

令和 6 年 6 月 14 日現在

機関番号：32650

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K17123

研究課題名(和文) ガイド造形技術と術中ホログラフィーを融合した顎矯正手術支援システムの開発

研究課題名(英文) Development of orthognathic surgery assisted system with combined guide modeling technology and intraoperative holography.

研究代表者

小谷地 雅秀 (koyachi, masahide)

東京歯科大学・歯学部・助教

研究者番号：90875692

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：顎変形症に対する手術の1つであるLe Fort I型骨切り術では、術前のヴァーチャルオペレーションを手術中に再現する方法としてCAD/CAM技術が使用されている。しかし、術中に計画通りに手術が行われているかを確認するのは困難であった。そこで、Mixed Reality技術を搭載したヘッドマウントディスプレイを術中に装着し手術を行うことで、術前のヴァーチャルオペレーションから作製した3次元ホログラムを術野に重ね合わせながら手術を行う方法を開発した。結果として、上顎骨の移動時における術前計画の再現性および正確性は向上し、経験年数などに依存しない普遍的な術式となる可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

Le Fort I型骨切り術による上顎骨移動・固定には、術前に印象採得した模型を用い作製するダブルスプリント法が用いられているが、作製過程における誤差が生じることに加え3次元的变化を十分に再現出来ず、術者の経験に依存している点が多い。本研究の成果により、施設や経験年数に依存しない普遍的で高精度な手術が行えるようになった。さらに本技術は口腔外科領域のその他の手術にも応用することが可能であり、様々な手術を安全かつ高精度に行えることが期待できる。

研究成果の概要(英文)：In Le Fort I osteotomy, a type of surgery for jaw deformity, CAD/CAM technology is used as a method to reproduce preoperative virtual operations during surgery. However, it was difficult to confirm during surgery whether the surgery was being performed as planned. Therefore, we developed a method to perform surgery while wearing a head-mounted display equipped with mixed reality technology during surgery and superimposing a 3D hologram created from the preoperative virtual operations onto the surgical field. As a result, the reproducibility and accuracy of the preoperative plan when moving the maxilla was improved, and it was suggested that this could become a universal surgical procedure regardless of years of experience.

研究分野：Oral and Maxillofacial Surgery

キーワード：extended reality virtual reality mixed reality orthognathic surgery image guided surgery CAD/CAM

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

Le Fort I 型骨切り術による上顎骨移動・固定には、術前に印象採得した模型を用い作製するダブルスプリント法が用いられているが、作製過程における誤差が生じることに加え 3 次元的变化を十分に再現出来ず、術者の経験に依存している点が多い。現状では 2mm 程度の誤差は許容範囲とされているが、これを改善するために最近では Computer-aided design/computer-aided manufacturing (CAD/CAM) 技術で作製したオステオトミーガイドやリポジショニングガイドを用い手術の再現性を高めることが試行されている。しかし、この方法だけでは手術中にガイド通りに上顎骨が適切に再配置されているかの確認が十分にできないために、さらに精度や確実性が高く安全な手術支援体制の構築が必要である。

現在までに外科領域で医療用画像を用いた様々な手術支援システムの開発研究がおこなわれてきた。申請者は大学院在籍時、2010 年に発表された医療用画像を立体構築し、その画像をプロジェクションマッピングで生体の手術野に投影する手術のナビゲーションシステムに関する研究に着目した (Sugimoto et al. J Hepatobiliary Pancreat Sci, 17:5, 629-636, 2010)。しかし、プロジェクションマッピングによる投影はあくまで 2 次元的なものであり、3 次元的な空間認識が必要な口腔顎顔面領域への応用には改善が必要であると考えていた。2016 年に MR を搭載したヘッドマウントディスプレイが発表され、CG で作製されたホログラムを 3 次元的に患者へ投影することが可能となった。そのため、申請者の研究グループは顎矯正術において術前 CT データよりヴァーチャルオペレーションを行った 3 次元データを MR 搭載のヘッドマウントディスプレイで患者へ投影する手術のナビゲーションシステムの開発に着手し、成功した。本システムをさらに改善することにより、顎矯正手術における精度と安全性を向上させたいという着想に至った。

2. 研究の目的

新規に開発した CAD/CAM 技術と MR を併用した手術支援システムを Le Fort I 型骨切り術へ応用し、その精度および安全性を向上することを目的とした。

従来のナビゲーションシステムは、機材が大型で非常に高価なために導入が困難であった。ヘッドマウントディスプレイは安価で、滅菌術野においてジェスチャー操作ができ、術野への 3 次元ホログラム投影を可能とした。本申請では、独自に開発した手術支援システムをさらに向上させる点で学術的独自性が高く、3 次元的な空間認識を改善し、解剖学的構造の距離や角度、深度を全方角から術者同士で共有して術野の危険領域を認識しながら、正確で安全な低侵襲の手術を行うことが可能な手術支援システムを開発することを目的とした。

3. 研究の方法

すでに CAD/CAM 技術を用いた患者とホログラムの重ね合わせマーカを開発していたが、マーカ形状を改善し精度向上が必要であった。具体的にはホログラム認識向上のためにマーカを様々な大きさおよび形状 (4 面体・6 面体・8 面体、円柱型) で設計した。

新規作製したマーカと CAD/CAM 技術で作製したオステオトミーガイドおよびリポジショニングガイドを用いて Le Fort I 型骨切り術を行い、術前ヴァーチャルオペレーションデータと術後の CT データを解析ソフト (Gom Inspect (GOM 社製)) で重ね合わせ精度検証を行った。データの重ね合わせは手術の影響を受けない頭蓋骨を基準とし、任意の 3 点を設定し行う。また、評価の

際の基準平面は立体構築した CT データ上で両側 Po の中点を中心に設定し、両側 Or の中点を通る方向を X 軸、FH 平面に垂直で頭頂方向を Y 軸、中心から右方向を Z 軸とし、XZ 平面は FH 平面と一致するような平面とする。

精度検証は、point data analysis と術前ヴァーチャルオペレーションデータと術後の CT データを重ね合わせた際の表面偏差を精度検証した。point data analysis は評価項目を A 点、ANS、PNS、上顎中切歯の根尖中央、両側犬歯根尖、両側第一大臼歯根尖とする。計測は同一術者により 2 回ずつ行い、その平均値を評価値とする。また、過去の報告では表面偏差の誤差の範囲は 2mm 以下であれば高精度とされてきたが、本研究では 1mm 以下の誤差範囲内を目標とした。

4 . 研究成果

申請者らはホログラムを術野に重ね合わせるためのマーカーを当初の二面体からシリンダータイプに変更し、サイズも小さくすることに成功した。この成果により術野の障害にならず、すべての方向からマーカーを認識することが可能となった。さらに HoloLens2(Microsoft)の発売によりハードウェア自体が改善され、表示できるホログラムの精度が向上された。申請者らが開発してきたシステムも HoloLens2 に対応させ、さらなる手術精度の向上に成功した。

2021 年度は顎変形症の診断下に本システムを適応し 18 例の Le Fort1 型骨切り術を行った。術後の精度検証は解析ソフト (Gom Inspect (GOM 社製)) で行い評価は術前のヴァーチャルオペレーションデータ (Tv) と術後 1 か月の CT データ (T1) を解析ソフト Gom Inspect (GOM 社製) で比較した。評価方法は Tv と T1 の骨表面の誤差を計測した 3D surface analysis と A 点、ANS、PNS、上顎中切歯根尖中央、両側犬歯根尖、両側第一大臼歯根尖を評価点とし、点ごとの誤差を計測した Point based analysis を行った。3D surface analysis の結果は 79.9 ~ 97.1 % で平均誤差は 90.3 % であった。Point based analysis の結果では Tv と T1 を比較した際の有意差は認めなかった。本研究成果は International Journal of Oral and Maxillofacial surgery に掲載された (Koyachi et al :Accuracy of Le Fort I osteotomy with combined computer-aided design/computer-aided manufacturing technology and mixed reality)。

これらのシステムをオトガイ形成術に応用し、手術精度が向上したことを報告した成果も掲載された (Enhanced Precision in Genioplasty: A Novel Intraoperative Spatial Repositioning Using Computer-Aided Design and Manufacturing Technology and a Holographic Mixed Reality Application, Journal of Clinical Medicine) に掲載された。以上の内容は第 77 回 NPO 法人日本口腔科学会学術集会シンポジウム (Extended Reality 技術と CAD/CAM 技術を顎矯正手術に応用する) および第 1 回若手口腔外科医交流会のシンポジウム (Digital Transformation により手術経験の不足を補うことを推進する) でまとめた内容を発表した。本研究で用いた Mixed Reality 技術を発展させ、上顎骨癒合不全の症例に対し CAD/CAM と Mixed Reality 技術を応用し手術を行った症例について論文にまとめ掲載された (Using mixed reality and CAD/CAM technology for treatment of maxillary non-union after Le Fort I osteotomy: a case description, Quantitative Imaging in Medicine and Surgery)。さらに顎骨再建手術にも本技術を応用し、再建精度を向上させることに成功した論文も掲載された (Mixed-reality and computer-aided design/computer-aided manufacturing technology for mandibular reconstruction: a case description, Quantitative Imaging in Medicine and Surgery)。また、本技術を口腔外科で行われる抜歯術にも応用した論文が掲載された (Mixed reality for extraction of maxillary mesiodens, Maxillofacial Plastic and Reconstructive Surgery)。海外講演としては、ドイツで行われた第 72 回ドイツ口腔顎顔面外科学会 (72nd DGMKG Congress)

にて(Innovation of Medical Digital Transformation in Oral and Maxillofacial Surgery-
CAD / CAM, Extended Reality, Medical Metaverse)でシンポジストとして本研究内容の発表
を行った。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Koyama Yu, Sugahara Keisuke, Koyachi Masahide, Tachizawa Kotaro, Iwasaki Akira, Wakita Ichiro, Nishiyama Akihiro, Matsunaga Satoru, Katakura Akira	4. 巻 45
2. 論文標題 Mixed reality for extraction of maxillary mesiodens	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Maxillofacial Plastic and Reconstructive Surgery	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1186/s40902-022-00370-6	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 Sugahara Keisuke, Koyachi Masahide, Tachizawa Kotaro, Iwasaki Akira, Matsunaga Satoru, Odaka Kento, Sugimoto Maki, Abe Shinichi, Nishii Yasushi, Katakura Akira	4. 巻 13
2. 論文標題 Using mixed reality and CAD/CAM technology for treatment of maxillary non-union after Le Fort I osteotomy: a case description	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Quantitative Imaging in Medicine and Surgery	6. 最初と最後の頁 1190 ~ 1199
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.21037/qims-22-414	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 Koyachi M., Sugahara K., Odaka K., Matsunaga S., Abe S., Sugimoto M., Katakura A.	4. 巻 50
2. 論文標題 Accuracy of Le Fort I osteotomy with combined computer-aided design/computer-aided manufacturing technology and mixed reality	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery	6. 最初と最後の頁 782 ~ 790
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.ijom.2020.09.026	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 Sugahara Keisuke, Koyachi Masahide, Koyama Yu, Sugimoto Maki, Matsunaga Satoru, Odaka Kento, Abe Shinichi, Katakura Akira	4. 巻 11
2. 論文標題 Mixed reality and three dimensional printed models for resection of maxillary tumor: a case report	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Quantitative Imaging in Medicine and Surgery	6. 最初と最後の頁 2187 ~ 2194
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.21037/qims-20-597	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 Koyachi Masahide, Sugahara Keisuke, Tachizawa Kotaro, Nishiyama Akihiro, Odaka Kento, Matsunaga Satoru, Sugimoto Maki, Tachiki Chie, Nishii Yasushi, Katakura Akira	4. 巻 12
2. 論文標題 Enhanced Precision in Genioplasty: A Novel Intraoperative Spatial Repositioning Using Computer-Aided Design and Manufacturing Technology and a Holographic Mixed Reality Application	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Clinical Medicine	6. 最初と最後の頁 7408 ~ 7408
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/jcm12237408	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 -

〔学会発表〕 計8件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 小谷地雅秀
2. 発表標題 Innovation of Medical Digital Transformation in Oral and Maxillofacial Surgery-CAD / CAM, Extended Reality, Medical Metaverse-
3. 学会等名 第72回ドイツ口腔顎顔面外科学会 (72nd DGMKG Congress) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小谷地雅秀
2. 発表標題 成功体験の繰り返し若手口腔外科医のモチベーションをあげる
3. 学会等名 第67回 日本口腔外科学会総会・学術大会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小谷地雅秀, 菅原圭亮, 立澤孝太郎, 小高研人, 片倉朗
2. 発表標題 Extended Reality(XR)技術・CAD/CAM技術を併用したLe Fort 型骨切り術の精度検証
3. 学会等名 第56回 日本口腔科学会関東地方部会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 立澤孝太郎, 小谷地雅秀, 菅原圭亮, 小高研人, 高野正行, 片倉朗
2. 発表標題 Extended Reality(XR)技術を用いた3D解剖学教材の有用性の検討
3. 学会等名 第67回 日本口腔外科学会総会・学術大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 加藤禎彬, 西山明宏, 立澤孝太郎, 小山侑, 小谷地雅秀, 山本圭, 國分克寿, 片倉朗
2. 発表標題 カッピングデバイスを用いて上顎に発生したkissing molars class3を抜歯した1例
3. 学会等名 第67回 日本口腔外科学会総会・学術大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小谷地雅秀, 菅原圭亮, 小高研人, 松永 智, 立澤孝太郎, 高野正行, 片倉 朗
2. 発表標題 TruMatch CMF Reconstruction システムを用いて下顎骨再建術を行った2例の精度検証
3. 学会等名 第25回日本顎顔面インプラント学会総会・学術大会
4. 発表年 2021年～2022年

1. 発表者名 小谷地雅秀, 菅原圭亮, 小高研人, 松永 智, 立澤孝太郎, 吉田秀児, 大野啓介, 藤川 秋, 高野正行, 片倉 朗
2. 発表標題 CAD/CAM (TruMatchCMF) とMR手術支援を併用し下顎骨再建術を行った1例
3. 学会等名 第66回 日本口腔外科学会総会・学術大会
4. 発表年 2021年～2022年

1. 発表者名 立澤孝太郎 , 小谷地雅秀 , 菅原圭亮 , 山本雅絵 , 笠原清弘 , 片倉 朗
2. 発表標題 Mixed Reality技術とCAD/CAM技術を用いたオトガイ形成術
3. 学会等名 第31回 日本顎変形症学会総会・学術大会
4. 発表年 2021年～2022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

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関