CBCT 頭蓋顎顔面硬軟組織三次元データと 歯列模型三次元データ統合モデルの開発

小 原 彰 浩¹⁾ 西 野 和 臣¹⁾ 焼 田 裕 里¹⁾
越 知 佳 奈 子¹⁾ 寺 田 員 人²⁾ 齋 藤 力³⁾
齋 藤 功¹⁾

Development of Integration Model of Three-dimensional CBCT Craniofacial Soft and Hard Tissue Data and Dental Cast Data

AKIHIRO KOHARA¹⁾, KAZUOMI NISHINO¹⁾, YURI YAKITA¹⁾,
KANAKO OCHI¹⁾, KAZUTO TERADA²⁾, CHIKARA SAITO³⁾
and ISAO SAITO¹⁾

Abstract

Aim: This study was designed to develop a three-dimensionally integrated model of CBCT craniofacial and dental cast data without any markers in skeletal Class III patients for the ultimate purpose of evaluating soft tissue changes after mandibular setback surgery, and to examine the accuracy of this model.

Materials and methods: The subjects comprised five skeletal Class III female patients who had undergone BSSRO at the average age of 20 years and 6 months.

The materials consisted of CBCT data of the craniofacial hard and soft tissues converted from DICOM format, scanned facial soft tissue data and dental casts of the patients. Facial soft tissue data, which were taken in the condition of exposed gingiva with a cheek retractor, and dental cast data were recorded by two kinds of optimal scanners. These data and lateral cephalometric digital data were taken before orthognathic surgery.

To apply the construction system previously reported, we constructed a craniofacial three-dimensional model by superimposing common regions of each data using Polygon Editing Tool software. First, we superimposed the scanned facial data with exposed gingiva on the

CBCT soft tissue data registered at the common regions of the forehead and nose. Then, we superimposed the 3D dental cast data on the previously combined CBCT and scanned facial data by registering at the common frontal gingival region. After cropping each data, we merged the CBCT and dental cast data, and constructed the craniofacial soft and hard tissue three-dimensional integrated model. To examine the precision of this construction, we set three given points on each model. The points were the lower right and left canine cusps, and the lower right central incisal margin.

To examine the repeatability of this model, on the model of case 1, we measured the distance between the ordinary point of the measuring section to each point on CBCT hard tissue data and on dental cast data three times at one-week intervals, and calculated the mean value and standard deviation of the distance between these two positions of each point. To examine the accuracy of integration, we measured the distance between the ordinary point of the measuring section to each point on CBCT hard tissue data and on dental cast data on the models of case 1 to 5, and calculated the mean value and standard deviation of the distance between these two positions of each point.

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

Results: The mean value of the distance between the positions of each point was less than 0.3mm, and the standard deviation was less than 0.1mm.

Conclusion: The present integrated model of CBCT craniofacial soft and hard tissue data and dental cast data

is a simple, low-invasive and highly-accurate method.

Key words: cone beam CT (コーンビームCT), orthognathic surgery (顎矯正手術), three-dimensional analysis (三次元計測)

[Received Mar. 20, 2014]

緒 言

外科的矯正治療において、顎骨の移動に伴う顔貌の複雑な変化を分析、評価することは、術前における術後の顔貌予測を可能にし、適切な治療方針の立案や患者とのインフォームドコンセントの確立に大きく貢献する。従来、術後の顔貌予測は、セファログラムや顔面規格写真を用いた二次元分析法^{1,2)}により行われてきたが、近年、硬組織移動に伴う顔貌の複雑な変化を捉えるために、三次元分析法³⁻¹⁴⁾が多く用いられるようになった。三次元分析法では、X線CTや非接触型あるいは接触型三次元形状計測装置などを用いて採取した顔面軟組織データ、頭蓋、顎骨、歯列などの硬組織データを様々な方法で統合、構築した三次元モデルが用いられている。われわれも、非接触型三次元形状計測装置を用いて採取した2種類の顔面三次元データと歯列模型三次元データからマーカーを用いることなく顔面・歯列三次元モデルを構築する方法を開発した³⁾。本方法は、通常の矯正検査で採取する資料を用いていること、また、統合にマーカーなどを用いないことから患者への侵襲は最小限で統合も簡便であった。さらに、本統合モデルを顎変形症例に応用し設定した領域における軟組織の変化様相について解析を行った結果、硬組織と軟組織の変化を同時に三次元分析できるため、顔貌の変化をより正確に捉えることが可能になった^{4,5)}。しかしながら、本統合モデルでは硬組織と軟組織を同時に分析できる範囲が口唇周囲に限局されるため、顔面全体に変化が及ぶ顎矯正手術前後の変化を解析するには不十分であった。

顔貌全体を評価できる統合モデルについては、X線CTによる硬・軟組織三次元データと歯列模型の三次元データを統合した報告^{6,9)}や、セファログラムを投影像として用いて基準モデルを変形させ、これに歯列模型データ、顔面軟組織データを統合した報告^{10,11)}がある。しかしながら、これらの報告における統合モデルの構築方法は、マーカーなどを用いるため統合が煩雑で、日常臨床で採取する資料とは別にマーカーなどを装着した状態での資料を必要とすることから患者への負担が大きかった。また、X線CTを用いた方法では、被曝線量の問題からデータ収集が限られていた。その結果、これらの方法で構築された統合モデルは、統合精度が十分であっても、実際

に顎変形症例の軟組織変化様相の解析に応用するには至っていない。したがって、顎矯正手術前後の硬組織変化に伴う軟組織変化の解析に応用可能な統合モデルとしては、顔貌全体を同時に三次元的に捉えることが可能で、十分な精度を有し、患者への侵襲が最低限であることが望ましい。

そこで今回の研究では、将来的な顎変形症例の顎矯正手術前後での軟組織変化様相の解析への応用を目的として、これまでにわれわれが開発した三次元モデルの構築方法を応用し、CBCT頭蓋顎顔面硬軟組織三次元データ（以下CBCT硬軟組織データ）と歯列模型三次元データとをマーカーを用いずに統合して頭蓋顎顔面硬軟組織三次元モデルを構築する方法を開発するとともに、その精度について検討した。

研究方法

1. 被験者

新潟大学医歯学総合病院矯正歯科診療室に来院し顎変形症と診断された患者のうち、両側下顎枝矢状分割法により下顎単独後退術を施行した下顎前突症患者5名（女性4名、男性1名、手術時平均年齢20歳6か月：16歳10か月～25歳3か月）を被験者とした。

2. 資料

資料は、本院口腔再建外科で気道精査を目的として顎矯正手術施行直前にCBCT（CBmercuRay Ver1.22 日立メディコ社製）で採取した頭蓋顎顔面のDICOM（Digital Imaging and Communication in Medicine）データ、非接触型三次元形状計測装置（Vivid 910、コニカミノルタセンシング社製、TELEレンズ使用）で口角鉤を用いて前歯部を露出させた状態で採取した顔面三次元データ（以下、前歯部露出顔面三次元データ）、非接触型三次元形状計測装置（LPX-60、Roland社製）で採取した歯列模型三次元データ、および座標設定のための側面セファログラムとした。

CBCTは、被験者を座位でFH平面が床面と平行になるように頭位を設定し、閉口状態で、管電圧120kV、管電流15mA、10000msec、スライス厚0.377mmで撮影した。抽出したDICOMデータは画像処理ソフトウェア（OsiriX, OsiriX財団）上で、頭蓋顎硬組織形状と顔面軟組織形状のstl形式のデータに分離、変換し、それぞれCBCT頭蓋

顎硬組織三次元データ（以下、CBCT 硬組織データ）、CBCT 顔面軟組織三次元データ（以下、CBCT 軟組織データ）とし、両者を合わせたデータを CBCT 頭蓋顎顔面硬軟組織三次元データ（以下 CBCT 硬軟組織データ）とした。

前歯部露出顔面三次元データは、イヤー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、正面観で額部から口腔内までの範囲を非接触型三次元形状計測装置にて計測し、vivid 形式のデータとした。歯列模型三次元データは、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）を用いて余分なデータのトリミングを行い、stl 形式のデータとした。側面セファログラムデータは、側面セファログラムフィルムをスキャナー（ES10000G, EPSON 社製）により解像度 50.8dpi の bmp 形式のデジタルデータとした。

なお、本研究は新潟大学歯学部倫理委員会（承認番号 23-R32-12-20）の承認を得て行った。

3. 頭蓋顎顔面硬軟組織三次元モデルの構築と座標系の設定

頭蓋顎顔面硬軟組織三次元モデルは、アーチファクトのために正確な形状が抽出できない CBCT 硬軟組織三次元データ上の歯列領域を歯列模型三次元データに置換して構築した三次元データである。

1) 頭蓋顎顔面硬軟組織三次元モデルの構築

頭蓋顎顔面硬軟組織三次元モデルの構築は、小原ら³⁾が報告した三次元データの統合方法と座標系の設定を応用し、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）上で以下の手順により行った（Fig. 1）。

（1）CBCT 軟組織データの位置を基準として、CBCT 軟組織データと前歯部露出三次元データを、共通領域である額部の形状が一致するように自動で位置合わせを行った（Fig. 1A, B）。本ソフトウェアはマッチングアルゴリズムとして ICP（Iterative Closest Point）を用いている。

（2）（1）で位置を合わせた前歯部露出顔面三次元データを基準として、前歯部露出顔面三次元データと歯列模型三次元データを共通領域である前歯部歯肉の形状が一致するように（1）同様に自動で位置合わせを行った（Fig. 1B, C）。

（3）CBCT 硬軟組織データと歯列模型三次元データの共通領域である CBCT 硬組織データの歯列領域と歯列模型三次元データの歯肉領域を手動でトリミングした。

（4）CBCT 硬組織データと歯列模型三次元データを CBCT 硬組織歯列三次元データとして統合後、CBCT 軟組織データも統合し、頭蓋顎顔面硬軟組織三次元データを構築した（Fig. 2）。

2) 座標系の設定

両側外耳道上縁と軟組織上の左側眼窩点で決まる平面を基準平面、頭蓋顎顔面硬軟組織三次元モデルの硬組織上の両側外耳道上縁の midpoint と軟組織上内眼角の midpoint を含み、基準平面に垂直な平面を正中矢状面とし、正中矢状面上に Sella 点を側面セファログラムデジタルデータ上から変換して設定し、Sella 点から基準平面に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外耳道上縁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、原点から被験者の左方、前方、上方を正として設定した。

4. 精度の評価

統合した CBCT 硬組織データと歯列模型三次元データの共通領域である歯列領域における 2 つのデータ間の距離の差を、頭蓋顎顔面硬軟組織三次元モデルの精度として評価した。精度は、同一症例を繰り返して統合、計測した際の繰り返し精度、ならびに 5 例それぞれの統合モデルの精度から求めた統合精度を算出し、評価した。

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。計測方法は、山崎ら¹²⁾の方法に準じ、前述した基準平面に平行な連続断面を設定し、連続断面上 Y 軸から放射状に分析する手法を応用した。計測点は、歯列領域のうち、CBCT 硬組織データ上にアーチファクトがない下顎右側中切歯切縁部、下顎両側犬歯尖頭部領域にそれぞれ任意で設定した（Fig. 3）。基準平面に平行な計測平面をそれぞれの任意点を含むよう平面設定し、それぞれの平面上で断面上 Y 軸から放射状に伸ばした計測線のうち任意点を通る計測線上で CBCT 硬組織データと歯列模型三次元データとの各交差点間距離を算出した。繰り返し精度は、Case 1 を 1 週間の間隔をあけて 3 回計測し、各任意点における計測距離の差の平均値と標準偏差を求め、さらに、統合の再現性をみるために各任意点の平均値の差の検定を一元配置分散分析により評価した。一方、統合精度は、Case 1 から 5 における各任意点の計測距離の差の平均値と標準偏差を求め、さらに、症例ごと、計測部位ごとの精度の差をみるため、症例ごと、計測部位ごとの平均値の差の検定を二元配置分散分析により評価した。

結 果

CBCT 硬軟組織データの歯列領域を歯列模型三次元データで置換する本統合方法は、前歯部露出顔面三次元データを介して共通領域で位置合わせを行うことで、マーカーなどの指標を用いずに統合が可能であった。

繰り返し精度について、Case 1 を 1 週間の間隔をあけて 3 回計測したその平均値および標準偏差は、下顎右側犬歯

Fig. 1 Integration of three-dimensional CBCT craniofacial data and dental cast data used nose and head region and gingival region in the anterior teeth as common regions.

A: Three-dimensional CBCT craniofacial three dimensional data

B: Three-dimensional facial data at gingival exposure

C: Three-dimensional dental cast data

Fig. 2 Integrated three-dimensional model of CBCT craniofacial data and dental cast data.

Blue region: dental cast data

Green region: CBCT hard tissue data

Fig. 3 Points given on CBCT hard tissue and dental cast model.

Three given points were set arbitrarily in the figure before orthognathic surgery to evaluate accuracy of the construction model. These points were placed on the lower right and left canine cusps, and lower right central incisal margin before surgery.

尖頭で $0.24 \pm 0.05\text{mm}$ ，下顎右側中切歯切縁で $0.17 \pm 0.03\text{mm}$ ，下顎左側犬歯尖頭で $0.27 \pm 0.09\text{mm}$ であった (Table 1)。さらに，各任意点における 3 回の CBCT 硬組

織三次元データと歯列三次元データの距離計測結果について，任意点ごとの平均値の差を一元配置分散分析で評価した結果，有意水準 5% で差を認めなかった。

統合精度について，Case 1 から 5 の 5 症例について，各任意点での計測値の平均値および標準偏差は，下顎右側

Table 1 Repeatability of the craniofacial data reconstructed
The distance between the measurement values of CBCT hard tissue and dental
cast for Case 1.
No significant differences were found (one way ANOVA).

given points			Distance between measurement value of CBCT hard tissue and dental cast		
			Measurement (mm)		
Cusp of lower right canine			1 st time	0.20	
			2 nd time	0.30	
			3 rd time	0.23	
			Average $\pm$ SD	0.24 $\pm$ 0.05	
Incisal margin of lower right centrals			1 st time	0.14	
			2 nd time	0.18	
			3 rd time	0.20	
			Average $\pm$ SD	0.17 $\pm$ 0.03	
Cusp of lower left canine			1 st time	0.16	
			2 nd time	0.32	
			3 rd time	0.33	
			Average $\pm$ SD	0.27 $\pm$ 0.09	
Analysis of Variance					
Souce	DF	Sum of Squares	Mean of Squares	F Ratio	Prob > F
Given points	2	0.01496	0.007478	1.771	0.249
Residuals	6	0.02533	0.004222		

犬歯尖頭で $0.23 \pm 0.02\text{mm}$, 下顎右側中切歯切縁で $0.20 \pm 0.05\text{mm}$, 下顎左側犬歯尖頭で $0.20 \pm 0.05\text{mm}$ であった (Table 2)。さらに, 各症例の CBCT 硬組織三次元データと歯列三次元データの距離計測結果について, 症例ごと, 計測部位ごとの平均値の差を二元配置分散分析で評価した結果, 有意水準 5% で差を認めなかった。

考 察

1. 三次元モデルの構築方法について

われわれは, 顎矯正手術による術前後の顎骨移動に伴う軟組織の変化様相について, 硬組織の移動量だけではなく, 個々の症例における術前の軟組織の形態的特徴, 咬合状態などに影響されることを明らかにしてきた^{4,5)}。このことから, 顎矯正手術前後の顎骨移動に伴う軟組織変化を三次元的に評価できる統合モデルとしては臨床応用するに十分な精度をもって, 顔貌全体の硬組織と軟組織それぞれの三次元形状を捉えることができ, 患者に与える侵襲を最低限にすることが望ましい。統合モデルの構築方法としては, 予め用意した三次元基準モデルをセファログラムや非接触型三次元形状計測装置で撮影した顔面三次元データ, 歯列三次元データなどを用いて変形させて構築する方法^{10,11)}, あるいは X 線 CT と非接触型三次元形状計測装

置などで撮影した歯列三次元データを統合し構築する方法^{6-9,13,14)} に大別される。X 線 CT と歯列模型を統合する手法としては, 共通となるマーカーを用いて X 線 CT と歯列模型三次元データを統合する方法^{6,7)}, X 線 CT と歯列模型三次元データをセファログラム上の上顎切歯切縁, 臼歯部咬頭で位置合わせを行って統合する方法^{13,14)}, さらに, 下顎臼歯, 前歯部のブラケットの形状を一致させることで X 線 CT と歯列三次元データを統合する方法^{8,9)} が報告されている。これらの中で基準モデルを変形させる手法は, 統合方法が煩雑で精度も良好とはいい難かった。一方, X 線 CT を用いた場合においても, 統合にマーカーを用いる方法^{6,7,13,14)} では統合方法が煩雑で, 通常撮影される X 線 CT とは別にマーカーを装着した CT を採取する必要があり, 患者への被曝, 侵襲の観点から多くの症例を対象に資料を採取することは困難であった。ブラケットの形状で重ね合わせる方法^{8,9)} では, 統合方法は単純であるもののバンドや補綴物によるアーチファクトの影響やブラケットの種類によっては形状を明瞭に捉えることが難しくなる。こういった理由から, 多数の顎変形症例を対象として統合モデルを応用し軟組織変化様相の多様性を分析した報告はない。

CBCT は, 従来のヘリカル CT と比較し, 撮影範囲に

Table 2 Accuracy of integration of the craniofacial data reconstructed
The distance between the measurement values of CBCT hard tissue and dental cast for Case 1-5. No significant differences were found (one way ANOVA).

given points	Distance between measurement value of CBCT hard tissue and dental cast			
	Measurement (mm)			
Cusp of lower right canine	Case 1	0.20		
	Case 2	0.23		
	Case 3	0.24		
	Case 4	0.21		
	Case 5	0.25		
	Average ± SD	0.23 ± 0.02		
Incisal margin of lower right centrals	Case 1	0.14		
	Case 2	0.22		
	Case 3	0.17		
	Case 4	0.27		
	Case 5	0.20		
	Average ± SD	0.20 ± 0.05		
Cusp of lower left canine	Case 1	0.16		
	Case 2	0.28		
	Case 3	0.21		
	Case 4	0.22		
	Case 5	0.14		
	Average ± SD	0.20 ± 0.05		
Analysis of Variance				
Souce	DF	Sum of Squares	F Ratio	Prob > F
Case	4	0.01277	3.6502	0.05627
Given points	2	0.00225	1.1943	0.35165
Intercept	1	0.65313	692.3604	4.68E-09
Residuals	8	0.00755		

よって被曝線量が軽減でき、撮影時間の短縮、立位での撮影という点で有用性がある。立位での撮影については、軟組織にかかる重力が、顔面三次元計測時と同条件であることで、統合には有益なデータとなる。そこで本研究では、顎変形症例（女性4名、男性1名）の術前に2種類の非接触型三次元形状計測装置（Vivid910, LPX-60）により計測した前歯部露出顔面三次元データと歯列模型三次元データ、CBCT硬軟組織データを用い、歯列模型三次元データとCBCT硬軟組織データをマーカーレスで統合させ、頭蓋顎顔面硬軟組織三次元モデルを構築する方法を開発した。本方法の特徴は、われわれがすでに開発した、顔面軟組織三次元データと歯列三次元データの統合に用いた手法³⁾を応用したことで、統合のために特殊なマーカーを装着することなく通常の臨床検査のデータを使用でき、資料採取時の患者への侵襲は最小限に抑えられることである。本統合方法において用いたCBCT硬軟組織データは、

本院口腔再建外科で下顎後退術施行後の気道変化を精査する目的で術直前に撮影したもので患者への過剰なX線被曝は避けられた。統合にはマーカーを用いず、非接触型三次元形状計測装置で撮影した前歯部露出顔面三次元データを媒体とし、各データの共通領域を一致させて頭蓋顎顔面硬軟組織三次元データと歯列模型三次元データを統合させたため、統合は簡便で、短時間で行うことが可能であった。

2. 精度の評価

本統合方法の精度は繰り返し精度と統合精度に分けて検討し、頭蓋顎顔面三次元モデル上のCBCT硬組織データと歯列模型三次元データに、共通領域である歯列領域のうちアーチファクトの影響を受けない下顎右側中切歯切縁部、下顎両側犬歯尖頭部領域のそれぞれに任意点を設定し、各点における2データ間の距離差を計測しその平均と標準偏差を求めた。

繰り返し精度については, Case 1 を対象とし, 日を変えて 3 回計測して平均値を算出した結果, 0.17 ~ 0.27mm であった。一方, Case 1 ~ 5 の 5 症例を統合, 計測した統合精度の平均値は 0.20 ~ 0.23mm であった。CBCT の精度として撮影条件のスライス厚 0.377mm と, 歯列模型三次元データの撮影精度 0.20mm とを考慮すると最大誤差は 0.7mm 程度となる。本統合モデルを顎矯正手術前後の軟組織変化の解析および術後シミュレーションへ臨床応用する場合, 顎骨移動量の設定は通常 1 mm 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, 計測機器の精度および統合精度の両方を考慮しても 1 mm 以内に収まることが示された。また, 本統合モデルの再現性については, 繰り返し精度の結果, 任意の 3 点における CBCT 硬組織データ, 歯列模型三次元データの計測値の 3 回の平均値には有意差を認めなかったこと, 5 症例における各症例, 各領域の平均値に差を認めなかったことから, 今回の統合方法は再現性が十分であると考えられた。

以上のことから, マーカーを用いず日常の臨床検査資料のみで頭蓋顎顔面硬軟組織三次元モデルを構築する本統合方法は, 顎矯正手術前後における硬軟組織三次元変化様相の解析に統合モデルとして十分な精度をもって使用できる手法であることが明らかとなった。

結 語

本研究では, 術直前に撮影した CBCT 硬軟組織データと, 2 種類の非接触型三次元形状計測装置から得られる前歯部露出顔面三次元データ, 歯列模型三次元データを用いて頭蓋顎顔面硬軟組織三次元モデルを構築する方法を開発するとともに, その精度について検討した。

今回開発した本統合モデルは, マーカーなどの指標を用いることなく構築できることから, 方法が簡便で患者への負担が少なく臨床に十分な精度を有することが明らかとなり, 顎変形症例の顎矯正手術前後での硬組織変化に伴う軟組織変化様相の解析に応用できる可能性が示唆された。

本研究は JSPS 科研費 22592281 の助成を受けたものです。

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) 小原彰浩, 他: 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. 日顎変形誌, 19: 193-198, 2009.
- 4) 小原彰浩, 他: 下顎骨後方移動術前後における口腔周囲軟組織形態の三次元変化様相の解析—顔面・歯列模型統合三次元データの応用. 日顎変形誌, 22: 208-215, 2012.
- 5) 焼田裕里, 他: 下顎骨後方移動術後の三次元口腔周囲軟組織形態変化解析における重回帰分析の有効性の検討. 日顎変形誌, 22: 244-254, 2012.
- 6) 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.
- 7) 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.
- 8) 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.
- 9) 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: 186-194, 2004.
- 10) 寺嶋雅彦, 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. 日顎変形誌, 11: 194-204, 2001.
- 11) 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.
- 12) 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.
- 13) 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.
- 14) 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.