

令和 6 年 6 月 2 日現在

機関番号：27102

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2022～2023

課題番号：22K21068

研究課題名（和文）力学的生体適合性と物理化学的安定性に優れた新規3Dプリント義歯用素材の開発

研究課題名（英文）Development of novel 3D-printable resin with mechanical compatibility for denture

研究代表者

畑 賢太郎（Hata, Kentaro）

九州歯科大学・歯学部・特別研修員

研究者番号：20966650

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000 円

研究成果の概要（和文）：3Dプリント用義歯の素材は、CAD/CAM切削加工用ブロックと比べると機械的性質や物理化学的性質は低いという課題がある。そこで本研究では、物理化学的性質と力学的性質に優れた義歯用新規3Dプリント素材を開発することを目的とした。シラン処理したシリカフィラーとアクリル系レジンから新規3Dプリントレジンを調製し、機械的性質と物理化学的性質を評価した。その結果、試作した3Dプリントレジンの機械的性質と物理化学的性質は、市販の小白歯CAD/CAM用コンポジットと同等またはそれ以上であった。このことから、試作した3Dプリントレジンが義歯人工歯などの3Dプリント素材として有望である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

試作した3Dプリントレジンが、義歯人工歯などの3Dプリント素材として有望である可能性が示唆された。このような材料が実用化されれば、優れた機能性をもつ3Dプリント義歯が低価格で実現すると考えられる。

研究成果の概要（英文）：Three-Dimensional-(3D) printed resins generally have lower mechanical and physicochemical properties than those of CAD/CAM resin composite blocks. In order to improve material properties of 3D-printed resins, the objective of this study was to develop novel 3D printing material for dentures with excellent physicochemical and mechanical properties. Experimental 3D-printed resins were prepared from silane-treated silica fillers and acrylic resins. Their mechanical and physicochemical properties were evaluated. The results showed that the mechanical and physicochemical properties of the experimental 3D printed resin were equivalent to or better than those of commercially available CAD/CAM resin composite. The results suggested that the experimental 3D-printed resin is a promising material as denture teeth.

研究分野：歯科材料

キーワード：義歯 3Dプリント

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、3D プリント(積層造形または付加造形)によって造形できる歯科材料が注目されている。特にステレオリソグラフィー(SLA)方式やデジタルライトプロセッシング(DLP)方式などの3D プリント(液槽光重合法とも呼ばれる)は、造形可能な形状の自由度と造形精度に優れているため、義歯などの補綴装置の作製方法に適していると考えられる[1]。特に、3D プリントは、作製工程が多く複雑な形状が要求される義歯の作製に適しているため、普及が進んでいくことが予想される。一方、3D プリントできる材料は選択肢が少なく、物性も低いという課題がある。特に、義歯床や義歯人工歯用の素材は選択肢がほとんどなく、市販の人工歯と床用のレジン、色調の違いはあるものの、ほとんどがアクリル系レジンである。アクリル系レジン、力学的性質と物理化学的性質が高くなく、義歯人工歯に使用するには不十分である。従って、既存の3D プリント用義歯の素材は、CAD/CAM 切削加工用ブロックと比べると機械的性質や物理化学的性質は低いという課題がある[2]。

2. 研究の目的

本研究では、義歯用材料への応用を目的とし、物理化学的性質と力学的性質に優れた新規3D プリント素材を開発する。

3. 研究の方法

(1) 3D プリント用レジンの調製

3D プリントレジンには次に示す方法にて調製された。まず、ウレタンジメタクリレート(UDMA、富士フィルム和光純薬)とトリエチレングリコールジメタクリレート(TEGDMA、富士フィルム和光純薬)を重量比1:1で混合し、表面をシランカップリング剤でコーティングされた球状シリカフィラー(平均一次粒子径0.5 μ m、アドマテックス)を所定の重量比(0、20、40、60、70、および80wt%)になるように加え、自公転ミキサーを用いて混合・練和した。さらに光重合開始剤と光吸収剤を所定の重量比になるように加え、再度自公転ミキサーを用いて練和した。最後に、同ミキサーを用いてマイクロバルブを取り除き、3D プリント用レジンを得た。

(2) 3D プリント

3D プリント用のデータは、3D-CAD ソフト(Fusion360、Autodesk)にて形状(14.5 mm \times 4.5 mm \times 1.3mmの板状)を設計した。作成したSTL データをスライスソフト(Chitobox)を用いて3D プリント用データに変換し、3D プリンタに転送した。調製された新規3D プリントレジンには市販のLCD-3D プリンタ(ELEGOO MARS、 λ = 400-410 nm 24 W LED laser)を用いて上記の板形状に印刷した。造形物の表面に残存した未重合モノマーはイソプロピルアルコールに浸漬して超音波照射を行うことで取り除いた(後洗浄)。そして、技工用光重合器にて光照射を5分間行うことで2次重合を行った。最後に、耐水研磨紙にて表面を研磨し、14 mm \times 4 mm \times 1.2 mmの板状の試験片を得た。

(3) 評価方法

3D プリントレジンの試験片は37 $^{\circ}$ Cの水中に2ヶ月間浸漬した。水中浸漬前後の試験片の機械的性質と物理化学的性質の評価はISO6872:2015に準拠した。試料の微細構造はSEM観察によって行った。機械的性質はビッカース硬さ、曲げ強さ、弾性係数にて評価した。物理化学的性質は37 $^{\circ}$ C水中浸漬による吸水量と溶解量にて評価した。また、レジンセメントに対するせん断接着強さを通法にしたがって調べた。機械的性質と物理化学的性質の比較試料として市販のCAD/CAM用コンポジットレジンを用いた。各資料における機械的性質と物理化学的性質の値は、一元配置分散分析後、Tukey検定を用いて比較した。

4. 研究成果

SEM観察の結果から、3D プリントレジンの微細構造は、マトリックスレジン中にサブマイクロサイズの球状シリカフィラーが均一に分散したフィラー分散構造を示した。フィラーの含有量の増加とともに、分散フィラーの密度は増加し、70%添加で最大となった。また、3D プリントによって積層された構造をもっていた。また、3D プリントによる大きな誤差が生じることなく、3D プリントが可能であった。一方、フィラーの含有量が多くなると急激に3D プリントレジンの粘性が増加し、印刷することができなかった。

フィラー添加量が70%の3D プリントレジンのビッカース硬さは、水中浸漬前の値が83VHNであり、フィラー添加なしの3D プリントレジン(18VHN)または市販のCAD/CAM用コンポジットレジン(65VHN)と比べ、有意に大きかった。同様に、水中浸漬前のフィラー添加量が70%の3D プリントレジンの曲げ強さは179MPaであり、フィラー添加なしの3D プリントレジン(109MPa)または市販のCAD/CAM用コンポジットレジン(148MPa)と比べ、有意に大きかった。また、水中浸漬前のフィラー添加量が70%の3D プリントレジンの弾性係数は8GPaであり、フィラー添加なしの

3D プリントレジン (2GPa) または市販の CAD/CAM 用コンポジットレジン (7GPa) と比べ、有意に大きかった。

水中浸漬後のフィラー70%の 3D プリントレジンのビッカース硬さ、曲げ強さ、弾性係数はそれぞれ 60VHN、126MPa、8GPa であった。このことから、3D プリントレジン は 2 ヶ月の水中浸漬で機械的性質が有意に低下することがわかった。一方、水中浸漬後の 3D プリントレジンの機械的性質は、市販の CAD/CAM 用コンポジットレジンより有意に大きかった。

フィラー70%の 3D プリントレジン を 2 ヶ月間水中浸漬した溶解量と吸水量はそれぞれ $1.7 \mu\text{g}/\text{mm}^3$ と $20 \mu\text{g}/\text{mm}^3$ であり、フィラーを添加していない 3D プリントレジンの溶解量 ($14 \mu\text{g}/\text{mm}^3$) と吸水量 ($38 \mu\text{g}/\text{mm}^3$) または市販の CAD/CAM 用コンポジットレジンの溶解量 ($1.2 \mu\text{g}/\text{mm}^3$) と吸水量 ($42 \mu\text{g}/\text{mm}^3$) と同程度または小さい値であった。

フィラー70%の 3D プリントレジンのレジンセメントに対するせん断接着強さは 35MPa であり、市販の CAD/CAM 用コンポジットレジンの値 (17MPa) より有意に大きな値であった。

以上の結果から、試作した 3D プリントレジン は、フィラー添加によって機械的性質および物理化学的性質が向上し、その値は市販の CAD/CAM 用コンポジットレジンと同等またはそれ以上になることが明らかとなった。したがって、試作した 3D プリントレジン は、義歯人工歯などの 3D プリント素材として有望である可能性が示唆された。

参考文献

1. Schweiger, J.; Edelhoff, D.; Guth, J.F. 3D printing in digital prosthetic dentistry: an overview of recent developments in additive manufacturing. *J Clin Med* **2021**, *10*, 2010, doi:10.3390/jcm10092010.
2. Chung, Y.J.; Park, J.M.; Kim, T.H.; Ahn, J.S.; Cha, H.S.; Lee, J.H. 3D printing of resin material for denture artificial teeth: Chipping and indirect tensile fracture resistance. *Materials* **2018**, *11*, 1798, doi:10.3390/ma11101798.

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1 . 著者名 Hata Kentaro、Komagata Yuya、Nagamatsu Yuki、Masaki Chihiro、Hosokawa Ryuji、Ikeda Hiroshi	4 . 巻 15
2 . 論文標題 Bond Strength of Sandblasted PEEK with Dental Methyl Methacrylate-Based Cement or Composite-Based Resin Cement	5 . 発行年 2023年
3 . 雑誌名 Polymers	6 . 最初と最後の頁 1830 ~ 1830
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/polym15081830	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6 . 研究組織

	氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7 . 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------