

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 5 月 24 日現在

機関番号：32650

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K11920

研究課題名(和文) 3D口腔内スキャナーとX線CTによる顎矯正手術の精度に関する研究

研究課題名(英文) Study on precision of the orthognathic surgery with the three-dimensional intraoral scanner and X-ray computed tomography

研究代表者

高木 多加志 (TAKAKI, TAKASHI)

東京歯科大学・歯学部・准教授

研究者番号：90192145

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：顎変形症の診断と治療は、頭部X線規格写真分析が最もスタンダードな方法である。近年は、X線CTを用いた頭蓋顎顔面の三次元分析、virtual osteotomy、guided surgeryやCAD/CAM splintを用いた三次元手術支援システムが普及している。我々は、歯科矯正医と連携して顎変形症の治療を行う際に、頭部X線規格写真分析を基本とし、手術支援三次元シミュレーションシステムを併用している。

本研究は、このシステムに口腔内デジタルスキャナによる歯列情報と三次元カメラによる顔面立体写真を統合した顎変形症の三次元的診断、治療計画システムの問題点と治療精度について検討した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本邦における顎変形症の治療は、手術前後の歯列矯正治療および顎矯正手術ともに健康保険の適用となっている。最近では、歯科治療技術のデジタル化も進み、医用と歯科用の三次元技術を統合することが可能となった。顎変形症の治療システムは、二次元から三次元へと移行し、患者自身が実際に手術を受ける前に予測結果の説明を受けられる状況となってきた。しかし、治療予測と結果の整合性についての検討は少ない。したがって、顎変形症の三次元治療システムの精度の検証には重要な社会的意義がある。

研究成果の概要(英文)： A diagnosis and treatment of the jaw deformity are the methods that roentgenographic cephalometry is the most standard. In late years three-dimensional surgery support systems using cranio-maxillofacial three-dimensional analysis using the X-ray computed tomography, virtual osteotomy, guided surgery and CAD/CAM splint spread. When the jaw deformity is treated in cooperation with an orthodontist, we assume roentgenographic cephalometry basics and use surgery support three-dimensions simulation system together.

This study examined a three-dimensional diagnosis of the jaw deformity that integrated the dental information with the intraoral digital scanner and the face stereograph with the three-dimensional camera with this system, problems and the treatment precision of the treatment plan system.

研究分野：口腔外科

キーワード：顎変形症 三次元シミュレーション 口腔内スキャナ 三次元カメラ CAD/CAMスプリント

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

- (1) 顎変形症の治療は、本邦では顎矯正手術の前後における歯列矯正治療を含めて公的保険の適用となっており、世界的に見ても数少ない国である。しかし、手術の前後における歯列矯正治療を担当する歯科矯正医においては、多くの検査と治療手順に規制がある。また、顎矯正手術を担当する口腔外科医と連携する際は、いまだに従来から使用する二次元システム診断システムである頭部 X 線規格写真分析、口腔内と顔貌写真および歯列石膏模型を基本としている。
- (2) 欧米の歯科治療の分野においては、従来の印象・歯列石膏模型といったアナログ方式から口腔内スキャナーによるデジタル印象、コンピュータによる補綴物の設計および CAD/CAM 冠等のシステムは既に実用化された一般的な治療として定着している。さらに、デジタルデータの最大の利点を活かして、ネットワークを活用した digital dentistry という分野へと発展している。
- (3) 本邦においては、自費診療で行われるデンタルインプラントにおける guided surgery で使用する surgical stent やインビザラインによる歯科矯正治療における口腔内スキャナーを用いたデジタル印象などは既に行われており、国内においての機器の普及も行われはじめている。
- (4) 我々は、従来からデジタル X 線と頭部 X 線規格写真分析ソフトを用いて、デジタル化されたデータと分析手法を用いて矯正歯科医との連携をはかっており、矯正歯科医院では頭部 X 線規格写真分析ソフトによる診断と矯正治療を担当し、口腔外科では X 線 CT による手術支援三次元シミュレーションシステムによる手術計画を行っている。
- (5) 今後、歯科医療の分野とくに顎変形症の治療システムは、欧米のようなネットワークを活用した digital dentistry において、矯正歯科医による digital cephalometric prediction、口腔外科医による virtual osteotomy と guided surgery に歯科技工士による CAD/CAM splint といった現在の歯科治療での役割分担を踏襲したシステムで完成していくものと考えられる。

### 2. 研究の目的

- (1) 口腔内スキャナーによる歯列三次元情報を統合した顎変形症の三次元 virtual model の構築
- (2) 三次元カメラによる三次元顔貌写真を統合した顎変形症の三次元 virtual model の構築
- (3) 三次元手術計画の精度に関する検討
- (4) CAD/CAM スプリントの臨床的検討

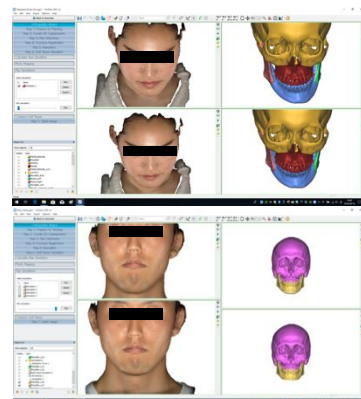
### 3. 研究の方法

- (1) X 線 CT で撮影した顎顔面骨格の三次元情報を DICOM データを用いて ProPlan CMF (Materialise Japan) へ取り込み、頭蓋顎顔面及び上顎・下顎の三次元再構成を行なった。歯列や咬合状態をより高精度に三次元デジタル化するために、口腔内スキャナ Trophy 3DI system (3DI Systems) でデジタル印象をおこない、STL データへと変換して ProPlanCMF へ取り込み、X 線 CT による骨格の三次元画像と合成した。
- (2) Virtual model に vectra3D より得られた顔貌 3D 画像を colored STL として統合した。することで、手術前の患者説明には、非常に有効であった。とくに、従来からの側面画像とセファロ分析による治療計画や予測については、非対称のない患者では治療計画をよく反映していたが、顔面非対称がある患者については、患者正面からの手術予測が可能となり、正面における軟組織 Me の移動量は頭部 X 線規格写真の硬組織 Me の移動量との関連性があることから、有用性が高いことがうかがえた。
- (3) ProPlanCMF による virtual model による三次元シミュレーション三次元計画と手術結果の精度について、三次元計画の STL 画像と術後 1 ヶ月の三次元画像を sp-Guage による三次元的誤差の検討を行った。

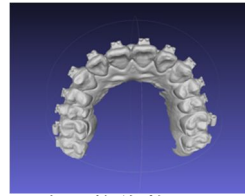
### 4. 研究成果

- (1) X 線 CT で撮影した顎顔面骨格の三次元情報を DICOM データを用いて ProPlan CMF (Materialise Japan) へ取り込み、頭蓋顎顔面及び上顎・下顎の三次元再構成を行なった。歯列や咬合状態をより高精度に三次元デジタル化するために、口腔内スキャナ Trophy 3DI system (3DI Systems) でデジタル印象をおこない、STL データへと変換して ProPlanCMF へ取り込み、X 線 CT による骨格の三次元画像と合成することで精密な歯牙情報を有した三次元 virtual model が構築できた。Virtual model における歯列の三次元情報は、従来の印象と石膏模型より精度が高く、モデルの構築においては咬合状態の把握も可能であった。

口腔内に金属歯冠補綴物が多く装着されている患者で

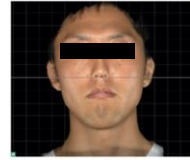


は、金属アーチファクトが非常に多く発現しソフトウェアの除去機能を用いても臼歯部の咬合関係が不明瞭であった。そのため、CTより再構成した三次元骨格の三次元セファロ分析(仮称)を行うに当たって、画像上の計測点の設定が困難であり、単純X線を用いた二次元のセファロ分析より骨格の評価精度が著しく低下して信頼性がなくなることが判明した。

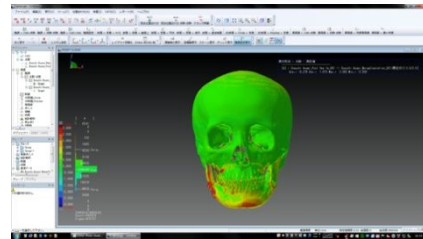


すなわち、日本において従来からの保険診療において行われてきた、金属修復物による治療が三次元治療計画の妨げになっている訳である。しかし、近年では診療上の制限はあるが、ファイバーコアや CAD/CAM 冠なども保険適応となり、非金属による歯科治療が減少してくれば、この点が改善されるものと考えられる

- (2) Virtual model に vectra3D より得られた顔貌 3D 画像を colored STL として統合した。することで、手術前の患者説明には、非常に有効であった。とくに、従来からの側面画像とセファロ分析による治療計画や予測については、非対称のない患者では治療計画をよく反映していたが、顔面非対称がある患者については、患者正面からの手術予測が可能となり、正面における軟組織 Me の移動量は頭部 X 線規格写真の硬組織 Me の移動量との関連性があることから、有用性が高いことがうかがえた。



- (3) ProPlanCMF による virtual model による三次元シミュレーション画像を再統合して STL ファイルとして出力し、術後 1 ヶ月の三次元画像と sp-Guage により三次元的誤差の検討を行った。Virtual model 上の三次元計測と簡易ガイドによる骨切り位置を決定して、実際の手術時に上顎骨を計画した位置に移動する新たな手術方法を開発した。この方法を用いて、三次元シミュレーションと実手術の誤差について、sp-Guage による三次元的誤差の検討を 5 症例で行い、平均誤差 0.3mm 程度と臨床的にも上顎骨の位置再現性に問題がない精度の手術が可能であることがわかった。顔面軟組織の予測精度については、上顎骨の移動量が 2~3mm 程度であったことから予測の精度が高くなかった。これは、下顎骨ほど大きな軟組織変化が認められないためであるためと判明した。



- (4) 最終的な顎骨の位置を決定することに関しては、術前矯正治療において上下顎歯列弓が安定して咬合することが重要であるが、従来からの double splint 法による上顎位置の決定には X 線 CT 撮影時の下顎位が大きく影響を与えることがわかっている。したがって、下顎の位置にか影響されない上顎位置の決定について検討する必要性と guided surgery 用の 3D プリンターによる、surgical guide の保険導入が望まれる。すでに、下顎の位置決め方法による CAD/CAM スプリントは、保険適用に準じた使用が可能である。さらに、今回の研究においても従来の印象・歯列石膏模型およびフェースポートランスファーによるモデル手術による重合レジンスプリントと比較しても実際の使用に当たっての問題点はなかった。今後は、歯科技工所を取り込んだ CAD/CAM 冠のシステムと同等の歯科医療システムへの移行も可能であると考えられた。



#### <引用文献>

- 1) G.R.J. Swennen (Ed.): 3D Virtual Treatment Planning of Orthognathic Surgery 1st ed. 2017.
- 2) Minjiao Wang, Hongliang Li, Jiawen Si, Xudong Wang, Steve Guofang Shen, Hongbo Yu : The application of digital model surgery in the treatment of dento-maxillofacial deformities. Int J Clin Exp Med 2016;9(2):1808-1814
- 3) Gwen R.J. Swennen, MD, LDS, DMD, PhD, FEBOMFS,\* Wouter Mollemans, MSc, PhD, and Filip Schutyser, MSc : Three-Dimensional Treatment Planning of Orthognathic Surgery in the Era of Virtual Imaging. J Oral Maxillofac Surg 67:2080-2092, 2009
- 4) Tadashi Kogou, Takashi Takaki and Takahiko Shibahara : Three-dimensional Analysis and Evaluation in Orthognathic Surgical Cases with Facial Asymmetry. Bull Tokyo Dent Coll (2018) 59(3): 147-161
- 5) Akira Yosano, Masae Yamamoto, Takahiro Shouno, Sayaka Shiiki, Maki Hamase, Kiyohiro Kasahara, Takashi Takaki, Nobuo Takano, Takeshi Uchiyama and Takahiko Shibahara.: Model Surgery Technique for Le Fort I Osteotomy -Alteration in Occlusal Plane Associated with Upward Transposition of Posterior Maxilla-. Bull Tokyo Dent Coll (2005) 46 (3): 67-78
- 6) Kazuhiro Tominaga , Manabu Habu , Hiroki Tsurushima , Osamu Takahashi and Izumi Yoshioka : CAD/CAM splint based on soft tissue 3D simulation for treatment of facial asymmetry. Maxillofacial Plastic and Reconstructive Surgery (2016) 38:4

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 小郷直之	4. 巻 27
2. 論文標題 顎矯正手術における 3D シミュレーションの適応と限界	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 日本顎変形症学会雑誌	6. 最初と最後の頁 237-243
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） <a href="https://doi.org/10.5927/jjdd.27.231">https://doi.org/10.5927/jjdd.27.231</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Takashi Kamio, Kamichika Hayashi, Takeshi Onda, Takashi Takaki, Takahiko Shibahara, Takashi Yakushiji, Takeo Shibui and Hiroshi Kato	4. 巻 4
2. 論文標題 Utilizing a low-cost desktop 3D printer to develop a “one-stop 3D printing lab” for oral and maxillofacial surgery and dentistry fields.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 3D Printing in Medicine	6. 最初と最後の頁 2-7
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1186/s41205-018-0028-5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Tadashi Kogou, Takashi Takaki and Takahiko Shibahara	4. 巻 59
2. 論文標題 Three-dimensional Analysis and Evaluation in Orthognathic Surgical Cases with Facial Asymmetry.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Bull Tokyo Dent Coll	6. 最初と最後の頁 147-161
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2209/tdcpublication.2017-0008	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 2件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 高木多加志
2. 発表標題 顎変形症治療 形態と予測 審美性・機能性・安定性とチームアプローチ
3. 学会等名 第12回熊本顎変形症研究会総会（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高木多加志
2. 発表標題 顎変形症の治療-機能性・審美性と安定性におけるチームアプローチ-
3. 学会等名 第30回日本審美歯科学会(招待講演)(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 神尾 崇, 川上真奈, 有泉高晴, 山村哲生, 山本雅絵, 成田真人, 高木多加志, 柴原孝彦, 薬師寺 孝
2. 発表標題 顎変形症治療における低価格デスクトップ3Dプリンタ運用の実際
3. 学会等名 第29回特定非営利活動法人日本顎変形症学会総会・学術大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	神尾 崇  (KAMIO TAKASHI)  (70433951)	東京歯科大学・歯学部・講師   (32650)	2019年9月末にて退職