

令和元年6月24日現在

機関番号：32710

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H05526

研究課題名(和文) 積層・切削のワンプロセス加工によるパーシャルデンチャーのフルデジタル製作

研究課題名(英文) Fully digital fabrication of removable partial dentures using hybrid processing by milling and laser additive manufacturing

研究代表者

大久保 力廣 (Ohkubo, Chikahiro)

鶴見大学・歯学部・教授

研究者番号：10223760

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,700,000円

研究成果の概要(和文)：パーシャルデンチャーをフルデジタルで製作することを目的とし、フレームワーク製作における積層造形や切削加工の単独加工での欠点を両加工をワンプロセスで行うことにより解決した。また、フレームワーク、義歯床、人工歯の3要素をCADにてデザイン後、金属構成要素は積層造形し、義歯床はPMMAディスク、人工歯はジルコニアからミリング加工にて製作し、各パーツを3Dプリント作業用模型上に一体化させるアセンブリ式の技工術式を完成させた。

実際に試作したフルデジタルパーシャルデンチャーを口腔内に試適したところ、従来のアナログ義歯に比較して十分な適合精度を確認でき、臨床応用への可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

パーシャルデンチャーは非常にスレンダーな構造であり、クラスプがアンダーカット領域を走行することから、ミリング加工の難度は高い。積層造形は複雑な形態も造形可能であるが、表面の粗造性などの課題が残されている。本研究ではこれらの諸問題を解決するため積層造形とミリングのハイブリッド加工を補綴装置製作に初めて応用し、実験的に有効性を検証したものである。加えて、アセンブリ方式によるパーシャルデンチャーのフルデジタル製作法を考案し、試作後に初めて臨床応用を行った。これらの成果はパーシャルデンチャー製作の将来に画期的な示唆を与えるものであり、社会的意義はきわめて大きい。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to fully fabricate the removable partial dentures (RPDs) using CAD/CAM. The demerits of fabrications using each milling or laser additive manufacturing individually were resolved using their hybrid manufacturing. After, metal framework, denture base, and artificial teeth were designed by CAD the framework was fabricated using hybrid manufacturing, the denture base and artificial teeth were milled by PMMA disk and zirconia, respectively. Then, they were connected on the 3D printed working cast using assembly methods. Actually, fully digital fabricated RPDs were placed into the mouth, well fitting could be confirmed compared to conventional analog fabrication, the possibility of clinical application was suggested.

研究分野：歯科補綴学

キーワード：パーシャルデンチャー 積層造形 切削加工 ワンプロセス加工 フルデジタル製作 デジタルデンチャー 3Dプリンティング CAD/CAM

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、有床義歯治療においてもデジタル技術の発展は目覚ましく、全部床義歯のデジタル製作も試行されるようになった¹⁾。ところが、パーシャルデンチャーにおいては、構成要素が多く非常に形態が複雑なため、フレームワークの積層造形や切削加工による製作が試みられているものの、義歯全体をフルデジタル加工する方法は未だ確立されていなかった。

2015年、Chen J, Sasaki Kら²⁾はCTデータから義歯の最適設計を行い、3Dプリンターにより片側遊離端義歯の試作モデルを完成させ、臨床応用への可能性を示唆している。しかしながら、フレームワークのデジタル製作や人工歯と義歯床の素材の適正化および各構成要素の一体化には改善の余地が大きく、新技術の導入と製作工程の再編成を図る必要があった。

鶴見大学歯学部有床義歯補綴学講座では、以前より有床義歯治療全体のフルデジタル化を目指し³⁾、全部床義歯製作だけでなく、修理やリラインのデジタル化を行ってきていた(図1, 2)。



図1 デジタル応用による全部床義歯製作やリライン 図2 クラスプに適合させたクラウンの製作

しかしながら、切削加工によるフレームワーク製作は、鋭角部の再現性やアンダーカットの切削が困難であり、金属ブロックの無駄も多い。一方、従来の積層造形では表面形状が非常に粗造になり、臨床応用は困難である(図3, 4)。そこで本研究では、積層造形と切削加工をワンプロセスで行うことにより問題点を解決するとともに、フレームワークを内在させた義歯床および人工歯もフルデジタルで製作する新しい術式と工程を確立することを目的とした。



図3 積層造形により製作したクラスプ

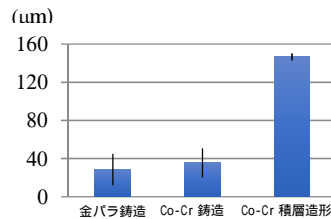


図4 適合精度(白石浩一, 2015)

2. 研究の目的

本研究は、従来の鋳造法と積層造形法や積層造形 - 切削加工のワンプロセス加工法を用いて製作した支台装置の表面性状および適合精度と維持力に関して実験的検討を行い、臨床応用への可能性を検証することを目的とする。

また、積層造形法や切削加工法により大型なフレームワークを製作し、実際に臨床応用するとともにアセンブリ式によるパーシャルデンチャーのフルデジタル製作、いわゆるフレームワーク、義歯床、人工歯の3要素を異なる素材にて製作し、最終的に3D Printed 作業模型上にて各パーツを組み立てる製作法を確立することにより、高精度フルデジタル加工のパーシャルデンチャー製作術式を完成させ、臨床応用を目指すことを目的とする。

3. 研究の方法

(1) デジタル製作したクラスプの検証

試料の製作

第一大臼歯を想定した樽状金型支台歯に対してエーカークラスプを製作した。試料は鉤先端のアンダーカットを0.25 mm、鉤腕の長さを12.0 mmとし近遠心幅径1/2からアンダーカット領域を走行するように設計した(図5)。全ての試料に咬合面全面レストを付与し、両腕の鉤先端の間隔は6.0 mm、鉤体部の幅は5.0 mmに設定した。ロストワックス法による鋳造(鋳造法)と金型支台歯を複印象して作業用模型を製作後、歯科技工用スキャナー(Dental Wings 7series)にてスキャンし、形状データをもとにCAD(DWOS Partial Frameworks)を利用して、エーカークラスプのデザインを行い、金属光造形複合加工機(Lumex Avance-25)にてレーザー焼結積層造形と積層造形 - 切削加工のワンプロセス(ワンプロセス法)による製作を行った(図6)。鋳造法はコバルトクロム合金と3種純チタンを、レーザー焼結積層造形とワンプロセス法はコバルトクロム合金粉末を使用した。

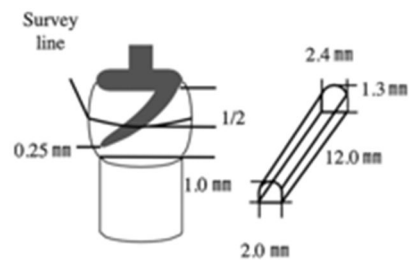


図5 設計したクラスプ

また、純チタンおよびチタン合金クラスプを比較するため、鋳造法に2種純チタン、Ti-6Al-4V、Ti-6Al-7Nbをレーザー焼結積層造形に2種純チタン粉末、Ti-6Al-4V粉末を使用して製作した。

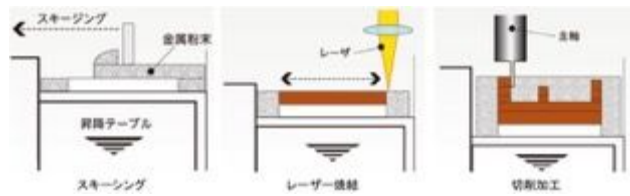


図6 レーザー焼結積層と高精度切削を繰り返し造形

表面粗さの測定

三次元測定装置 (NH-3N) を用いて、測定ピッチ 5 μm、測定距離 2 mm、カットオフ値 0.8 μm の条件下でクラスプとレスト部の表面粗さを測定した。

適合試験

クラスプと金型の適合状態を2種類のシリコンラバー印象材を用いて診査した。クラスプと金型との間隙に存在する印象材の厚みを万能投影機 (V-16E) にて測定した。

維持力の測定

万能型引張試験機 (EZ-S-200N) を用いてクロスヘッドスピード 50 mm/min にて引張試験を行った。クラスプと金型の離脱に要した最大荷重の平均値を各試料の初期維持力とした。初期維持力の測定が終了した試料は、繰り返し疲労試験装置 (JM100-T) を使用し、口腔内を想定した 37 に設定された水槽内にてクラスプの着脱を 10,000 回まで繰り返し、維持力の変化を観察した (図7)。



図7 引張試験と繰り返し疲労試験装置

(2) CAD/CAM によるフレームワークの製作

大型フレームワークの製作には、両側性遊離端の欠損歯列模型をデジタルデータ化し、既存の専用デジタル設計システム (DWOS) を使用してパーシャルデンチャーの設計を行った。フレームワークデータをもとに、従来の積層造形および切削加工法にてフレームワークを製作した。製作したフレームワークを実際に口腔内に装着した。

(3) アセンブリ式によるパーシャルデンチャーのフルデジタル製作

アセンブリ式とはフレームワーク、義歯床、人工歯部の3要素を異なる素材にて製作し、最終的に 3D Printed 作業模型上にて各パーツを組み立てる製法である (図8)。製作手順は以下のとおりである。

CAD デザインソフトウェア (DWOS) を使用して、義歯床基部のみを単独デザイン。

データをミリングマシン (KaVo, EVEREST) に送信し、アクリルブロックから切削加工。

作業模型データ上にて義歯床基部データを積算、統合。

義歯床基部上でフレームワークをデザインし、積層・切削のワンプロセス加工。

フレームワーク、義歯床、人工歯部のデザインおよび積層切削加工。

各パーツは 3D プリンティングされた作業模型上にて接着し一体化 (図9)。

各構成要素ごとに試適を行えることにより、モジュール別の誤差の判別や被圧変位性を考慮した一体化等の臨床操作により、さらに精度を高めることが可能となる。



図8 アセンブリ式の構造



図9 3つのパーツを分離デザイン、製作して一体化を図る

4. 研究成果

(1) 積層造形と切削加工のワンプロセス加工によるクラスプの検証

表面粗さの測定

ワンプロセス法の内面が $0.6\ \mu\text{m}$ と最もスムーズで鑄造法よりも滑らかな表面を示した。一方、ワンプロセス法の外面すなわち積層造形のみの方は $6.4\ \mu\text{m}$ と最も粗造であった。鑄造法とワンプロセス法のコバルトクロム合金の間に有意差が認められた (図 10)。

適合試験

初期維持力計測前の全ての試料において鉤腕部、鉤尖部と比較してレスト部の適合に有意差が認められた (図 11)。また、レスト部の適合精度はリリースなしで $162\ \mu\text{m}$ 、デジタルリリースを行った試料で $76\ \mu\text{m}$ であった。

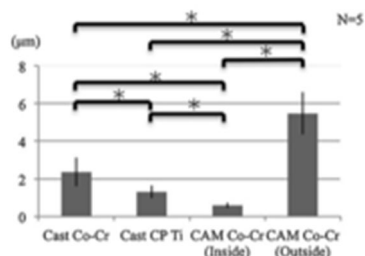


図 10 表面粗さ

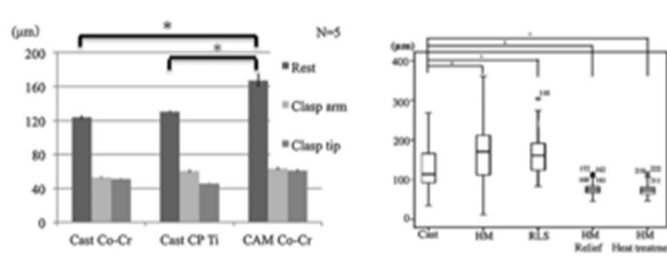


図 11 適合精度の比較

初期維持力

鑄造法のコバルトクロム合金の初期維持力は $12.9\ \text{N}$ と最も大きく、次にワンプロセス法のコバルトクロム合金が $12.3\ \text{N}$ 、鑄造法 3 種純チタンが $10.9\ \text{N}$ であった。鑄造法 3 種純チタンと他の試料との間に有意差が認められた (図 12)。デジタルリリースを行った試料の初期維持力は $16\ \text{N}$ で、鑄造法の $12.9\ \text{N}$ とワンプロセス法の $12.3\ \text{N}$ に比較して有意に大きい値を示した (図 13)。

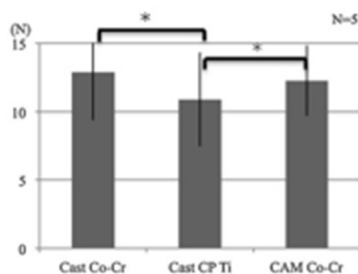


図 12 鑄造法とワンプロセス法の初期維持力

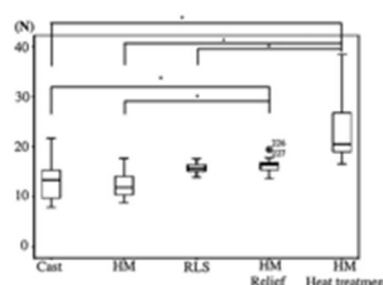


図 13 デジタルリリースによる初期維持力の比較

維持力の変化

繰り返し試験 10,000 回後の維持力は、ワンプロセス法のコバルトクロム合金が $8.9\ \text{N}$ と最も大きく、次に鑄造法のコバルトクロム合金の $7.6\ \text{N}$ 、3 種純チタンの $6.0\ \text{N}$ となった。また、減衰率は、鑄造法のコバルトクロム合金は 41.1% 、3 種純チタンは 44.8% 、ワンプロセス法のコバルトクロム合金は 27.6% となり、ワンプロセス法は鑄造法より小さい減衰率を示した (図 14)。デジタルリリースを行った試料は $13.8\ \text{N}$ であり、リリースなしの $8.9\ \text{N}$ より大きな値を示した。また、減衰率は、デジタルリリースを行った試料で 14.3% であり、リリースなしの 27.6% より小さい減衰率を示した (図 15)。

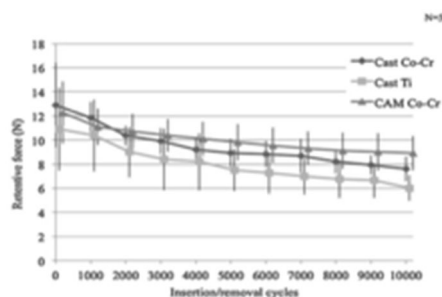


図 14 鑄造法と比較した維持力の経過

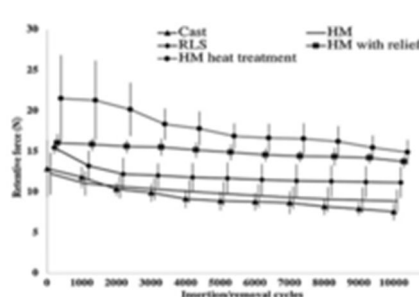


図 15 デジタルリリースによる維持力の経過

(3) CAD/CAM によるフレームワークの製作

大型フレームワークの製作には、両側性欠損歯列の作業用模型をデジタルデータ化し、デジタル設計システム (DWOS) を使用してパーシャルデンチャーの設計を行った (図 16)。フレームワークデータをもとに、従来の積層造形および切削加工法にて大型のフレームワークを製作した (図 17)。製作したフレームワークを実際に口腔内に装着し、適合を確認した (図 18)。



図 16 CAD による設計



図 17 積層造形により製作したフレームワーク



図 18 口腔内に装着したフレームワーク

(4) アセンブリ式によるパーシャルデンチャーのフルデジタル製作

作業用模型をデスクトップスキャナーにより3次元デジタルデータ化し、CADによる義歯設計後、50 μ mチタン合金粉末を用いてレーザー積層加工を行い、フレームワークを完成した(図19)。一方、人工歯とフレームワークを除いた義歯床レジン部もCADによりデータ化し、PMMAディスクからミリング加工した(図20)。本症例では人工歯は既製の硬質レジン歯を使用した(図21)。最終的には作業模型上で、義歯床、フレームワーク、人工歯を一体化させた(図22)。口腔内に装着したところ、従来のアナログ製作とほぼ同等な適合が確認でき、咬合調整等もほとんど必要なかった(図23)。



図 19 CAD による設計を行い、積層造形により完成

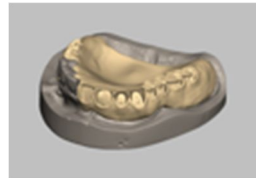


図 20 義歯床レジン部はCADによりデータ化し、PMMAディスクからミリング加工



図 21 人工歯は切削加工



図 22 最終的には作業模型上で、フレームワーク、義歯床、人工歯を一体化



図 23 口腔内に装着したところ、従来のアナログ製作とほぼ同等な適合が確認でき、咬合調整等もほとんど必要なかった

引用文献

Kanazawa M, et al. Trial of a CAD/CAM system for fabricating complete dentures. Dent Mater J. 30(1): 93-96, 2011.

Chen J, et al. Shape Optimization for Additive Manufacturing of Removable Partial Dentures--A New Paradigm for Prosthetic CAD/CAM. PLoS One. 10: e0132552, 2015.

Ozawa D, et al. Fabrication of crown restoration retrofitting to existing clasps using CAD/CAM: fitness accuracy and retentive force. J Prosthodont Res. 59(2): 136-143, 2015.

5 . 主な発表論文等

[雑誌論文](計 7件)

Torii M, Nakata T, Takahashi K, Kawamura N, Shimpo H, Ohkubo C. Fitness and retentive force of cobalt-chromium alloy clasps fabricated with repeated laser sintering and milling. J Prosthodont Res. 査読有 Vol.62, No.3, 2018, 342-346.
DOI : 10.1016/j.jpor.2018.01.001

Ohkubo C, Shimpo H, Tokue A, Park EJ, Kim TH. Complete denture fabrication using piezography and CAD-CAM: A clinical report. J Prosthet Dent. 査読有 Vol.119, No.3, 2018, 334-338.
DOI : 10.1016/j.prosdent.2017.04.013

Ohkubo C, Park EJ, Kim TH, Kurtz KS. Digital Relief of the Mental Foramen for a CAD/CAM-Fabricated Mandibular Denture. J Prosthodont. 査読有 Vol.27, No.2, 2018, 189-192.
DOI : 10.1111/jopr.12476

Nakata T, Shimpo H, Ohkubo C. Clasp fabrication using one-process molding by repeated laser sintering and high-speed milling, J Prosthodont Res. 査読有 Vol.61, No.3, 2017, 276-282.

DOI : 10.1016/j.jpor.2016.10.002

新保秀仁, 仲田豊生, 大久保力廣. CAD/CAM デンチャーの現在と近未来. 日本デジタル歯科学会誌, 査読有 7 巻, 1 号, 2017, 2-9.

http://www.jadent.jp/member/file/journal/journal_vol7_no1.pdf

〔学会発表〕(計 2 2 件)

高橋和也, 鳥居麻菜, 仲田豊生, 河村 昇, 新保秀仁, 大久保力廣. レーザー焼結積層造形法で製作したチタンクラスプの適合性と維持力. 公益社団法人日本補綴歯科学会 第 128 回学術大会. 2019 年

仲田豊生, 新保秀仁, 高橋和也, 鳥居麻菜, 大久保力廣. ハイブリッド加工における造形角度の違いがクラスプの適合性と維持力に及ぼす影響. 公益社団法人日本補綴歯科学会第 127 回学術大会. 2018 年

高橋和也, 鳥居麻菜, 仲田豊生, 河村 昇, 新保秀仁, 大久保力廣. 金属粉末レーザー積層造形法で製作した Ti-6Al-4V 合金のクラスプ適合性と維持力. 一般社団法人日本デジタル歯科学会第 9 回学術大会. 2018 年

仲田豊生, 新保秀仁, 高橋和也, 鳥居麻菜, 大久保力廣. 焼結積層と切削のハイブリッド加工により製作した支台装置の異方性の検討. 一般社団法人日本デジタル歯科学会第 9 回学術大会. 2018 年

鳥居麻菜, 仲田豊生, 高橋和也, 河村 昇, 新保秀仁, 大久保力廣. レーザー焼結積層および切削造形により製作した Co-Cr 合金エーカーズクラスプの適合性と維持力. 一般社団法人日本デジタル歯科学会第 9 回学術大会. 2018 年

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名: 佐藤 洋平

ローマ字氏名: (SATO, yohei)

所属研究機関名: 鶴見大学

部局名: 歯学部

職名: 講師

研究者番号 (8 桁): 10410052

研究分担者氏名: 新保 秀仁

ローマ字氏名: (SHIMPO, hidemasa)

所属研究機関名: 鶴見大学

部局名: 歯学部

職名: 助教

研究者番号 (8 桁): 40514401

研究分担者氏名: 鈴木 恭典

ローマ字氏名: (SUZUKI, yasunori)

所属研究機関名: 鶴見大学

部局名: 歯学部

職名: 准教授

研究者番号 (8 桁): 70257335

研究分担者氏名: 栗原 大介

ローマ字氏名: (KURIHARA, daisuke)

所属研究機関名: 鶴見大学

部局名: 歯学部

職名: 助教

研究者番号 (8 桁): 70535773

(2)研究協力者

研究協力者氏名: 仲田 豊生

ローマ字氏名: (NAKATA, toyoki)

研究協力者氏名: 鳥居 麻菜

ローマ字氏名: (TORII, mana)

研究協力者氏名: 高橋 和也

ローマ字氏名: (TAKAHASHI, kazuya)

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。