顔面軟組織形状と歯列石膏模型の三次元データ統合精度の検討

小 原 彰 浩¹⁾ 寺 田 員 人²⁾ 松 原 大 樹³⁾
越 知 佳 奈 子¹⁾ 齋 藤 力⁴⁾ 齋 藤 功¹⁾

Examination of Precision of Integrating Three-dimensional Facial and Dental Data

AKIHIRO KOHARA¹⁾, KAZUTO TERADA²⁾, TAIKI MATSUBARA³⁾,
KANAKO OCHI¹⁾, CHIKARA SAITO⁴⁾ and ISAO SAITO¹⁾

Abstract

Aim: The purpose of this study was to examine the precision of integrating three-dimensional facial and dental data.

Materials and methods: The subject was a 27-year-old male with normal occlusion. Materials consisted of two kinds of facial three-dimensional data: three-dimensional dental cast data and the lateral cephalogram. To confirm the precision of data obtained, measurements were performed three times on different days. Integration of the soft tissue and dental cast data was achieved by using markers. The reference plane was defined with bilateral ear-rods and the left orbital on the soft tissue. The Y axis was the perpendicular line dropped from sella converted from the cephalogram to the reference plane. For analysis of the hard tissue and the soft tissue, cross sections were set up parallel to the reference plane at 2 mm intervals. Radial patterns from the Y axis on each cross section to the hard tissue and the soft tissue were set at 1 degree intervals, and the hard tissue and soft tissue measured values were defined as the distance from the Y axis to the hard and soft tissues, respectively.

The mean and standard deviation of the distances among two facial data at gingival exposure and closed lips, and dental cast data in the common region were used to evaluate the precision of the integration. Reproducibility was investigated from the mean and standard deviation of the measured values for the hard tissue and the soft tissue at the same angle of the same cross section.

Results: The mean and standard deviation of the distances between two facial data were 0.15 mm and 0.01 mm, and those of the distances between facial data at gingival exposure and dental cast data were 0.37 mm and 0.01 mm. With respect to reproducibility of the integrated three-dimensional data, no significant differences were found in the measured values for the hard tissue and the soft tissue for the same three randomly selected points.

Conclusion: The present system is valid for precisely analyzing three-dimensional changes in soft tissue without computerized tomography.

Key words: optical laser scanner (非接触型三次元形状計測器), orthognathic surgery (顎矯正手術), three dimensional analysis (三次元計測)

[Received Jul. 30, 2009]

¹⁾ 新潟大学大学院医歯学総合研究科歯科矯正学分野 (主任: 齋藤 功教授)

²⁾ 日本歯科大学新潟生命歯学部歯科矯正学講座 (主任: 寺田員人教授)

³⁾ ひるま矯正歯科

⁴⁾ 新潟大学大学院医歯学総合研究科組織再建口腔外科学分野 (主任: 齋藤 力教授)

¹⁾ *Division of Orthodontics, Niigata University Graduate School of Medical and Dental Sciences* (Chief: Prof. Isao SAITO)

²⁾ *Department of Orthodontics, The Nippon Dental University School of Life Dentistry at Niigata* (Chief: Prof. Kazuto TERADA)

³⁾ *Hiruma Orthodontic Office*

⁴⁾ *Division of Reconstructive Surgery for Oral and Maxillofacial Region, Niigata University Graduate School of Medical and Dental Sciences* (Chief: Prof. Chikara SAITO)

緒 言

外科的矯正治療後の顔貌は、術者ならびに患者にとって治療の適否を判断するための重要な評価対象である。顔貌の分析方法としては、セファログラムや顔面規格写真を用いた二次元分析^{1,2)}、非接触型あるいは接触型三次元形状計測器を用いた三次元分析³⁻¹²⁾がある。セファログラムを用いた分析^{1,2)}では、側貌軟組織あるいはcheek lineといった画像から判読できる限られた領域の評価となる。これに対し、比地岡³⁾は三次元分析で下顎骨の三次元的移動方向に対する顔面全体の軟組織の変化比率を、野村ら⁴⁾は、非接触型三次元形状計測装置を用いて手術後後退した軟組織の体積から下顎後方移動量に対する軟組織移動量を算出するなど、三次元分析を行うことで顔貌全体の評価が可能であることが示されている。硬組織変化に対する軟組織変化については、多くの症例を用いて分析・評価することで、顎矯正手術に伴う硬・軟組織の三次元的変化を予測することが可能になり、適切な手術法選択の一助となりうる。硬組織移動量とそれに伴う軟組織変化を知るためには、X線CTのように両者の構造を同時に記録したデータで解析する方法¹³⁻¹⁵⁾が適していると考えられてきた。しかし、X線CTを用いる場合、X線被曝量の観点から術後における撮影の妥当性が低いため¹⁴⁾術後評価あるいは術後予測に関する報告は少ない。したがって、硬組織と軟組織両者のデータを備え、患者への侵襲が少ない硬・軟組織統合モデルを作成することが必要と考えられる。

そこで本研究では、非接触型三次元形状計測装置を用いて採取した2種類の顔面軟組織形状の三次元データ（以下、顔面三次元データ）、歯列模型の三次元形状データ（以下、歯列三次元データ）を利用して、マーカーを用いずにそれぞれの共通領域を一致させる方法で顔面・歯列統合三次元データを構築し、その統合精度を検討することを目的とした。

研究方法

1. 被験者

統合誤差を計測するための被験者としては、正常咬合を有する成人男性1名（資料採取時年齢27歳）を用いた。

2. 資料

資料は、被験者から得た顔面三次元データ、歯列三次元データとした。顔面三次元データは、顔面軟組織を非接触型三次元形状計測装置（Vivid 9i, コニカミノルタセンシング社製）を利用して、イヤードッドで被験者の頭部を固定しFH平面が床面と水平になるように頭位を設定後、口唇を閉鎖した状態（以下、口唇閉鎖時顔面三次元データ）で正面と左右15度、30度、45度の7方向と口角鉤を装着し前歯部歯列を露出させた状態（以下、前歯部露出顔面三

Fig. 1 Measurement method of facial three-dimensional data.

次元データ）の正面1方向で計測を行い（Fig. 1）、三次元構築用ソフトウェア（Polygon editing tool ver. 2.20, コニカミノルタセンシング社製）を用いてそれぞれvividデータ形式とした。歯列三次元データは、非接触型三次元形状計測装置（LPX-60, Roland社製）を用いて0.2mmの計測ピッチで歯列模型を6面計測し、三次元構築用ソフトウェア（Pixform PRO ver1.0B, Roland社製）を用いてstlデータ形式とした。

3. 三次元構築画像の統合

口唇閉鎖時顔面三次元データ、前歯部露出顔面三次元データ、歯列三次元データは三次元構築用ソフトウェア（Polygon editing tool ver. 2.20, コニカミノルタセンシング社製）上において2段階で統合した（Fig. 2）。まず、前歯部露出顔面三次元データを媒体として、口唇閉鎖時顔面三次元データと前歯部露出顔面三次元データとの共通部分である前額部と鼻柱を含む領域を一致させるように統合した。次に、前歯部露出顔面三次元データと歯列三次元データとの共通部分である上下顎前歯部歯肉領域を一致させるように統合した。2段階の統合により、口唇閉鎖時顔面三次元データと歯列三次元データとを統合した顔面・歯列統合三次元データを構築した。

4. 座標系の設定

硬組織移動量と軟組織移動量を計測するために、顔面・歯列統合三次元データ上に座標系を設定した（Fig. 3）。設定方法は、まず、顔面三次元データとはほぼ同時期に撮影した側面セファログラムから、スキャナー（ES 10000G, EPSON社製）を用いて解像度50.8dpiの側面セファログラム画像データを作成した。続いて、口唇閉鎖時顔面三次元データを側面セファログラムの倍率に一致させるよう三次元解析ソフトウェア（3D-Rugle, メディックエンジニアリング社製）を用いて調整し、側面セファログラム画像データと口唇閉鎖時顔面三次元データの側貌の外形線が重なるように口唇閉鎖時顔面三次元データと側面セファログ

Fig. 2 Integration of three dimensional facial and dental cast (hard tissue) data
 A: Three dimensional facial data on lip closure
 B: Three dimensional facial data at gingival exposure
 C: Three dimensional dental cast data

Fig. 3 The determination procedure of three dimensional coordinates
 Reference plane: the plane defined with bilateral earrods and left orbitale on soft tissue.
 Original point: the point defined as the intersecting point of perpendicular line dropped from sella to reference plane.

Fig. 4 Cross sections for measurement

The cross sections (yellow lines) were set up parallel to the reference plane with 2 mm intervals within the area of dental cast. Red and green lines display surface lines of the soft tissue and the hard tissue, respectively.

ラム画像データとを統合した。座標系では、両側イヤードと軟組織上の左側眼下点で決まる平面を基準平面とし、両側イヤードの垂直二等分線を含み、基準平面に垂直な平面を正中矢状面とした。側面セファログラム上の sella 点を顔面三次元データの正中矢状面上に変換した点から基準平面へ下ろした垂線と基準平面の交点を原点とした。原点を通り基準平面上で両側イヤードを結んだ直線に平行な直線を X 軸、原点を通り基準平面に直交する直線を Y 軸、原点を通り基準平面上で X 軸、Y 軸に直交する直線を Z 軸とした。それぞれの軸は、原点から被験者の左方、前方、上方を正として設定した。

5. 計測方法

計測には、三次元解析ソフトウェア (3D-Rugle, メディックエンジニアリング社製) を用いた。被験者の顔面・歯列三次元データ上で鼻下点より下方について、基準平面に平行な 2 mm 間隔の計測断面を設定した (Fig. 4)。また、各計測断面上に、計測断面上の Y 軸から 1 度ごとに放射状の直線を Z 軸方向を 90 度として歯列三次元データの存在する範囲に設定した (Fig. 5)。設定した放射状の直線における計測断面上 Y 軸から口唇閉鎖時顔面三次元データまでの距離を軟組織計測値、計測断面上 Y 軸から歯列三次元データまでの距離を硬組織計測値として求めた。

6. 統合誤差の計測

被験者の顔面三次元データ、歯列三次元データの採取、顔面・歯列統合三次元データの構築は 1 名の検査者により 1 週間の間隔で繰り返し 3 回行った。データの再現性を検討するため、3 回構築した顔面・歯列統合三次元データにおいて、上から 10 計測断面上の 70 度、90 度、110 度の点の軟組織計測値、硬組織計測値を求め、それらの平均値と標準偏差を算出した。また、統合時の誤差を検討するた

Fig. 5 Distances from the original point to the hard tissue and the soft tissue

Radial patterns were set with 1 degree intervals on each cross section.

め、繰り返し 3 回構築した顔面・歯列三次元データ上で、統合に用いた共通領域である前額部と鼻柱を含む領域での口唇閉鎖時顔面三次元データと前歯部露出顔面三次元データ間の距離、上下顎前歯部歯肉領域での前歯部露出顔面三次元データと歯列三次元データ間の距離をそれぞれ計測し、平均値と標準偏差を算出した。平均値の差の検定には、一元配置分散分析を利用した。

結 果

統合時の誤差について、口唇閉鎖時顔面三次元データと前歯部露出顔面三次元データの統合時、共通領域である前額部と鼻柱を含む領域における両データ間距離は、平均値 0.15mm、標準偏差 0.01mm であった。一方、前歯部露出顔面三次元データと歯列三次元データの統合時、共通領域である上下顎前歯部歯肉領域における両データ間距離は、平均値 0.37mm、標準偏差 0.01mm であった。

また、データの再現性については、各計測点における 3 回の計測値に有意差を認めなかった (Table 1)。

考 察

1. 統合方法、分析方法について

X 線 CT とセファログラムあるいは模型分析などとの統合に関する研究として、布留川ら¹⁶⁾は X 線 CT と歯列三次元データをマーカーを用いて統合する方法を報告している。また、宮島¹⁷⁾、清水¹⁸⁾は X 線 CT と歯列模型をセファログラム上の上顎切歯切縁、臼歯部咬頭で位置を合わせ、側面セファログラムを介して統合する方法を示してい

Table 1 Reproducibility for three dimensional data integrated
Distances from the origin point to soft tissue point or hard tissue point (mm)

degree of the angle on cross section No.10	measurement value of soft tissue		measurement value of hard tissue	
		Measurement		Measurement
70°	1st	74.63	1st	63.46
	2nd	74.15	2nd	62.81
	3rd	74.05	3rd	62.87
	Average $\pm$ SD	74.28 $\pm$ 0.31	Average $\pm$ SD	63.05 $\pm$ 0.36
90°	1st	78.81	1st	66.75
	2nd	78.79	2nd	66.83
	3rd	78.23	3rd	66.49
	Average $\pm$ SD	78.61 $\pm$ 0.33	Average $\pm$ SD	66.69 $\pm$ 0.18
110°	1st	72.43	1st	59.31
	2nd	72.99	2nd	60.04
	3rd	72.32	3rd	59.67
	Average $\pm$ SD	72.58 $\pm$ 0.36	Average $\pm$ SD	59.66 $\pm$ 0.37

No significant differences were observed (one way ANOVA)

る。これら X 線 CT を利用した方法では、患者の X 線被曝線量の問題による CT 撮影の制限あるいは、CT を所有する施設が限られることなどから、方法論としては妥当性があってもより精度を高くするのに不可欠な被験者数の増加が見込めない。

一方、X 線 CT を利用しない硬・軟組織統合モデルの構築について、寺嶋ら¹⁹⁾は、X 線 CT をもとに作成した三次元ワイヤーフレームモデルをセファログラム、顔面規格写真上の特徴点により変形させ、さらに歯列模型から作成した歯列三次元データを統合する方法を報告している。野口ら²⁰⁾は、セファログラムと顔面形状・歯列模型の非接触型三次元形状計測値を射影適合法により一致させ、統合する方法を報告している。これらの報告で用いている硬・軟組織の統合方法は、十分臨床応用可能な精度を有しているものの、統合方法としては煩雑なものが多い。

本研究では、2 台の非接触型三次元計測装置 (Vivid 9i, LPX-60) により計測した顔面三次元データ、歯列三次元データ、ならびに側面セファログラムを用いて正常咬合を有する成人男性の口腔周囲軟組織様相を分析した。この方法の特徴は、日常の臨床で行っている検査資料を用いることから、患者への負担が少なく、また、マーカーを用いずに上下前歯部歯肉の形態を重ねることで顔面三次元データと歯列三次元データを統合するため、統合時の煩雑さが軽減し、術前、術後ともに検査データを十分獲得できる可能性が高く、対象症例数を増やし統計的に軟組織変化を分析できることにある。

分析方法については、山崎ら¹⁴⁾が行った基準平面に平行な連続計測断面を設定し、それぞれの計測断面上で断面上

Y 軸から放射状に分析する方法を準用した。この計測方法は硬組織の移動に対する軟組織の法線方向の変化を計測するもので、正中を含め斜位の領域の変化を計測するのに適しているため使用した。

2. 精度について

本統合方法の信頼性については、統合時の誤差と資料採取における再現性に関して検討した。統合時の精度には、計測機器の誤差と統合による誤差が影響する。三次元計測機器の精度は、それぞれ Vivid 9i で $\pm 0.008\text{mm}$ 、LPX-60 で $\pm 0.1\text{mm}$ と公表されている^{21, 22)}。三次元データの統合による誤差についてみると、口唇閉鎖時顔面三次元データ、前歯部露出顔面三次元データ統合時の両データ間距離が平均値 0.15mm 、標準偏差 0.02mm 、前歯部露出顔面三次元データ、歯列三次元データ統合時の両データ間距離は平均値 0.37mm 、標準偏差 0.01mm であった。歯列模型三次元データとステレオグラフから採取した 2 種類の顔面三次元データを前歯部で統合させる、本方法と類似した手法を用いた Rangel ら²³⁾は、統合時の精度は 2 種類の顔面三次元データ統合時、 $0.35 \pm 0.32\text{mm}$ 、前歯部露出顔面三次元データと歯列模型三次元データ統合時、 $0.29 \pm 0.21\text{mm}$ であったと報告している。本研究でも、前歯部露出顔面三次元データと歯列三次元データの統合時、ほぼ同様に良好な結果が得られた。統合時の誤差についてみると、口唇閉鎖時顔面三次元データ、前歯部露出三次元データ間、前歯部露出顔面三次元データ、歯列三次元データ間それぞれの誤差の平均値を単純に加算すると 0.52mm となる。本方法の顎変形症例の術後予測への臨床応用を考えた場合、顎骨の移動量の設定は通常 1mm 単位で行っていることから、

精度としてはそれ以下であることが望まれる。今回の結果では、計測機器の誤差および統合時の誤差とを単純に合算しても 1 mm 以内に収まることが示された。

再現性については、繰り返し 3 回の統合を行った結果、上から 10 計測断面上 70 度、90 度、110 度の計測点における軟組織計測と硬組織の 3 回の計測について、一元配置分散分析を行い、それぞれの平均値に有意差を認めなかったことから、今回の方法は再現性が高いと考えられた (Table 1)。

以上のことから、X 線 CT を用いない本統合方法でも顎矯正手術前後における硬・軟組織変化の検索には十分な精度を得られることが明らかとなった。

結 語

従来より顎変形症例の三次元分析に利用されてきた X 線 CT を用いることなく、日常の臨床検査資料である顔面三次元データ、歯列模型から得られた歯列三次元データ、および統合の媒体としての側面セファログラムを利用して結合する方法を考案し、その精度について検討した。その結果、十分な精度で統合が可能であることが示され、今後、実際の症例を使って分析する場合、複数の異なったタイプの被検者により精度に問題のないことを確認し、顎矯正手術適用患者の術前後の変化様相の把握に応用し報告する予定である。

本研究は新潟大学歯学部倫理委員会 (承認番号 20-R16-08-06) の承認を得て行った。

また、本研究の要旨は日本矯正歯科学会第 67 回大会 (2008 年 9 月 千葉)、第 19 回顎変形症学会総会 (2009 年 6 月 仙台) において発表した。

文 献

- 1) 河内満彦, 他: 矯正手術後の鼻部・上唇部軟組織側貌変化の予測に関する研究—上顎骨の移動方向別に分類した多変量解析による検討, 日顎変形誌, 8: 170-185, 1998.
- 2) 長谷川暁子, 他: 骨格性下顎前突症患者の上下顎移動術に伴う軟組織側貌の変化—cheek line の検討—, 日顎変形誌, 13: 83-91, 2003.
- 3) 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.
- 4) 野村泰慎, 他: レーザー三次元形状計測装置を使った顎矯正手術による顔面形態変化の分析, 口科誌, 47: 408-416, 1998.
- 5) 稲見佳大, 他: 下顎移動術による中顔面軟組織の三次元表面形状変化, 日顎変形誌, 35-43, 2003.
- 6) 中川公貴, 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.
- 7) 初川貴司, 他: 成人女子骨格型反対咬合症に適用された上下顎移動術による三次元的顔貌変化の予測シミュレーション, Orthod Waves, 61: 40-51, 2002.
- 8) 神尾 崇, 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, 日顎変形誌, 15: 47-58, 2005.
- 9) 加納浩之, 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.
- 10) 南 克浩, 他: 外科的矯正治療前後の硬軟組織変化の三次元的解析と術後顔貌予測, 口科誌, 40: 620-630, 1991.
- 11) 前田有美, 他: 距離画像合成による顔面三次元形状データ補完法の開発と顔面特徴点自動抽出への応用, 阪大歯学誌, 46: 1-24, 2001.
- 12) 伊藤尚史, 他: 三次元形状データからの外鼻特徴点自動抽出法の開発, 阪大歯学誌, 45: 1-38, 2000.
- 13) 南 克浩, 他: CT 画像三次元再構築システムの開発とその生態計測への応用の試み, 阪大歯学雑誌, 36: 203-223, 1991.
- 14) 山崎幸一, 他: 顔面非対称を伴う骨格性下顎前突症患者における顎矯正手術後の硬組織変化に対する軟組織家変化の三次元分析, 日顎変形誌, 15: 87-94, 2005.
- 15) 安井常晴: 顎変形症に対する 3D-CT の利用, 日顎変形誌, 7: 18-23, 1997.
- 16) 布留川創, 他: 顎矯正手術のコンピュータシミュレーションのための三次元情報統合システム, 日顎変形誌, 10: 281-289, 2000.
- 17) 宮島貴博: 口腔・顎・顔面における統合的三次元計測系開発のための基礎的研究, 阪大歯学誌, 41: 167-187, 1996.
- 18) 清水英孝: 統合 3 次元データによる顎矯正手術シミュレーションシステムの開発, 阪大歯学誌, 44: 1-25, 1999.
- 19) 寺嶋雅彦, 他: 顎変形症患者における顎顔面形態の三次元統合システムの開発, 日矯歯誌, 64: 114-124, 2005.
- 20) 野口信宏, 他: 顎矯正手術シミュレーションシステムの開発, 日顎変形誌, 12: 69-76, 2002.
- 21) Vivid9i 取り扱い説明書, コニカミノルタセンシング社, p.45.
- 22) LPX-60 ユーザーズマニュアル, ローランド社, p.62.
- 23) Rangel, A.F., et al.: Integration of digital dental casts in 3-dimensional facial photographs, Am J Orthod Dentofacial Orthop, 134: 820-826, 2008.