

令和元年6月6日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K11555

研究課題名(和文)3Dプリンターを用いた歯内治療シミュレーションシステムの創出

研究課題名(英文)Development of a simulation system for endodontic treatment using 3D printer

研究代表者

後藤 康治 (GOTO, yasuharu)

九州大学・歯学研究院・准助教

研究者番号：00170473

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)：本研究の目的は、熱溶解積層(Fused Deposition Modeling:FDM)方式のパーソナル3Dプリンターで造形した3Dモデルを用いた歯内治療シミュレーションシステムの創出を行うことである。コーンビームCT(CBCT)画像から変換ソフトで3Dデータを作成し、3Dプリンターで造形を行った。今回作製した3Dモデルは歯内治療のシミュレーションシステムとして使用可能であると考えられた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で、難治性根尖性歯周炎の診断に活用されているコーンビームCT(CBCT)の情報を用いて、安価になった熱溶解積層(Fused Deposition Modeling:FDM)方式の3Dプリンターで造形した3Dモデルは、歯内治療シミュレーションシステムに使用可能であることを明らかにした。このシステムで治療前にシミュレーションやトレーニングを行うことで難治性根尖性歯周炎の治療成績の向上が期待できる。

研究成果の概要(英文)：The aim of this research is development of a simulation system for endodontic treatment using the 3-dimensional (3D) models created by personal fused deposition modeling (FDM) 3D printer. We changed cone-beam computed tomography (CBCT) scan data to 3D data, and we printed the 3D data using 3D printer. We realized that the 3D printing models can be the endodontic treatment simulator.

研究分野：歯科保存学

キーワード：3Dプリンター 3Dモデル シミュレーションシステム 歯内治療 熱溶解積層方式

1. 研究開始当初の背景

難治性根尖性歯周炎の原因の一つとして、複雑な根管の解剖学的形態があげられる。コーンビームCT(以下CBCT)により三次元的な根管形態の把握が可能となり、難治性根尖性歯周炎の診断に活用されるようになった。CBCTから得られた複雑な根管形態の情報量は、従来のデンタルエックス線写真から得られた情報量をはるかに上回るものであるが、この豊富な情報をもとに、髄腔開拓法、根管拡大法、根管洗浄法、根管充填法などの治療手技を決定するには術者の経験に頼ることが多かった。また、決定した治療手技の習熟には、既成の根管模型や、根管形態ができるだけ類似している抜去天然歯を用いて行うことが多かった。

インプラントの分野では、CBCTは診断のみならず、CBCT画像データからコンピューターシミュレーションで治療計画データを作成し、そのデータを元に、3Dプリンターでサージカルガイドを製造し手術に活用することで、治療成績を上げることに成功した報告がある。難治性根尖性歯周炎の症例においても、正確に拡大器具を根管へ到達させるため、CBCT画像からインプラントのサージカルガイドと同様なガイドを3Dプリンターで作製して応用した報告はあるが、CBCTから得られた3D画像情報を利用して3Dプリンターによる立体造形モデル(以下3Dモデル)を作製し、歯内治療のシミュレーションや、歯内治療手技習熟のためのトレーニングに利用した報告は研究開始当初にはほとんど無かった。やり直しができない歯内治療を行う前に、3Dモデルを利用して、まず最適な髄室開拓法、根管拡大法、根管洗浄法、根管充填法などの治療手技を選択し、選択した治療手技に習熟するためのトレーニングを行うといった歯内治療シミュレーションシステムが創出できれば、難治性根尖性歯周炎の治療成績が大いに向上することが期待できた。従来非常に高価であった3Dプリンターは、特許切れや技術革新によって安価に入手できるようになり、また、その造形分解能がCBCTの空間分解能とほぼ同程度まで改良されてきたため、CBCTから得られた3D画像データから、非常に安価に3Dモデルを作製することが可能となった。歯内治療用に最適化された状態で作製された3Dモデルが得られれば、歯内治療のシミュレーションやトレーニングに活用できると考えられた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、髄腔開拓、根管形成、根管洗浄、根管充填といった歯内治療のシミュレーションシステムに活用できる3Dモデルを、安価に入手できる3Dプリンターを用いて作製することである。根管の形態は千差万別で、同じ形態をもつ根管系は存在しない。根管系の3次元形態を提供するCBCTからの情報をコンピューター画面での観察だけではなく、3Dモデルを作製して実物大臓器立体モデルのひとつとして歯内治療に活用することは、難治性根尖性歯周炎の治療成績の向上に有用である。

3. 研究の方法

3Dモデルを作製する3Dプリンターは、2009年に基本特許が切れ、小型で低価格な機種が多数市場に登場している熱溶解積層(Fused Deposition Modeling、以下FDM)方式の中から選択することとした。

歯科用CBCTで撮影した、難治性根尖性歯周炎と診断された症例の画像のDICOMデータを、ソフトウェア(Volume Extractor 3.0(i-Plants Systems))を用いてSTLファイルに変換した。作製する3Dモデルは、髄腔開拓、根管拡大、根管洗浄、根管充填などの歯内治療のシミュレーションに使用するため、データ上で冠部歯髄腔を通る位置で歯を分割して変換処理を行い、歯髄腔および根管の形態を再現させた。得られたSTLファイルを用いて安価なFDM方式の3Dプリンターを販売する業者に3Dモデルを試作してもらい、できあがった3Dモデルの比較検討を行うとともに、各3Dプリンターに付属しているソフトウェアの評価も行い、本研究ではLeapfrog Creatr HS(リコージャパン株式会社)を採用した。また、研究期間中に価格改定で安価になった光造形(Stereolithography Apparatus、以下SLA)方式の3Dプリンターのノーベル1.0(XYZプリンティングジャパン)も追加した。

FDM方式およびSLA方式の低価格3Dプリンターで造形した3Dモデルが歯内治療シミュレーションモデルとして利用可能かどうかを評価するため、咬頭および裂溝の簡易的な形態を付与し、歯髄腔および根管を内部に形成した模擬根管モデルを3DCADソフト(123D Design(AUTODESK)、Fusion360(AUTODESK))を用いて作成し、3Dプリンターで造形を行った。造形に用いた樹脂は、FDM方式の3DプリンターではABS樹脂とPLA樹脂を、SLA方式の3Dプリンターでは光硬化レジンを使用した。造形された3Dモデルを試料切断器(マイクロカッターMC-20、株式会社マルトー)を用いて、歯冠部分は歯軸に平行に、根管部分は歯軸に垂直に2mm間隔で切断し、その断面を実体顕微鏡(SZ6045、オリンパス)で観察した。

造形された模擬根管モデルの咬合面からFGコントラアングルに装着したダイヤモンドラウンドバーを用いた髄腔開拓操作を、また、歯冠部分を切断した模擬根管モデルの根管内をステンレス製Kファイルで根管拡大操作を行い、天然歯との切削感の違いを評価した。



(写真上) 使用した3Dプリンターと造形処理用のコンピューター

左 FDM方式の3Dプリンター(造形空間の保温のため周囲をビニールで囲んでいる)

右 SLA方式の3Dプリンターと追加重合用の紫外線照射器(造形時は換気扇下へ移動)

4. 研究成果

(1) 研究の主な成果

造形された3Dモデルの形態再現能力の評価

今回使用したFDM方式の3Dプリンターは、樹脂フィラメントがプリンターヘッドに到達し加熱された後造形台上に造形が開始され、造形終了後は造形台から造形物を剥離するだけで造形は完了する。使用した3Dプリンターには2個のヘッドが装着されていたがヘッド間で造形能力に違いがある可能性が否定できなかったため、ABS樹脂とPLA樹脂の2種類の樹脂はどちらも同じヘッド(左側のヘッド)を用いて造形した。造形条件は付属のソフトウェア(Creatr 2.0 Software, Materialise)で設定を行い、造形方向は、造形台に対して歯軸が垂直となる方向と、水平となる方向とし、スライス厚は0.1 mm、0.15 mm、0.2 mmとした。

造形された3Dモデルの歯髄腔および根管の形態は、ソフトウェア上で形成された形態とは大きく異なっており、3Dモデルの根管形態の再現は困難である可能性が示唆された。特に根尖側で狭窄する根管は再現されていなかった。この傾向はスライス厚を変えてもあまり変化がなかった。

造形台に対して歯軸が垂直となる方向で根尖側から作製した3Dモデルでは、天蓋相当の形成ができていなかった。造形条件として歯髄腔内にサポート材が形成されると髄腔開拓操作のシミュレーションが困難になると考え、サポート材ができるだけ形成されないような設定を行ったため造形ができなかったと推察された。咬合面側から造形した場合は、天蓋相当の形成は行われたが、髄床底相当の形成がうまくできておらず、また、咬合面を造形台に固定するため形成される土台部分の除去が困難で、咬合面形態は損なわれていた。

造形台に対して歯軸が水平となる方向で作製した3Dモデルでは、天蓋相当、髄床底相当の形成はできていたが、歯髄腔および根管の歯軸に対して垂直方向の形態が変形しており、造形時に変形したと思われる。

今回使用したSLA方式の3Dプリンターは、光硬化レジンがレジンタンクに注入され、レーザー光線を照射することで必要な造形物が作製されるが、造形後、造形物の表面に付着している硬化していないレジン除去するため70%以上のアルコールによる丁寧な洗浄が必要で、さらに造形物の硬度および耐久性を向上させるためには紫外線照射器の中で追加重合させることが推奨されている。また、模擬根管モデルに形成された根管部分には硬化していないレジンが貯留しており、造形物を強く振っても除去が困難であった。造形された3Dモデルの形態の傾向はFDM方式の3Dプリンターと同様であったが、SLA方式の3Dプリンターでは光硬化レジンやアルコールを使用するためプリンター周囲の換気が必要となり、歯科診療室や技工室のような診療が行われている環境での使用は困難と思われる。

造形された3Dモデルの切削感の評価

SLA方式の3Dプリンターは設置環境の制限が大きいため、本研究の目的である歯内治療シ

ミュレーションシステムには光硬化レジンで造形された3Dモデルを使用する機会が無いと思われるので、切削感の検討はFDM方式の3Dプリンターで造形したABS樹脂とPLA樹脂の3Dモデルに対して行った。

FG コントラアングルに装着したダイヤモンドラウンドバーを用いた髓腔開拓操作

ABS樹脂とPLA樹脂のどちらも、エナメル質、象牙質と比べて柔らかい感触が得られた。ABS樹脂とPLA樹脂を比較すると、ABS樹脂のほうがやや硬いと思われた。PLA樹脂は、熱で軟化しやすい傾向がみられ、切削時には注水による冷却に特に注意する必要がある。

造形台に対して歯軸が水平となる方向で作製した3Dモデルでは、咬合面形態と天蓋の形態がある程度再現されており、歯髓腔に切削器具の先端が到達した感触は得ることができた。

ステンレス製Kファイルでの根管拡大操作

ABS樹脂は、リーミング、ファイリング時とも象牙質の切削感とは異なっているが比較的拡大しやすい感触が得られたが、PLA樹脂は、とくにリーミング時に柔らかさと粘りを感じ、象牙質の切削感とはかなり異なっていた。

造形台に対して歯軸が垂直となる方向で、根尖側から造形された3Dモデルでは、根管口部からある程度根尖方向へ進んだところまでの根管形態は再現されているので、根尖部までの拡大操作は困難ではあるが、根管の方向は確認することができた。

造形された3Dモデルの歯内治療シミュレーションシステムにおける評価

本研究の中で使用した3Dモデルは、2009年に特許が切れ、構造自体がシンプルなため市場に安価で提供されているFDM方式の3Dプリンターで造形した。FDM方式はノズルより細い造形ができないため、根管のような微細な造形には向いていないと言われている。本研究でも根尖側の根管のような細かい形態は再現することができなかった。しかしながら、3Dモデル全体の造形方向を工夫し、歯内治療のどの過程のシミュレーションを行うかを限定して根管の一部のみを選択して造形することで、今後、新しいかたちの歯内治療シミュレーションシステムを創出することができる可能性が示唆された。

(2) 得られた成果の国内外における位置づけとインパクト

すべての歯内治療の過程を再現できると言われる、従来の歯内治療シミュレーションシステムは、造形用のデータを、高度な専門知識を持った技術者が難解なソフトウェアを用いて作成し、高精細な造形が可能な高価な業務用3Dプリンターを用いて作製していたため、システム自体が高価で、また、特定の症例に活用する場合は、システムの完成まで時間がかかっていた。本研究で、安価で診療室で容易に使用可能なFDM方式の3Dプリンターを用いて、CBCTから得られた情報をもとに造形された3Dモデルが歯内治療のシミュレーションに活用できることが確認できた。歯科臨床でCBCTによる検査が日常的に行われるようになった現在、この3Dモデルを日常の歯内治療において積極的に利用することで、難治性根尖性歯周炎の治療成績が向上することが期待できる。

(3) 今後の展望

本研究の中でCBCTからのDICOMデータを、Volume Extractor 3.0 (i-Plants Systems) という有料のソフトウェアを用いてSTLファイルに変換した。FDM方式の3Dプリンターを活用した歯内治療シミュレーションシステムにおいては、歯髓腔、根管系のどの部分の造形を行うかを決めてからデータの処理を行う必要がある。この操作手順のパターン化を今後本研究の研究分担者を中心に行う予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 0 件)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況(計 0 件)

名称：

発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年：
国内外の別：

取得状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：前田 英史
ローマ字氏名：MAEDA, hidefumi
所属研究機関名：九州大学
部局名：歯学研究院
職名：教授
研究者番号（8桁）：10284514

研究分担者氏名：友清 淳
ローマ字氏名：TOMOKIYO, atsushi
所属研究機関名：九州大学
部局名：大学病院
職名：講師
研究者番号（8桁）：20507777

(2)研究協力者

研究協力者氏名：
ローマ字氏名：

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、研究者個人に帰属されます。