

令和 6 年 6 月 1 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K09869

研究課題名（和文）人工知能搭載手術用ビデオ顕微鏡を用いた拡張現実歯内療法支援システムの開発

研究課題名（英文）Development of Augmented Reality-Assisted Endodontic Treatment System Using Surgical Video Microscope with Artificial Intelligence

研究代表者

榊原 安侑子（SAKAKIBARA, Ayuko）

東京大学・医学部附属病院・特任臨床医

研究者番号：90897282

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：歯内療法では、硬組織に囲まれ直視が困難な狭小な根管を治療するため、歯の内部に広がる髄腔の3次元的位置関係を把握することが重要である。本研究では、手術用ビデオ顕微鏡を使用して、患者のCT画像に基づいてコンピュータ上で仮想的に構築された3次元画像との位置合わせを実現した。これにより、術者の経験や勘ではなく、歯の根管の3D画像を自動的に表示したデータに基づいて根管治療を行うことが可能となる。将来的にはロボット手術にも応用される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

新しい歯内療法学の展開には、最先端の情報学、ロボット工学、バイオなどの学際的な基盤技術体系を構築することが必要であると思われる。歯内療法学の分野にコンピュータビジョンや拡張現実などの最新のテクノロジーを導入することによって生まれる新たな技術は、歯内療法の新展開という観点からも重要と考えられる。歯の根管の3D画像を自動的に表示したデータに基づいて根管治療を行うことで、複雑な根管形態を誰にでも容易に把握することが可能となり、より確実な診断と治療が可能となる。低侵襲治療を大きく変貌させる可能性が高く、得られた成果は極めて広範な疾患の治療に有用なものとなる。

研究成果の概要（英文）：Endodontics involves treating narrow root canals that are surrounded by hard tissue and difficult to visualize directly. It is crucial to understand the three-dimensional positional relationship of the pulp cavity that extends inside the tooth. In this study, we used a surgical video microscope to achieve alignment with a three-dimensional image virtually constructed on a computer based on the patient's CT image. This approach allows root canal treatment to be performed based on data that automatically displays a 3D image of the root canal on the tooth, rather than relying on the operator's experience or intuition. In the future, this technology will be applied to robotic surgery.

研究分野：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

歯内療法は根管形態の複雑な三次元(3D)の空間認識が重要である。従来の歯内療法のためのナビゲーション装置では、CT(コンピュータ断層撮影)画像[コンピュータ空間]と患者位置[現実空間]の空間的対応関係を求める処理(レジストレーション)を術野と反射ボールを取り付けたリファレンスフレーム等の位置関係を把握することで実行する。しかしながら、口腔領域では、リファレンスフレームの緩みや対象物との距離による誤差、リファレンスフレームによるワークスペースの拘束などにより、精度・再現性・操作性が不良となる。本技術の「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」では、マーカーを用いずにカメラから得られた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画像-患者位置合わせを実現する。

また、従来の歯内療法における3Dコンピュータ支援治療計画では、歯科用CTなどから、3D画像処理ソフトウェアを用いて、歯科医が自分で3D画像を構築する必要がある。本研究では、口腔内スキャナやCT画像の3Dデータを事前に取得するだけで、人工知能(AI)が自動で取得したデータから認識・理解し、根管などの3D画像を構築して、CT画像[コンピュータ空間]と患者位置[現実空間]のレジストレーションを行う、AI搭載手術用ビデオ顕微鏡を用いたAR歯内療法支援システムを開発する。これによって、術者の経験や勘ではなく、自動で根管などの3D画像が歯に拡張現実(AR)表示される環境でデータに基づいた正確な根管治療ができる。将来的には、ロボット手術に応用される。

これまでに、手術用ビデオ顕微鏡システムを用い、コンピュータビジョンにより歯を画像認識してマーカーを用いずに画像情報により、CT画像と患者位置の空間的対応関係を求める処理(レジストレーション)を行うAR技術の開発を行ってきた。現状では、歯科用CTなどから3D画像処理ソフトウェアを用いて、歯科医が自分で手術用ビデオ顕微鏡システムにAR表示する3D画像を構築する必要がある。

2. 研究の目的

根管は三次元的な広がりを持って歯の内部に広がっている。歯髄・根尖性歯周組織疾患は、直接目で見えない部位に発症するため、直接見ることのできない部位を直接視覚的に認識することは、適切な歯内治療を行うために重要である。歯科用コーンビームCTに加え、歯科用顕微鏡も歯内療法では欠かせない診断装置となっている。一方、近年目覚ましい勢いで、コンピュータビジョン、AR、AIなどの応用が進んでいる。このような技術革新は、歯内療法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。

応募者が開発したマーカーレス拡張現実支援システムでは、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。AIにおける従来の深層学習アプローチは、画像ボリューム全体を入力データとして扱うか、ランドマークを個別にのみ検出できるため、計算コストが非常に高くなるか、複数のランドマーク間の空間関係を無視するため、本課題では、座標データを低次元の空間に転送するようにプログラムし、パッチ(対象画像を部分的に切り出したもの)ベースの畳み込みニューラルネットワークを使用して、反復計算で同時に予測して、自動で認識・理解して自動実行する3D画像構築、レジストレーション治療計画、ロボット制御モデルをカスタム開発する。

3. 研究の方法

東大病院が所有する320列面検出器CTや歯科用コーンビームCTによる膨大なデータを活用して、3D画像構築とレジストレーションの深層学習をワークステーション等により行う。4Kカメラで随時、動画として二次元画像を取得し、取得された動画に含まれる各静止画像を、患者から得られた口腔内スキャナやCT画像などの三次元モデルと対比して、位置合わせを行う。動画に含まれる静止画像と3Dモデルとの直接の対応付けはせずに、3Dモデルを多方向から観察して得られる二次元画像を予めバッチに多数コンピュータ上で計算しておき、実画像と最も近い二次元画像を選び出して位置合わせを行う。データ量の削減と計算量の軽減の新しいアルゴリズムを構築し、リアルタイムの位置合わせを可能とする。汎用のプログラミング言語であるPython環境をTensorflowバックエンドと統合したPyCharmの統合開発環境でプログラミング作業を実装する。ワークステーションは、Tensorflow-gpuやKerasなどのさまざまな深層学習パッケージをインストールしたPython 3.6環境でWindows 10オペレーティングシステムを

実行する。プログラムでは、パッチベースのニューラルネットワークを使用して、反復計算で同時に予測する。座標データを低次元の空間に転送するようにプログラムし、3D データの計算コストを削減するために、2.5D 表現を使用して 3D パッチを近似する。機械学習モデルの内部パラメータに関する先験的な概念がないため、さまざまなモデルアーキテクチャと内部パラメータをテストして適切なものを見つける。

また、これまでに 3D 画像処理ソフトウェアを用いて、手動で実施していた 3D 画像処理データを教師用データとして、深層学習による治療計画の自動化を行う。また、応募者らが開発した口腔外科手術支援ロボットを使用して、深層学習によるコンピュータビジョンを用いた位置制御によって可動部の最適軌道を計算する。画像認識プログラムと統合されたロボットの行動命令は自律制御型として、拡張現実によりロボットの動作を可視化する。正常な動作が保証される入力条件、プログラムの計算フロー、アルゴリズム、出力する値の精度を規定する距離、角度などが臨床上許容される精度であることを評価する。

4 . 研究成果

本研究では、AI が自動で取得したデータから認識・理解し、根管などの 3D 画像を構築して CT 画像 (コンピュータ空間) と患者位置 (現実空間) のレジストレーションを行う、AI 搭載手術用ビデオ顕微鏡を用いた AR 歯内療法支援システムを開発した。術前 CT や口腔内スキャナの 3D 画像を用いて、歯や骨に関する形状情報を深層学習により自動でモデリングできる。そのため、本研究では深層学習を利用して全自動の 3D 画像構築、レジストレーション、治療計画の自動化と画像認識プログラムに基づいたロボット制御技術の開発を行った。これによって、術者の経験や勘ではなく、自動で根管などの 3D 画像が歯に AR 表示されるデータに基づいた根管治療ができる。将来的には、ロボット手術に応用される。

5. 主な発表論文等

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

1. 著者名 Suenaga Hideyuki, Sakakibara Ayuko, Taniguchi Asako, Hoshi Kazuto	4. 巻 81
2. 論文標題 Computer-Assisted Preoperative Simulation and Augmented Reality for Extraction of Impacted Supernumerary Teeth: A Clinical Case Report of Two Cases	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Oral and Maxillofacial Surgery	6. 最初と最後の頁 201 ~ 205
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.joms.2022.10.017	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 Suenaga Hideyuki, Sakakibara Ayuko, Koyama Juri, Hoshi Kazuto	4. 巻 125
2. 論文標題 A clinical presentation of markerless augmented reality assisted surgery for resection of a dentigerous cyst in the maxillary sinus	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of Stomatology, Oral and Maxillofacial Surgery	6. 最初と最後の頁 101767 ~ 101767
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jormas.2024.101767	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2件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 小山 樹里, 末永 英之, 榊原 安侑子, 陳 品勳, 大島 早智, 熊谷 賢一, 西條 英人, 星 和人
2. 発表標題 上顎洞含歯性嚢胞に対するマーカーレス拡張現実支援手術の1例
3. 学会等名 第57回 日本口腔科学会関東地方部会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 川上大, 末永英之, 榊原安侑子, 谷口明紗子, 星和人
2. 発表標題 下顎歯原性嚢胞に対するマーカーレス拡張現実支援手術の2例
3. 学会等名 第216回 日本口腔外科学会関東支部学術集会
4. 発表年 2023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	末永 英之 (SUENAGA Hideyuki) (10396731)	東京大学・医学部附属病院・講師 (12601)	

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
---------	---------