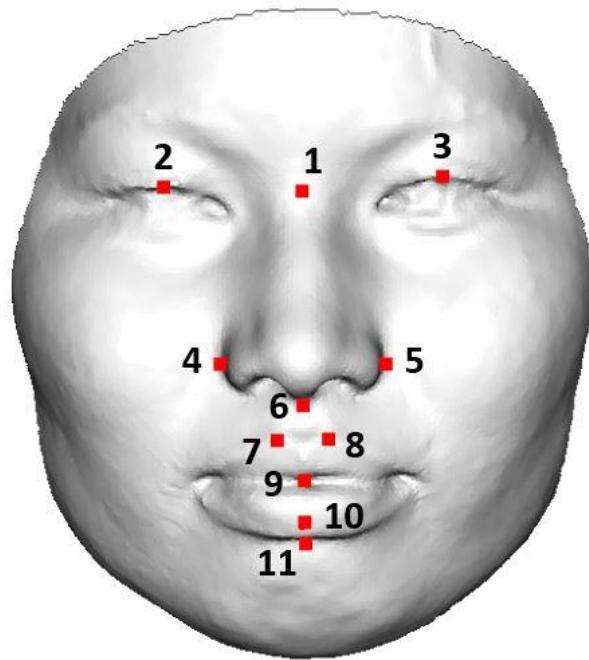


図 5：相同モデル化に使用する解剖学的ランドマーク

# 研究 I -2：健常人の“笑顔”と“真顔”を用いた相同モデル化技術の有用性に関する検証

顔面軟組織の形態を評価する従来の方法は、オトガイ部や頬部などの解剖学的ランドマークを設置することが困難な部位の評価はできなかった<sup>9</sup>。そこで、相同モデル化技術を用いて、顔面軟組織の形態評価を行い、過去の報告と比較することにより、その有用性について検討することとした。

## 1. 用語の定義

### 1.1. 主成分分析

XYZ の三次元方向の指標とはまた別に、解析をかけたグループ間においてそれぞれ振れ幅の大きい順に新しい指標（軸）を主成分として再設定し、有意差のある主成分の形態の違いを比較することで、より限局的かつ集約された情報を得られる解析法である。

第  $n$  主成分の分散度合いを固有値といい、分散値が大きくなるほどその主成分が大きいベクトル成分を占めている。

第 1 主成分から第  $m$  主成分までの寄与率の和を累積寄与率とい

い、第 1 主成分から第  $m$  主成分での圧縮がデータの散りばり具合をどの程度カバーしているかを説明する割合になる。

### 1.2. 仮想顔面形態

“笑顔”と“真顔”的比較で有意差を認めた主成分の主成分得点を用いて仮想の“笑顔”と“真顔”的顔面データを作製し、形態の違いを観察した。有意差を認めた主成分上の標準偏差 (standard deviation: S.D.) を求め、-3.0 S.D.、-2.0 S.D.、-1.0 S.D.、0 S.D.、+1.0 S.D.、+2.0 S.D.、+3.0 S.D.の仮想顔面形態を作製、配置して形態の変化を観察した。

## 2. 対象および方法

### 2.1. 対象

研究 I 被験者を含む、2016 年 4 月から 2017 年 3 月までに九州大学歯学部または九州大学臨床研修センターに所属した日本国籍の学生および研修医で、男性 19 人、女性 19 人の計 38 人（平均年齢  $23.9 \pm 1.9$  歳）を対象とした。対象は前歯部の over jet が  $0.5 \text{ mm} \sim 2 \text{ mm}$  の学生および研修医を選択し、先天性疾患、顎顔面外傷の既往および顎矯正手術の治療歴がある学生および研修医を除外した。

### 2.2. 方法

### 2.2.1. 顔面データの構築

顔面データは研究 I-1 に準じて“笑顔”と“真顔”を撮影して構築し、まずテンプレートデータの作製を行った。テンプレートデータは、過去に報告した井上の方法に準じて以下の方法で作製した<sup>21</sup>。

研究 I 被験者の顔面データから任意に選んだ 1 体の顔面データ（ポリゴン数 6887）をテンプレートの原データとして使用し、これに研究 I-1 の相同モデル化に使用する解剖学的ランドマークをプロットして相同モデル化を行った。相同モデル化された顔面データはすべて 6887 のポリゴン数をもつように Homologous modeling software (HBM、独立行政法人産業技術総合研究所、東京) の内部プログラムを設定した。本処理は Homologous Body Modeling Rugle (HBM-Rugle、メディックエンジニアリング) を用いた。

研究 II 被検者 38 体の相同モデル化を行い、これらの相同モデルデータを用いて平均形状データを作製して、この平均形状データをテンプレートデータとして計 3 回上記と同じ操作を繰り返した。3 回目の平均形状データを以降の研究 II、III における標準のテンプレートデータとして使用した（図 6）。

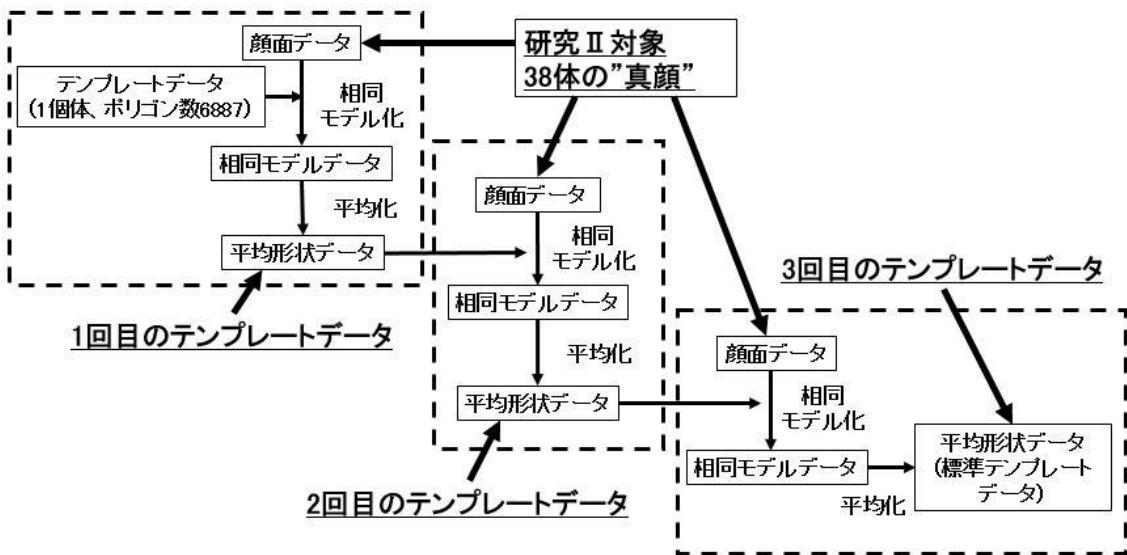


図 6：テンプレートデータ作製の流れ

### 2.2.2. 基準座標の設定

顔面データは研究 I-1 に準じて基準座標を設定した。

### 2.2.3. 相同モデル化のフィッティング

座標の設定後、辺縁を統一するためにテンプレートデータの辺縁を前頭部の頂点を原点 (N) から Y 軸方向に +15 mm、側頭部の頂点を左右とも X 軸に  $\pm 32$  mm および Z 軸方向に -20 mm、下顎下縁部の頂点を左右ともに X 軸に  $\pm 22$  mm、Y 軸方向に -45 mm および Z 軸方向に -25 mm、オトガイ下縁部の頂点を Y 軸方向に -68 mm、Z 軸方向に -18 mm とし、不要領域を削除した (図 7)。対象となる顔面データにおいても基準座標の設定後にテンプレートデータと重ね合わせ、XY 平面、YZ 平面、XZ 平面それぞれの視点にて不要領域を削除した。

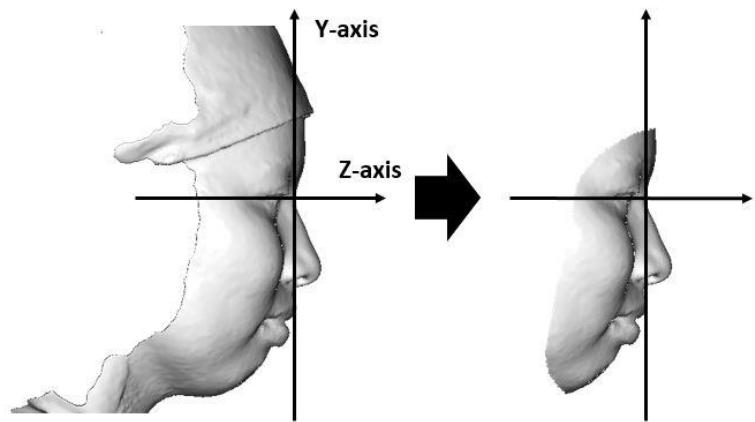


図 7：不要領域の削除前後の顔面データ

テンプレートデータおよび対象の顔面データ上に、研究 I-1 で検証した解剖学的ランドマークをそれぞれプロットし、相同モデル化を行った。

#### 2.2.4. 検定手法

HBM-Rugle を使用して相同モデルの主成分分析を行った<sup>17-20</sup>。得られた各主成分における主成分スコアの笑顔群、真顔群の比較を Wilcoxon の順位和検定を用いて比較した。なお危険率 5%未満を有意とした。Wilcoxon の順位和検定を行うために計解析ソフト JMP®を用いた。

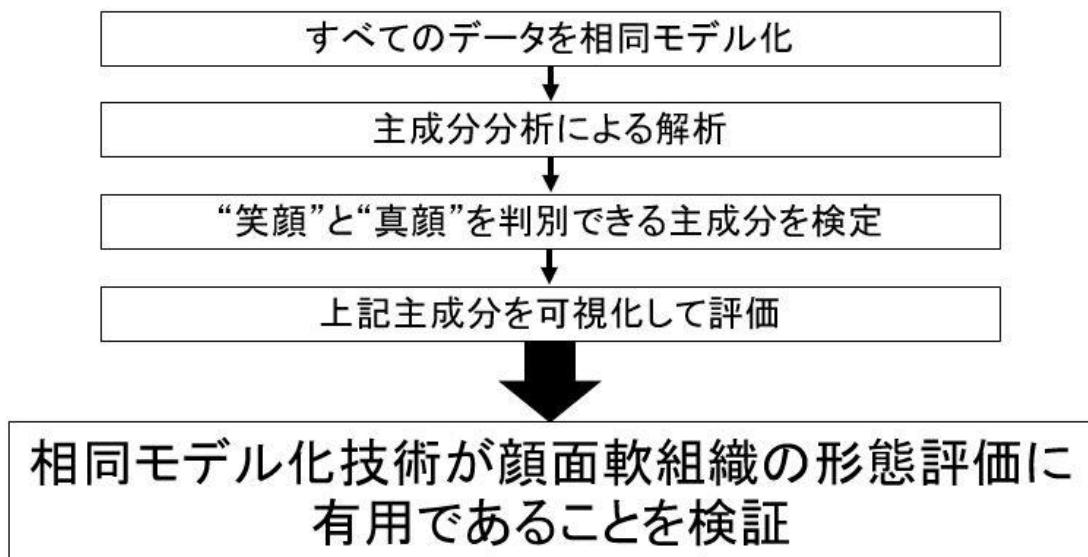


図 8：研究 I-2 のフローチャート

### 3. 結果

#### 3.1. 被検者全体での“笑顔”と“真顔”的比較

被検者全体において、第1主成分の寄与率は24.9%、第8主成分までの累積寄与率は76.2%であった（表2）。これより、第8主成分までの主成分で全変数が持っている情報の75%以上が再現されていた。また“笑顔”と“真顔”を比較すると第2主成分と第4主成分において有意差を認めた。

表2：被検者全体の主成分分析結果

主成分	固有値	累積寄与率 (%)	平均スコア		p値	sig.
			“笑顔”	“真顔”		
第1主成分	7280.5	24.9	38.6	38.4	0.98	n.s.
第2主成分	5856.3	44.9	50.0	27.0	<0.01	**
第3主成分	2490.4	53.4	44.6	32.4	0.02	n.s.
第4主成分	1913.7	60.0	28.5	48.5	<0.01	**
第5主成分	1545.2	65.3	40.6	36.4	0.40	n.s.
第6主成分	1253.9	69.5	43.4	33.6	0.05	n.s.
第7主成分	1065.4	73.2	33.8	43.2	0.06	n.s.
第8主成分	873.9	76.2	42.0	35.0	0.17	n.s.

sig.：“笑顔”と“真顔”を比較した場合の有意差の有無  
\*: p < 0.05, \*\*: p < 0.01, n.s. : not significant

被検者全体での第2、4主成分におけるそれぞれの仮想顔面形態を示した（図9）。第2主成分では、輪郭の高径と幅径、オトガイ部の突出など被検者の個体差と考えられる要素に違いがあった。第4主成分では、上下眼瞼の短縮や鼻翼基部の挙上、頬部の豊隆および上下唇の後

方移動が示されており、“笑顔”と“真顔”の違いと考えた。

有意差を認めなかった主成分について、第1主成分は輪郭の高径・

幅径と上唇の垂直方向、第3主成分は下顎面高と鼻唇溝の深度を違い

として認めた。

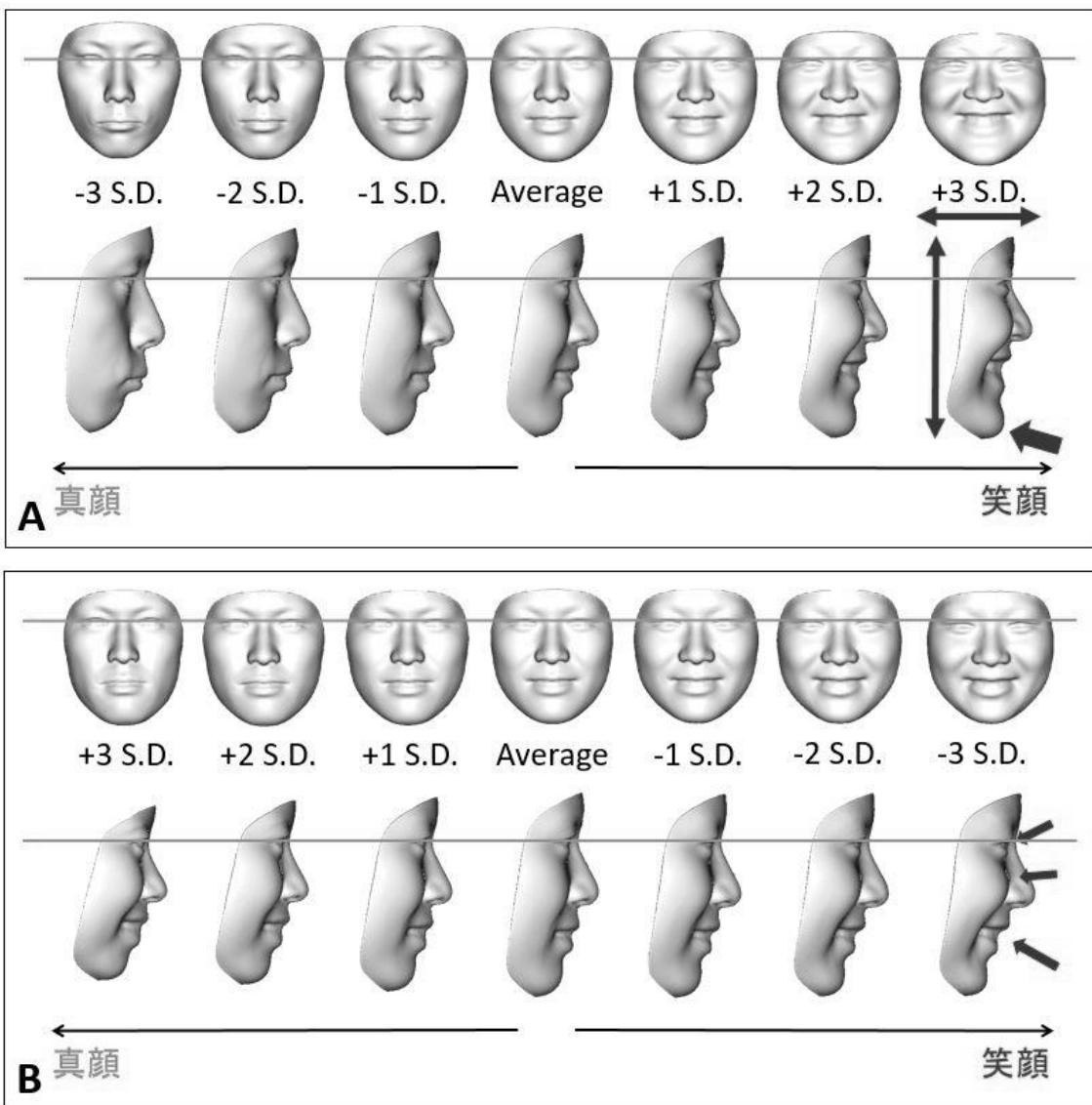


図9：被検者全体での“笑顔”と“真顔”を比較した標準偏差(1 S.D.)ごと

の仮想顔面形態(第2主成分(A)、第4主成分(B))

(上段：正面観、下段：右側面観)

A：“笑顔”に輪郭の高径と幅径の広がり、オトガイ部の突出を認めた。

B：“笑顔”に上下眼瞼の短縮、鼻翼基部の挙上、頬部の豊隆、上下唇の後方への牽引を認めた。

### 3.2. 男性および女性での“笑顔”と“真顔”的比較

男性において、第1主成分の寄与率は29.2%、第7主成分までの累積寄与率は78.0%であった（表3）。また“笑顔”と“真顔”を比較すると第2主成分と第4主成分において有意差を認めた。

表3：男性の主成分分析結果

主成分	固有値	累積寄与率 (%)	平均スコア		p値	sig.
			“笑顔”	“真顔”		
第1主成分	8546.2	24.9	17.0	22.0	0.17	n.s.
第2主成分	5269	47.2	25.6	13.4	<0.01	**
第3主成分	2451.9	55.6	19.8	19.2	0.88	n.s.
第4主成分	2098.5	62.8	13.0	26.0	<0.01	**
第5主成分	1936.8	69.4	18.8	20.2	0.73	n.s.
第6主成分	1402	74.2	22.8	16.2	0.07	n.s.
第7主成分	1111.6	78.0	20.5	18.5	0.57	n.s.
第8主成分	867.7	81.0	13.1	20.0	0.82	n.s.

sig.：“笑顔”と“真顔”を比較した場合の有意差の有無  
\* : p < 0.05, \*\* : p < 0.01, n.s. : not significant

女性において、第1主成分の寄与率は22.7%、第7主成分までの累積寄与率は77.4%であった（表4）。また“笑顔”と“真顔”を比較すると第1主成分と第4主成分において有意差を認めた。

表4：女性の主成分分析結果

主成分	固有値	累積寄与率 (%)	平均スコア		p値	sig.
			“笑顔”	“真顔”		
第1主成分	6637.7	22.7	26.0	13.1	<0.01	**
第2主成分	6123.9	43.6	21.7	17.3	0.22	n.s.
第3主成分	3119.8	54.3	16.2	22.8	0.07	n.s.
第4主成分	2158.2	61.7	24.2	14.8	<0.01	**
第5主成分	1783.3	67.8	21.8	17.2	0.20	n.s.
第6主成分	1534.9	73.0	19.4	19.6	0.95	n.s.
第7主成分	1280.6	77.4	18.3	20.7	0.52	n.s.
第8主成分	907.6	80.5	17.0	22.1	0.16	n.s.

sig.：“笑顔”と“真顔”を比較した場合の有意差の有無  
\* : p < 0.05, \*\* : p < 0.01, n.s. : not significant

男性での第2、4主成分、女性での第1、4主成分におけるそれぞれの仮想顔面形態を示した（図10、11）。

男性の第2主成分では、輪郭の高径と幅径、オトガイ部の前後的位置などに違いがみられ、被検者全体の第2主成分と同一の所見であつた。第4主成分では、上下眼瞼の短縮や頬部の豊隆、上下唇の後方移動においては被検者全体の第4主成分と同程度の違いであったが、同主成分と比較して鼻翼基部の挙上がより著明であった。

女性の第1主成分も、男性の第2主成分と同一の所見であった。第4主成分では上下眼瞼の短縮や鼻翼基部の挙上は被検者全体の第4主成分と同程度の違いであったが、同主成分と比較して頬部の豊隆と鼻唇溝の深度がより著明であった。

有意差を認めなかつた主成分について、男性の第1主成分は輪郭の高径・幅径と頬部全域の内外側方向、第3主成分は鼻柱の長さとオトガイ・下唇の垂直方向を違いとして認めた。

一方、女性の第2主成分は輪郭の高径・幅径とオトガイの垂直方向、第3主成分はオトガイの上下前後方向と上唇の垂直方向においてそれぞれ違いがみられた。

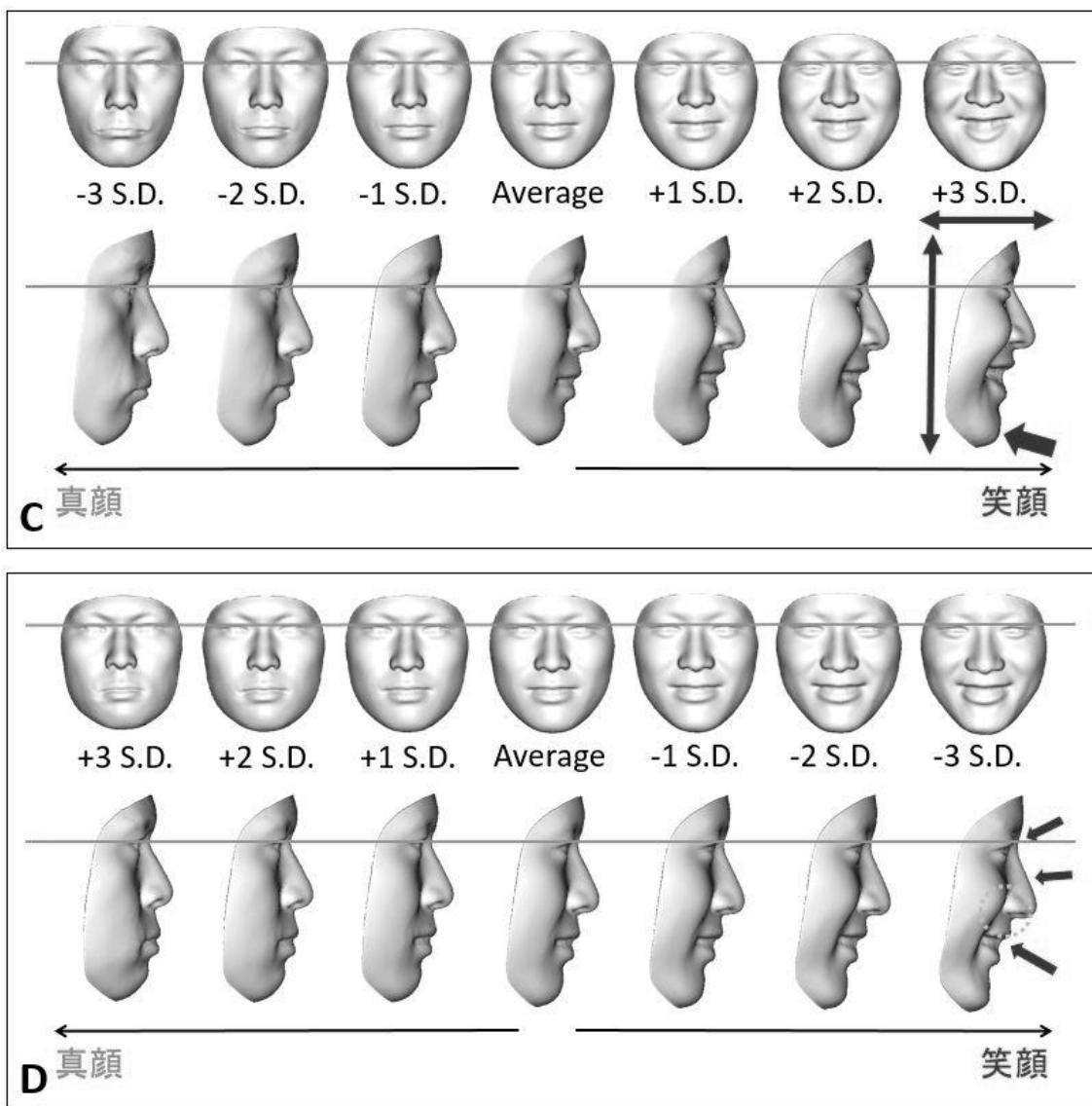


図 10：男性での“笑顔”と“真顔”を比較した標準偏差 (1 S.D.) ごとの仮想顔面形態 (第 2 主成分 (C)、第 4 主成分 (D))

C：“笑顔”に輪郭の高径と幅径、オトガイ部の突出を認めた。

D：“笑顔”に下眼瞼の短縮、頬部の豊隆、上下唇の後方への牽引を認め、特に鼻翼基部の挙上が著明であった。

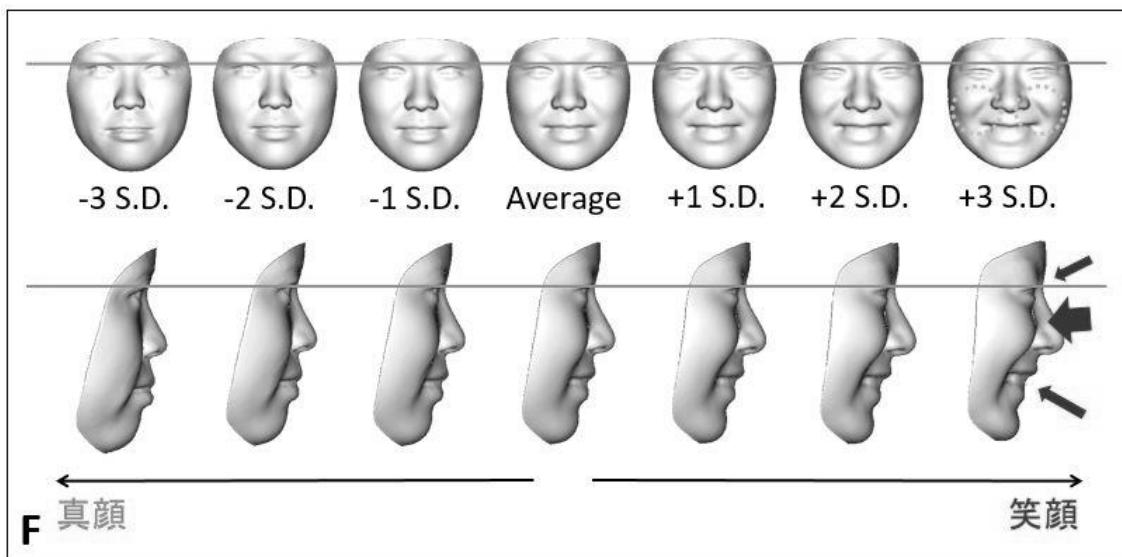
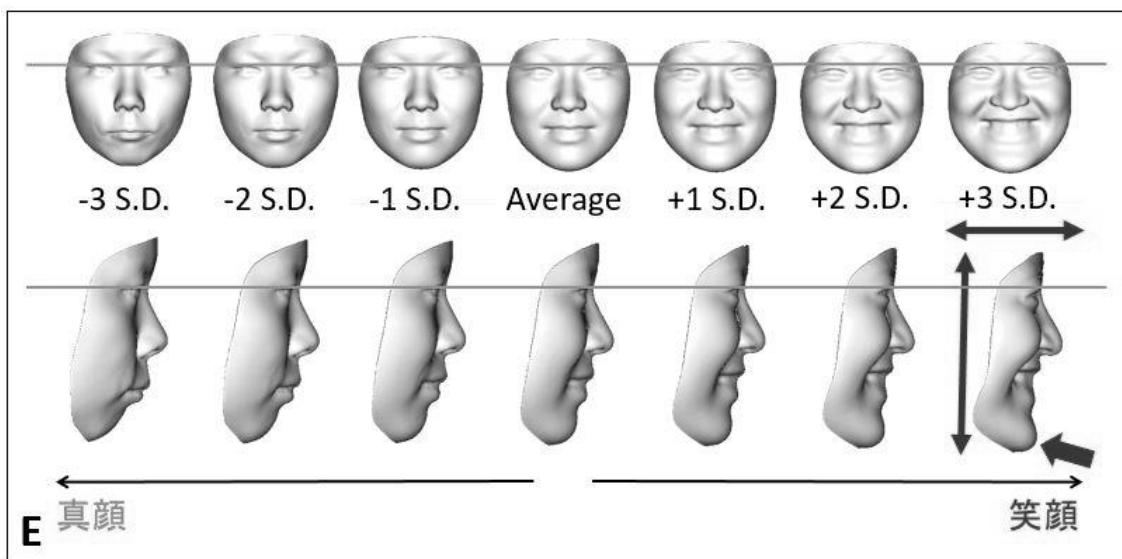


図 11：女性での“笑顔”と“真顔”を比較した標準偏差（1 S.D.）ごとの仮想顔面形態（第 1 主成分（E）、第 4 主成分（F））

E：“笑顔”に輪郭の高径と幅径、オトガイ部の突出を認めた。

F：“笑顔”に上下眼瞼の短縮、鼻翼基部の挙上を認め、特に頬部の豊隆と鼻唇溝の深度が著明であった。

#### 4. 考察

口腔外科領域では、顔面の軟組織形態の評価は治療のゴールを決定する上で重要な因子の一つである。特に顎変形症患者に対する顎矯正手術では重要となり、近年はビデオカメラや立体カメラによる表情の違いも含めた顔面軟組織の形態評価が進められている<sup>9-11</sup>。

近年、人体モデルの研究において、足や胴体部、および頭部に適用される表面の細分化の基礎となるモデリング技術が開発されており、その一環として相同モデル化技術が近年注目されている<sup>15-18</sup>。相同モデル化技術は、象物の周囲の制御格子点が移動することで対象部の形状を移行的に変形させることができるフリーフォームデフォメーション(FFD)メソッドを応用しており、基準となるボディフォーム(別称:テンプレートモデル)から他のボディフォームに対応するよう自動的に変形させる技術である<sup>17</sup>。この技術により共通した頂点数と位相幾何学から形状を表すことが可能となる。本研究では、顔面軟組織の形態解析において、個別のポリゴン並びに各頂点のひずみと位置変化を可視化することで、解剖学的ランドマークの設定が困難な部位を含めた評価方法を確立するため、相同モデル化技術を用いることとした。

上記を確立するためには、同一個人においても顔面軟組織形態を変化

させると、その特徴の違いを識別し、解剖学的ランドマークの設置が困難な部位もあわせて評価できる必要がある<sup>12,13</sup>。そのため、過去における同一個人における顔面軟組織形態の変化について、再現性が取りやすい表情に焦点を当て、これまでの XYZ 座標軸での形態評価と同様かつ新たな所見を得られるか比較することで、有用性があるか検証した。

Houstis らは、健康な被検者を対象にして、安静時、自発的な笑顔、引き笑顔、lip pucker (=くちすぼめ顔)、最大開口時それぞれの表情を指示してビデオカメラを用いて日数を置いて複数回撮影し、眼瞼、鼻翼および口唇における解剖学的ランドマークの水平および垂直的距離差を測定することで、どの表情が被検者にとって再現しやすいかを検証した<sup>24</sup>。その結果、口唇における解剖学的ランドマークが取りづらい最大開口時以外の表情はいずれも被験者における再現性が高いと報告している。今回は、相同モデル化技術の顔面軟組織評価を確立するためにはじめに扱う表情として、顎変形症患者の術前後の評価項目となる“笑顔”に着目し、撮影において表情の指示がしやすく軟組織における頬部の動きが大きい自発的な“笑顔”を、安静時の“真顔”とともに相同モデル化技術を用いて“笑顔”と“真顔”における顔面軟組織形態の形

態変化を可視化することで、“笑顔”の特徴を評価することとした<sup>14</sup>。

三次元データを相同モデル化する過程において、Mochimaru らはデータの表面に設定するうえでヒューマンエラーが低い解剖学的ランドマークを設定することが重要だと報告している<sup>17,18</sup>。しかし、これまで顔面軟組織の形態計測において表面上に設定する解剖学的ランドマークの数および部位は過去の報告間で統一されておらず、またいざれも眼瞼や鼻翼、口唇に密度が高く集中している傾向にあった<sup>9,25,26</sup>。

そのため研究 I -1 にて検者内信頼性において解剖学的ランドマークの精度を検証した。その結果、N, Ps-R, Ps-L, Ac-R, Ac-L, Sn, Cph-R, Cph-L, St, Li, Srn が再現性の高いランドマークであることが明らかとなつた。相同モデル化を行うには、解剖学的ランドマークを指標にしてデータの重ね合わせをするため、解剖学的ランドマークは広範囲に分布していることが望ましい<sup>15,16</sup>。本結果で得られた 11 点は上・中・下顔面に分散していることから相同モデル化への有用性が高いと考えられた。

次に研究 I -2 にて健常人を対象にして、“笑顔”と“真顔”的違いについて相同モデル化技術を用いて被検者全体と男女別でそれぞれ比較検討した。相同モデル化技術で形態評価する際に、ポリゴン並びに各

頂点のひずみと位置変化を明らかにするため、多変量解析として主成分分析を採用した。主成分分析では多次元のデータを、多数の指標を統合してXYZ座標に捉われない新しい総合的な指標を作り出す手法であり、2群を対象とする場合は各主成分における主成分スコアを検定して有意差のある主成分（＝2群間を判別できる指標となる成分）を視覚的に検証することで対象における形態的な違いを比較することがで  
きる<sup>21</sup>。

Leeらは日本人女性と台湾人女性の右足の三次元データでの形態の違いを、相同モデル化技術を用いて主成分分析にて解析している<sup>27</sup>。その結果、第1主成分で足全体のサイズ、第2主成分で足背の厚さとアーチ、第3主成分で母趾のラインを表しており、第3主成分で有意差を認めていた。すなわち低次の主成分では個々の立体データの大きさを表し、高次の主成分になるにつれて特定の領域の差分を示す傾向にある。

今回、被検者全体では有意差のみられた第2主成分で輪郭の高径と幅径に違いがあり、有意差のみられなかった第1主成分と第3主成分においても輪郭全体の内外方向や下顎面高を表していたことから、上記の報告のように個々の顔貌の大きさが反映されていると示唆された。

これは男性の第 2 主成分および女性の第 1 主成分においても同様と考  
えられた。

一方、被検者全体の第 4 主成分では上下眼瞼間距離の短縮、鼻翼の挙  
上し、頬部の豊隆および上下唇の後方移動が顔面軟組織形態の違いとし  
て表れていた。Kawamura らは健常人を被験者として自発的な笑顔と  
真顔を指示して平面写真で撮影し、被検者とは異なる複数の評価者が点  
数化した笑顔であるかどうかのスコアと、笑顔における顔面軟組織の陰  
影を反映する鮮鋭度の相関を検証しており、その結果、評価者が付けた  
笑顔のスコアが高い健常人の笑顔においては、真顔と比べて頬部や眼瞼、  
鼻翼、上下唇での鮮鋭度に違いがみられる傾向にあったと報告している  
<sup>28</sup>。また、この報告では評価者が付けた笑顔のスコアにおいて、女性の  
笑顔において“女性らしさ”は真顔と変化がないが、一方で男性の笑顔  
において“男性らしさ”は真顔よりも減少しているとの回答が得られた  
が、性差の特徴については言及されていない。

相同モデル化技術により導出された男性、女性それぞれの第 4 主成分  
では、被検者全体の第 4 主成分と同じ部位に“笑顔”的特徴がみられる  
一方で、男性は鼻翼基部の挙上がり、女性は頬部領域の突出、鼻唇溝の深  
度がそれぞれ強く反映される結果となり、女性は男性と比較して下顔面

の領域に笑顔の特徴が表れていた。

男性と女性で笑顔の特徴の違いが表れた要因として、頭部の浅頭筋を構成する各筋肉の組織量および筋力の差が反映されたことが考えられる。Brand らは、頬筋と笑筋は口唇周囲の水平方向の動きを担う一方で、上唇挙筋と大頬骨筋は口唇や頬部を垂直方向に牽引することを報告しており、本研究の結果を参照すると、男性は上唇挙筋と大頬骨筋が、女性は頬筋と笑筋が発達している傾向にあると考えられた<sup>29</sup>。また、この性差における軟組織形態の違いにより、前述の Kawamura らが言及した男性らしさは、上唇挙筋と大頬骨筋の発達で減弱させる可能性がある<sup>28,30</sup>。

このことから、相同モデル化技術を用いて健常人の“笑顔”における顔面軟組織の形態変化を検証することで、解剖学的ランドマークの設置が困難な部位も含めて過去の報告と同様の所見が得られ、かつ男女間を比較すると新たな“笑顔”的特徴を認めたことから、相同モデル化技術は顔面軟組織の形態評価に有用であることが示唆された。

## 5. 小括

被検者の“笑顔”と“真顔”を比較すると、被検者全体では上下眼

瞼間距離の短縮、鼻翼基部の挙上、頬部の豊隆および上下唇の後方移動が顔面軟組織形態の違いとして表れていた。一方男性と女性それぞれにおける解析では、鼻翼基部や頬部、鼻唇溝に男女で程度に違いがあることが明らかになった。

相同モデル化技術は頬部など計測困難な部位も評価でき、かつ過去の報告と同様の表情の特徴を反映できて性差にて新しい知見も得られたことから、本技術は顔面軟組織評価に有用だと考えた。

## 研究Ⅱ：相同モデル化技術を用いた顎矯正手術における

### 顔面軟組織形態の評価

顎矯正手術後に、健常人と同じ顔面軟組織形態を得ることは非常に重要となる<sup>25,31</sup>。そこで研究Ⅲでは、相同モデル化技術を用いて、骨格性下顎前突症患者での下顎後方移動術の術前後における顔面軟組織形態の違い、および“笑顔”と“真顔”それぞれにおいて健常人と比較することで治療を評価することを目的とした。

#### 1. 対象および方法

##### 1.1. 対象

2016年4月から2018年3月までに、九州大学病院顔面口腔外科で移動量4mm以上の下顎後方移動術が行われた先天性疾患および外傷の既往のない日本国籍の骨格性下顎前突症患者男性10人（平均年齢28.2±7.9歳）、女性16人（平均年齢23.1±4.6歳）の計26人（平均年齢25.0±6.6歳）を対象とした。そのうち、下顎単独移動術は15人（男性6人、女性9人）、上下顎同時移動術は11人（男性4人、女性7人）であった。

コントロール群として、研究Ⅱの対象から年齢および性別において傾向スコアマッチングを行い、男性 10 人（平均年齢  $23.2 \pm 1.7$  歳）、女性 16 人（平均年齢  $23.8 \pm 1.8$  歳）の計 26 人（平均年齢  $23.6 \pm 1.8$  歳）を用いた。

## 1.2. 方法

### 1.2.1. 顔面データの構築

顔面データは研究Ⅱに準じて“笑顔”と“真顔”を撮影して構築し、テンプレートデータも同様に研究Ⅱで作製したデータを使用した。対象患者は当院矯正歯科または他矯正歯科医院での術前矯正治療終了後から下顎後方移動術前日までの時期（術前）と下顎後方移動術から 6 か月以上経過して口腔内外に感染所見を認めない時期（術後）に撮影した。この 1 組のデータを術前および術後顔面データとした。撮影者はすべて同一人物とした。

### 1.2.2. 基本座標の設定

顔面データは研究 I-1 に準じて基準座標を設定した。

### 1.2.3. 相同モデル化のフィッティング

顔面データは研究 I-2 に準じてトリミングと相同モデル化をした。

### 1.2.4. 検定手法

HBM-Rugle を使用して術前患者と健常人、術後患者と健常人の各相同モデルデータを“笑顔”と“真顔”それぞれで比較するために分別して主成分分析を行った。

得られた各主成分における主成分スコアをそれぞれ Wilcoxon の順位和検定を用いて比較した。なお危険率 5%未満を有意とした。Wilcoxon の順位和検定を行うために統計解析ソフト JMP®を用いた。

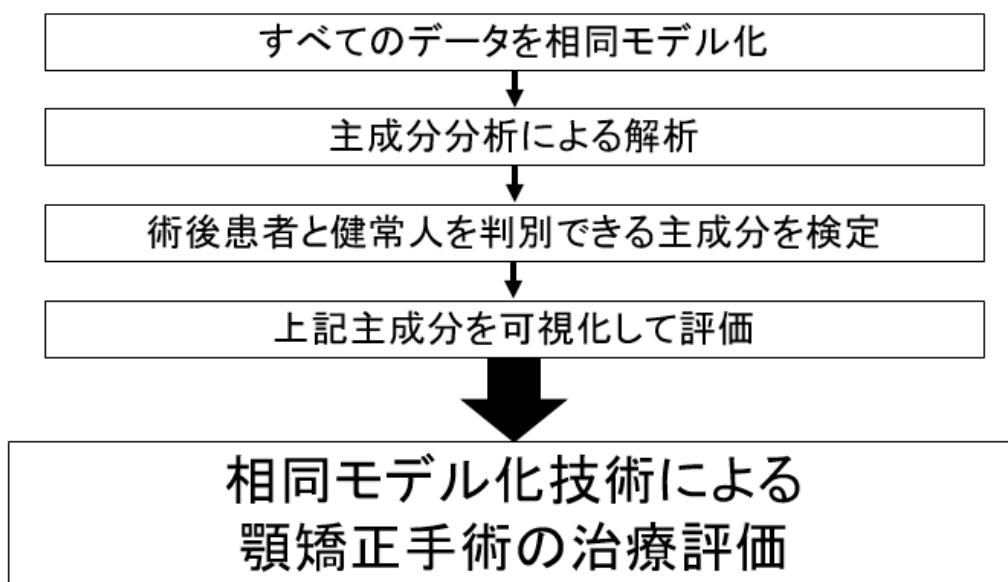


図 12：研究 II のフローチャート

## 2. 結果

### 2.1. “笑顔”、“真顔” それぞれにおける術前患者と健常人の比較

#### 2.1.1. 対象者全体での術前患者と健常人の比較

術前患者と健常人において、“笑顔”は第8主成分まで、“真顔”は第7主成分までで75%以上の累積寄与率を示した。主成分分析結果では、“笑顔”は第1、2、3、4主成分で、“真顔”は第1、2、4主成分でそれぞれ有意差を認めた（表5）。

表5：対象者全体の主成分分析結果

“笑顔”					“真顔”				
主成分	平均スコア		p値	sig.	主成分	平均スコア		p値	sig.
	術前	健常人				術前	健常人		
第1主成分	34.0	19.0	<0.01	**	第1主成分	18.2	34.8	<0.01	**
第2主成分	22.3	30.7	0.04	*	第2主成分	32.1	20.9	<0.01	**
第3主成分	21.8	31.2	0.03	*	第3主成分	26.4	26.6	0.96	n.s.
第4主成分	33.2	19.8	0.02	*	第4主成分	26.4	26.6	<0.01	**
第5主成分	25.2	27.7	0.56	n.s.	第5主成分	28.3	24.7	0.38	n.s.
第6主成分	26.1	26.9	0.85	n.s.	第6主成分	24.6	28.4	0.37	n.s.
第7主成分	28.9	24.1	0.25	n.s.	第7主成分	27.4	25.6	0.67	n.s.
第8主成分	26.4	26.6	0.98	n.s.	第8主成分	27.0	26.0	0.82	n.s.

sig.：術前とボランティアを比較した場合の有意差の有無  
\* : p < 0.05, \*\* : p < 0.01, n.s. : not significant

対象者全体の“笑顔”の第1、2主成分と“真顔”の第1、2主成分

の仮想顔面形態を示した(図13、14)。いずれにおいても下顎面高径

と中顔面の前後方向、オトガイの前下方方向の違いが著明であった。

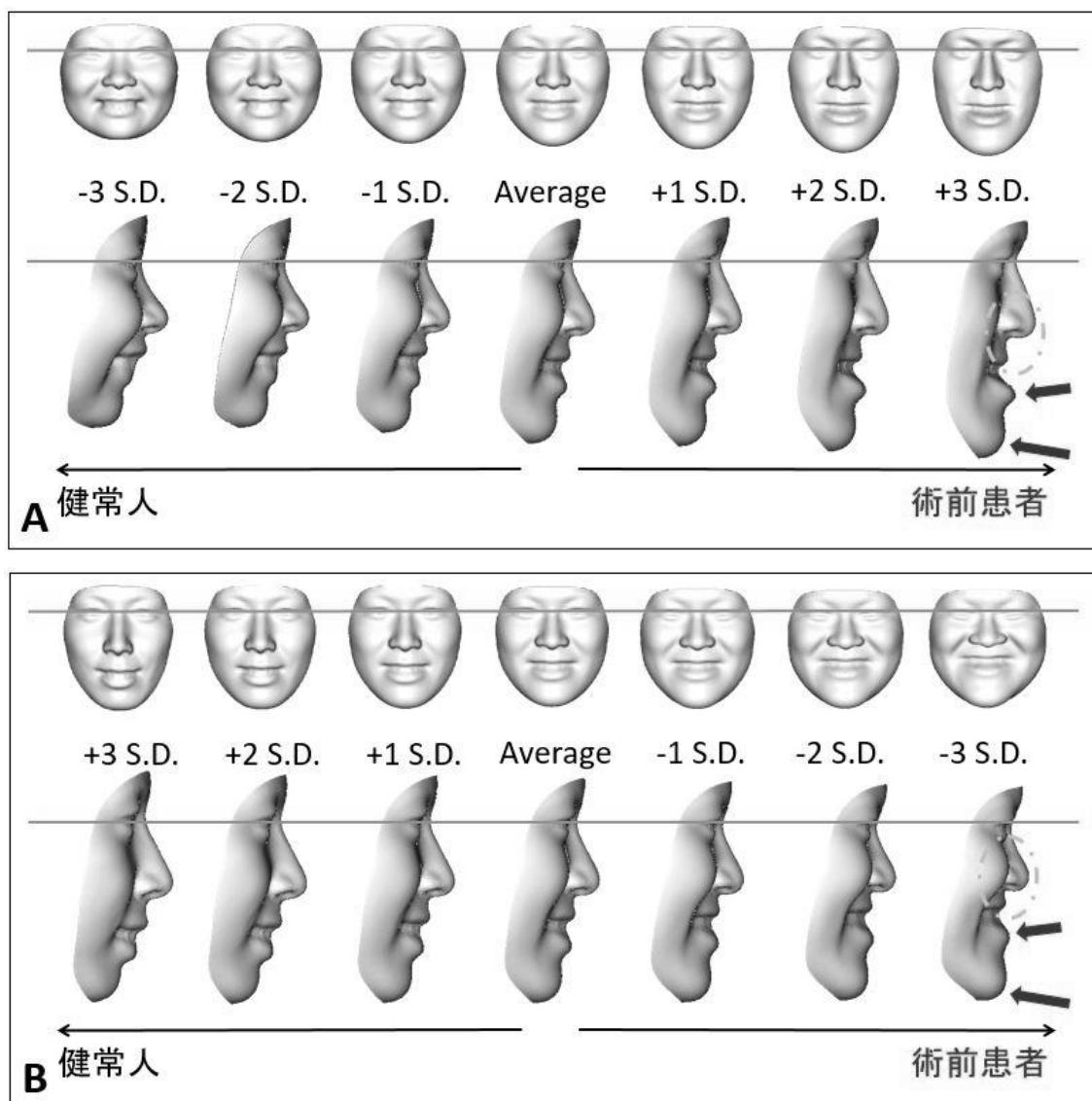


図13：対象者全体での“笑顔”における術前患者と健常人を比較した標準

偏差(1 S.D.)ごとの仮想顔面形態(第1主成分(A)、第2主成分(B))

A、B：いずれも術前患者に下顎面高径の広がり、中顔面の陥凹、

オトガイ部の突出を認めた。

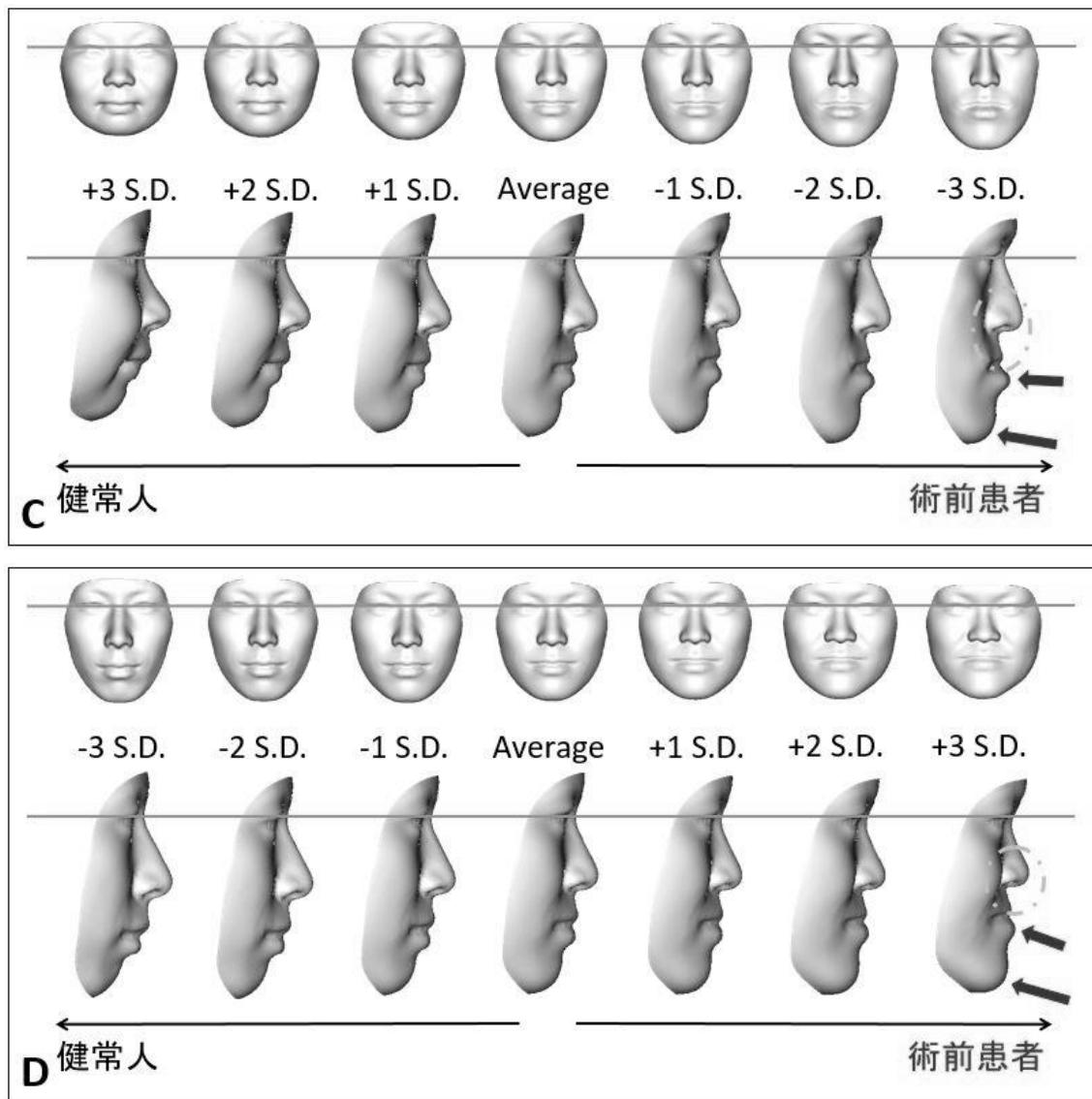


図 14：対象者全体での“真顔”における術前患者と健常人を比較した標準

偏差 (1 S.D.) ごとの仮想顔面形態 (第 1 主成分 (C)、第 2 主成分 (D))

C、D：いずれも術前患者に下顎面高径の広がり、中顔面の陥凹、  
オトガイ部の突出を認めた。

### 2.1.2. 男性および女性での術前患者と健常人の比較

術前患者男性と健常者男性において、“笑顔”、“真顔”とともに第6主成分までで75%以上の累積寄与率を示した。主成分分析結果では、“笑顔”は第1、2主成分で、“真顔”は第1主成分でそれぞれ有意差を認めた（表6）。

表6：男性の主成分分析結果

主成分	“笑顔”				“真顔”			
	平均スコア		p値	sig.	平均スコア		p値	sig.
	術前	健常人			術前	健常人		
第1主成分	13.7	7.3	0.02	*	15.5	5.5	<0.01	**
第2主成分	14.2	6.8	<0.01	**	10.7	10.3	0.91	n.s.
第3主成分	10.9	10.1	0.79	n.s.	11.0	10.0	0.73	n.s.
第4主成分	9.1	11.9	0.31	n.s.	10.3	10.7	0.91	n.s.
第5主成分	11.0	10.0	0.73	n.s.	9.3	11.7	0.38	n.s.
第6主成分	9.8	11.2	0.62	n.s.	11.7	9.3	0.38	n.s.
第7主成分	10.3	10.7	0.91	n.s.	11.3	9.7	0.57	n.s.
第8主成分	10.4	10.6	0.97	n.s.	10.8	10.2	0.85	n.s.

sig.：術前とボランティアを比較した場合の有意差の有無  
\* : p < 0.05, \*\* : p < 0.01, n.s. : not significant

術前患者女性と健常者女性において、“笑顔”、“真顔”ともに第7主成分まで75%以上の累積寄与率を示した。主成分分析結果では、“笑顔”と“真顔”ともに第1、2主成分でそれぞれ有意差を認めた（表7）。

表7：女性の主成分分析結果

主成分	“笑顔”				“真顔”			
	平均スコア		p値	sig.	平均スコア		p値	sig.
	術前	健常人			術前	健常人		
第1主成分	21.8	11.2	<0.01	**	22.7	10.3	<0.01	**
第2主成分	12.6	20.4	0.02	*	12.8	20.2	0.03	*
第3主成分	19.4	13.6	0.09	n.s.	17.3	15.8	0.66	n.s.
第4主成分	18.6	14.4	0.21	n.s.	17.8	15.2	0.44	n.s.
第5主成分	15.8	17.3	0.66	n.s.	17.5	15.5	0.56	n.s.
第6主成分	16.3	16.8	0.90	n.s.	17.8	15.2	0.44	n.s.
第7主成分	18.3	14.8	0.30	n.s.	16.3	16.8	0.90	n.s.
第8主成分	17.0	16.0	0.78	n.s.	14.9	18.1	0.36	n.s.

sig.：術前とボランティアを比較した場合の有意差の有無  
\* : p <0.05, \*\* : p<0.01, n.s. : not significant

男性での“笑顔”的第1、2主成分と“真顔”的第1主成分、女性での“笑顔”的第1、2主成分と“真顔”的第1、2主成分の仮想顔面形態を示した（図15、16、17、18）。男性、女性いずれの主成分においても、“笑顔”と“真顔”どちらも下顎面高径とオトガイ部の前下方方向に同程度の違いがみられた。特に女性の“真顔”は頬部や鼻形態などの中顔面領域に違いはなかったが、男性は同領域において術前患者の中顔面領域は後方に位置する傾向にあった。

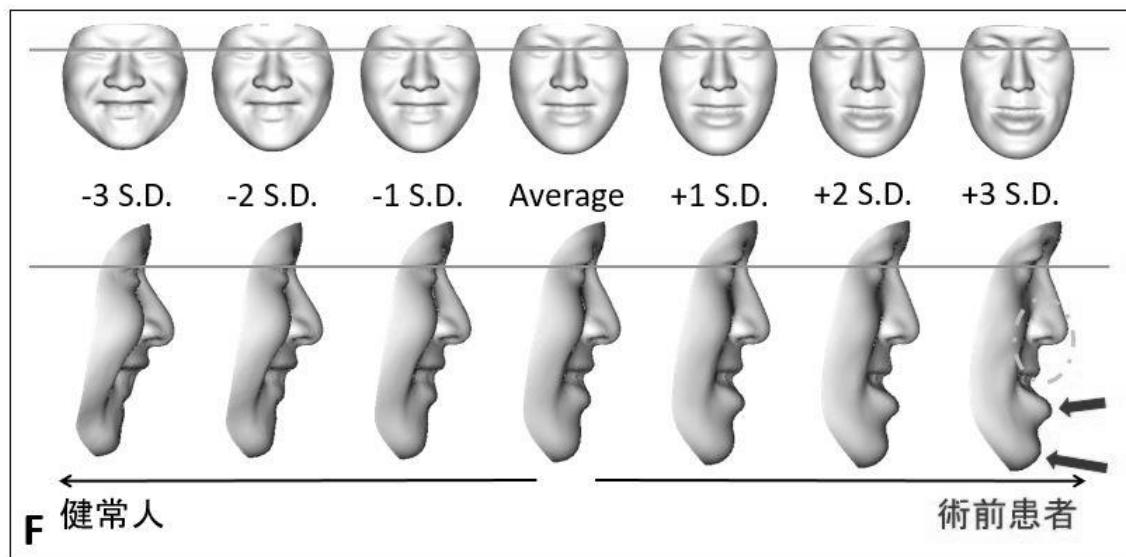
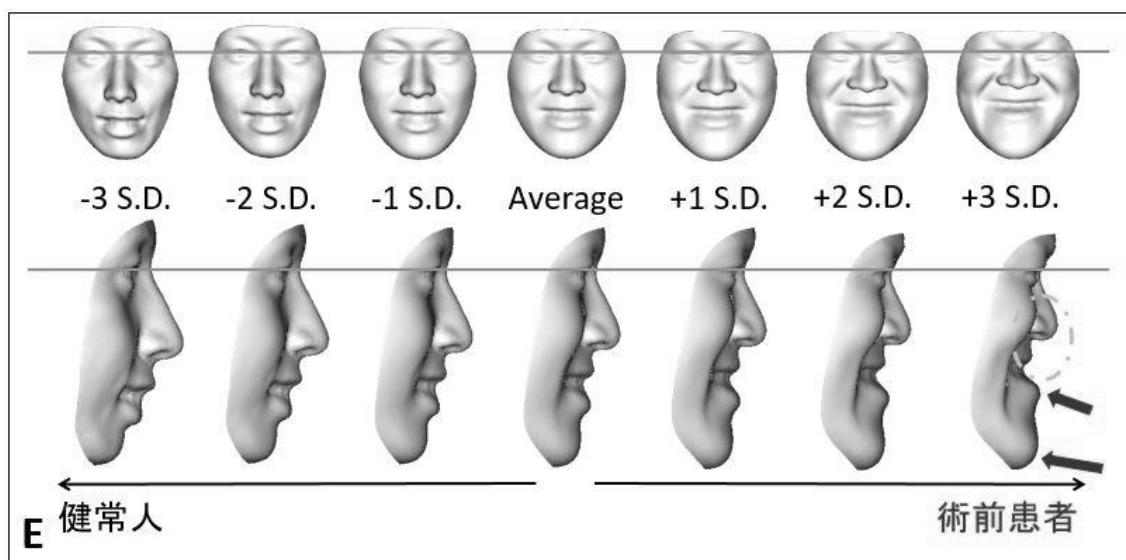


図 15：男性での“笑顔”における術前患者と健常人を比較した標準偏差

(1 S.D.) ごとの仮想顔面形態 (第 1 主成分 (E)、第 2 主成分 (F))

E、F：いずれも術前患者に下顎面高径の広がり、中顎面の陥凹、

オトガイ部の突出を認めた。

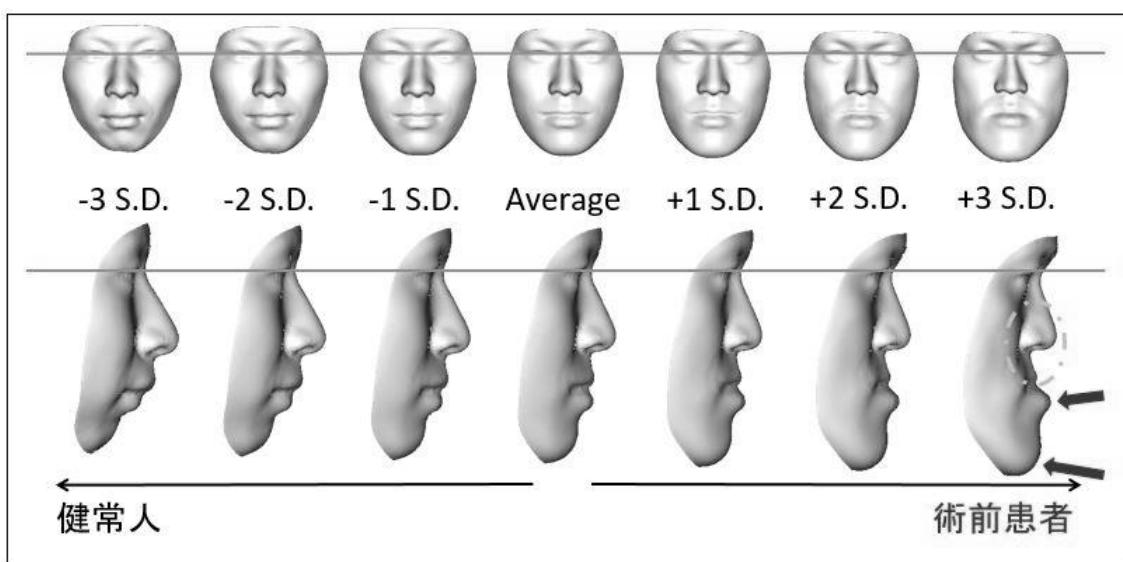


図 16：男性での“真顔”における術前患者と健常人を比較した標準偏差

(1 S.D.) ごとの仮想顔面形態（第 1 主成分）

術前患者に下顎面高径の広がり、中顎面の陥凹、オトガイ部の突出を認めた。

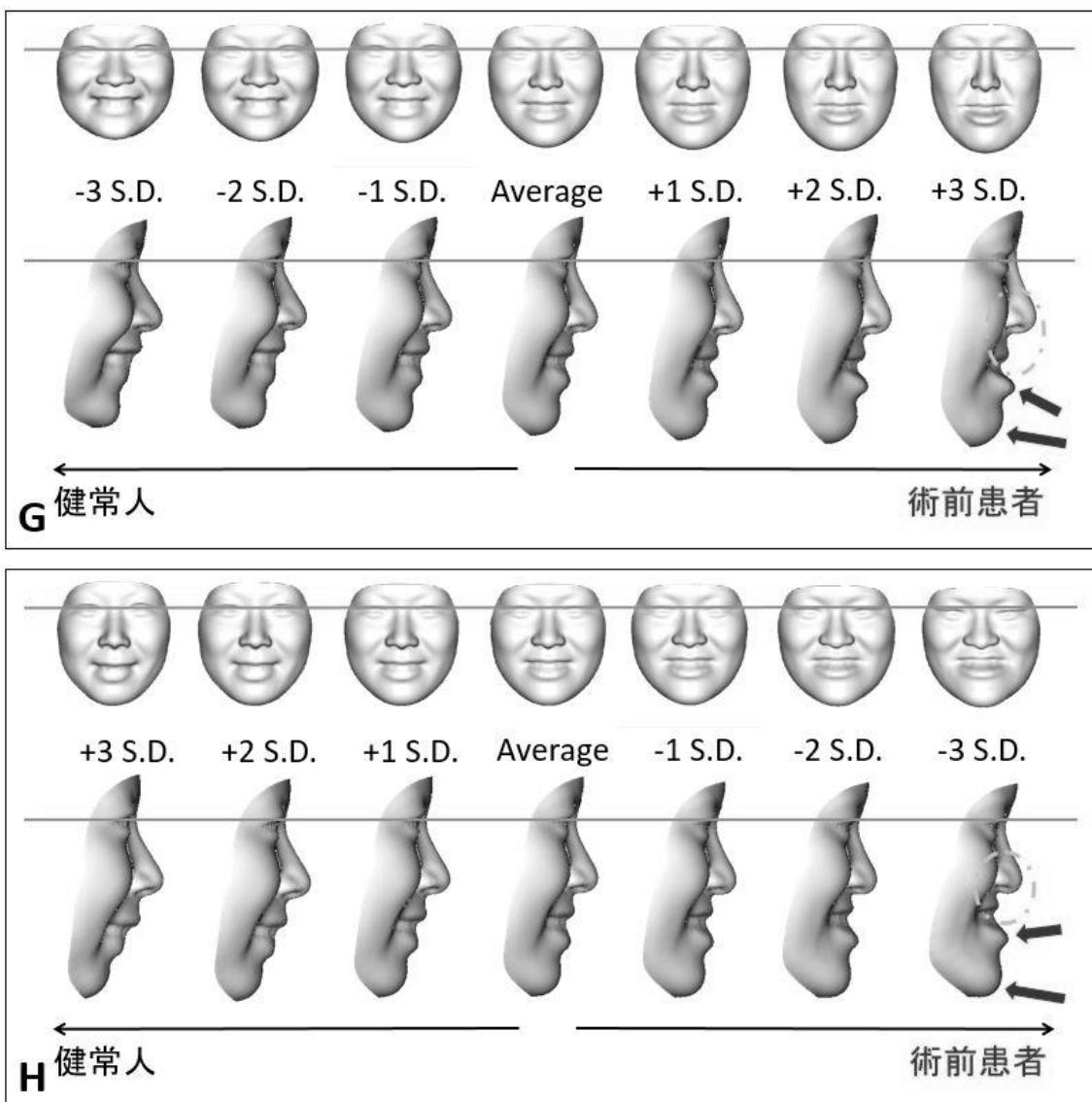


図 17：女性での“笑顔”における術前患者と健常人を比較した標準偏差

(1 S.D.) ごとの仮想顔面形態 (第 1 主成分 (G)、第 2 主成分 (H))

G、H：いずれも術前患者に下顎面高径の広がり、中顎面の陥凹、

オトガイ部の突出を認めた。

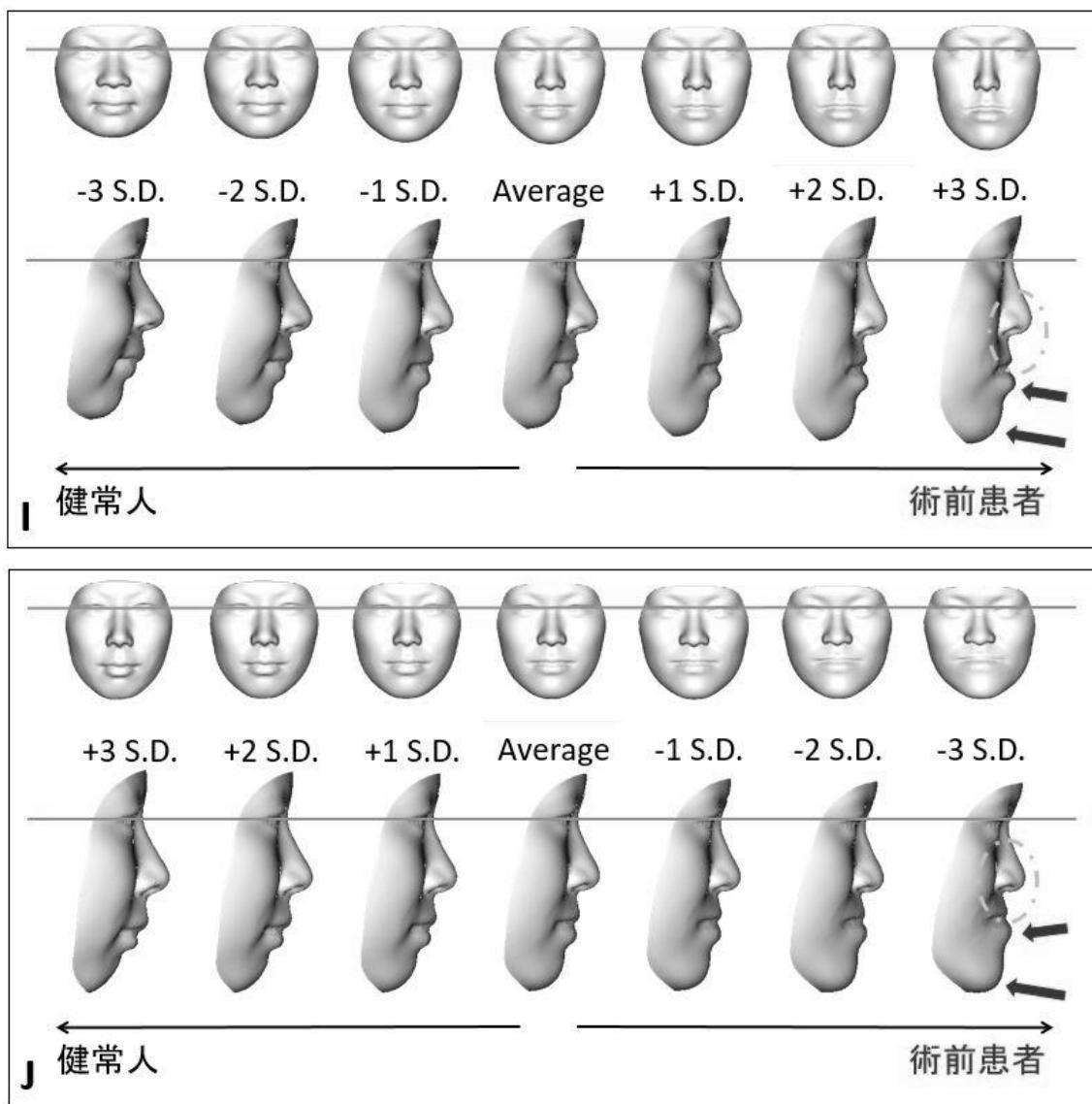


図 18：女性での“真顔”における術前患者と健常人を比較した標準偏差

(1 S.D.) ごとの仮想顔面形態 (第 1 主成分 (I)、第 2 主成分 (J))

I : 術前患者に下顎面高径の広がり、オトガイ部の突出を認めた。

J : 術前患者に下顎面高径の広がり、中顎面の陥凹、オトガイ部の突出を認めた。

## 2.2. “笑顔”、“真顔” それぞれにおける術後患者と健常人の比較

### 2.2.1. 対象者全体での術後患者と健常人の比較

術後患者と健常者において、“笑顔”は第9主成分まで、“真顔”は第8主成分までで75%以上の累積寄与率を示した。主成分分析結果では、“笑顔”は第2、6主成分で、“真顔”は第2主成分でそれぞれ有意差を認めた（表8）。

表8：対象者全体の主成分分析結果

主成分	“笑顔”				主成分	“真顔”			
	平均スコア		p値	sig.		平均スコア		p値	sig.
	術後	健常人			術後	健常人			
第1主成分	24.6	28.4	0.37	n.s.	第1主成分	29.2	23.8	0.20	n.s.
第2主成分	30.9	22.1	0.04	*	第2主成分	21.0	32.0	<0.01	**
第3主成分	26.3	26.7	0.95	n.s.	第3主成分	27.1	25.9	0.78	n.s.
第4主成分	24.7	28.3	0.41	n.s.	第4主成分	27.4	25.6	0.68	n.s.
第5主成分	29.2	23.8	0.20	n.s.	第5主成分	28.9	24.1	0.26	n.s.
第6主成分	31.2	21.8	0.03	*	第6主成分	23.2	29.8	0.12	n.s.
第7主成分	27.1	25.9	0.79	n.s.	第7主成分	29.3	23.7	0.18	n.s.
第8主成分	28.5	24.5	0.34	n.s.	第8主成分	24.0	29.0	0.23	n.s.

sig.：術後とボランティアを比較した場合の有意差の有無  
\* : p < 0.05, \*\* : p < 0.01, n.s. : not significant

対象者全体の“笑顔”的第2主成分と“真顔”的第2主成分の仮想顔面形態を示した（図19、20）。“笑顔”と“真顔”とともに、健常者と比較すると術後患者はオトガイと下唇が突出していたが、術前患者と健常人を比較したときよりも同部の突出程度は減少していた。“笑顔”と“真顔”それぞれの第2主成分を比較すると、鼻翼基部と上下

唇の垂直的な位置は同程度であった。

有意差を認めなかった主成分について、“笑顔”の第1主成分は輪郭の高径・幅径と頬部全域の内外側方向、第3主成分は頬部上方に限局した前後方向、第4主成分はオトガイと下唇の前後方向において違いがみられた。“真顔”の第1主成分は輪郭の高径・幅径と頬部全域の内外側方向、第3主成分は頬部上方に限局した前後方向、第4主成分は上下眼瞼の拡大・短縮にそれぞれ違いを認めた。

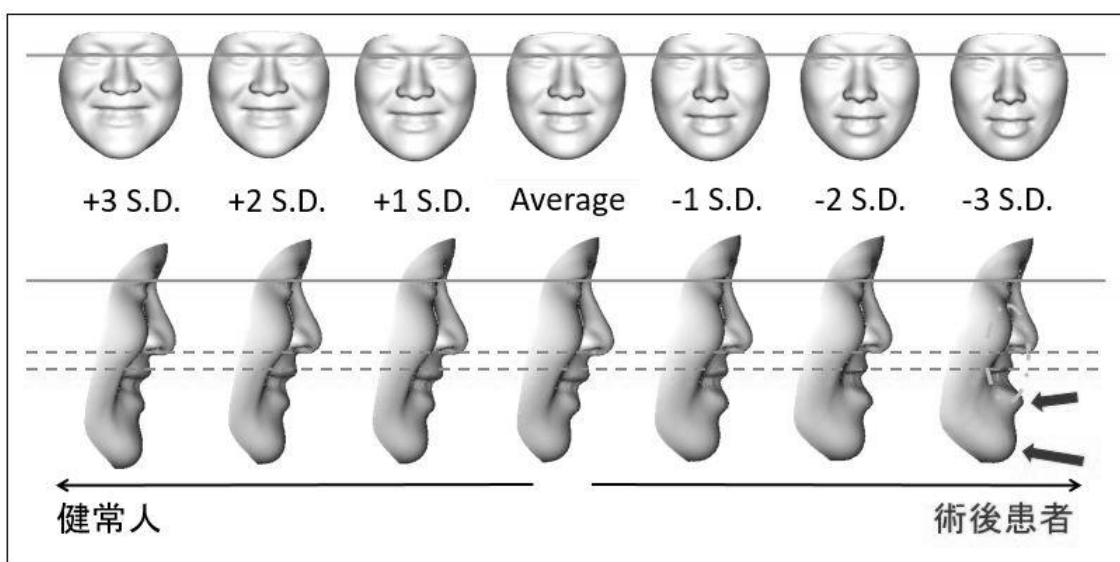


図 19：対象者全体での“笑顔”における術後患者と健常人を比較した標準偏差 (1 S.D.) ごとの仮想顔面形態 (第 2 主成分)  
術後患者にオトガイ部と下唇の突出を認めた。

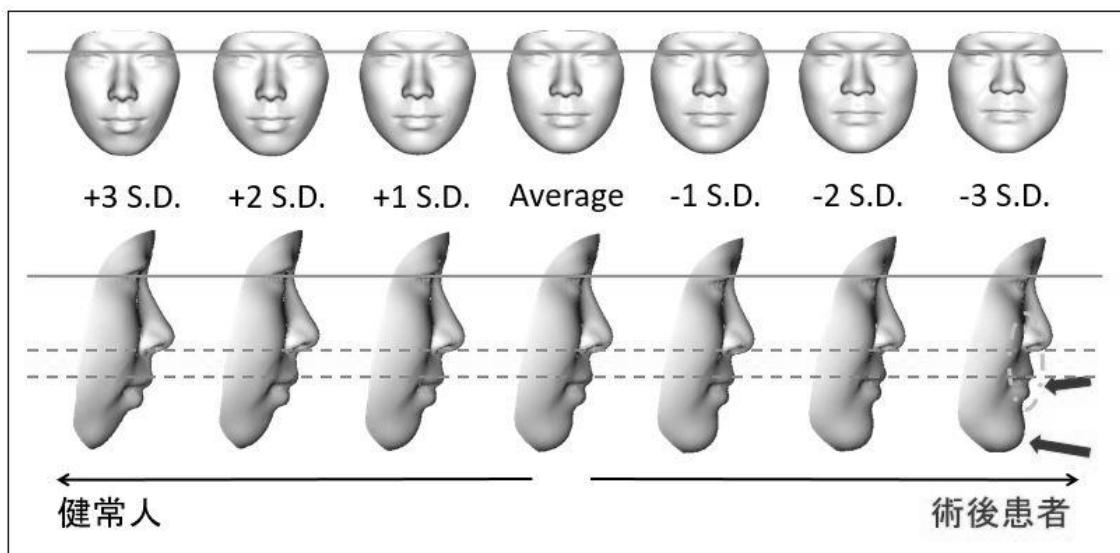


図 20：対象者全体での“真顔”における術後患者と健常人を比較した標準偏差 (1 S.D.) ごとの仮想顔面形態 (第 2 主成分)  
術後患者にオトガイ部と下唇の突出を認めた。

## 2.2.2. 男性および女性での術後患者と健常人の比較

術後患者男性と健常者男性において、“笑顔”と“真顔”とともに第7主成分までで75%以上の累積寄与率を示した。主成分分析結果では、“笑顔”は第4主成分で有意差を認め、“真顔”は有意差の認める主成分はなかった（表9）。

表9：男性の主成分分析結果

主成分	“笑顔”				主成分	“真顔”			
	平均スコア		p値	sig.		平均スコア		p値	sig.
	術後	健常人			術後	健常人			
第1主成分	12.0	9.0	0.27	n.s.	第1主成分	12.3	8.7	0.19	n.s.
第2主成分	8.7	12.3	0.19	n.s.	第2主成分	12.4	8.6	0.16	n.s.
第3主成分	10.0	11.0	0.73	n.s.	第3主成分	8.3	12.7	0.10	n.s.
第4主成分	7.8	13.2	0.04	*	第4主成分	12.0	9.0	0.27	n.s.
第5主成分	11.0	10.0	0.73	n.s.	第5主成分	8.4	12.6	0.12	n.s.
第6主成分	8.6	12.4	0.16	n.s.	第6主成分	9.3	11.7	0.38	n.s.
第7主成分	10.7	10.3	0.91	n.s.	第7主成分	10.1	10.9	0.79	n.s.
第8主成分	11.2	9.8	0.62	n.s.	第8主成分	11.0	10.0	0.73	n.s.

sig.：術後とボランティアを比較した場合の有意差の有無  
\* : p < 0.05, \*\* : p < 0.01, n.s. : not significant

術後患者女性と健常者女性において、“笑顔”と“真顔”とともに第8主成分までで75%以上の累積寄与率を示した。主成分分析結果では、“笑顔”では有意差の認める主成分はなく、“真顔”は第2、8主成分で有意差を認めた（表10）。

表10：女性の主成分分析結果

“笑顔”					“真顔”				
主成分	平均スコア		p値	sig.	主成分	平均スコア		p値	sig.
	術後	健常人				術後	健常人		
第1主成分	18.1	15.0	0.36	n.s.	第1主成分	13.9	19.1	0.12	n.s.
第2主成分	14.3	18.7	0.19	n.s.	第2主成分	13.0	20.0	0.04	*
第3主成分	13.8	19.2	0.11	n.s.	第3主成分	14.6	18.4	0.27	n.s.
第4主成分	17.5	15.5	0.56	n.s.	第4主成分	18.3	14.8	0.30	n.s.
第5主成分	17.3	15.8	0.66	n.s.	第5主成分	16.5	16.5	1.00	n.s.
第6主成分	14.1	18.9	0.16	n.s.	第6主成分	16.9	16.1	0.84	n.s.
第7主成分	15.3	17.6	0.51	n.s.	第7主成分	15.1	17.9	0.42	n.s.
第8主成分	17.0	16.0	0.78	n.s.	第8主成分	12.1	20.9	<0.01	**

sig.：術後とボランティアを比較した場合の有意差の有無

\* : p < 0.05, \*\* : p < 0.01, n.s. : not significant

男性での“笑顔”的第4主成分、女性での“真顔”的第2主成分の仮想顔面形態を示した（図21、22）。男性では、“笑顔”で有意差を認めた第4主成分にて術後患者はオトガイ部が突出していたが、下唇は健常人と比べて違いを認めなかった。一方で女性では、“真顔”で有意差を認めた第2主成分にて術後患者のオトガイ部と下唇が突出していた。

有意差を認めなかった主成分について、男性での“笑顔”的第1主

成分は顔面高径・幅径と中顔面の前後方向、第2主成分はオトガイの前後方向と下唇の垂直方向、第3主成分は上唇の垂直方向と上下眼瞼の挙上・下垂に違いがみられた。“真顔”の第1主成分は顔面高径・幅径と中顔面の前後方向、第2主成分は下顔面高と上下唇の前後方向、第3主成分はオトガイの上下前後方向、第4主成分は頬部の軽度前後方向にそれぞれ違いを認めた。

一方、女性での“笑顔”の第1主成分は輪郭の高径・幅径と鼻唇溝の深度、第2主成分はオトガイと上唇の前後方向、第3主成分は頬部の前後方向と上唇の垂直方向、第4主成分はオトガイと下唇の軽度前後方向に違いがみられた。“真顔”の第1主成分は輪郭の高径・幅径、第3主成分は頬部と上下唇の前後方向、第4主成分はオトガイの軽度上下前後方向にそれぞれ違いを認めた。

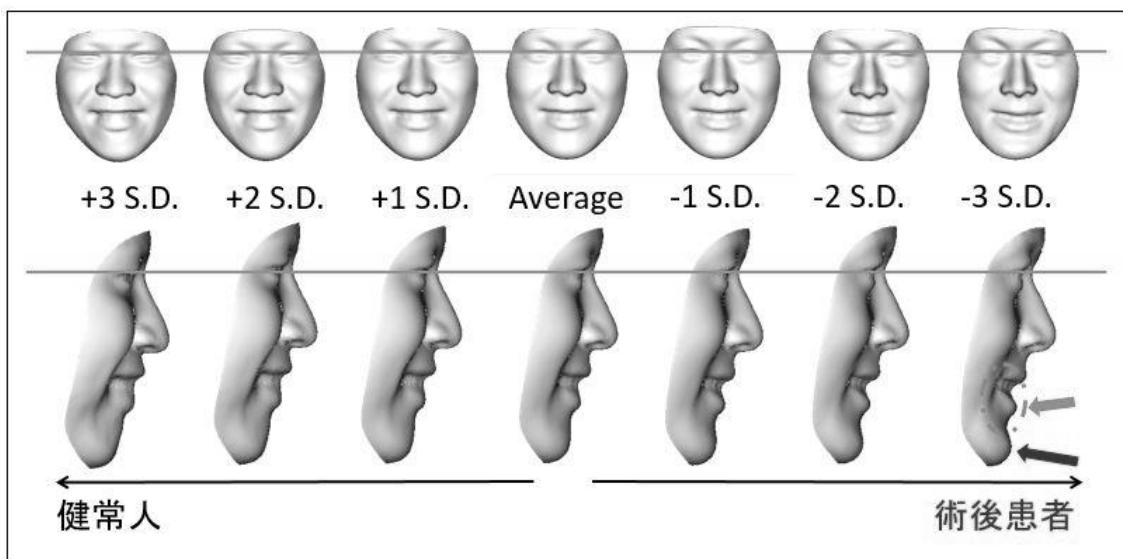


図 21：男性での“笑顔”における術後患者と健常人を比較した標準偏差

(1 S.D.) ごとの仮想顔面形態（第 4 主成分）

術後患者にオトガイ部の突出を認めたが、下唇は健常者と比べて違いを認めなかった。

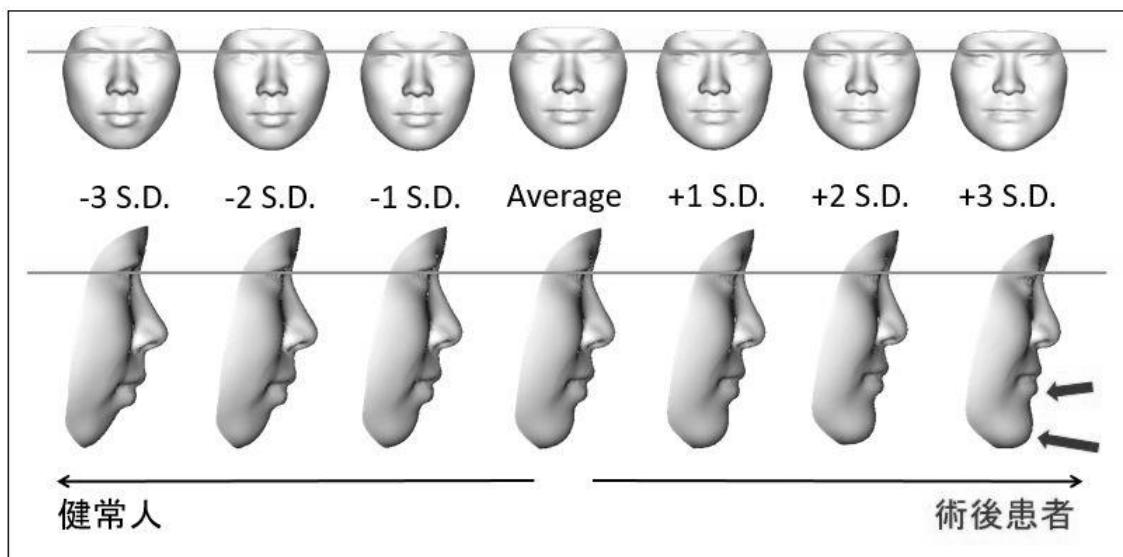


図 22：女性での“真顔”における術後患者と健常人を比較した標準偏差

(1 S.D.) ごとの仮想顔面形態（第 2 主成分）

術後患者にオトガイ部と下唇の突出を認めた。

### 3. 考察

矯正治療において診断・治療計画を立案する際には、顎顔面形態を比較するためにセファロ画像を用いた重ね合わせを行っている。顎顔面形態において特徴的な点を結んで作製した模式図（プロフィログラム）を用いた手法では、正常咬合を有する健常人から作製した標準プロフィログラムと重ね合わせて比較することで、診断・治療計画の立案や治療前後における治癒効果を検討することができる<sup>32,33</sup>。

これまで顎矯正手術における顔面軟組織の形態評価を扱った報告として、Stefan らはセファロ画像を用いて、顎後方移動術が行われた骨格性下顎前突症患者を対象にして下唇・オトガイ領域の硬組織と軟組織に解剖学的ランドマークを設定して、術後の硬組織の外科的変化に対する矢状面での軟組織の変化の相関を二変量線形回帰分析にて検証している<sup>34</sup>。この報告にて、下唇はオトガイよりも予測値と実測時でばらつきが大きく、機能的および解剖学的要因に依存した軟組織では測定や予測において精度の高い形態評価は困難であると結論づけており、また性別や術式を考慮しても軟組織の予測の大幅な改善ができないかったことが言及されている。

これらの実状から、顎変形症患者は顎矯正手術後において健常人と

同じ顔面軟組織形態を得ているかどうか、軟組織全域にわたって三次元的に比較することは、治療成績を評価するうえで重要と考えられる<sup>35</sup>。そこで研究Ⅱでは、研究Ⅰで検証した相同モデル化技術を用いて、骨格性下顎前突症患者での下顎後方移動術の術前後における顔面軟組織形態の違いを健常人とそれぞれ比較することで、術後における顔面軟組織形態の治療成績を評価した。この研究では、術前患者と健常人を比較した場合にて有意差のある主成分が認められることを前提として、術後患者と健常人を比較した場合は有意差のある主成分を認めない、すなわち術後患者と健常人とでは軟組織形態に違いがみられないことを仮説とした。

現在まで顎変形症患者の術前後における顔貌の形態変化について、セファロ画像および三次元カメラ・ビデオカメラなどの手法においても“笑顔”の獲得について検証している報告は少なく、またいすれも術前または予測されうる顔面軟組織と、術後の顔面軟組織の形態比較にとどまっている<sup>36,37</sup>。Nooreyazdan らは、顎変形症患者での術前と術後それぞれにおいて眼瞼・鼻翼・口唇周囲に解剖学的ランドマークを設置して“笑顔”の動きを撮影し、“真顔”から“笑顔”の形態変位量の違いを検証している<sup>38</sup>。その結果、骨格性 ClassⅢ患者の術後では上下唇と鼻唇溝の

上方への動きが増加し、下唇の前方への動きが減少したことを明らかにしており、今後は顎顔面の変形を持たない症例を同様に術後患者と比較検証することを後の研究課題として挙げている。

今回は上記に伴い、“笑顔”と“真顔”をあわせて評価対象とした。しかしながら研究 I-2 では健常人において男女間にて“笑顔”的特徴に違いがあることが示されたことから、術後患者では顔貌の獲得において性別ごとに治療目標が異なることが考えられた。そのため、研究 I と同様に対象者全体、男性、女性と分別して形態変化を検証することにした。

まず術前患者と健常人における比較では、“笑顔”と“真顔”どちらも主に第 1、第 2 主成分に下顎面高径とオトガイ部の前下方方向に大きく違いがみられた。これは骨格性下顎前突症患者の典型的な顔面軟組織の形態的特徴であり<sup>33</sup>、かつ個々の顔貌の大きさよりも強く影響を与えていたことから、相同モデル化技術を用いた評価では、下顎後方移動術にて大きく改善が見込まれる下顎面領域において術前患者と健常人に違いがみられることが明らかとなった。

続いて術後患者と健常人における比較をみると、対象者全体では“笑顔”と“真顔”それぞれの第 2 主成分にて術後患者はオトガイ部と下唇

が健常人と比べて前下方に位置していた一方で、“笑顔”と“真顔”とともに鼻翼基部と上下唇の垂直方向、頬部の前後方向に違いはみられなかつた。この結果について、術前では下顎骨の突出により圧迫されていた口輪筋、下唇下制筋およびオトガイ筋が、下顎後方移動術によって解放されて本来の組織の厚みを獲得したことで、術後においては健常人を想定した咬合関係を反映した顔面軟組織の形態とずれが生じたことが要因だと考えられた<sup>39</sup>。また、研究 I-2 で示された対象者全体での“笑顔”的特徴となる部位は術後と健常人とでは違いはみられなかつたことから、“笑顔”として反映される上唇挙筋や笑筋、大頬骨筋の動きや解剖学的位置は下顎後方移動術によって健常人と同様に追随され、目標となる“笑顔”は獲得できていることが示唆された<sup>29</sup>。

次に術後患者と健常人の比較において男女別にみると、男性では“笑顔”的第4主成分にて術後患者は健常人よりもオトガイ部の他に上下唇が後方にあり、対して女性では、“真顔”的第2主成分でオトガイ部の前後方向に限局して違いがみられ、被検者全体と同様の結果となつた。この結果について、男性の“笑顔”においては三島らによる“笑顔”での上下唇の特徴を反映していると考えられた<sup>40,41</sup>。すなわち、男性においては術後患者では上下唇に限局して健常人との“笑顔”に違いがみら

れ、これは術後において口唇の過緊張が解け、術前の習癖を反映して口輪筋が過度に収縮しているためと推測された。また女性の“真顔”については対象者全体と同様の特徴の違いはあるものの、“笑顔”では有意差のある主成分はみられなかったことから、健常人と違いのない“笑顔”における顔面軟組織形態を獲得していると考えられた。

以上の結果から、骨格性下顎前突症患者の顔面軟組織の術後評価において、オトガイ部と下唇の突出は残存しているが、“笑顔”として反映される領域は、男性における上下唇以外に健常人と比較しても大きな違いはなく、骨格性下顎前突症患者は下顎後方移動術により健常人とほぼ違いのない“笑顔”を獲得できることが判明した。

#### 4. 小括

術後患者と健常人を比較すると、対象者全体では“笑顔”と“真顔”いずれも術後患者は健常人と比べてオトガイ部と下唇の突出が残存していたが、“笑顔”と“真顔”ともに鼻翼基部と上下唇の垂直的な位置は同程度だった。男性の“笑顔”では、健常人に比べて術後患者ではオトガイ部の突出の他に上下唇がともに後方に位置していた。一方で女性では、“真顔”において対象者全体と同じ所見がみられた。

## 結語

顔面軟組織の形態評価について、これまでには解剖学的ランドマークを用いた線・角度計測により検討されていたが、頬部などのように滑らかで解剖学的ランドマークの設定が困難な部位の評価は不可能であった。また、三次元データは三角形（ポリゴン）の集合体として近似するが、三角形数やそれぞれの三角形の頂点が立体データごとに異なるため、定量的比較が困難であった。

今回、ポリゴン数を統一した三次元データを作成し、解剖学的ランドマークの設定が困難な部位でも個別のポリゴンならびに各頂点のひずみと位置変化を評価し、形態の違いを評価できる相同モデル化技術に着目した。相同モデル化技術を用いて健常人の”笑顔”と”真顔”の顔面軟組織を形態評価することで従来における”笑顔”の特徴が視覚的に示され、顔面軟組織全体を再現性高く評価することが可能となった。また、顎変形症患者と健常人を相同モデル化技術で比較すると、顎変形症患者の術後の顔貌においては、標準的な顔貌よりもオトガイと下唇が前方に位置する傾向にあることが示唆された。

本研究では、相同モデル化技術を用いた顔面軟組織形態の三次元的定量的評価の方法を確立し、これを用いて顎変形症の治療評価を行うことができることが明らかとなった。

## 謝辞

稿を終えるにあたり、丁寧かつ熱心なご指導を賜りました 森 悅秀 教授に謝意を表します。また、本研究の課題を与え、研究方法や研究に対する姿勢などを直接指導いただきました 中野 旬之 講師に深謝いたします。また本研究を遂行するにあたり、ご指導、ご助言いただきました 山田 朋弘 准教授に深く感謝いたします。さらに、相同モデル研究を行うにあたり収支適切な助言を賜り、また丁寧にご指導してくださいましたメディックエンジニアリング 谷尻 豊寿 様に謝意を示します。

そして、様々なご助言や励ましのお言葉をいただいた、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、研究室の皆様、研究生活を支えてくださったすべての皆様方に心から深く感謝いたします。

## 参考文献

1. Sheppard SM : Asymptomatic morphologic variations in the mandibular condyle-ramus region. *J Prosthet Dent* 47: 539-544, 1982.
2. Schmid W, Mongini F, et al : A computer-based assessment of structural and displacement asymmetries of the mandible. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 100: 19-34, 1991.
3. 谷政澄, 池谷正昭, 他 : 制帽 X 線規格写真による顔面非対称の分析. *日口外誌* 35: 1749-1759, 1989.
4. 文胤植 : 顔面非対称を伴う骨格性III級不正咬合の顎顔面形態に関する正面頭部 X 線規格写真計測学的研究. *明海歯学誌* 27: 105-110, 1998.
5. Buranastidporn B, Hisano M, et al : Temporomandibular joint internal derangement in mandibular asymmetry. What is the relationship? *Eur J Orthod* 28: 83-88, 2006.
6. 猪山大, 沢木佳弘, 他 : CT 画像を用いた下顎枝横断面形態の計測に関する研究. *日口科誌* 48: 411-417, 1999.
7. Noleto JW, Marchinori E, et al : Evaluation of mandibular ramus morphology using computed tomography in patients with mandibular prognathism and retrognathia: relevance to the sagittal split ramus osteotomy. *J Oral*

- Maxillofac Surg 68(8): 1788-1794, 2010.
8. Ueki K, Okabe K, et al : Position of mandibular canal and ramus morphology before and after sagittal split ramus osteotomy. J Oral Maxillofac Surg 68(8): 1795-1801, 2010.
9. Thamer AA, Balvinder SK, et al : A new method for automatic tracking of facial landmarks in 3D motion captured images (4D). Int J Oral Maxillofac Surg 42: 9-18, 2013.
10. Mishima K, Yamada T, et al : Analysis of lip motion using principal component analyses. J Craniomaxillofac Surg 39: 232-236, 2011.
11. Mishima K, Umeda H, et al : Three-dimensional intra-rater and inter-rater reliability during a posed smile using a video-based motion analyzing system. J Craniomaxillofac Surg 42: 428-431, 2014.
12. Tanigawa C, E.Zera, et al : Sexual dimorphism in the facial morphology of adult humans: A three-dimensional analysis. HOMO 767: 23-49, 2016.
13. Tanigawa C, Takada K : Test-retest reliability of smile tasks using three-dimensional facial topography. Angle Orthod 88(3): 319-328, 2018.
14. Nakamichi T, Kitahara T, et al : Three-dimensional dynamic evaluation of a posed smile in normal occlusion and Class II malocclusion. Orthod Waves 72:

- 131-141, 2013.
15. Mochimaru M, Kouchi M, et al : Analysis of foot forms using the FFD method and its application in grading shoe lasts. *Ergonomics* 43: 1301-1313, 1999.
16. Mochimaru M, Kouchi M : Statistics for 3D human body forms. *SAE Digital Human Modeling for Design and Engineering Conference* 2000-01-2149, 2002.
17. Kouchi M, Mochimaru M : Inter-individual variations in intra-individual shape change patterns. *SAE Digital Human Modeling for Design and Engineering Conference* 2006-01-2353, 2006.
18. Kouchi M, Mochimaru M : Simulation of the body shape after weight change for health-care services. *Proceedings of the 3rd International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics* 217-222, 2010.
19. Matsuoka A, Yoshioka F, et al : Development of three-dimensional facial expression models using morphing methods for fabricating facial prostheses. *J Prosthodont Res* 63: 66-72 2019.
20. Kurosumi M, Mizukoshi K : Principal component analysis of three-dimensional face shape: Identifying shape features that change with age. *Skin Res Technol* 24: 213-222, 2018.
21. Inoue K, Nakano H, et al : A novel measurement method for the morphology

- of the mandibular ramus using homologous modeling. *Dentomaxillofac Radiol* 44: 20150062.
22. Brett A, Brian C, et al : Brian The space of human body shapes: reconstruction and parametrization from range scans. *ACM T GRAPHIC* 22(3): 587-594, 2003.
23. Daniele G, Valentina P, et al : Are portable stereophotogrammetric devices Reliable in facial imaging? A validation study of VECTRA H1 Device. *J Oral Maxillofac Surg* 76(8): 1772-1784, 2018.
24. Houstis O, Doudic A, et al : Intraobserver reliability of the 2-dimensional analysis of facial expression. *J Oral Maxillofac Surg* 68(7): 1498-1503, 2010.
25. Verdenik M, Ihn NH : Three-dimensional facial changes correlated with sagittal jaw movements in patient with class III skeletal deformities. *Br J Oral Maxillofac Surg* 55: 517-523, 2017.
26. Young KK, Nam KL, et al : Evaluation of soft tissue changes around the lips after bracket debonding suing three-dimensional stereophotogrammetry. *Angle Orthodont* 85(5): 833-840, 2015.
27. Lee YC, Kouchi M, et al : COMPARING 3D FOOT SHAPE MODELS BETWEEN TAIWANESE AND JAPANESE FEMALES. *J Hum Erqol (Tokyo)* 44(1): 11-20, 2015.

28. Kawamura K, Komori M, et al : Smiling reduces masculinity: principal component analysis applied to facial images. *Perception* 37(11): 1637-48, 2008.
29. Brand RW, Isselhard DE : Anatomy of orofacial structures. 6<sup>th</sup> edn, Mosby Inc, St. Louis, 1998.
30. Lin Al, Braun T, et al : Esthetic evaluation of dynamic smiles with attention to facial muscle activity. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 143(6): 819-827, 2013.
31. Minji K, Dong YL, et al : Three-dimensional evaluation of soft tissue changes after mandibular setback surgery in class III malocclusion patients according to extent of mandibular setback, vertical skeletal pattern, and genioplasty. *Oral Surg Oral Med Oral Pthol Oral Radiol Endod* 109: e20-e32 2010.
32. 相場邦道, 飯田順一郎, 他 : 歯科矯正学. 第 5 版, 医歯薬出版, 東京, 2012, 129-155 頁.
33. 坂本 俊彦, 三浦 不二夫, 他 : 頭部 X 線規格写真法による日本人顔面頭蓋の成長に関する研究 一実測長分析, 成長率分析, 実測長百分率分析成績一. *口病誌* 30(3): 169-182, 1963.
34. R. Stefan, P. Winterhalder, et al : Change in the facial soft-tissue profile after mandibular orthognathic surgery. *Clinical Oral Investigations* 23: 1771-1776,

- 2019.
35. T. Mundluru, A. Almukhtar, et al : The accuracy of three-dimensional prediction of soft tissue changes following the surgical correction of facial asymmetry: An innovative concept. *Int J Oral Maxillofac Surg* 46: 1517-1524, 2017.
36. Young KK, Nam KL, et al : Evaluation of soft tissue changes around the lips after bracket debonding using three-dimensional stereophotogrammetry. *Angle Orthodont* 85(5): 833-840, 2015.
37. Shafiee R, Korn EL, et al : Evaluation of facial attractiveness from end of treatment facial photographs. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 133: 500-508, 2008.
38. Nooreyazdan M, Trotman CA, et al : Modeling facial movement: II . A dynamic analysis of differences caused by orthognathic surgery. *J Oral Maxillofac Surg* 62(11): 1380-1386, 2004.
39. Janson G, Btanco NC, et al : Influence of orthodontic treatment, middle position, buccal corridor and smile arc on smile attractiveness: A systematic review. *Angle Orthod* 81: 155-163, 2011.
40. Mishima K, Nakano A, et al : Gender differences in posed smiles using

- principal component analysis. *J Craniofac Surg* 43: 144-148, 2015.
41. Mishima K, Shiraishi R, et al : Characteristics of Posed Smiles for Class 3 Female Patients Before and After Osteotomy Using Principal Component Analysis. *J Craniomaxillofac Surg* 27: 1754-1758, 2016.