

《特別企画》

3Dプリント義歯の臨床応用
—現状と展望—

¹ 東京医科歯科大学大学院医歯学総合研究科 口腔デジタルプロセス学分野 学振特別研究員
² 東京医科歯科大学大学院医歯学総合研究科 口腔デジタルプロセス学分野 准教授
³ 東京医科歯科大学大学院医歯学総合研究科 高齢者歯科学分野 教授

羽田 多麻木¹ 岩城 麻衣子² 金澤 学³

●抄 録●

デジタル技術による臨床・技工支援システムは、歯科医師や歯科技工士の技量や経験値の格差を縮小し、全部床義歯製作工程の均質化・効率化を促進する可能性がある。特に3Dプリント義歯は、海外での臨床応用が進んでいるが、日本では普及が遅れている。その理由に1つとして、品質や精度、耐久性、コストなどの面で従来法のレジン床義歯と比較して不明な部分が影響している可能性があるのではなかろうか。

本稿では、3Dプリント義歯の臨床におけるワークフローと、最新の研究論文から3Dプリント義歯の利点・欠点に焦点を当てて解説する。さらに、当分野で行なっている3Dプリント義歯の臨床研究と最新の研究であるセルロースナノファイバーを用いた義歯床用3Dプリント光硬性樹脂の物性改善についても紹介しようと思う。本稿が、3Dプリント義歯導入にあたっての手引きになれば幸いである。

キーワード：全部床義歯、3Dプリント義歯、デジタル技術、義歯床用3Dプリント光硬性樹脂

I. はじめに

デジタル技術による臨床・技工支援システムは、患者の負担を減らすだけでなく、歯科医師や歯科技工士の技量と経験値の格差を是正し、全部床義歯製作工程の均質化・効率化の一助となる可能性が高まっている。特に全部床義歯では、海外で商用のデジタルデンチャーシステムが開発され、ミリングマシンを用いた切削加工と3Dプリンターを用いた積層造形の2つの製作法がある。海外では3Dプリント義歯の臨床応用がいち早く進められてきたが、日本は遅れを取っている傾向がある。これは、義歯用の光硬化性樹脂の薬事承認に時間がかかったことと言うまでもないが、日本の国民健康保険制度も3Dプリント義歯の導入を遅らせる一因となっている。しかし、3Dプリント義歯の品質や精度、耐久性、コストなどの面で、従来のレジン

床義歯と比較して不明な部分が多く、これらの要因が複合的に影響し、3Dプリント義歯の普及が遅れている可能性が考えられる。

本稿では、3Dプリント義歯のワークフローと最新文献を活用した3Dプリント義歯の利点や欠点の解説、さらに我々の取り組む3Dプリント義歯の臨床研究や最新研究について紹介する。本稿が、3Dプリント義歯導入にあたっての手引きになれば幸いである。

II. 3Dプリント義歯の臨床における
デジタルワークフロー

液槽光重合法を用いた一般的な3Dプリント義歯のデジタルワークフローを図1に示す。初めにデンチャースペースの3次元データを用意する。適切に修理した旧義歯、複製義歯、咬合床や試適用義歯を上下咬合させた状態で技工用スキャナを用いてスキャンす

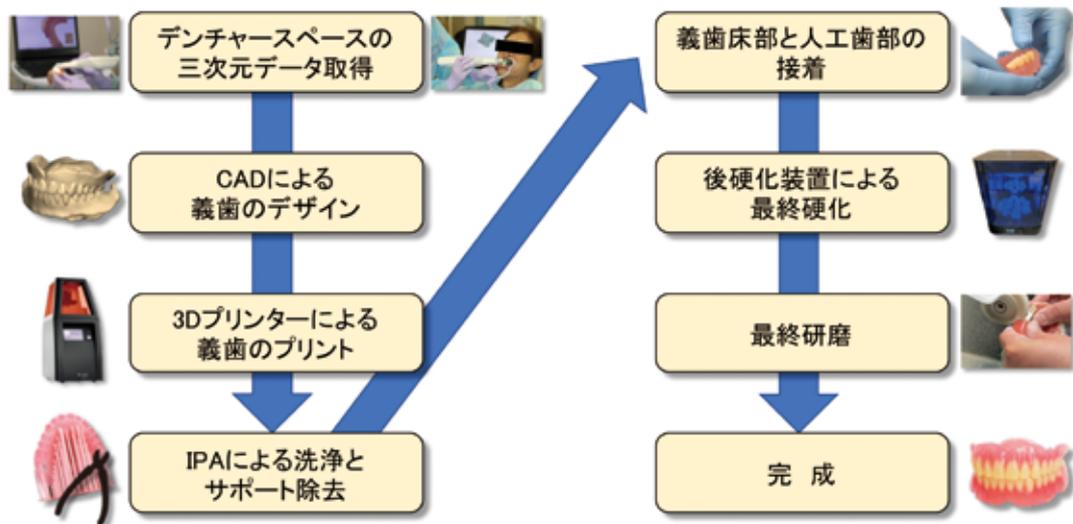


図1 一般的な3Dプリント義歯のデジタルワークフロー

Fig. 1 Digital workflow of a general 3D printed denture

る方法、あるいは上下無歯顎顎堤と顎間関係を、口腔内スキャナを用いてスキャンする方法の2通りで3次元データを得ることができる。得られたデンチャースペースの3次元データをSTLデータとしてエクスポートし、歯科用CADソフトウェア上で人工歯排列、歯肉形成など義歯のデザインを行う。完成した義歯のSTLデータを3Dプリンターの専用ソフトウェアにインポートし、造形物の積層ピッチ、造形方向、およびサポートの設定を行う。義歯は義歯床部と人工歯部で使用する3Dプリント用光硬化性樹脂の色や物性が異なるため、それぞれ別々のSTLデータとしてインポートする。3Dプリント用光硬化性樹脂はよく攪拌し、成分が分離していないことを確認してから3Dプリンターの浴槽内に注ぎ、造形を開始することが望ましい。造形終了後はプラットフォームから慎重に造形物を剥がし、イソプロピルアルコールで造形物に残留した余分な液体樹脂を洗浄後、サポートの除去を行う。そして、義歯床部と人工歯部を専用の接着剤や3Dプリント用光硬化性樹脂で接着し、後硬化装置にて造形物の最終硬化を行う。サポート切断面の調整やバフによる最終研磨を行い、3Dプリント義歯の完成となる。

Ⅲ. 最新文献から見る

3Dプリント義歯の利点と欠点

義歯製作に3Dプリンターを用いる一番の利点は、一度に複数の義歯床部や人工歯部を造形できるため製作効率が良いことである。また、3Dプリント義歯と従来法に関するいくつかの臨床研究では、患者満足度とチェアタイムをアウトカムとして比較したところ、両者はほぼ同等の結果が得られたと報告している^{1,2)}。その中でも、Al-Kaff et al.¹⁾の研究によれば、3Dプリント義歯は従来法に比べ義歯調整時間が短く、咬合調整時間は長いという結果が示され、大変興味深い。また、Hwang et al.³⁾は、義歯床粘膜面の適合精度に関して3Dプリント義歯、ミルド義歯および従来法と比較した。その結果、3Dプリント義歯がミルド義歯や従来法よりも適合精度が有意に高いことが報告された。これは、ミルド義歯がアンダーカットを有する複雑な顎堤形態によっては上手く切削加工できないことと比較して、3Dプリント義歯では顎堤形態やアンダーカット量の影響を受けずに造形が可能であることが関連していると考えられる。

一方、3Dプリント義歯の一番の欠点は、人工歯用の光硬化性樹脂がモノリシックであるため、多層構造である既製人工歯に比べ審美性に劣ることである。また、義歯用3Dプリント光硬化性樹脂の機械的物性



図2 破折した3Dプリント義歯
Fig. 2 Fractured 3D printed denture



図3 着色した3Dプリント義歯
Fig. 3 Colored 3D printed denture

や長期安定性が従来法やミルド義歯の義歯床用材料と比較して劣ることも依然として問題である。最近は、3Dプリント義歯のリライニングに関する *in vitro* 研究において、3Dプリント義歯は従来法やミルド義歯と比較し、臨床使用に問題はないものの、リライニング材との接着強さが弱い傾向にあるとの報告もされている⁴⁻⁶⁾。

IV. 3Dプリント義歯の臨床研究

本学では、2019年より3Dプリント義歯と従来法のレジン床義歯に関する多施設共同無作為比較臨床研究を行い、学会発表にて報告を行ってきた。本臨床研究において3Dプリント義歯の適合は概ね良好であり、OHRQoLと患者満足度は3Dプリント義歯と従来法のレジン床義歯の間に有意な差は認められなかった。コスト面については、3Dプリント義歯は従来法のレジン床義歯と比較して、低コストで製作でき、従来法と同じように調整し使用可能であると考えられた。一方、短期使用にも関わらず破折するケースがあった(図2)。この破折に関しては、臨床上的様々な要因が重なった結果生じた可能性が高いことは言うまでもないが、先行研究の通り義歯用3Dプリント光硬化性樹脂の低機械的物性が大きな要因の1つとして関連していると推察できることから、この問題を早急に解決する必要があると考える。

V. 義歯用3Dプリント光硬化性樹脂に関する最新研究

近年、義歯用3Dプリント光硬化性樹脂の低機械的物性を改善するための方法として、フィラー等の補強材の添加が有効であることがいくつかの先行研究から明らかになっている。そこで、我々は、バイオマス材料として自然界で豊富に入手可能なため低コストで、優れた生体適合性を持つセルロースナノファイバー(CNF)に着目し、義歯床用3Dプリント光硬化性樹脂への添加を試みた。その結果、0.5wt%のCNFを添加した条件は、添加していないコントロール群よりも約46%曲げ強さが向上した。また、着色試験による先行研究⁷⁾では、義歯床用3Dプリント光硬化性樹脂は義歯床用加熱重合レジンと比較して色差が高いと報告している。臨床においても、3Dプリント義歯は着色し易いように思われる(図3)。一方、本研究では、義歯床用3Dプリント光硬化性樹脂へのCNFの添加量が増加するにつれて色相の安定性が向上し、色差の低減に寄与した。よって、CNF添加は、軽量で環境負荷が少ない、かつ補強効果の高い新たな義歯床用3Dプリント光硬化性樹脂として今後応用できる可能性があると考えている。

VI. デジタルデンチャーにおける今後の展望

今後の全部床義歯製法は、大きく分けて①従来法、②デジタル法(ミルド義歯、3Dプリント義歯)の2つの方法が考えられる。切削加工法で製作するミ

ルド義歯は、適合精度、機械的物性、長期安定性、および審美性に優れるため、長期使用を前提とした比較的高価な義歯として提供できる。一方、積層造形法の3Dプリント義歯は、短時間かつ低コストで製作出来るため、安価で即時に提供できる義歯として特に超高齢社会において需要が高まる可能性が高い。よって、患者のニーズや症例に合わせて術者や患者が選択することが理想である。

参考文献

- 1) Al-Kaff FT, Al Hamad KQ. Additively manufactured CAD-CAM complete dentures with intraoral scanning and cast digitization : A controlled clinical trial. *J Prosthodont.* 2024 Jan ; 33(1) : 27-33.
- 2) Ohara K, Isshiki Y, Hoshi N, et al. Patient satisfaction with conventional dentures vs. digital dentures fabricated using 3D-printing : A randomized crossover trial. *J Prosthodont Res.* 2022 Oct 7 ; 66(4) : 623-629.
- 3) Hwang HJ, Lee SJ, Park EJ, et al. Assessment of the trueness and tissue surface adaptation of CAD-CAM maxillary denture bases manufactured using digital light processing. *J Prosthet Dent.* 2019 Jan ; 121(1) : 110-117.
- 4) Awad AN, Cho SH, Kesterke MJ, et al. Comparison of tensile bond strength of denture relining materials on denture bases fabricated with CAD-CAM technology. *J Prosthet Dent.* 2023 Apr ; 129(4) : 616-622.
- 5) Koseoglu M, Tugut F, Akin H. Tensile bond strength of soft and hard relining materials to conventional and additively manufactured denture-base materials. *J Prosthodont.* 2023 Apr ; 32 (S1) : 74-80.
- 6) Alfaraj A, Chu TG, Alouthah H, et al. Tensile bond strength of auto-polymerizing and heat-polymerizing denture liners on the conventional and CAD-CAM denture base materials. *J Prosthodont.* 2023 Apr ; 32 (S1) : 87-95.
- 7) Falahchahi M, Ghavami-Lahiji M, Rasaie V, et al. Comparison of mechanical properties, surface roughness, and color stability of 3D-printed and conventional heat-polymerizing denture base materials. *J Prosthet Dent.* 2023 Aug ; 130(2) : 266. e1-266. e8.

Clinical Application of 3D Printed Dentures — Current Status and Future Prospects —

¹ JSPS Research Fellowship for Young Scientists, Digital Dentistry, Graduate School of Medical and Dental Sciences, Tokyo Medical and Dental University

² Associate professor, Digital Dentistry, Graduate School of Medical and Dental Sciences, Tokyo Medical and Dental University

³ Professor, Gerodontology and Oral Rehabilitation, Graduate School of Medical and Dental Sciences, Tokyo Medical and Dental University

Tamaki HADA¹, R.D.T., M.S., Ph.D.

Maiko IWAKI², D.D.S., Ph.D.

Manabu KANAZAWA³, D.D.S., Ph.D.

Clinical and technical support systems using digital technology have the potential to reduce the disparity in the skills and experience of dentists and dental technicians and to promote uniformity and efficiency in the complete denture fabrication process. In particular, the clinical application of 3D-printed dentures has been progressing overseas, but their use has been slow in Japan. One of the reasons for this may be that the quality, accuracy, durability, and cost of 3D-printed dentures are unknown compared to conventional dentures.

In this section, the clinical workflow of 3D printed dentures and the advantages and disadvantages of 3D printed dentures based on the latest research papers are explained. In addition, we will introduce our clinical research on 3D printed dentures and our latest research on the improvement of physical properties of 3D printed photopolymer resin for denture bases using cellulose nanofibers.

We hope that this article will serve as a guide for the introduction of 3D-printed dentures.

Key words : Complete Denture, 3D Printed Denture, Digital Technology,
3D printed Photopolymer Resin for Denture Base