

令和 2 年 9 月 7 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K11805

研究課題名（和文）赤外線ナビゲーションシステムで歯科インプラント手術を安全に行う支援ロボットの開発

研究課題名（英文）Development of a support robot for safely performing dental implant surgery with an infrared navigation system

研究代表者

田中 宏佑（tanaka, Kosuke）

九州大学・歯学研究院・共同研究員

研究者番号：80792895

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：我々は、手術部位の動きに対し、赤外線を用いた歯牙固定によるリファレンスおよびマーカーによって位置変動を検知し、術前CT上のインプラント設計ポジション通りにインプラント床形成を行う歯科インプラント手術支援ロボットの開発を行っている。しかしながら高精度なロボットのみでは施術は不可能で、高精度なナビゲーションシステムとの連携が必要不可欠である。まずこのナビゲーションシステムにおいて、試作機の特許申請を行い、さらに改良し、PMDAクラスIIの認証取得用の高精度ナビゲーションシステムを完成した。今後はこのシステムをベースにアーム装着型ロボットの試作をおこなって行く予定である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

研究目的は、近年広く行われるようになってきた歯科インプラント手術を、より安全に行うための歯科インプラント手術支援ロボットの開発である。術中において、手術部位の動きに対し赤外線を用いた歯牙固定によるリファレンスおよびマーカーによって位置変動を検知し（高精度ナビゲーション）、術前CT上のインプラント設計ポジション通りにインプラント床形成を行う歯科インプラント手術支援ロボットの開発のステージとして必須な高精度ナビゲーションの実用化に至る準備を整えた。

研究成果の概要（英文）：We have developed a dental implant surgery support robot that detects the position variation with respect to the movement of the surgical site with a reference and a marker by fixing the tooth using infrared rays and forms the implant floor according to the implant design position on preoperative CT. It is going. However, it is impossible to operate with only a high-precision robot, and cooperation with a high-precision navigation system is essential. First, we applied for a patent for a prototype of this navigation system and further improved it to complete a high-precision navigation system for obtaining PMDA class II certification. In the future, we plan to prototype an arm-mounted robot based on this system.

研究分野：歯科インプラント学

キーワード：ロボット支援手術 ナビゲーション手術 歯科インプラント

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 歯科インプラント手術においてインプラント床形成を行なう際、解剖学的諸器官に対し安全を配慮しなければならない。すなわち上顎洞や切歯管への穿孔、下顎神経損傷や骨外穿孔等の回避である。直視で確認できないドリルの先端位置について、術者はエックス線検査による術前の設計と手に伝わる感覚を頼りに操作を行っており、インプラント治療を手がける歯科医師の増加に従って下顎神経損傷や上顎洞穿孔等事故も発生している。

(2) 近年 CT シミュレーションで作製したサージカルガイドが使用されるようになってきているが、欠損様式によってガイドの安定性は大きく異なり、また適応症の拡大とともに陳旧性の均質な骨質の歯牙欠損部位ばかりでなく、骨幅の狭いイレギュラーな皮質骨や抜歯後またはその治療過程の骨の床形成を余儀なくされる場合も増加している。

このような変化に富んだ骨ではドリル軸単一方向の形成となるサージカルガイドは安定性に問題が残り、また形成時に骨質を踏まえた補正的な入力がかしく術中のドリル先端位置も不明瞭となり安全性の担保が低下する。

2. 研究の目的

(1) 歯科インプラント手術は 1 症例 1 症例各々症例に応じた、いわばオーダーメイドの手術である。そのため、術前において十分な診査を行い、インプラントポジション、サイズなどを決定する。しかしながら手術中においてその設計を再現するために、現在でも経験や勘に頼っている場合がほとんどである。手術数の 1 割程度と推測されるサージカルガイド使用の場合でも術中は盲目的であり、使うか使わないか all-or-nothing の判断を迫られる場合もある。高精度ナビゲーションシステムは術中に「眼」を持っており、設計の変更等にフレキシブルに対応でき、インプラント手術の安全性の向上や術後の補綴治療の予知性を高めることに貢献出来る。臨床でのニーズに柔軟に応え、臨床にすぐ導入できる、「慣れ」の要らないナビゲーションシステムを創り、術者が直感的に理解できる立体表示機能と、高い安定性を持つトラッキング方法などがナビゲーションシステムには必要である。その高精度ナビゲーションと連携したブレイクシステムを持つ手術支援ロボットは、より安全で低侵襲な施術とともに手術トレーニングや教育にも有効であると考えられ、これらの開発を目的とする。

3. 研究の方法

(1) レジストレーション法の開発

歯牙欠損術部に対するドリルの位置を表示するために、CT 画像と位置センサーの座標系を統一させなければならない。これをレジストレーションと言い、ナビゲーション全体の精度を決めるに重要な作業である。着脱可能な装置を開発する。

(2) 認識不能に陥らない安定した手術器具のトラッキング機能の確立

患者と画像の正確な位置あわせができて、術中に手術器具の認識ができなければナビゲーションは機能しない。これまで筆者が共同研究を行ってきた耳鼻科領域や脳外科領域では、術具に赤外線を反射するマーカーを取り付け、位置のトラッキングを行う光学式位置センサーが多く用いてきた。しかしながら、実際臨床に使用した結果、手術室には術者だけでなく助手やスタッフ、見学者等多くの医療従事者が活動しており、さらに多くの機材が配置されているため、赤外線が人や機材によって遮断され、術具が認識不能に陥るトラブルが頻繁に起きることがわかった。この場合、ナビゲーションが停止してしまい、術具の正しい位置表示ができなくなる。認識不能を可能な限り低減する設計を行う。

(3) 3次元位置関係が直感的にわかる表示と操作性

従来のインプラント手術は、術前に撮影した CT 画像から埋入位置や角度を検討し、3DCT でポジションを決定したとしても、術者は術中自分の頭の中で、3次元位置関係を再構成しなければならなかった。そこで自動セグメンテーションとグラフィックライブラリを用い、対象とドリル先端等術具の 3次元位置関係が直感的にわかるディスプレイ技術を用い、直感的インターフェースを有し、臨床使用に支障のない処理速度と動作の安定性が保障される新しい高精度手術ナビゲーションシステムを開発する。

(4) 高精度手術ナビゲーションシステムと高精度手術支援ロボットの連携

高精度手術ナビゲーションシステムをもとに形成ドリルが目的の角度からずれたり、過深度により神経等解剖学的諸器官を損傷したり、設計ポジションからずれたりしないようにアシストするブレイクシステムにて可動制限を行うロボットを開発連携する。

4. 研究成果

(1) レジストレーション法の確立

上顎や下顎の残存歯の有無や配置を考慮し、これをマーカーの固定源としたマウスピースでレジストレーションを行う。安定性が良く CT 撮影時と手術時で着脱時に位置の再現性が良くなくてはならない。本研究では製作が比較的簡易なマウスピース型レジストレーション法を開発、安

定した精度を確保した。

(2) 認識不能に陥らない安定した手術器具のトラッキング機能の確立

歯科インプラント手術においては、多くは全身麻酔下ではなく局所麻酔下で行われるため、下顎部位は術部の動きが大きく、ナビゲーションの停止は即安全性の低下につながる。この問題に対処するためには、術者が赤外線カメラの位置と術具の持ち方などを常に意識し、安定した光路を確保しつつ手術を行う必要があり、これは手術の効率を著しく低下させる一因となる。そこで本研究では、赤外線周波数を上げ、認識率の向上や認識のタイムラグを減少するとともに、上顎や下顎、術部の動きや術者とアシスタントの位置、また歯科特有の手術室のスペースを考慮した装置の設計を行い、術者に負担をかけることなく、安定した術具の認識ができるトラッキング方法を開発した。

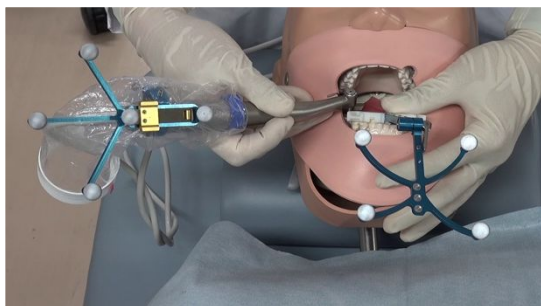


図 1.ドリル用および患者様用トラッキングフレーム 図 2.ナビレーション機器図

(3) 直感的情報表示機能の確立

特に術部が下顎である場合の動きに対し、従来は、3次元リアルタイム更新は不可能であったが、患者に対する手術器具の相対的な位置を求め、ドリルが代わりに動いたようなトリック処理を行うことにより、リアルタイム3次元更新を可能にした。これは直感的な表示のために、OpenGL、VTKなどのグラフィックライブラリと、3D Volume用グラフィックボードを利用し、高速立体表示を実現するが、実時間に起きる患者の位置と姿勢変化に合わせて、0.1mmの高解像度のCT画像を更新することは困難であるため、手術部位、手術器具各々の絶対座標表示にて重いVolumeデータを更新せず、相互的座標から計算した患者に対する術具の相対的位置を更新することにより、リアルタイム表示を実現した。この表示方法は耳鼻科等他分野の術者にも受け入れられている。

また手術器具についても、適切なグラフィックライブラリを用い、3次元空間上の直感的な位置表示を可能にした。模型や口腔内で開発した設計バーを用いる事により3次元画像上で非常に簡単にインプラントポジション設計ができるシステムを開発構築しシステムの特許申請を行っている。また下顎管や上顎洞など関心領域のセグメンテーションを技工所に分担していただくシステムを考案し、クラウドインターフェースを備えることで、エンジニアに依存しない、術者 技工士間だけの操作を可能にしたシステムを構築した。ユーザーフレンドリーなハードウェア、ソフトウェアを開発できたため、試作機を製作し、実用化に向けてPMDAクラスII認証機を完成した。

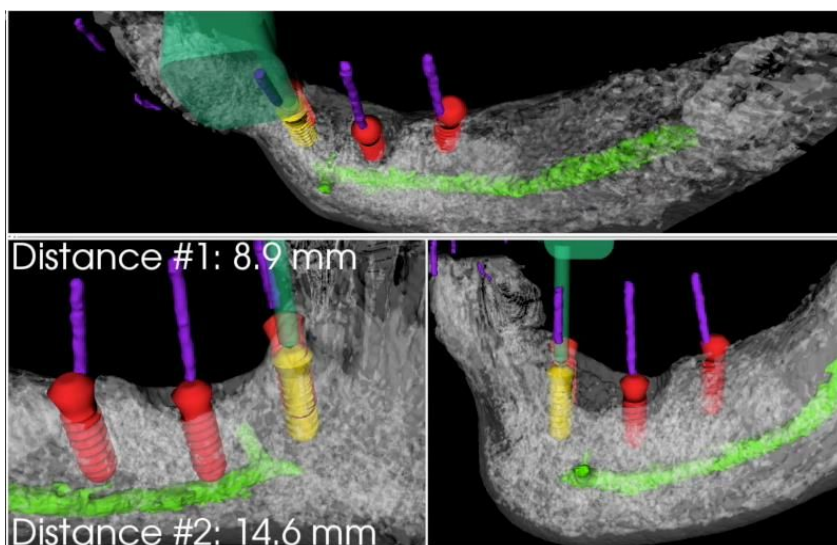


図 3.設計(赤色)およびリアルタイムドリル角表示(黄色)

(4) 高精度手術ナビゲーションシステムと高精度手術支援ロボットの連携

自動形成ではなく術者の手技、技術をサポートするロボットの検討を行った結果、プレーキシス

テムによる過形成や軸の傾き防止が効果的と考えられた。引き続き開発を進め高精度手術ナビゲーションシステムとの連携を行う。



図 4. ロボットの開発

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 4件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 瀬戸口 大道, 大内田 理一, 栗田 賢一, 陣内 みさき, 徳本 裕一, 荻野 洋一郎, 古谷野 潔
2. 発表標題 3DデジタルCT画像と模型からハイブリッド設計可能な動的歯科インプラントナビゲーションシステムの開発
3. 学会等名 第36回日本口腔インプラント学会九州支部学術大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大内田理一
2. 発表標題 安全・安心・低侵襲な歯科インプラント手術を行うためのナビゲーション実用化開発
3. 学会等名 第14回九州大学学術研究都市情報交流セミナー（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大内田理一
2. 発表標題 歯科インプラントナビゲーションの実際
3. 学会等名 第19回耳鼻咽喉科手術支援システムナビ研究会（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大内田理一
2. 発表標題 直感的インターフェースを有する歯科インプラント手術ナビゲーションシステムの開発
3. 学会等名 九州大学歯学部第一補綴同門会歯科研究会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 B. Cho, R. Ouchida, M. Hashizume,
2. 発表標題 Development of surgical planning using a depth-adjustable drill burr for dental implant placement
3. 学会等名 CARS 2017 (Computer Assisted Radiology and Surgery) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大内田理一
2. 発表標題 次世代のインプラントナビゲーションシステムについて
3. 学会等名 PREMIUM DAY JAPAN ~B.O.P.T & Prama ~ / 東京 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大内田理一
2. 発表標題 直感的インターフェースを用いた歯科インプラント手術ナビゲーション開発
3. 学会等名 2019年度九州大学オープンイノベーションワークショップ
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計3件

産業財産権の名称 ビジネスモデル	発明者 代表 曹 柄炫	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-8578	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 表示方法	発明者 代表 曹 柄炫	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-8579	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 施術支援システム、施術支援方法及び施術支援プログラム	発明者 曹 柄炫	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、PCT/JP2017/037635	出願年 2017年	国内・外国の別 国内

〔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
研究分担者	大内田 理一 (Ouchida Riichi) (20325468)	九州大学・大学病院・助教 (17102)	
研究分担者	小栗 晋 (Oguri Susumu) (10756919)	九州大学・先端医療イノベーションセンター・学術研究員 (17102)	
研究分担者	橋爪 誠 (Hashizume Makoto) (90198664)	九州大学・先端医療イノベーションセンター・名誉教授 (17102)	~2019.3.18
連携研究者	曹 柄炫 (Cho Byunghyun) (20734528)	九州大学・先端医療イノベーションセンター・学術研究員 (17102)	