

令和 4 年 5 月 24 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K10258

研究課題名(和文) 深層学習に基づいた動画認識と拡張現実による人工知能手術支援システムの開発

研究課題名(英文) Development of artificial intelligence assisted surgery system by moving image recognition based on deep learning and augmented reality

研究代表者

末永 英之 (SUENAGA, Hideyuki)

東京大学・医学部附属病院・講師

研究者番号：10396731

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、人工知能を採用して、顎矯正手術の手術計画を支援するために特別に選択された解剖学的ランドマークによって示される最適な術後骨格変化を自動的に予測する。実際の術前および術後のコンピュータ断層撮影(CT)画像を使用して、外科医の知識と手術計画に関する技術を抽出するための機械学習法を採用した。提案されたアプローチは、手術計画中に外科医の手術意思決定メカニズムを学習し、その後、模倣することができる。この研究で導入された方法は、手術計画の効率を改善する可能性がある。機械学習を使用して顎矯正手術計画の術後骨格変化を予測する可能性を実証し、外科医の作業負担を軽減する可能性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

人工知能の優位性は、無限大の症例を学習できる可能性である。これは、あらゆる分野の最高のスペシャリストの臨床経験をはるかに超える。この技術は、人工知能によるビックデータに基づいた口腔外科手術計画の自動化と手術支援ロボットの動作制御に展開が可能である。

研究成果の概要(英文)：In this study, artificial intelligence is adopted to automatically predict optimal postoperative skeletal changes indicated by specifically selected anatomical landmarks for assisting surgical planning in orthognathic surgery. This study is a machine learning method to extract the surgeons' knowledge and technique on surgical planning using real pre and postoperative CT images. The proposed approach can learn and subsequently imitate the decision making mechanism of surgeons during surgical planning. The methods introduced in this study could improve surgical planning efficiency. This study demonstrated the feasibility of predicting postoperative skeletal changes for orthognathic surgical planning by using machine learning, showing potential for reducing the workload of surgeons.

研究分野：外科系歯学

キーワード：コンピュータ外科学

1. 研究開始当初の背景

外科手術には三次元(3D)的な空間認識能力など、ヒトの能力では乗り越えられない壁が存在するため、医療の完成度は術者の技量に大きく依存している。口腔領域は解剖学的に複雑であり、コンピュータ断層撮影(CT)などの画像データから構築する術前のコンピュータシミュレーションや実物大立体モデルは手術を行う上で有益な情報であり、高精度な手術操作を支援する高精度な手術支援技術は必要である。一方、近年目覚ましい勢いで、コンピュータビジョン、拡張現実、人工知能などの応用が進んでいる。このような技術革新は、外科手術にも大きな影響を与え、治療の概念が全く変わる可能性がある。研究代表者らが開発した手術ナビゲーションシステムおよび手術ナビゲーション方法並びにプログラム(特許公開番号 2017-064307, U.S. Patent No. US 10 492 872B2)では、マーカーを用いずに術野カメラから得られた画像情報を処理して患者の位置情報を正確に把握する。歯は体外に露出する唯一の硬組織であり、歯をマーカーの代用にして自動かつ高精度のリアルタイムなCT画像-患者位置合わせを実現する。また、人工知能の学習アルゴリズムである深層学習は、大量のサンプルを用いて学習し、高次元のデータを低次元のコードに変換するもので、医用画像パターンの識別・分類・定量やロボットアームの制御に有用である。

2. 研究の目的

近年、注目を集めている深層学習(ニューラルネットワークと呼ばれる人間の神経構造をコンピュータにてシミュレーションする人工知能の学習アルゴリズム)に基づいた人工知能技術と開発した手術ナビゲーションシステムおよび手術ナビゲーション方法並びにプログラムの融合を目指す。

3. 研究の方法

本研究でデータの前処理に使用したハードウェアと人工知能によるモデルトレーニングには、Intel Core i9 CPU(メモリ:128 GB)と NVIDIA Quadro GV100 GPU(合計メモリ:128 GB)が搭載され、Mimics (Materialise NV, Version 21), 3-Matics (Materialise NV, Version 13), Tensorflow-gpu (Version 1.9.0) など、さまざまな医療画像処理および機械学習パッケージを備えた高性能ワークステーションを用いた。3層畳み込みニューラルネットワーク(CNN)を使用したパッチベースのディープニューラルネットワークモデルは、320列 Area Detector CT (TOSHIBA, Aquilion ONE)によるCT画像から構築した3D画像に対するランドマークを取得するようにトレーニングした。さらに、顎矯正手術計画のためのデータ処理方法により、カスケードディープラーニングネットワークを使用して術前のCT画像から術後の3Dの骨格変化を予測するようにトレーニングした。術前CTモデルのトレーニングフェーズでは、患者の主要な解剖学的特徴を抽出するために、術前CT画像と対応するランドマークデータを使用してランドマークモデルをトレーニングした。術後CTモデルのトレーニングフェーズでは、術前と術後の両方のランドマークを使用して、手術プログラムを設計する際に外科医の意思決定メカニズムを模倣できる手術計画モデルをトレーニングした。次に、推論フェーズで、術前と術後の両方のモデルを使用して、術前のCT画像から術後のランドマークの変化を予測した。

4 . 研究成果

顎矯正手術計画のためのデータ処理方法により、ランドマークを自動的に取得できることを示し、カスケードディープラーニングネットワークを使用して術前の CT 画像から術後の 3D の骨格変化を予測する新しいアプローチを確立した。術前の CT 画像から手術計画を支援するための最適な骨格変化を自動的に予測できた。また、解剖学的なランドマークを使用して術前の CT 画像から構築した 3D 画像と顔の 3D の黄金比マスクと比較することによって、美しさのスコアリングと自動手術計画を設計する全体論的アプローチを開発した。これによって、このアプローチをこれまでに開発した手術ナビゲーションシステムおよび手術ナビゲーション方法並びにプログラムを搭載した手術支援ロボットと統合することが可能となった。

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 2件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Ma Q, Kobayashi E, Fan B, Hara K, Nakagawa K, Masamune K, Sakuma I, Suenaga H.	4. 巻 18(3)
2. 論文標題 Machine-learning-based approach for predicting postoperative skeletal changes for orthognathic surgical planning	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Int J Med Robot	6. 最初と最後の頁 e2379
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/rcs.2379	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 -
1. 著者名 Ma Q, Kobayashi E, Fan B, Nakagawa K, Sakuma I, Masamune K, Suenaga H.	4. 巻 16(3)
2. 論文標題 Automatic 3D landmarking model using patch based deep neural networks for CT image of oral and maxillofacial surgery	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Int J Med Robot	6. 最初と最後の頁 e2093
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/rcs.2093	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 -
1. 著者名 Ma Q, Kobayashi E, Suenaga H, Hara K, Wang J, Nakagawa K, Sakuma I, Masamune K.	4. 巻 25(2)
2. 論文標題 Autonomous Surgical Robot With Camera-Based Markerless Navigation for Oral and Maxillofacial Surgery	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE/ASME Transactions on Mechatronics	6. 最初と最後の頁 1084-1094
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TMECH.2020.2971618	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 該当する
1. 著者名 Hara K, Ma Q, Suenaga H, Kobayashi E, Sakuma I, Masamune K.	4. 巻 24(6)
2. 論文標題 Orthognathic Surgical Robot With a Workspace Limitation Mechanism	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE/ASME Transactions on Mechatronics	6. 最初と最後の頁 2652-2660
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TMECH.2019.2945605	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 Ma Q, Kobayashi E, Hara K, Suenaga H, Sakuma I, Masamune K.	4. 巻 15(11)
2. 論文標題 Development and preliminary evaluation of an autonomous surgical system for oral and maxillofacial surgery	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Int J Med Robot	6. 最初と最後の頁 e1997
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/rcs.1997	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 該当する

〔学会発表〕 計3件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 未永英之
2. 発表標題 人工知能、コンピュータビジョン、拡張現実を用いた手術支援
3. 学会等名 第45回日本頭頸部癌学会総会・学術講演会 シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 未永英之
2. 発表標題 人工知能とコンピュータビジョンを統合した拡張現実手術支援システムの開発
3. 学会等名 第65回日本口腔外科学会総会・学術大会 口腔3学会合同シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 未永英之
2. 発表標題 コンピュータビジョンと拡張現実ディスプレイを統合した手術支援システムの開発
3. 学会等名 第73回 日本口腔科学会学術集会 指名報告 (招待講演)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計3件

産業財産権の名称 医用情報処理システム、プログラム及び情報処理方法	発明者 末永英之、馬青川、 小林英津子、正宗賢	権利者 国立大学法人東 京大学、学校法 人東京女子医科
産業財産権の種類、番号 特許、特願2022-009759	出願年 2022年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 自動手術計画システムおよび手術計画方法並びにプログラム	発明者 馬青川、末永英之、 小林英津子、正宗賢	権利者 国立大学法人東 京大学、学校法 人東京女子医科
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-556188	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 Automatic surgical planning system, surgical planning method, and program	発明者 Ma Q, Suenaga H, et.al.	権利者 国立大学法人東 京大学、学校法 人東京女子医科
産業財産権の種類、番号 特許、PCT/JP2020/042491	出願年 2020年	国内・外国の別 外国

〔取得〕 計0件

〔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
---------	---------