

デジタルデンティストリーのパーシャルデンチャーへの応用 —研究・臨床・教育での試み—

田坂彰規, 山下秀一郎

Applying digital dentistry to removable partial denture:
Attempts at research, clinical treatment and education

Akinori Tasaka, DDS, PhD and Shuichiro Yamashita, DDS, PhD

抄 録

CAD/CAM 技術が有床義歯補綴分野に普及しつつあり、全部床義歯製作システムが開発され、臨床応用されている。また、CAD/CAM 技術でフレームワークを製作することも可能である。口腔内スキャナーに関しては、無歯顎に対しての精度検証および臨床応用が進んでいる一方で、部分歯列欠損では顎堤粘膜に対して加圧印象が必要であるため実用化に至っていないのが現状である。本稿では、これまで当講座で実施してきた CAD/CAM 技術を応用したパーシャルデンチャーに関する研究・臨床・教育を中心にまとめ、デジタルデンティストリーのパーシャルデンチャーへの応用の現状と今後の課題を考察する。

キーワード

デジタルデンティストリー, パーシャルデンチャー, CAD/CAM, 口腔内スキャナー, ダブルクラウン

ABSTRACT

CAD/CAM technology is spreading in the field of removable denture, and complete denture production systems have been developed and applied to clinical treatment. It is also possible to fabricate frameworks using CAD/CAM technology. Intraoral scanners have been applied to edentulous jaws, but they have not yet been put into practical use because pressure impressions of mucosa ridge are required for partially edentulous dentition. This paper summarizes the research, clinical treatment, and education on removable partial denture using CAD/CAM technology carried out until now in our department. It also discusses the current status and issues of the application of digital dentistry to removable partial dentures.

Key words:

Digital dentistry, Removable partial denture, CAD/CAM, Intraoral scanner, Double crown

I. はじめに

近年のデジタルデンティストリーの普及に伴い、3D データからコンピューターで数値制御された (Computer Computerized Numerical Control: CNC) ミリングマシンを用いてジルコニア等のオールセラミックスクラウンを製作する CAD/CAM 技術 (Computer-

aided design/manufacturing technology) は日常臨床に広く普及している。可撤性義歯に関しては、CAD にてパソコン上で人工歯排列を行い、CAM にてミリングマシンまたは 3D プリンタを用いて義歯床を造形する全部床義歯製作システムが、アメリカおよびヨーロッパで開発され臨床応用に至っている¹⁾。さらに、CAD/CAM 技術がパーシャルデンチャーのフレームワークの製作にも普及しつつあり、CAD 上で 3D デー

タによるフレームワークを設計し、CAMを介して3Dプリンタを用いたフレームワークを造形することが可能となった²⁻⁴⁾。近年、一部ではあるが3Dプリンティング用レジンインクおよびコバルトクロム合金粉末が、「医薬品、医療機器等の品質、有効性及び安全性の確保等に関する法律（薬機法）」で承認されたため、国内でもCAD/CAM技術の有床義歯への応用は加速すると考えられる。有床義歯領域における口腔内スキャナーの応用に関しては、アメリカの研究チームを中心に無歯顎に対する補綴装置の精度検証および臨床応用が進んでいる⁵⁻¹⁰⁾。しかし、パーシャルデンチャー、特に遊離端義歯においては顎堤粘膜に対する加圧印象が必要となるため、部分歯列欠損に対する口腔内スキャナーの実用化にはさらなる検討が必要である。

本稿では、これまで当講座で実施してきたCAD/CAM技術を応用したパーシャルデンチャーに関する研究・臨床・教育を中心にまとめ、デジタルデンティストリーのパーシャルデンチャーへの応用に関して現状と今後の課題を考察する。

II. CAD/CAM技術のパーシャルデンチャーへの応用に関する研究

1. CAD/CAM技術で製作したフレームワークの精度検証

従来型のパーシャルデンチャーのフレームワークはロストワックス法による鋳造で製作されるため、多くの手作業による工程が必要であり、工程ごとの誤差が生じやすかった¹¹⁾。しかし、CAD/CAM技術の発展により、これまでサベイヤーを用いて行ってきた着脱方向の決定、フレームワークデザインの記入、作業用模型のブロックアウト、リリースおよびフレームワークのワックスアップ等の一連の流れをデジタルで行うことができるようになった。このようなデジタル化によって、従来の鋳造法では必要とされた複印象と耐火模型製作の工程が不要となるため、作業の単純化、材料コストの軽減および時間の節約というメリットが生まれる。また、製作者間での製作誤差が少なくなり、再現性の高いフレームワークの製作が可能となる¹²⁾。

現在、CAD/CAMを用いたパーシャルデンチャーのフレームワークの製作方法には大きく3つの方法がある。1つ目はCNCミリングマシンにて金属ディスクを直接的に削り出す方法である¹³⁾。2つ目はCAD/CAM技術とロストワックス法を併用したもので、3Dプリンタにて鋳造パターンを造形し、そのプリンティングパターンを用いて鋳造する方法^{14,15)}、もしくは

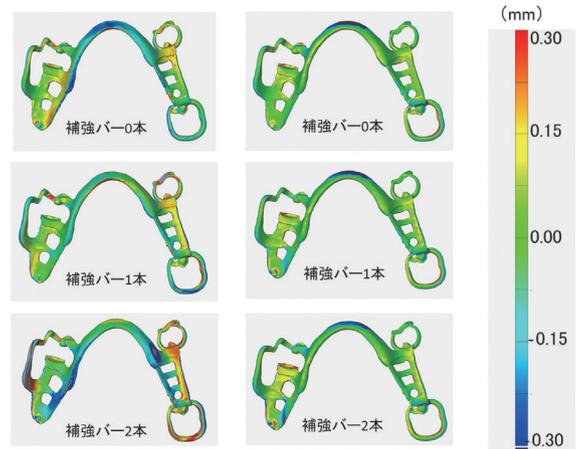


図1 形状誤差のカラーマップ 文献21より改変引用

CNCミリングマシンにてワックスディスクをミリングし、そのワックスパターンを用いて鋳造する方法である^{13,15)}。3つ目はselective laser sinteringに代表される金属粉末積層技術の応用であり、平らに敷き詰めた金属粉末材料を熱エネルギーで溶融させ直接的にフレームワークを造形する方法である¹⁶⁻¹⁸⁾。

われわれは、上記の方法の中で、金属積層造形で製作したフレームワークは、3Dプリンティングパターンを用いて鋳造して製作したフレームワークより製作精度および製作再現性が優れていることを明らかにした。しかし、造形時の残留応力による造形体の変形が問題となり¹⁹⁾、特にリングバー中央部に大きな変形が生じていた²⁰⁾。さらに、造形体の変形を防止するための補強バーをフレームワークに設定しその効果を検証した結果²¹⁾、3Dプリンティングパターンを用いてフレームワークを製作する際には、補強バーはフレームワークの大連結子の精度向上に有効であった。しかし、補強バーが付着する部位の精度が著しく低下するため、維持格子のようなフレームワークの適合に関与にしない部位に設置することが望ましいことが示唆された。一方、金属積層造形で製作する際には、補強バーの設置はフレームワークのリングバー中央部の精度の改善する効果はほとんどなかった(図1)。このような局所的な残留応力は適合のみならず強度にも影響を及ぼすため¹⁹⁾、造形角度、サポート材の設定位置等の造形条件について今後さらなる検討が必要である。

2. 遊離端欠損顎堤部の口腔内スキャナーの精度検証
近年、口腔内スキャナーを用いた光学印象の技術革新が目覚しく、フルカラーの3D画像としてスキャニングすることが可能となった。得られた画像データか

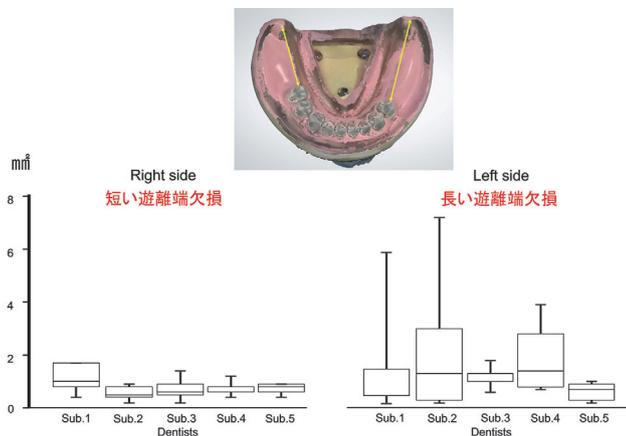


図2 遊離端欠損に対する口腔内スキャナーの真度 文献 35 より改変引用

ら歯冠補綴装置を製作するワークフローはすでに確立されつつある²²⁻²⁴。インプラント治療では、口腔内スキャナーのデータとCTデータとを重ね合わせることで、インプラント埋入に対する治療計画の立案、外科用ガイドの製作およびプロビジョナルレストレーションを事前に製作することが可能となっている。さらに、症例によってはスキャンボディを口腔内スキャニングすることで、最終補綴まですべてデジタル技術でカバーすることが可能となっている^{25,26}。

可撤性義歯に関しても、口腔内スキャナーを用いて総義歯やパーシャルデンチャーを製作した研究および臨床報告が増えつつある^{5-10,27}。症例報告ではあるが、口腔内スキャナーを用いて光学印象を行い、CAD/CAMを用いてパーシャルデンチャーのフレームワークを製作し、良好な結果を得ている²⁸⁻³³。また、遊離端欠損の後方に埋入したインプラントに支持を求めるインプラントパーシャルデンチャー (IARPD: Implant Assisted Removable Partial Denture) に関して、口腔内スキャナーで印象採得した後、咬合採得から義歯製作までフルデジタルで製作した報告がなされている³⁴。これまで、当講座では口腔内スキャナーを用いた顎堤粘膜に対する光学印象の方法の確立を目標として、下顎遊離端欠損 (Kennedy I 級) 部の顎堤粘膜に対する口腔内スキャナーの真度を検証した³⁵。その結果、光学印象の真度は、左右側ともに術者間で統計学的有意差が認められなかった。しかし、左側の遊離端欠損の誤差の四分位範囲は右側と比較して大きい傾向が認められた (図2)。これは右側と比較して左側の遊離端欠損が長いことが影響していることが示唆された。顎堤は歯と比較して解剖学的要素が少なく、画像をつなぎ合わせるスティッチングの誤差に

影響を及ぼしたと考えられた⁵。さらに口腔内スキャナーを用いた光学印象の真度を臨床経験の差異から検証したところ、補綴専門教育を5年以上受けた歯科医師は、臨床研修歯科医と比較して、印象採得の真度に優れていることが明らかとなった³⁶。以上より口腔内スキャナーによる遊離端欠損の光学印象は、術者間の真度の差は少ないが、ある一定以上の従来の補綴治療技術を有していないと誤差が大きく生じる可能性が示唆された。

遊離端義歯の製作に口腔内スキャナーを応用する際には、顎堤粘膜の光学印象に関して2つの大きな課題がある。まず、顎堤粘膜は粘弾性体で被圧変位性を有することである。本研究で行った顎堤粘膜に対する口腔内スキャナーによる光学印象は解剖学的印象である。しかし、遊離端義歯では残存歯と顎堤粘膜の被圧変位量の差を補償する必要があるため、取得した顎堤粘膜のデータを改変し、デジタル上で加圧することが必要である。デジタル上でのリリースおよび加圧は可能であると考えられる³⁷が、残念ながら顎堤粘膜の被圧変位量のデータを簡便に取得できる方法は現在のところない³⁸。2つ目の課題として、口腔前庭、口唇、舌および頬などの可動組織の機能的な形態を口腔内スキャナーで取得するのが困難³⁹な点があげられる。現時点での遊離端欠損に対する口腔内スキャナーの利用法としては、残存歯および顎堤粘膜の解剖学的印象に使用して、そのデータからメタルフレームワークを製作し、オルタードキャストテクニック⁴⁰を併用して機能印象を行う方法が考えられる。

III. CAD/CAM 技術で製作したダブルクラウンの臨床応用

これまでダブルクラウンの製作は、熟練の歯科技工士による手作業のロストワックステクニックで製作されてきたが⁴¹、CAD/CAM 技術を応用することで、その製作効率を向上させることができる⁴²。Danielczak らは、ダブルクラウンの内冠および外冠をコンピューター上でデザインした後、コバルトクロム合金のディスクからCNC ミリングによって削り出す手法を報告している⁴³。昨今の貴金属価格の高騰により、ヨーロッパを中心に多くの症例で内外冠に使用する材料は白金合金ではなく、コバルトクロム合金が使用されるようになってきた。本稿ではコバルトクロムディスクを用いたCAD/CAM ダブルクラウンの製作方法について紹介する。

まず、内冠を製作するために支台歯形成後の作業用

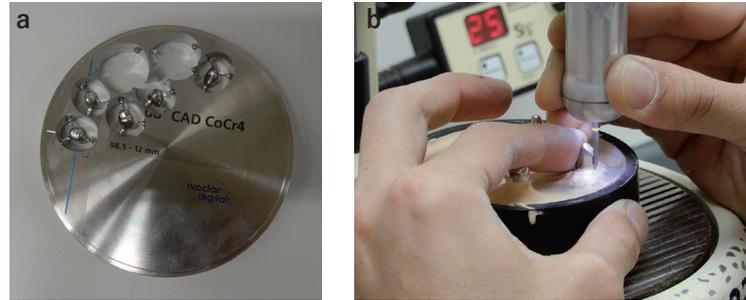


図3 a 内冠の CNC ミリング b 内冠のハンドミリング

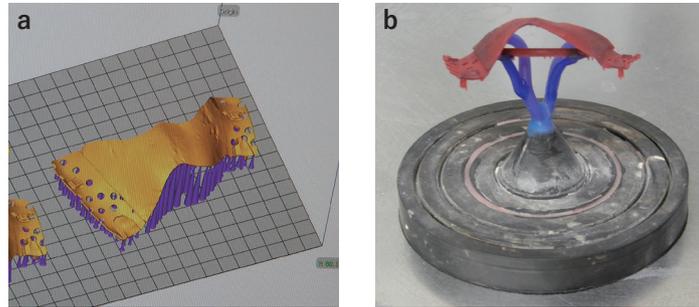


図4 a 3D プリントにてフレームワークのレジンパターンを造形 b レジンパターンを鋳造

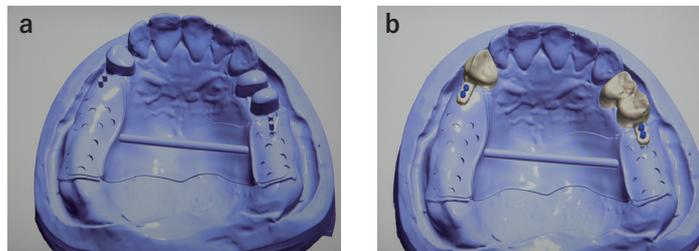


図5 a 内冠とフレームワークの 3D データ b 外冠のデジタルワックスアップ

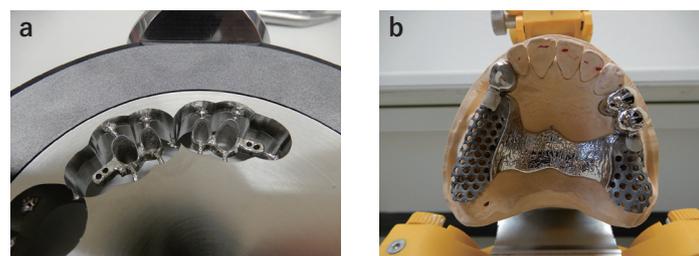


図6 a CNC ミリング後の外冠 b 完成した CAD/CAM ダブルクラウンとフレームワーク

模型を 3D スキャニングする。そして 3D スキャニングされたデータ上で内冠のデジタルワックスアップを行う。白金加金を用いた場合はコーヌスクローネの内冠の軸面には 6 度の角度を付与することになるが、コバルトクロム合金の場合は 2~4 度の角度を付与する。これらの角度の違いは合金の摩擦係数に依存する。CNC ミリングマシンにてコバルトクロムディスクから内冠を削り出し、適宜に問題なければ内冠をピックアップ印象し、製作した模型上でハンドミリングマシンにて形態修正および研磨を行う (図 3)。3D データ上でメタルフレームワークの設計を行い、鋳造

用パターンを 3D プリントで製作し、鋳造を行う (図 4)。次いで、金属の反射によるハレーションを防ぐためにスキャニングスプレーを内冠とフレームワークに噴霧した上で 3D スキャニングし、得られたデータ上で外冠のデジタルワックスアップを行う (図 5)。外冠のワックスアップ後、再度 CNC ミリングマシンにて外冠を削り出し、CAD/CAM ダブルクラウンが完成する (図 6)。また、CAD/CAM 技術の進歩に伴い、多くの材料を加工することが可能となったことで、ダブルクラウン製作に金属以外の材料を応用する試みも行われている⁴⁴⁻⁴⁷⁾。



図7 CADを用いたパーシャルデンチャー設計実習の風景

IV. CAD/CAM を応用した パーシャルデンチャー補綴学の教育

1. CADを用いたパーシャルデンチャーの設計実習

歯学教育要綱にCAD/CAMシステムに関する内容がすでに盛り込まれており、平成28年度に改定された歯学教育モデル・コア・カリキュラムには「CAD/CAMを用いたクラウン製作法を説明できる」ことが学修目標に加わっている⁴⁸⁾。加えて平成30年度版歯科医師国家試験出題基準にもクラウンブリッジ補綴学領域において、「口腔内スキャナー」「CAD/CAMによる製作」項目が加わった⁴⁹⁾。クラウンブリッジ補綴学領域においては、CAD/CAMシステムを利用した治療の体系的な理解を目的とした実習の教育効果が報告されている⁵⁰⁾。現在の歯学生が歯科医師として活躍する頃には、CAD/CAMシステムを用いたパーシャルデンチャーの製作が一般的になっていることが予想されるため、本学ではCADシステムを利用した局部床義歯設計実習を2017年から実施し、その教育効果について検討した(図7)⁵¹⁾。その結果、CADシステムの特徴である3次元的な設計の把握を行った後に従来のサバイヤーを用いた設計を行うと、義歯の設計に関する理解度が向上することが判明した。われわれは、今後の学生教育において、既存のサバイヤーを用いた実習を基本とし、これにCADシステムを用いた設計を併用することで、3次元的な設計をより視覚的に確認できる利点を効果的に活用していくことを考えている。

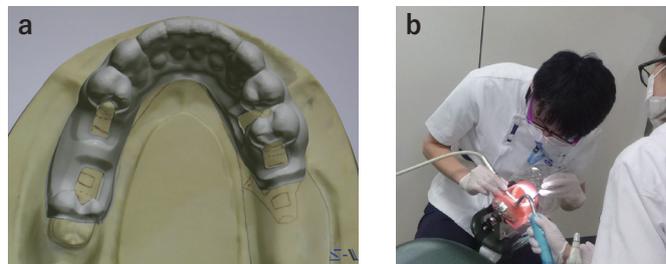


図8 a CAD/CAM ガイドプレーン形成用ジグの設計 b ジグを用いてガイドプレーンを形成する学生 文献52より引用

2. CAD/CAMで製作したガイドプレーン形成用ジグの応用

これまで述べてきたように、パーシャルデンチャーに関するデジタル化が進んだとはいえ、口腔内で直接行う製作過程の多くで、未だデジタルの技術が応用されていないというのも現状である。支台歯への前処置はその典型であり、ガイドプレーンが代表例としてあげられる。これは、支台歯となる複数歯に付与するのが一般的であり、着脱方向に対してすべてのガイドプレーンが平行に形成されることが求められる。しかし、ガイドプレーンを複数歯間で平行に形成することは非常に難しく、初学者である学生にとっては難易度が高い課題となっている。そこでわれわれはCAD/CAM技術で製作したガイドプレーン形成用ジグを学生教育に導入し、その効果を検証した(図8)⁵²⁾。CAD/CAMジグを用いた形成の方がフリーハンドによる形成よりも、理想形態のガイドプレーンの角度に近似しているという結果が得られた。CAD/CAMで製作したガイドプレーン形成用ジグを用いた実習は、学生のガイドプレーン形成に関する理解度の向上と、良好な形成に寄与することが明らかとなり、有効な教育効果を得るツールとしての可能性が示唆された。

V. まとめ

本稿では、デジタルデンティストリーのパーシャルデンチャーへの応用について、当講座で実施してきた研究、臨床および教育について概説した。

研究においては、CAD/CAM技術によるフレームワークは一定水準を満たす製作精度が得られるまでに到達した。しかし、フレームワークに生じる誤差の傾向がCAD/CAM手法によって異なるため、最適な造形および加工パラメーターをさらに検討する必要がある。光学印象が顎堤粘膜に対して臨床応用するうえで、残存歯と顎堤粘膜の被圧変位量の差および可動組

織の機能的な形態が大きな課題であり、口腔内スキャナーによるデジタル加圧および筋圧形成の手法・装置の開発が待たれる。

臨床においては、かつては職人技が必要であったダブルクラウンの製作も、CAD/CAM技術の応用で製作が簡略化された。しかし、わが国では歯科技工士の養成および確保が喫緊の課題であり、CAD/CAM技術が発展しても、従来の技術と同様に熟練した歯科技工士の存在をなくして優れたダブルクラウンを製作することは困難である。

教育においては、CAD/CAMを応用したパーソナルデンチャー補綴学の教育は学生の3次元的な理解に役立ち、技術の向上に寄与できる可能性がある。しかし、一般的なCAD知識や操作方法を歯学部の学生教育にどのように導入するかが課題である。

文 献

- 1) Baba NZ, Goodacre BJ, Goodacre CJ, Müller F, Wagner S. CAD/CAM complete denture systems and physical properties: A review of the literature. *J Prosthodont* 2021; 30: 113-124.
- 2) Carneiro Pereira AL, Bezerra de Medeiros AK, de Sousa Santos K, Oliveira de Almeida É, Seabra Barbosa GA, da Fonte Porto Carreiro A. Accuracy of CAD-CAM systems for removable partial denture framework fabrication: A systematic review. *J Prosthet Dent* 2021; 125: 241-248.
- 3) Takaichi A, Fueki K, Murakami N, Ueno T, Inamochi Y, Wada J et al. A systematic review of digital removable partial dentures. Part II: CAD/CAM framework, artificial teeth, and denture base. *J Prosthodont Res* 2021; in press.
- 4) Pordeus MD, Santiago Junior JF, Venante HS, Bringel da Costa RM, Chappuis Chocano AP, Porto VC. Computer-aided technology for fabricating removable partial denture frameworks: A systematic review and meta-analysis. *J Prosthet Dent* 2021 ; in press.
- 5) Patzelt SB, Vonau S, Stampf S, Att W. Assessing the feasibility and accuracy of digitizing edentulous jaws. *J Am Dent Assoc* 2013; 144: 914-920.
- 6) Goodacre BJ, Goodacre CJ. Using intraoral scanning to fabricate complete dentures: First experiences. *Int J Prosthodont* 2018; 31: 166-170.
- 7) Goodacre BJ, Goodacre CJ, Baba NZ. Using intraoral scanning to capture complete denture impressions, tooth positions, and centric relation records. *Int J Prosthodont* 2018; 31: 377-381.
- 8) Fang JH, An X, Jeong SM, Choi BH. Digital intraoral scanning technique for edentulous jaws. *J Prosthet Dent* 2018; 119: 733-735.
- 9) Hack G, Liberman L, Vach K, Tchorz JP, Kohal RJ, Patzelt SBM. Computerized optical impression making of edentulous jaws - An in vivo feasibility study. *J Prosthodont Res* 2020; 64: 444-453.
- 10) Lo Russo L, Caradonna G, Troiano G, Salamini A, Guida L, Ciavarella D. Three-dimensional differences between intraoral scans and conventional impressions of edentulous jaws: A clinical study. *J Prosthet Dent* 2020; 123: 264-268.
- 11) Rudd RW, Rudd KD. A review of 243 errors possible during the fabrication of a removable partial denture: part II. *J Prosthet Dent* 2001; 86: 262-276.
- 12) Lima JM, Anami LC, Araujo RM, Pavanelli CA. Removable partial dentures: use of rapid prototyping. *J Prosthodont* 2014; 23: 588-591.
- 13) Ohkubo C, Sato Y, Nishiyama Y, Suzuki Y. Titanium removable denture based on a one-metal rehabilitation concept. *Dent Mater J* 2017; 36: 517-523.
- 14) Lee JW, Park JM, Park EJ, Heo SJ, Koak JY, Kim SK. Accuracy of a digital removable partial denture fabricated by casting a rapid prototyped pattern: A clinical study. *J Prosthet Dent* 2017; 118: 468-474.
- 15) Arnold C, Hey J, Schweyen R, Setz JM. Accuracy of CAD-CAM-fabricated removable partial dentures. *J Prosthet Dent* 2018; 119: 586-592.
- 16) Bibb R, Eggbeer D, Williams R. Rapid manufacture of removable partial denture frameworks. *Rapid Prototyping J* 2006; 12: 95-99.
- 17) Williams RJ, Bibb R, Eggbeer D, Collis J. Use of CAD/CAM technology to fabricate a removable partial denture framework. *J Prosthet Dent* 2006; 96: 96-99.
- 18) Ye H, Ning J, Li M, Niu L, Yang J, Sun Y, Zhou Y. Preliminary clinical application of removable partial denture frameworks fabricated using computer-aided design and rapid prototyping techniques. *Int J Prosthodont* 2017; 30: 348-353.
- 19) Kruth JP, Mercelis P. Residual stresses in selective laser sintering and selective laser melting. *Rapid Prototyp J* 2006; 5: 254-265.
- 20) Tasaka A, Shimizu T, Kato Y, Okano H, Ida Y, Higuchi S, Yamashita S. Accuracy of removable partial denture framework fabricated by casting with a 3D printed pattern and selective laser sintering. *J Prosthodont Res* 2020; 64: 224-230.
- 21) Tasaka A, Okano H, Shimizu T, Kato Y, Higuchi S, Yamashita S. Influence of reinforcement bar on accuracy of removable partial denture framework fabricated by casting with a 3D-printed pattern and selective laser sintering. *J Prosthodont Res* 2021; 65: 213-218.
- 22) Brawek PK, Wolfart S, Endres L, Kirsten A, Reich S. The clinical accuracy of single crowns exclusively fabricated by digital workflow--the comparison of two systems. *Clin Oral Investig* 2013; 17: 2119-2125.
- 23) Seelbach P, Brueckel C, Wöstmann B. Accuracy of digital and conventional impression techniques and workflow. *Clin Oral Investig* 2013; 17: 1759-1764.
- 24) Ahlholm P, Sipilä K, Vallittu P, Jakonen M, Kotiranta U. Digital versus conventional impressions in fixed prosthodontics: A review. *J Prosthodont* 2018; 27: 35-41.
- 25) Skjerven H, Riis UH, Herlofsson BB, Ellingsen JE. In vivo accuracy of implant placement using a full digital planning modality and stereolithographic guides. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2019; 34: 124-132.

- 26) Deeb GR, Allen RK, Hall VP, Whitley D 3rd, Laskin DM, Bencharit S. How accurate are implant surgical guides produced with desktop stereolithographic 3-dimensional printers? *J Oral Maxillofac Surg* 2017; 75: 2559.e1-2559.e8.
- 27) Fueki K, Inamochi Y, Wada J, Arai Y, Takaichi A, Murakami N et al. A systematic review of digital removable partial dentures. Part I: Clinical evidence, digital impression, and maxillomandibular relationship record. *J Prosthodont Res* 2021; in press.
- 28) Virard F, Venet L, Richert R, Pfeffer D, Viguié G, Bienfait A et al. Manufacturing of an immediate removable partial denture with an intraoral scanner and CAD-CAM technology: a case report. *BMC Oral Health* 2018; 18: 120.
- 29) Kattadiyil MT, Mursic Z, AlRumaih H, Goodacre CJ. Intraoral scanning of hard and soft tissues for partial removable dental prosthesis fabrication. *J Prosthet Dent* 2014; 112: 444-448.
- 30) Mansour M, Sanchez E, Machado C. The use of digital impressions to fabricate tooth supported partial removable dental prostheses: A clinical report. *J Prosthodont* 2016; 25: 495-497.
- 31) Wu J, Li Y, Zhang Y. Use of intraoral scanning and dimensional printing in the fabrication of a removable partial denture for a patient with limited mouth opening. *J Am Dent Assoc* 2017; 148: 338-341.
- 32) Hu F, Pei Z, Wen Y. Using intraoral scanning technology for three dimensional printing of Kennedy class I removable partial denture metal framework: A clinical report. *J Prosthodont* 2019; 28: e473-476.
- 33) Park JH, Lee KS, Lee JY, Shin SW. Fabricating a maxillary obturator using an intraoral digital impression: A case history report. *Int J Prosthodont* 2017; 30: 266-268.
- 34) Al Haj Husain N, Özcan M, Schimmel M, Abou-Ayash S. A digital cast free clinical workflow for oral rehabilitation with removable partial dentures: A dental technique. *J Prosthet Dent* 2020; 123: 680-685.
- 35) Tasaka A, Uekubo Y, Mitsui T, Kasahara T, Takahashi T, Homma S et al. Applying intraoral scanner to residual ridge in edentulous regions: in vitro evaluation of inter-operator validity to confirm trueness. *BMC Oral Health* 2019; 19: 264.
- 36) 上窪祐基, 田坂彰規, 笠原隼男, 本間慎也, 松永 智, 阿部伸一ほか. 遊離端欠損部顎堤に対する口腔内スキャナーの真度検証 -補綴臨床経験の差による比較-. *歯科学報* 2021; 121: 15-22.
- 37) Ohkubo C, Park EJ, Kim TH, Kurtz KS. Digital relief of the mental foramen for a CAD/CAM-fabricated mandibular denture. *J Prosthodont* 2018; 27: 189-192.
- 38) Yamashita S, Ai M, Geng Q, Sato M, Shinoda H, Ando S. Application of a newly developed 3-D deformation measurement system to prosthetic dentistry. *J Oral Rehabil* 1996; 23: 849-855.
- 39) Fang JH, An X, Jeong SM, Choi BH. Development of complete dentures based on digital intraoral impressions-Case report. *J Prosthodont Res* 2018; 62: 116-120.
- 40) Applegate OC. The cast saddle partial denture. *J Am Dent Assoc* 1937; 27: 1280-1291.
- 41) Stober T, Bermejo JL, Séché AC, Lehmann F, Rammelsberg P, Bömicke W. Electroplated and cast double crown-retained removable dental prostheses: 6-year results from a randomized clinical trial. *Clin Oral Investig* 2015; 19: 1129-1136.
- 42) Schubert O, Reitmaier J, Schweiger J, Erdelt K, Güth JF. Retentive force of PEEK secondary crowns on zirconia primary crowns over time. *Clin Oral Investig* 2019; 23: 2331-2338.
- 43) Danielczak RA, Stober T, Bömicke W. Treatment with a CAD-CAM-fabricated, double-crown-retained, removable partial denture: A clinical report. *J Prosthet Dent* 2019; 121: 220-224.
- 44) Stock V, Schmidlin PR, Merk S, Wagner C, Roos M, Eichberger M, Stawarczyk B. PEEK primary crowns with cobalt-chromium, zirconia and galvanic secondary crowns with different tapers-a comparison of retention forces. *Materials (Basel)*. 2016; 9: 187.
- 45) Wagner C, Stock V, Merk S, Schmidlin PR, Roos M, Eichberger M et al. Retention load of telescopic crowns with different taper angles between cobalt-chromium and polyetheretherketone made with three different manufacturing processes examined by pull-off test. *J Prosthodont* 2018; 27: 162-168.
- 46) Schwindling FS, Stober T, Rustemeier R, Schmitter M, Rues S. Retention behavior of double-crown attachments with zirconia primary and secondary crowns. *Dent Mater* 2016; 32: 695-702.
- 47) Turp I, Bozdağ E, Sünbuloğlu E, Kahraman C, Yusufoglu I, Bayraktar G. Retention and surface changes of zirconia primary crowns with secondary crowns of different materials. *Clin Oral Investig* 2014; 18: 2023-2035.
- 48) 文部科学省, 歯科教育モデル・コア・カリキュラム 平成 28 年度改定版: https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/koutou/033-2/toushin/1383962.htm (accessed 2021. 08 03)
- 49) 厚生労働省医政局歯科保健課. 平成 30 年度版 歯科医師国家試験出題基準. 東京: 口腔保健協会; 2017, 46.
- 50) 勝田悠介, 山田将博, 石橋 実, 奥山弥生, 江草 宏. 東北大学歯学部における CAD/CAM 冠模型実習システムの導入. *日補綴会誌* 2018; 10: 334-344.
- 51) 大平真理子, 田坂彰規, 田中章啓, 池田一洋, 上窪祐基, 酒井 遼, 山下秀一郎. CAD システムを利用した局部床義歯設計実習の教育効果に関する検討. *歯科学報* 2020; 120: 90-95.
- 52) 田中章啓, 田坂彰規, 和達重郎, 小高研人, 大平真理子, 後藤多津子ほか. CAD/CAM 技術で製作したガイドプレート形成用ジグを用いた教育効果の検討. *歯科学報* 121: 48-56, 2021.

著者連絡先: 田坂 彰規

〒 101-0061 東京都千代田区神田三崎町
2-9-18 東京歯科大学パーシャルデンチャー
補綴学講座
Tel & Fax: 03-6380-9167
E-mail: atasaka@tdc.ac.jp