

顔面軟組織三次元画像の  
重ね合わせ法の考案

はっとり しゅうま  
服部 修磨

本論文の要旨は第 213 回朝日大学歯学研究科発表会  
（2018 年 10 月 24 日，岐阜）において発表した．本論  
文の一部は第 76 回日本矯正歯科学会学術大会（2017  
年 10 月 20 日，北海道），94th Congress of the European  
Orthodontic Society（2018 年 6 月 18 日，Edinburgh）  
および第 60 回近畿東海矯正歯科学会学術大会（2018  
年 7 月 1 日，岐阜）において発表した．

## 緒 言

近年，矯正歯科臨床において，顔面軟組織形態の重要性が再認識され<sup>1)</sup>，非接触型三次元表面形状計測装置を用いて顔面軟組織三次元画像を撮影し評価する方法が発達してきた<sup>2-5)</sup>．顔面軟組織について，成長および矯正歯科治療による効果を評価するためには，治療前後の顔面画像を重ね合わせて比較する必要がある．顔面軟組織三次元画像の重ね合わせを行う基準としては，比較的形態変化の少ない前額および鼻根部を基準にする方法が報告されている<sup>6,7)</sup>．しかし，思春期前の患者の場合，前額および鼻根部軟組織は成長により変化すると考えられる．そのため，顔面軟組織三次元形態について，治療前後の重ね合わせを行えるのは成人症例に限られ<sup>8,9)</sup>，成長が認められる子供の顔面軟組織三次元形態の長期的な変化を示した報告は認められない．

頭蓋顔面形態の長期的な変化については，側面位頭部 X 線規格写真（側面セファロ）を用いて，SN 平面を基準とした重ね合わせ法が確立されている<sup>10,11)</sup>．コンピュータ断層撮影装置（CT）により撮影された CT 画像についても，側面セファロに準じた方法が報告されている<sup>12-14)</sup>．しかし，顔面軟組織三次元画像は表面形状だけを記録したもので，内部形態は含まれておらず，側面セファロ重ね合わせで用いた基準点は使用できな

い．そこで，顔面軟組織三次元画像と側面セファロ画像を統合して，統合画像について側面セファロ画像の重ね合わせ法を利用して比較することを着想した．このような方法で顔面軟組織三次元形態の変化を評価した報告は認められない．

本研究の目的は，顔面軟組織三次元画像と側面セファロ画像を統合し，側面セファロ重ね合わせ法を応用して顔面軟組織三次元画像の重ね合わせ法を考案し，その精度を検討することである．

## 試料および方法

### 1. ファントムを使用した実験（実験1）

#### （1）被写体

人工骨頭部ファントム（ファントム）（京都科学，京都）の上下顎を前突させた状態と，その状態から上下顎骨を11mm後方へ移動させたファントムを被写体とした．

#### （2）画像データ採得方法

##### 1）顔面軟組織三次元画像

ファントムの顔面軟組織三次元画像データの採得は，非接触型三次元デジタルカメラ（3dMD Cranial System, 3dMD, Atlanta, GA, USA）を用いて行った．撮影条件は，解像度0.2mm，撮影スピード0.002秒，被写体とカメラの距離は100cmとした．

##### 2）側面セファロ画像

ファントムの側面セファロ画像データをセファロ撮影装置（CX-150W，朝日レントゲン工業，京都）を用いて採得した．撮影条件は，管電圧62kV，管電流400mA，撮影時間自動，ピクセルサイズ0.15mm×0.15mmとした．撮影はフランクフルト（FH）平面が床面と平行になるように頭位を設定した．撮影した画像を，1/1.1倍した画像を側面セファロ画像とした．

#### （3）画像解析

得られた顔面軟組織三次元画像について，パーソナ

ルコンピュータ (HP Z210 SFF Workstation,  
Hewlett-Packard Company, San Francisco, CA, USA)  
に転送した上, 画像解析ソフトウェア (BODY-Rugle  
Version7.00, メディックエンジニアリング, 京都) を  
用いて以下の解析を行った.

1) 顔面軟組織三次元画像の基準点と基準平面

基準平面を定義するために用いた基準点を, 左右眉  
頭の中点 ( $eb_{mid}$ ), 左右内眼角の中点 ( $en_{mid}$ ), 左右  
側鼻翼基部の中点 ( $al_{mid}$ ), 左側眼窩下縁の最下点 ( $or_l$ ), 左側耳珠上縁前部のV字型にくぼんでいる点 ( $tr_l$ )  
とし (図1),  $eb_{mid}$ ,  $en_{mid}$ , および  $al_{mid}$  を通る平面を  
正中矢状平面,  $tr_l$  と  $or_l$  を通り正中矢状平面に垂直な平  
面をFH平面,  $en_{mid}$  を通り正中矢状平面とFH平面に垂直  
な平面を前頭平面とした (図2).

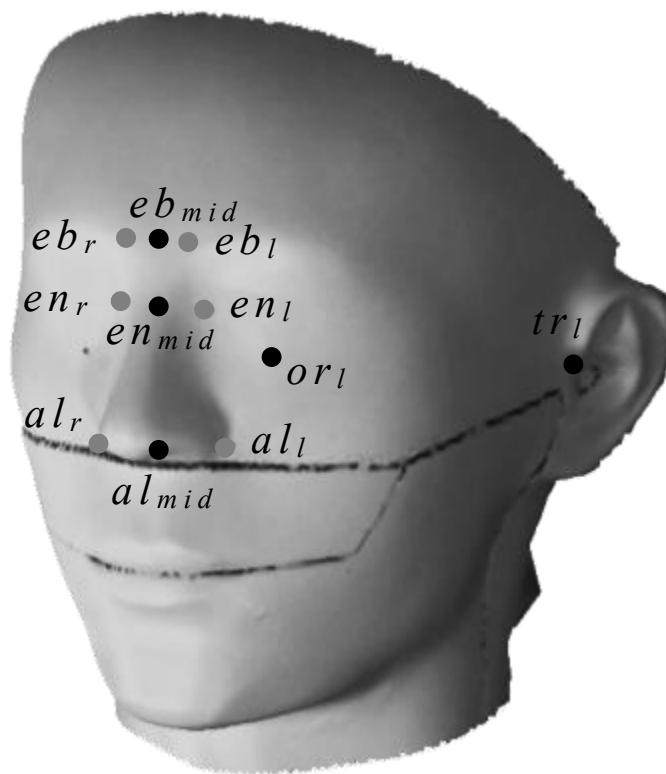


図 1 基準点

- eyebrow left ( $eb_l$ ): 左眉頭点
- eyebrow right ( $eb_r$ ): 右眉頭点
- eyebrow mid ( $eb_{mid}$ ): 左右眉頭の midpoint
- endocathion left ( $en_l$ ): 左内眼角点
- endocathion right ( $en_r$ ): 右内眼角点
- endocathion mid ( $en_{mid}$ ): 左右内眼角の midpoint
- alar curvature left ( $al_l$ ): 左側鼻翼基部点
- alar curvature right ( $al_r$ ): 右側鼻翼基部点
- alar curvature mid ( $al_{mid}$ ): 左右鼻翼の midpoint
- orbitale left ( $or_l$ ): 左側眼窩下縁の最下点
- tragion right ( $tr_r$ ): 左側耳珠上縁前部の V 字にくぼんで  
いる点

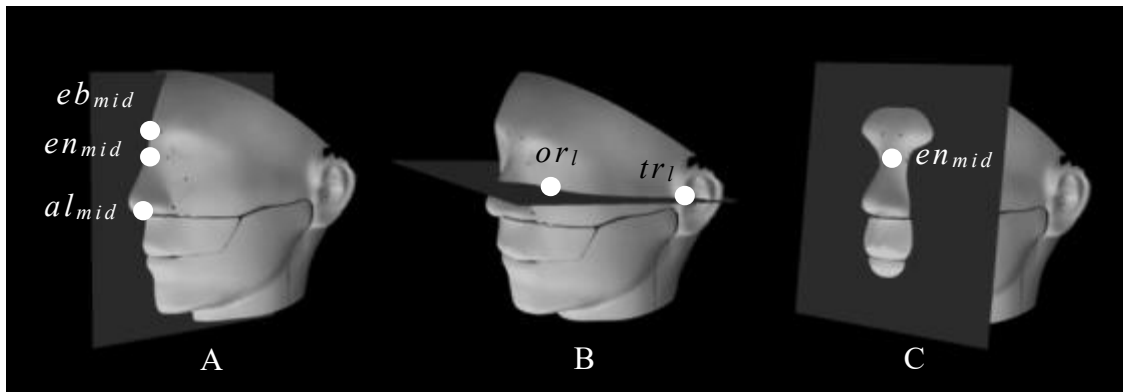


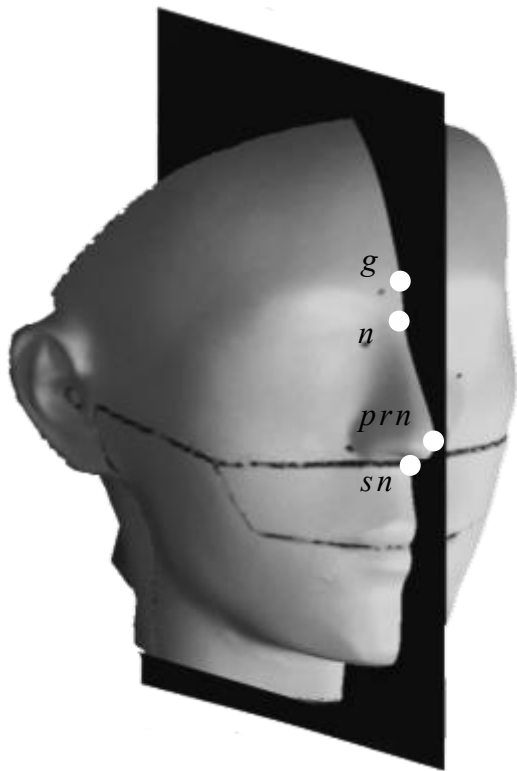
図 2 基準平面

- A: 正中矢状平面 ( $eb_{mid}$ ,  $en_{mid}$  および  $al_{mid}$  を通る平面)  
 B: FH 平面 ( $or_l$  と  $tr_l$  を通り, 正中矢状平面に垂直な平面)  
 C: 前頭平面 ( $en_{mid}$  を通り 正中矢状平面と FH 平面に垂直な平面)

## 2) 統合画像を作成するための基準点

顔面軟組織三次元画像と側面セファロ画像の統合 (顔面軟組織・セファロ統合画像) を行うための基準点を定義した. 採得した顔面軟組織三次元画像と側面セファロ画像上で, 前額部外形線上の前方最突出点 (眉間点,  $g$ ), 鼻根部外形線の最深点 (鼻根点,  $n$ ), 鼻尖外形線の前方最突出点 (鼻尖点,  $prn$ ) および鼻中隔下縁と上唇皮膚との移行点 (鼻下点,  $sn$ ) の 4 点を基準点として定義した. 顔面軟組織三次元画像上では,  $g$ ,  $n$ ,  $prn$ ,  $sn$ , とし, 側面セファロ画像上では,  $g'$ ,  $n'$ ,  $prn'$ ,  $sn'$  とした (図 3). 顔面軟組織三次元画像上で同基準点を決定する際には, 図 2 の正中矢状平面上の点とし, 他の基準平面も参考にした.





A



B

図 3 統合基準点

A. 顔面軟組織三次元画像

glabellare (*g*): 眉間点

soft tissue nasion (*n*): 鼻根点

pronasale (*prn*): 鼻尖点

subnasale (*sn*): 鼻下点

B. 側面セファロ画像

glabellare (*g'*): 眉間点

soft tissue nasion (*n'*): 鼻根点

pronasale (*prn'*): 鼻尖点

subnasale (*sn'*): 鼻下点

3) 顔面軟組織三次元画像と側面セファロ画像の統合  
および座標系の決定

顔面軟組織三次元画像の  $g$ ,  $n$ ,  $prn$ ,  $sn$  と, 側面セファロ画像の  $g'$ ,  $n'$ ,  $prn'$ ,  $sn'$  を基準として, 統合を行った (図 4, 5). 座標系は  $en_{mid}$  を原点, 水平方向を X 軸, 上下方向を Y 軸, 前後方向を Z 軸として, ファントムの左方向, 上方向, 前方向をプラスとした (図 6).

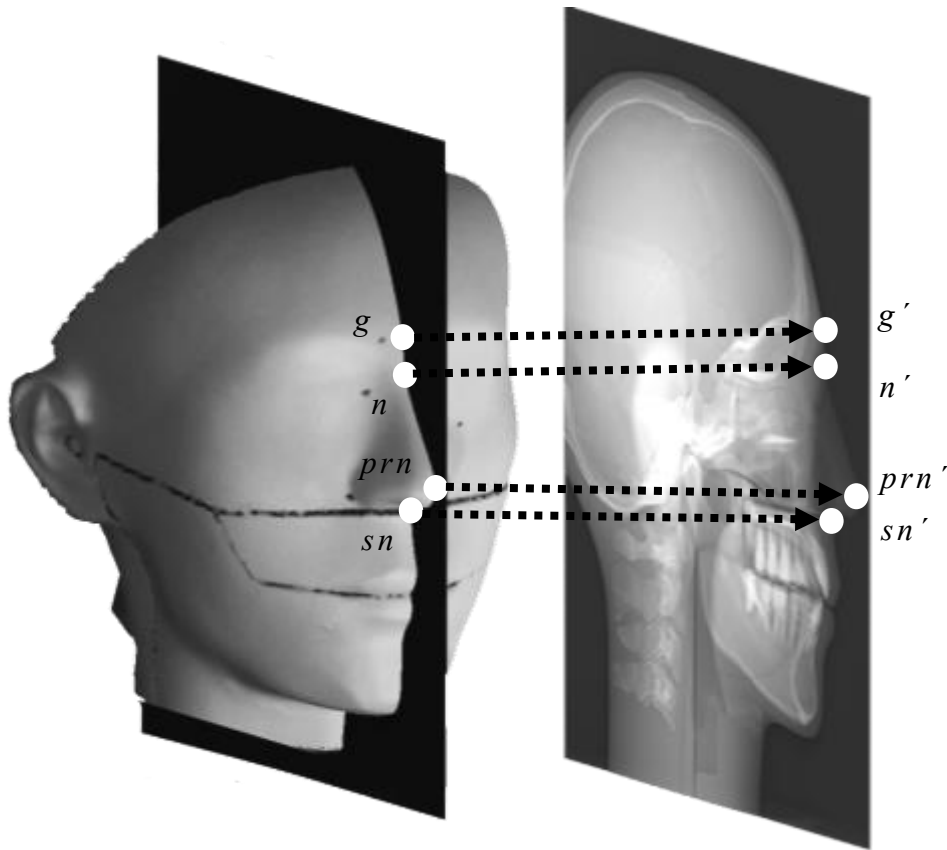


図 4 統合方法

顔面軟組織三次元画像の  $g$ ,  $n$ ,  $prn$ ,  $sn$  と, 側面セファロ画像の  $g'$ ,  $n'$ ,  $prn'$ ,  $sn'$  を基準として, 両画像の統合を行った.

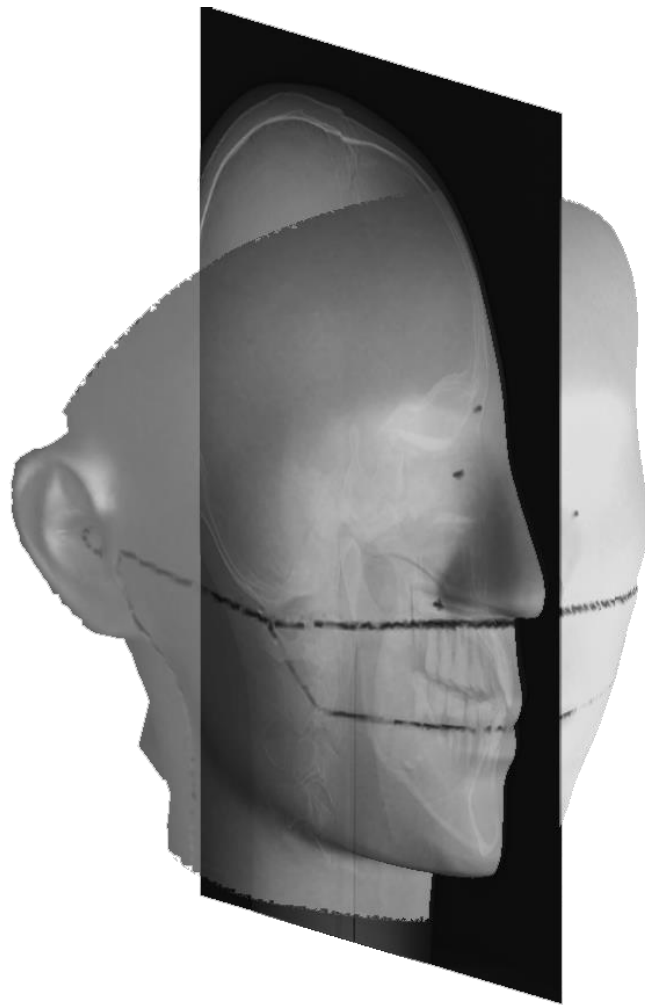


図 5 顔面軟組織・セファロ統合画像

顔面軟組織三次元画像と側面セファロ画像の統合を行い作成された，顔面軟組織・セファロ統合画像．

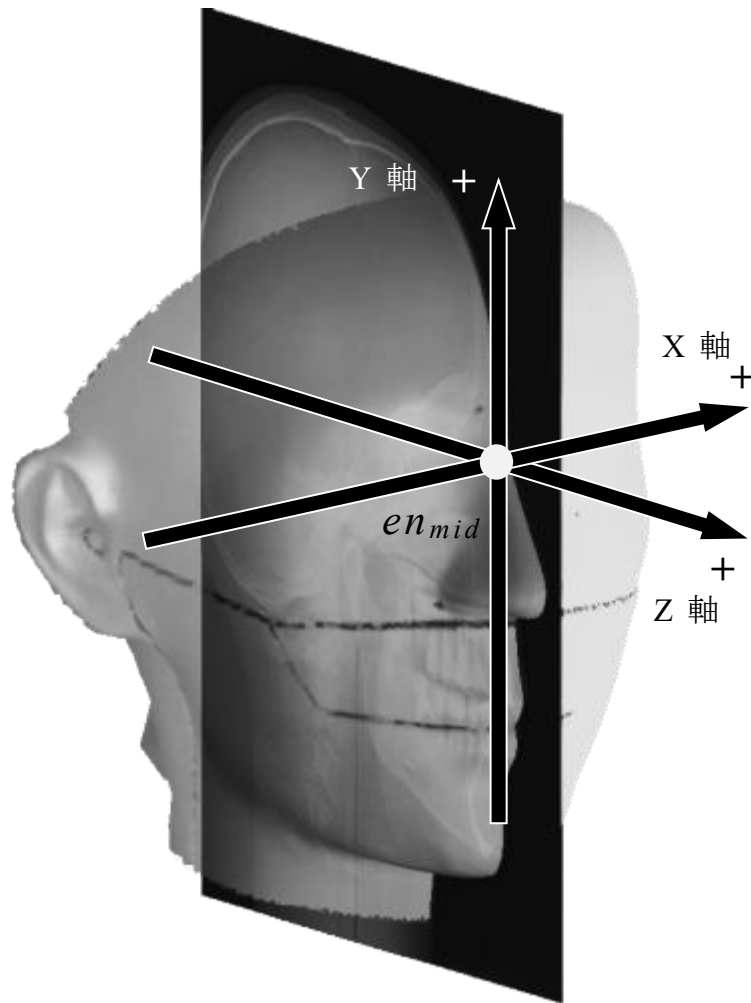


図 6 座標系

$en_{mid}$  : 原点  
X 軸 : 左右方向  
Y 軸 : 上下方向  
Z 軸 : 前後方向  
ファントムの左方向, 上方向,  
前方向をプラスとした.

4) 側面セファロ画像を用いた重ね合わせ

上下顎前突の顔面軟組織・セファロ統合画像と，上下顎後方移動後の顔面軟組織・セファロ統合画像とをSN平面を基準として重ね合わせを行った（図7）。

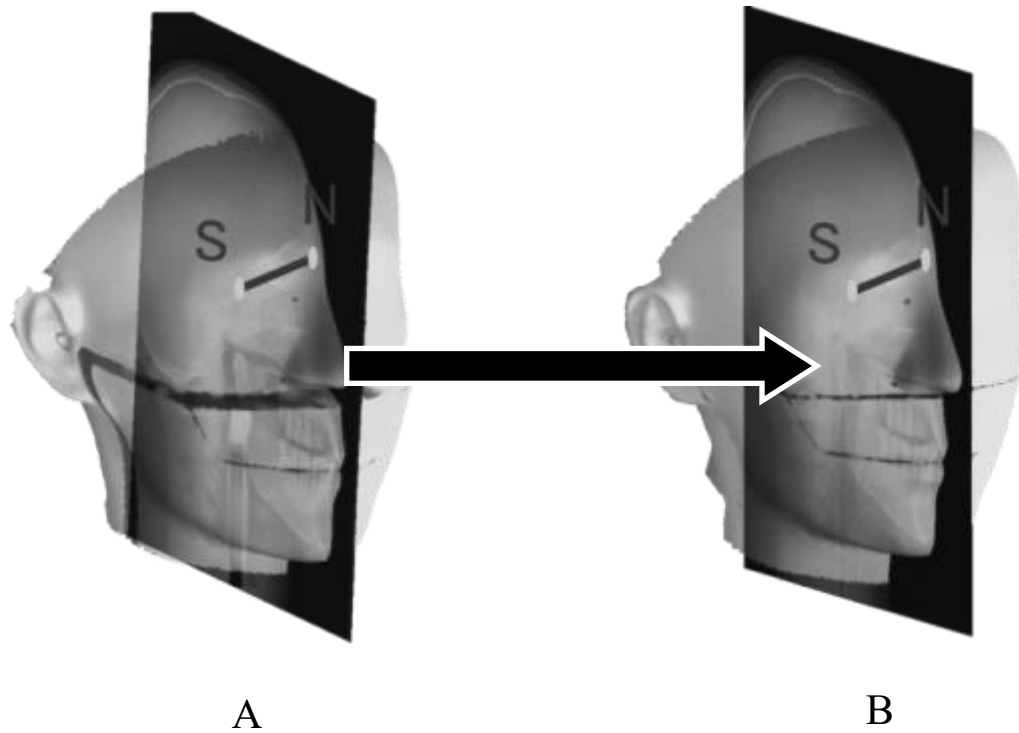


図7 側面セファロ画像を用いた重ね合わせ法

A.上下顎前突

B.上下顎後方移動後

5) 前額・鼻根部での重ね合わせ

上下顎移動前後の顔面軟組織三次元画像の重ね合わせについて、本研究で考案した側面セファロ画像を用いた重ね合わせ法の精度を検討するために、従来から使用されている前額・鼻根部での重ね合わせを行った(図8)。

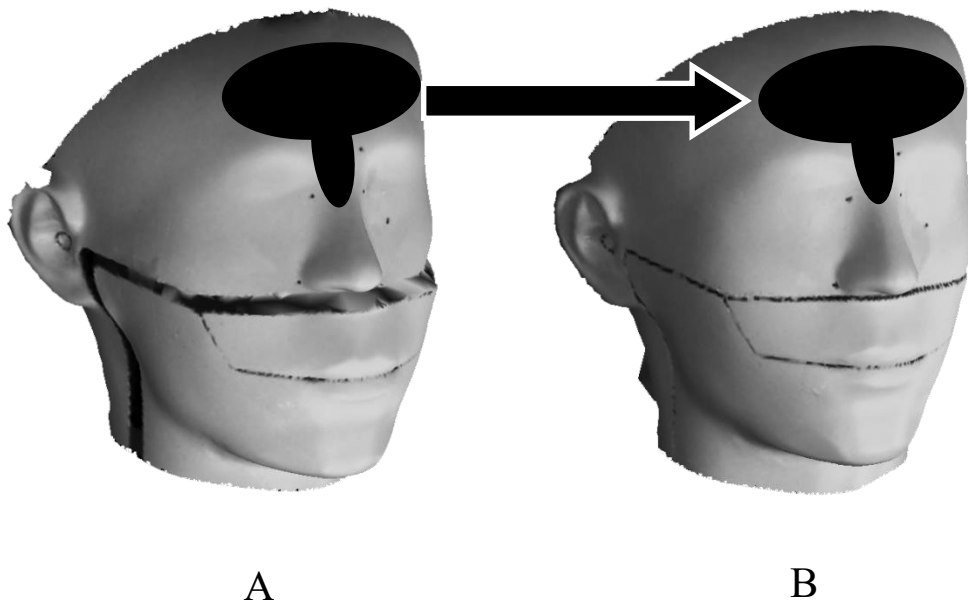


図8 前額・鼻根部での重ね合わせ

A.上下顎前突

B.上下顎後方移動後

## 6) 計測点

同一座標系上に重ね合わされた，上下顎前突顔面軟組織・セファロ統合画像と，上下顎後方移動後の顔面軟組織・セファロ統合画像のそれぞれにおいて，以下の計測点を定義した（図9）。

- ・ 左側内眼角点：左側の内眼角において上下の眼瞼が移行する点
- ・ 右側内眼角点：右側の内眼角において上下の眼瞼が移行する点
- ・ 左側鼻翼基部点：左側鼻翼の最下点
- ・ 右側鼻翼基部点：右側鼻翼の最下点
- ・ 左側口角点：左側の上赤唇と下赤唇の外端が移行する点
- ・ 右側口角点：右側の上赤唇と下赤唇の外端が移行する点
- ・ 口点：口唇閉鎖時の上下口唇接触部の最前点
- ・ 上唇点：上唇外形線上の前方最突出点
- ・ 下唇点：下唇外形線上の前方最突出点
- ・ 軟組織メントン：正中矢状面における下顎の最下点

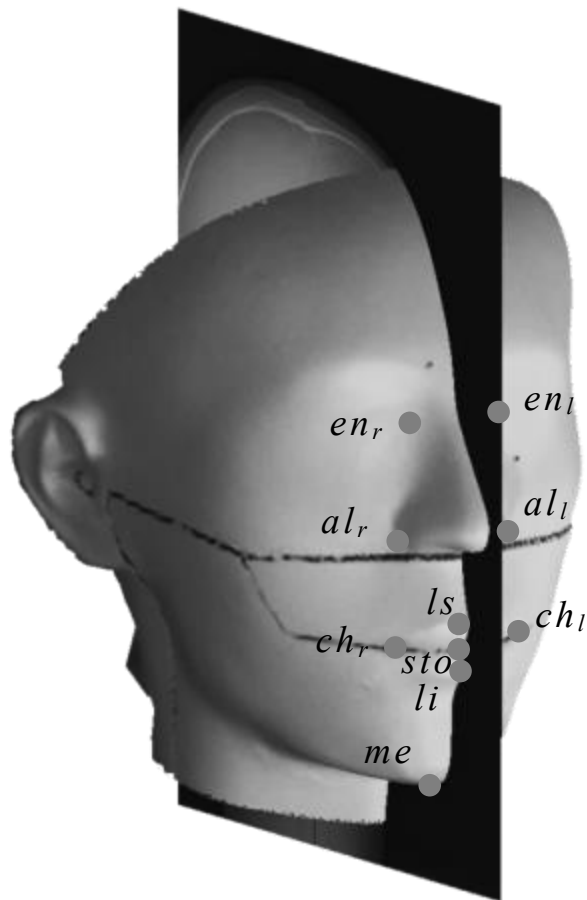


図 9 計測点

- endocathion left ( $en_l$ ): 左側内眼角点
- endocathion right ( $en_r$ ): 右側内眼角点
- alar curvature left ( $al_l$ ): 左側鼻翼基部点
- alar curvature right ( $al_r$ ): 右側鼻翼基部点
- cheilion left ( $ch_l$ ): 左側口角点
- cheilion right ( $ch_r$ ): 右側口角点
- stomion ( $sto$ ): 口点
- labrale superius( $ls$ ): 上唇点
- labrale inferius( $li$ ): 下唇点
- soft tissue menton( $me$ ): 軟組織メントン



## 7) 計測変量

側面セファロ画像を用いた重ね合わせ法と前額・鼻根部での重ね合わせ法の、それぞれの顔面軟組織三次元画像上の各計測点について、上下顎移動前と移動後の計測点間直線距離を計算し、計測変量とした。それぞれの重ね合わせ法および計測は、1日以上の間隔をあけて5回行った。

計測点間直線距離計算方法

$$AB = \sqrt{(x1 - x2)^2 + (y1 - y2)^2 + (z1 - z2)^2}$$

A(x1,y1,z1)=上下顎移動前計測点， B(x2,y2,z2)=上下顎移動後計測点

## 2. 本重ね合わせ法の臨床応用方法の検討（実験2）

### （1）被験者

不正咬合を主訴として朝日大学医科歯科医療センター矯正歯科に来院し、矯正歯科治療を開始した患者のうち、骨格性Ⅲ級を示し、両側下顎枝矢状分割法により下顎骨後方移動術を施行した下顎前突症患者8名（男性4名、女性4名、手術時平均年齢男性26歳6か月、女性24歳9か月）を被験者とした。

被験者は、顎顔面頭蓋の形成異常がなく、顔の外傷および外科的手術の既往がない者で、下顎骨後方移動量は後方移動量範囲4.3mm~10.3mm（平均7.4mm）とした。

## ( 2 ) 計測方法

下顎骨後方移動前後の顔面軟組織三次元画像とセファロ画像を採得し，実験1と同様に，それぞれの重ね合わせ法および計測を，1日以上の間隔をあけて5回行った．

## 3．統計処理

ファントムおよび被験者を用いた方法のそれぞれの計測変量について，側面セファロ画像を用いた重ね合わせ法と前額・鼻根部での重ね合わせ法との間に有意の差があるかどうかを，対応のあるt検定を用いて検討した．

なお，これらの解析には統計解析用ソフトウェア（SPSS 24.0，IBM，Armonk，NY，USA）を用い，有意水準（ $P$ ）は0.05以下とした．

## 結 果

ファントムを使用した実験結果（表1）に関して、側面セファロを用いた重ね合わせ法と前額・鼻根部での重ね合わせ法による計測変量について、内眼角点と鼻翼基部点では平均値が、それぞれ0.5mm~0.6mm、0.5mm~0.6mmであった。上唇点、口角点、口点、下唇点および軟組織メントンでは平均値が、それぞれ10.6mm~13.7mm、10.6mm~14.1mmであった。上下顎移動前後の計測変量について、すべての計測点において、2方法間で有意差は認められなかった。

臨床応用の結果（表2）に関して、側面セファロを用いた重ね合わせ法と前額・鼻根部での重ね合わせ法による計測変量について、内眼角点、鼻翼基部点および上唇点では平均値が、それぞれ0.7mm~1.3mm、0.8mm~1.4mmであった。口角点、口点、下唇点および軟組織メントンでは平均値が、それぞれ2.5mm~5.3mm、2.6mm~6.6mmであった。下顎骨後方移動前後の計測変量について、すべての計測点において、2方法間で有意差は認められなかった。

表 1 上下顎移動前と移動後の直線距離（実験 1）

(mm)	SN平面での 重ね合わせ法		前額・鼻根部での 重ね合わせ法		<i>P</i>
	平均値	SD	平均値	SD	
右側内眼角点	0.5	0.1	0.5	0.2	0.53
左側内眼角点	0.5	0.1	0.5	0.1	0.33
右側鼻翼基部点	0.6	0.3	0.6	0.1	0.80
左側鼻翼基部点	0.5	0.1	0.5	0.1	0.09
右側口角点	10.6	0.2	10.6	0.2	0.71
左側口角点	10.7	0.3	11.0	0.3	0.11
上唇点	11.3	0.3	11.5	0.0	0.20
口点	11.1	0.3	11.2	0.1	0.68
下唇点	11.8	0.2	12.0	0.1	0.12
軟組織メントン	13.7	0.3	14.1	0.1	0.10

SD：標準偏差，*P*：有意水準

表 2 下顎後方移動前と移動後の直線距離（実験 2）

(mm)	SN平面での 重ね合わせ法		前額・鼻根部での 重ね合わせ法		<i>P</i>
	平均値	SD	平均値	SD	
右側内眼角点	1.1	0.6	0.9	0.5	0.25
左側内眼角点	0.7	0.2	1.0	1.1	0.35
右側鼻翼基部点	0.8	0.4	0.8	0.3	0.84
左側鼻翼基部点	1.0	0.4	1.2	0.5	0.47
右側口角点	3.6	1.8	3.7	1.7	0.67
左側口角点	3.9	2.0	4.1	2.2	0.11
上唇点	1.3	0.7	1.4	0.7	0.77
口点	2.5	1.7	2.6	1.6	0.70
下唇点	4.4	2.4	4.6	2.5	0.45
軟組織メントン	5.3	2.5	6.6	3.0	0.19

SD：標準偏差，*P*：有意水準

## 考 察

本研究では，顔面軟組織三次元画像の重ね合わせに側面セファロ画像の重ね合わせ法を応用するために，顔面軟組織三次元画像と側面セファロ画像を統合した．種類の異なる画像を統合する方法については，外部装置を基準とする方法<sup>15-17)</sup>と解剖学的構造物を基準とする方法<sup>18,19)</sup>が報告されている．本研究室でも顔面軟組織三次元画像を重ね合わせるために側面セファロ分析に準じた解剖学的ランドマークに目印を張り付ける方法を用いる方法を報告している<sup>20)</sup>．外部装置を用いる方法では検査を行う前に装置を付与しなければならず，臨床的手技が増えて煩雑になる欠点があるため，解剖学的構造物を基準とする方法が有利である．また，画像処理技術として，本研究では，顔面軟組織三次元画像と側面セファロ画像を，側貌軟組織の点画像重ね合わせ法を用いて統合した．過去には，側面セファロ画像と側面顔貌写真を側貌軟組織の輪郭画像重ね合わせ法により精度高く統合が行えたと報告されている<sup>21)</sup>．そこで，本研究でも，側貌軟組織の輪郭画像重ね合わせ法を用いれば，より精度が高くなる可能性が示唆される．

ファントムを使用した実験結果に関して，側面セファロ画像を用いた重ね合わせ法において，内眼角点と鼻翼基部点では，平均値が0.5mm~0.6mmであり，上唇

点，口角点，口点，下唇点および軟組織メントンでは，平均値が10.6mm~13.7mmであった．このように，位置が変わっていない上顔面に関する計測点の移動量は0.0mmに近似した値であり，ファントム上で11.0mm後方に移動した上下顎に関する計測点の移動量は，11.0mmに近似した値となった．一方，前額・鼻根部での重ね合わせ法において，内眼角点と鼻翼基部点では，平均値が0.5mm~0.6mmであり，上唇点，口角点，口点，下唇点および軟組織メントンでは，平均値が10.6mm~14.1mmであり，側面セファロ画像を用いた重ね合わせ法による計測変量との間に有意差は認められなかった．顔面軟組織三次元画像の重ね合わせを行う場合，前額・鼻根部を使用する方法が最良の方法と報告されている<sup>6,7,22)</sup>．本研究室でも過去に，成長の認められない被検者において前額・鼻根部を使用する方法を用いて前歯部反対咬合の被害改善前後における軟組織を評価した報告がなされている<sup>23)</sup>．本研究で考案した重ね合わせ法は，従来から使用されている前額・鼻根部での重ね合わせ法と同程度の精度を有していると考えられ，臨床に応用できることが示唆された．

側面セファロ画像を用いた重ね合わせ法を臨床応用した実験における下顎骨のセットバック量の平均は7.4mmで，計測変量に関して，内眼角点，鼻翼基部点および上唇点では，平均値が0.7mm~1.3mmであり，口角点，口点，下唇点および軟組織メントンでは，平均

値が2.5mm~5.3mmであった。このように、下顎骨後方移動手術では位置が変わらないと考えられる上顔面に関する計測点の移動量は0.0mmに近似した値であった。上唇については、下顎骨が後方に移動することで下唇が後方へ移動し、口唇閉鎖時に上唇も後方へ移動したと考えられる。下顎に関する計測点、すなわち口角点、口点、下唇点および軟組織メントンでは、平均値が2.5mm~5.3mmであった。下顎後方移動手術による顔面軟組織の移動についての過去の研究では、軟組織の移動量は硬組織の移動量の60%であると報告されている<sup>24)</sup>。本研究において、下顎骨のセットバック量の平均は7.4mmで、下顎に関する計測点の移動量は、硬組織後方移動量の60%に近似した値になったのではないかと考える。一方、前額・鼻根部での重ね合わせ法において、内眼角点、鼻翼基部点および上唇点では、平均値が0.8mm~1.4mmで、口角点、口点、下唇点および軟組織メントンでは、平均値が、2.6mm~6.6mmであり、側面セファロ画像を用いた重ね合わせ法による計測変量との間に有意差は認められなかった。

これらのことから、本研究で用いた重ね合わせ法は、臨床応用が可能であり、前額・鼻根部の成長が認められる子供でも、成長および矯正歯科治療結果の三次元評価に適用できる可能性があると考えられる。そのため、成長期について、本方法を適用するさらなる研究が必要であると考えられる。

## 結 論

顔面軟組織三次元画像に側面セファロ画像を統合し、側面セファロの重ね合わせ法を応用して、顔面軟組織三次元画像を重ね合わせた結果、

1. ファントムおよび成人症例において、側面セファロ画像を用いた重ね合わせ法の精度は高いことが明らかになった。

2. 側面セファロ画像を用いた重ね合わせ法と前額・鼻根部での重ね合わせ法との間に有意差は認められなかった。

以上の結果より、側面セファロ画像を用いた重ね合わせ法は、矯正歯科治療前後の評価に応用できることが示唆された。



## 引用文献

- 1) Proffit WR. Contemporary orthodontics 4th Edition : Mosby Year Book Inc. ; 2007 : 167-233.
- 2) Metzger TE, Kula KS, Eckert GJ and Ghoneima AA. Orthodontic soft-tissue parameters: a comparison of cone-beam computed tomography and the 3dMD imaging system. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2013;144:672-681.
- 3) Nord F, Ferjencik R, Seifert B, Lanzer M, Gander T, Matthews F, Rucker M and Lubbers HT. The 3dMD photogrammetric photo system in cranio-maxillofacial surgery: Validation of interexaminer variations and perceptions. *J Craniomaxillofac Surg.* 2015;43:1798-1803.
- 4) Dindaroglu F, Duran GS and Gorgulu S. Reproducibility of the lip position at rest: A 3-dimensional perspective. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2016;149:757-765.
- 5) Yu D, Xing G, Nie P, Zhang X and Steve Shen G. Multidimensional esthetic evaluation of patients with a cleft lip and palate wearing a maxillary partial removable dental prosthesis: A 5-year retrospective study. *J Prosthet Dent.* 2016;115:456-461.
- 6) Incrapera AK, Kau CH, English JD, McGrory K and

- Sarver DM. Soft tissue images from cephalograms compared with those from a 3D surface acquisition system. *Angle Orthod.* 2010;80:58-64.
- 7) Mathis A, Laskin DM, Tufekci E, Caricco C and Lindauer SJ. Upper Lip Asymmetry During Smiling: An Analysis Using Three-Dimensional Images. *Turk J Orthod.* 2018;31:32-36.
- 8) 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．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．口腔誌．2009;58:11-19.
- 9) 加納浩之，小林正治，本間克彦，寺田員人，齊藤力．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．2004;14:1-10.
- 10) Broadbent B. A new X-ray technique and its application to orthodontia. *Angle Orthod.* 1931;1:45-66.
- 11) Steiner CC. Cephalometrics for you and me. *Am J Orthod.* 1953;39:729-755.
- 12) Cevidanes LH, Heymann G, Cornelis MA, DeClerck HJ and Tulloch JF. Superimposition of 3-dimensional cone-beam computed tomography models of growing

- patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2009;136:94-99.
- 13) Codari M, Caffini M, Tartaglia GM, Sforza C and Baselli G. Computer-aided cephalometric landmark annotation for CBCT data. *Int J Comput Assist Radiol Surg.* 2017;12:113-121.
- 14) Zhang D, Wang S, Li J and Zhou Y. Novel method of constructing a stable reference frame for 3-dimensional cephalometric analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2018;154:397-404.
- 15) 立木千恵，松村栄治，西井康，根津崇，野嶋邦彦，高木多加志，末石研二．下顎歯列正中と下顎骨正中の不一致がみられた顔面非対称の長期症例．*日顎変形誌*．2012;22:228-237.
- 16) Nishii Y, Nojima K, Takane Y and Isshiki Y. Integration of the maxillofacial three-dimensional CT image and the three-dimensional dental surface image. *Orthod Waves.* 1998;57:189-194.
- 17) Uechi J, Tsuji Y, Konno M, Hayashi K, Shibata T, Nakayama E and Mizoguchi I. Generation of virtual models for planning orthognathic surgery using a modified multimodal image fusion technique. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2015;44:462-469.
- 18) Dong C, Chen YW, Seki T, Inoguchi R, Lin CL and Han XH. Non-rigid image registration with

anatomical structure constraint for assessing  
locoregional therapy of hepatocellular carcinoma.  
*Comput Med Imaging Graph.* 2015;45:75-83.

- 19) 三條 恵介，大塚 雄一郎，品川 令，富田 至保，箕田 碧，長谷川 尚哉，須田 直人． 精度の高い歯列画像を有する三次元顎顔面頭蓋画像の再構成． 日顎変形誌． 2015;25:207-217.
- 20) 向井 陽祐． 顔面マーキングを用いた顔軟組織三次元画像計測法の確立． 岐阜歯科学会雑誌． 2009;36:1-11.
- 21) Wang S, Li H, Zou B and Zhang W. A novel contour-based registration of lateral cephalogram and profile photograph. *Comput Med Imaging Graph.* 2018;63:9-23.
- 22) Maal TJ, Verhamme LM, van Loon B, Plooij JM, Rangel FA, Kho A, Bronkhorst EM and Berge SJ. Variation of the face in rest using 3D stereophotogrammetry. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2011;40:1252-1257.
- 23) Jogaki C, Tome W, Kuroyanagi F and Kitai N. A three-dimensional method for evaluating changes in lip morphology following correction of functional anterior crossbite. *Orthodontic Waves.* 2017;76:226-231.
- 24) Proffit WR, White RP and Sarver DM. Contemporary

treatment of dentofacial deformity : Mosby Year Book  
Inc. ; 2007 : 172-244.