

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 28 日現在

機関番号：32650

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25861779

研究課題名(和文) 金属アーチファクトの無い医用立体モデル作成法の探求；低コスト高精度モデルの具現化

研究課題名(英文) A Study on Utilizing 3D Printers in the Oral and Maxillofacial Surgery Field

研究代表者

神尾 崇 (KAMIO, TAKASHI)

東京歯科大学・歯学部・講師

研究者番号：70433951

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)： プロフェッショナル3Dプリンタによる造形コストは概して高額であり、経済的な観点から全てのニーズに呼応出来ているとは言い難い。パーソナル3Dプリンタはこの問題を解決できる可能性がある。3Dプリンタを臨床応用するためには作製したモデルの精度や造形特性を知ることが目的として3種の造形素材の歯・顎骨立体造形モデルを作製し、その寸法精度を評価するとともに、3Dプリンタを歯科口腔外科領域に活用するための課題について検討した。その結果、3種のモデルの寸法精度に有意な差は認められず、パーソナル3Dプリンタによる経済的なシステムで造形を行いうる可能性が示唆された。

研究成果の概要(英文)： In recent years, the use of medical 3D models created with 3D printers for surgical simulations has been increasing. However, the costs are generally high. If medical 3D models could be created inexpensively, it might become possible to respond to more needs, and personal 3D printers could potentially solve this problem. We created 3D models with three types of 3D printers and three modeling materials, and then evaluated their dimensional accuracies.

Based on this series of modeling experiences, to promote the spread of 3D printers in the oral and maxillofacial surgery field, we consider it to be necessary to establish an appropriate and simple CAD data construction method, to understand the CAD technology combined with medical knowledge including anatomy and surgery, and to understand the modeling characteristics of 3D printers.

研究分野： 医用画像工学

キーワード： 3Dプリンタ 顎変形症 口腔外科学 三次元計測

1. 研究開始当初の背景

ハードウェアおよびソフトウェアの著しい進歩により、これまでのコンピュータ画面への“可視化技術”から、医用立体モデルを実際に手にとって操作できる“可触化技術”へと変革を遂げている。中でも外科領域における手術シミュレーション、トレーニングなどへの使用を目的とする、“患者個々により異なる臓器の形態を再現する実物大臓器立体モデル”、いわゆるカスタムメイド医用立体モデルを用いた手術支援は多くの施設で行われるようになった。術者が高精細な三次元実体モデルを直接手にすることができ、これまでの画像評価よりも立体的なイメージが高まるため具体的な手術計画の立案が容易となるなど多くの利点がある。その多くの施設では医用立体モデル作製を作製専門会社に依頼する。これらの会社の多くで使用されるプロフェッショナル3Dプリンタは、用途に応じて多種多様な造形素材が選択でき、高精度かつ高強度な造形が可能、さらには複数の素材をも同時に造形することも可能であることから、その高い有用性に異論は無い。しかしながら医用立体モデルの作製に掛かるコストは概して高額であり、作製費用の観点からは全てのニーズに呼応出来ているとは言い難い。低価格化を背景としたパーソナル3Dプリンタの普及は、この問題を解決できる可能性がある。これらプロフェッショナル3Dプリンタおよびパーソナル3Dプリンタ問わず、臨床応用、とりわけ精緻な情報を要求する歯科口腔外科領域において、作製したモデルの精度や造形特性を知る必要がある。

2. 研究の目的

上述の背景から、本研究では3種の造形素材の歯・顎骨立体造形モデル(以下、3Dモデル)を作製し、その寸法精度を評価するとともに、パーソナル3Dプリンタを歯科口腔外科領域に活用するための課題について調べることを目的とした。

3. 研究の方法

検査用基準球・参照体(10mmアルミニウム球)を右下顎頭外側、下顎正中、左下顎角部の3箇所に貼付したヒト成人乾燥下顎骨のMDCT画像モデルからCADモデル[STLモデル]を作成し、このCADモデルを基に3機種種の3Dプリンタによる3種の異なる素材の3Dモデルを作製した。これら作製された3種の3Dモデルのリバースエンジニアリング[3DモデルをCTで撮影し、その画像モデルからCADモデルを作成]を経て、CADモデルと、リバースエンジニアリングによるCADモデル間で差分画像処理を行い、それぞれの精度を評価した。同時に検査用標準球の寸法についてノギスを用いて、実体の計測値、CADモデルモデルおよび3Dモデルの各計測値についての比較を行った。

1)使用した3Dプリンタ-モデル素材

- ZPrinter650 (3D Systems)
- 石膏複合素材[石膏ベース高性能複合素材]

- Objet260 Connex (Stratasys)
- PPライク樹脂 [Polypropylene-simulating polyjet material]
- MF2000 (MUTOH Industries)
- PLA樹脂 [Polylactic acid, plastic]

2)MDCT装置および撮像パラメータ

SOMATOM Definition AS (SIEMENS)、管電圧: 120kV、Eff mAs: 110mAs、スライス厚: 0.6mm x 64列、Beam pitch: 0.35、FOV: 128mm

3)使用アプリケーション

CADモデル化[CT画像モデルからCADモデル作成]-「Volume Extractor 3.0 (i-Plants Systems)」

精度計測[CADモデル間の差分画像処理および精度計測]-「SpGauge (Armonicos)」

4. 研究成果

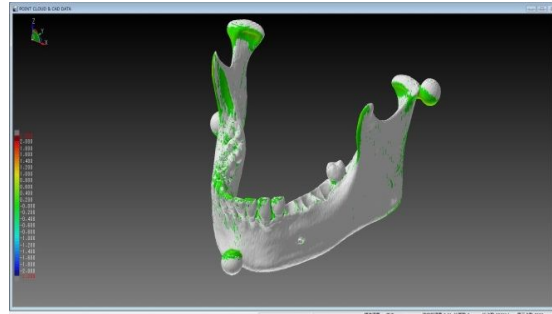


図1

顎骨 CAD モデル vs 石膏 3D モデル CAD モデル

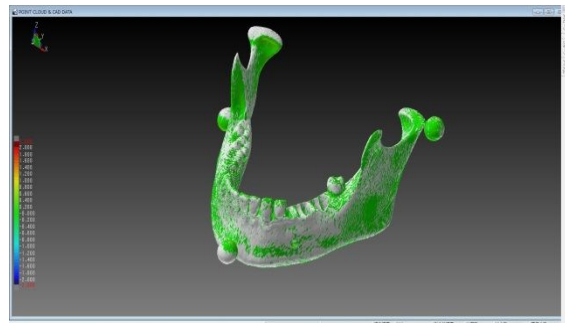


図2

顎骨 CAD モデル vs PP ライク樹脂 3D モデル CAD モデル

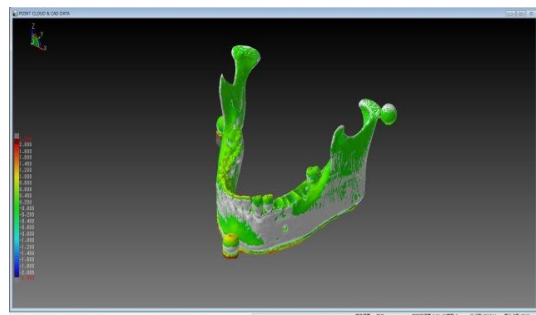


図3

顎骨 CAD モデル vs PLA 樹脂 3D モデル CAD モデル

(1)顎骨 CAD モデルと比較した各 3D モデルの精度

3D CADモデルとPlasterモデル、PPモデル、PLAモデルとのそれぞれの形状誤差は、Plasterモデル;0.21 mm、PPモデル;0.10 mm、PLAモデル;0.29 mmであった。

(2)検査用基準球・参照体と各3Dモデル上の検査用標準球の寸法比較(図4)

下顎頭部寸法計測値(上下径、前後径)はPlasterモデル;1.58±0.06 mm, 10.10±0.00 mm,PPモデル;10.62±0.03 mm,10.07±0.03 mm,PLAモデル;10.68±0.06 mm,10.13±0.06 mm、オトガイ部寸法計測値(上下径、内外径)はPlasterモデル;1.45±0.05 mm, 10.13±0.03 mm,PPモデル;10.43±0.03 mm,10.10±0.00 mm,PLAモデル;10.58±0.03 mm,10.17±0.03 mm、下顎角部寸法計測値(上下径、前後径)はPlasterモデル;1.57±0.03 mm, 10.20±0.05 mm,PPモデル;10.40±0.05 mm,10.00±0.00 mm,PLAモデル;10.68±0.03 mm,10.03±0.03 mmであった。同一モデル内で、各測定部位における検査用標準球の上下径および前後(内外)径の平均計測値に有意な差は認められなかった(上下径;P=0.141, 前後(内外)径;P=0.191)。

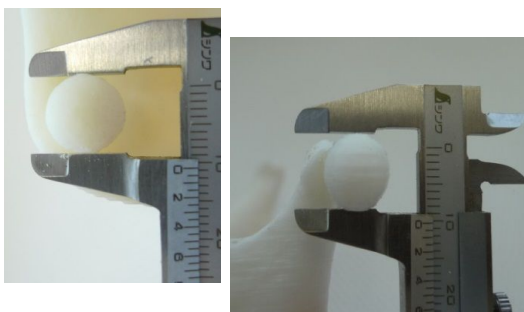


図4:ノギスによる検査用基準球・参照体の寸法計測

顎骨CADモデルとの平均誤差は各3Dモデルともに0.3mm以内で、いずれも造形解像度以下であった。本結果からは素材の相違による有意な誤差(形状差)は見出せなかった(図1-3)。PLA樹脂3Dモデルの平均誤差は他の3Dモデルと比較しやや高い値を示したが、造形時に生じるサポート材[空間の上に位置する部分を造形する為に、空間を埋める土台となる素材。造形完了後に除去する]の除去が不十分であったことに起因すると考えられた。

検査用基準球・参照体アルミニウム球の実測寸法と比較し、各3Dモデルの検査用標準球でそれぞれz方向(垂直方向)で正の誤差が認められた。顎骨CADデータ上の同部位の計測値が10.60mm程度であったことから、この誤差は顎骨CADデータを構築する際のアプリケーション[STL出力のためのポリゴン化アルゴリズム]に関連したものと考えられる。顎骨CADデータ上の計測値(設計値寸法)は実測寸法とほぼ同程度であったことより、本誤差は造形方向異方性によるものではないと考えられた。

【まとめ】

PLAモデル作製にはパーソナル3DプリンタであるValue 3D MagiX MF-2000を用いた(図5)。積層ピッチは0.3mmとし、その造形時間は5時間20分であった(図6)。本機は、その機構に熱溶解積層法を採用し、PLAおよびAcrylonitrile Butadiene Styrene(ABS)の2種の造形素材が使用できる。PLAは、その特徴として造形物の粘度が低く、熱変成は少なく、大きな造形物を作製することが可能であるなど利点を有する。その一方、PLA樹脂はABSと比較し造形温度が低いいため造形後の造形物が高温に弱く、弾性は低いという欠点がある。しかしながら、PLAやABSの造形費用は極めて安価である。一般に、PLAによる造形物は造形方向異方性を示すとされるが、本結果からは寸法精度の観点からは他の2機種と比較し有意な差は認められなかった。これは歯科口腔外科領域への応用には不満のない精度と言える。

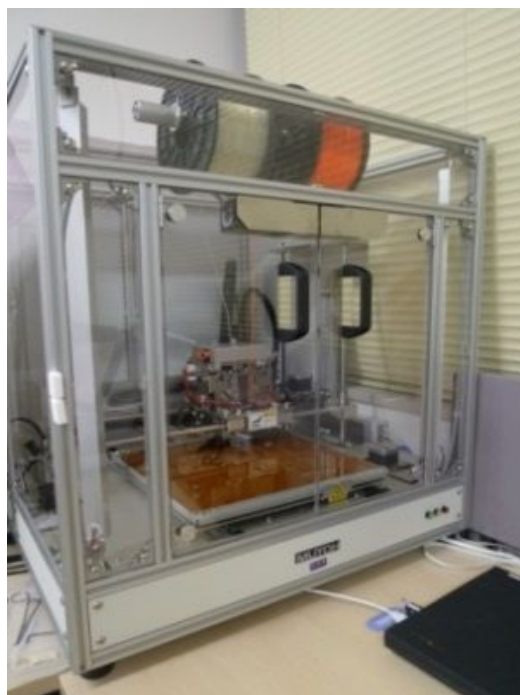


図5:MF2000 (MUTOH Industries)



図6:PLA樹脂3Dモデル

今回、MDCT画像データのCADデータ化はVolume Extractor 3.0で行った。このアプリケー

ションはDICOM データを容易に CAD データ化することが可能である。その後の造形には MF2000 付属のアプリケーションを用いた。これらの一連の作業を通じ画像処理操作を行うための、ある程度の三次元画像工学に関する知識が必要であったものの、総じて操作は容易であった。一連の造形経験を通じてパーソナル 3D プリンタを有効活用するための課題として、以下のを考える。

至適 CAD データ取得・データ作成方法の検討

:CT 撮像時に認められる金属アーチファクト低減のための方策の検討や、各種の光学デバイスの活用の検討。

CAD アプリケーション操作の習熟や解剖学や手術学などの医学的知識を持った CAD 技術の理解

:アプリケーションは概して高額であり操作は習熟を要する。CAD アプリケーション操作技術はもとより、医学・歯学・工学など多くの分野の知識を理解する人材の育成が望まれる。

3D プリンタの造形特性や造形物の物性評価
:模擬手術などではモデルの技工操作を行うことが多い。そのため使用用途に応じた造形素材の選択や物性評価が必要と考える。

費用対効果の検討

:造形に掛かる費用や時間(言わば人件費)は造形物の大きさや造形精度によって大きく異なる。費用対効果の検討も必要と考える。

プロフェッショナル 3D プリンタおよびパーソナル 3D プリンタを使用し、3 種の造形素材による歯・顎骨 3D モデルを作製した。それらの寸法精度を評価したところ、3 種のモデルの寸法精度に有意な差を認めなかった。この結果からはパーソナル 3D プリンタによる経済的なシステムでの造形を行いうる可能性が示唆された。

5 . 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

加藤 広之、神尾 崇、Diagnosis and endodontic management of a fused mandibular second molar and a paramolar with a concrescent supernumerary tooth using cone-beam CT and 3D printing technology: A case report, The Bulletin of TOKYO DENTAL COLLEGE、査読有、56 巻 3 号、2015(掲載予定)

[学会発表] (計 1 件)

神尾 崇、西川慶一、和光 衛、松永 智、中島一憲、石崎 憲、高木多加志、吉成正雄、3D プリンタによる歯・顎骨立体モデル造形の実際、歯科学報、査読無、114 巻 5 号、2014、p522
<http://hdl.handle.net/10130/3484>

[その他]

ホームページ等

<http://www.tdc.ac.jp>

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

神尾 崇 (KAMIO Takashi)

東京歯科大学・歯学部・講師

研究者番号 : 70433951