

令和 3 年 6 月 10 日現在

機関番号：12602

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K09677

研究課題名(和文) 光造形による適合性の優れた鋳造用原型材料の創製と製作法の開発

研究課題名(英文) Development of accurate casting pattern materials for stereolithography and their process

研究代表者

高橋 英和 (Takahashi, Hidekazu)

東京医科歯科大学・大学院医歯学総合研究科・教授

研究者番号：90175430

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：液槽光重合法を用いて適合性の優れた鋳造用原型を作製するために、原型材料の創製と造形方法について検討した。当初予定していた材料では十分な成果が得られなかったが、市販製品でも重合条件を選べば臨床的に許容可能な精度が得ることが分かった。そこで、楔状の単純形態の先端部の再現性、2本支台の3ユニットブリッジの支台歯との適合性を検討した。その結果、鋭い先端の再現は難しいこと、重合した部分を通過した光により意図しない部位が重合することが明らかとなった。以上より、液槽光重合法で適合性の優れた鋳造用原型を得るためには原型用材料だけでなく、造形方法も重要であることが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

液槽光重合法での鋳造用原型の精度及ぼす、形状や造形方法に影響は十分に明らかではなかった。本研究成果により、原型の辺縁部にはある程度の厚さが必要であること、造形方向によっては意図しないふくらみが生じることが明らかとなった。したがって鋳造用原型の設計に際し、辺縁部に十分な厚さを付与し、造形方法にも十分な配慮が必要である。このことは歯科補綴装置の原型製作時の注意として重要であり、社会的意義は大きい。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to obtain the casting pattern with superior adaptability by creating a new material for the casting pattern and evaluating process method. Unfortunately the new material was not created, but the commercial products having a clinical acceptable adaptation were recognized. Then reproducibility of edges of a wedge-shaped specimen and adaptability of a three-unit bridge were evaluated. Sharp edges could not be reproduced and unexpected polymerization though already polymerized parts was observed. These results suggested that not only the material for the pattern and also the process method were important to obtain the casting pattern with superior adaptability.

研究分野：歯科理工学

キーワード：液槽光重合法 鋳造用原型 造形方向 適合性

1 . 研究開始当初の背景

IoT (Internet of Things) や人工知能 (AI) の登場で歯科補綴装置の製作現場は大きく変革し、いろいろな場面に CAD/CAM 技術が応用されている。患者さんの審美的な材料に対する要求の高まりと金属アレルギーの不安から金属材料の口腔内での使用は減少しつつある。しかしながら、大きな強度、高い弾性係数などから可撤性補綴装置のフレーム材料においては金属材料の有用性は今後も続くことが予想される。金属材料の CAD/CAM 技術での加工法には金属粉末をレーザーで融解焼結する選択的レーザー融解 (SLM)、金属インジェクション成形法 (MIM) と切削加工がある、SLM では複雑形態の修復装置製作が可能であるが、粉じん爆発を起こさないように粉末粒径の大きさに限度があり、表面が粗造な製作物しかできない。また、装置が高額であるため、現時点は臨床現場ですぐ使用することは不可能である。MIM では成形した金属樹脂複合体を脱脂、焼成するため、表面性状と寸法精度にまだ十分な検討が必要である。切削加工では加工するための工具の消耗や切削屑が多量に発生する、狭い細かい部分の加工ができない、などの問題がある。薬機法の規制のなかで直ちに実際の歯科臨床での応用可能な金属加工技術を考えると、直接金属を造形するのではなく、液槽光重合法で作製した原型で鋳造体を製作することを考えた。すでに液槽光重合法で作製した鋳造用原型を用いる方法は紹介されているが、精密に製作する方法は十分に明らかではない。もし、鋳造体が変形をしたとしても、あらかじめ変形量を CAD で補正すれば、適合性の良い鋳造物の作製は可能である。本研究課題は「効率よく精密な鋳造体を作製できる液槽光重合法用材料と製作法を開発できるか」を問うものである。

2 . 研究の目的

CAD/CAM による鋳造用原型の製作は、仮想空間内で原型の形態情報を作成することが可能となり、鋳造床用金属フレームの作製に今まで必要であった複模型製作も不要となる。液槽光重合法での作製した鋳造用原型を用いた鋳造物は宝飾品を中心に広く使用され、歯科鋳造用の樹脂も販売されている。しかし宝飾品には高い寸法精度が求められていないため、そのまま歯科補綴装置に応用するには問題がある。溶融積層法 (FDM) でプリズム形状の試験片を製作したところ、先端部が鋭角なものは再現できず、積層方向によって再現性が異なり、上面に行くほど再現性が劣っていることが報告されている。同様な形状の試験片を液槽光重合法のデジタルライトプロセッシング (DLP) 方式で作製したところ、先端部の鋭角部は再現されていないものの、上面と下面で明瞭な再現性の違いは認められないが、積層方向を変えて製作した棒状試験片の曲げ強さを測定したところ、積層方向により曲げ強さは異なっていることも明らかとなっている。さらに、台座から外すと時間と共に重合が進行し平行であったものが時間経過とともに変形する。積層部での重合不良とレジンの拡散速度が十分でない、積層間に縞模様が観察されることがある。

これらの原因の多くはモノマーを重合するために生じる重合収縮に起因している。このことは、市販用原型材料が必ずしも最適化されているものでないことを示している。また、多くの DLP 機器では後処理として追加光照射を推奨しているが、この後処理は重合収縮を促

進して変形することを助長している。鑄造用原型は本来、強度はあまり必要でないので追加光照射を行わないことで重合度が低くなっても、問題ないと思われるが、実際どの程度の強度であれば必要かも明らかではない。そこで、本研究の目的は「液槽光重合法による重合時の収縮が少なく変形の小さい原型材料の創製と製作方法を検討し、適合性の優れた鑄造体を作製できるシステムを開発することである。

3. 研究の方法

1) ISO 4049 に定められた 2x2x25mm の棒状試験片を中心に、まず市販鑄造用原型モノマーでの造形方向による寸法変化をマイクロメータで測定し、3点曲げ試験で曲げ強さを測定した。

2) これらの鑄造用原型モノマーを用いて、埋没材練和 30 分後に直ちに 700 の電気炉に投入して焼却して鑄造を行う急速加熱型埋没材で鑄造が可能かを検討した。

3) 先端部の再現性に注目して楔状形態(プリズム形状)の造形物について、現有の DLP と市販原型材料を用いて楔状形態の先端角度の大きさと積層方向の違いによる楔角先端の再現性に及ぼす影響を検討した。

4) 市販鑄造用原型モノマーに熱硬化性樹脂粉末を添加し、粘性が増大しても製作が可能かを試みた。重合には現有のトレー方式の DLP 機器に加えて、新規に購入したコータ方式 DLP 機器を用いた。

5) 急速加熱が可能であった市販鑄造用原型モノマー専用の DLP 機器を購入し、右側下顎第一大臼歯欠損の 3 ユニットブリッジの鑄造用原型の精度に及ぼす造形方向の影響を検討するため、咬合面に対して平行、45 度、直交に造形した。得られた鑄造用原型と支台との適合性についてシリコン適合検査材を用いて評価した。

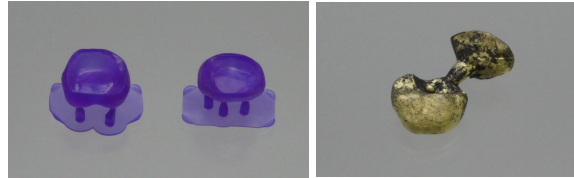
6) 単冠で急速加熱が可能であった原型用材料を用いて製作した 3 ユニットブリッジを急速加熱することで鑄造可能かを検討した。

7) 欠損歯列模型を単純化した金型を作製し、現有の CAM ソフトウェアにて金属フレームを設計する。DLP 用原料を用い、金属フレームの造形プレートでの配置条件、サポートの配置、補助補強線の配置の条件を各種設計し、造形された金属フレームの寸法精度を既存の光学印象装置を用いた STL データの比較による適合性評価 (GOM inspector) を行う。

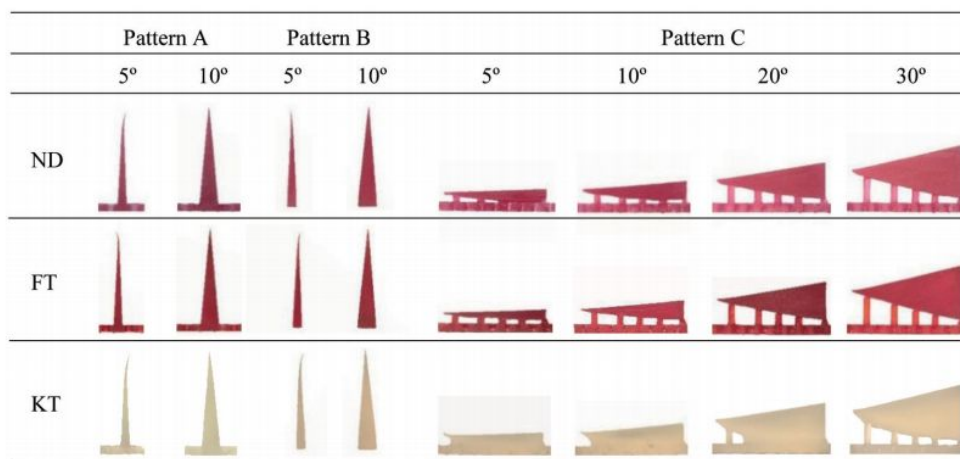
4. 研究成果

1) 棒状試験片の検討では、積層方向によって若干の強度の違いと先端部の再現性に違いが認められたが、寸法精度に大きな違いは認められなかった。また、後処理に用いる光重合時の環境の違い(グリセリン液中、チッソ雰囲気下)についても検討したが、環境の違いによる明らかな差異は認められなかった。鑄造用原型として強度の違いはあまり重要ではないので、今後は後重合を行わないこととした。

2) DLP で製作した鑄造用原型を 700 で 30 分の加熱を行う急速加熱型したところ、ほとんどの製品では焼却不足で鑄造体の表面に残渣が観察された。しかしながら、新しい製品では急速加熱であっても鑄造体を得ることが可能であった、以降の実験ではこの製品を用いることとした。

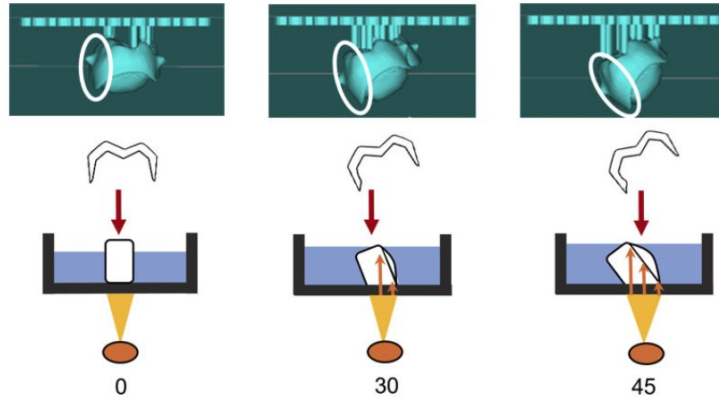


3) 楔状形態(プリズム形状)の造形物について、先端角度の大きさと積層方向の違いによる楔角先端の再現性に及ぼす影響を検討したところ、先端の角度を大きくすると楔角先端の再現性は向上し、楔角が 20 度以上で積層方向が並行もしくは垂直であると楔角先端の再現性は優れていた。本成果の一部は Dent Mater J で発表した。



4) 新規購入したコータ方式 DLP 機器はランプ波長が可視光領域であり、有効な重合開始材が少なく、フィラーを添加することで重合深さが浅くなってしまった。さらにフィラーを添加することで液体の粘性が高くなり、コーターで積層する際に所定の厚さより厚くなり、重合体の大きさが高さ方向に大きくなってしまった。また粘性が高いことで従来の DLP 機器でもプラットフォームの移動を大きくし、液体が流れ込むまでの時間を長くする必要があり、実用的でない判断した。新たに市販された製品を検討したところ、重合後の寸法精度が臨的に許容できる程度であったため、その後の研究ではこの製品で検討することとした。

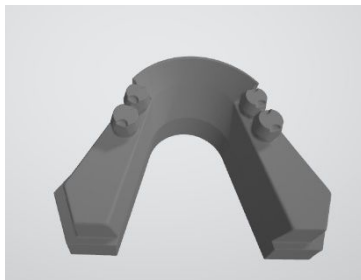
5) 3 ユニットの鑄造用原型の精度を検討したところ、造形方向によっては重合体を通して上部に残留したモノマーが重合し、その部分の厚みが厚くなることが明らかとなった。この厚みにより鑄造体内面の適合性は影響を受けるため、造形方向はクラウンの辺縁部を上方に向ける咬合面と平行に造形したものが最も適合性に優れていた。本成果の一部は J Prosthet Dent に掲載予定である。



6) 単冠で急速加熱が可能であった原型用材料を用いて製作した3ユニットブリッジの鑄造用原型で急速加熱を行ったところ、鑄バリや原型の残渣が冠月された。原型が大きくなると用いる鑄造リングも大きくなり、内部の温度が上がるのに時間を要すること、原型自体を償却するための時間が必要と考えられ、300～400 で係留したり700 の加熱時間を延長する必要が考えられた。Covid-19 で研究自粛を行っていたため、論文としてまとめるだけの試験数の実験を行うことができなかったが、今後も検討を続ける予定である。



7) 次損歯列模型を単純化した金型から金属フレームの STL データの作成までは行えたが、Covid-19 で研究自粛を行っていたため、論文としてまとめるだけの条件での試験数の実験を行うことができなかったが、今後も検討を続ける予定である。



5. まとめ

液槽光重合法を用いて適合性の優れた鑄造用原型を作製するために、原型材料の創製と造形方法について検討した。当初予定していた材料では十分な成果が得られなかったが、市販製品でも重合条件を選べば臨床的に許容可能な精度が得られることが分かった、そこで、楔状の単純形態の先端部の再現性、2本支台の3ユニットブリッジの支台歯との適合性を検討した。その結果、鋭い先端の再現は難しいこと、重合した部分を通過した光により意図しない部位が重合することが明らかとなった。以上より、液槽光重合法で適合性の優れた鑄造用原型を得るためには原型用材料だけでなく、造形方法も重要であることが示された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 CHAIAMORNSUP Patcharanun, IWASAKI Naohiko, YASUE Toru, UO Motohiro, TAKAHASHI Hidekazu	4. 巻 39
2. 論文標題 Effects of build conditions and angle acuteness on edge reproducibility of casting patterns fabricated using digital light projection	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Dental Materials Journal	6. 最初と最後の頁 135 ~ 140
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4012/dmj.2018-401	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 -

1. 著者名 Chaiamornsups Patcharanun, Iwasaki Naohiko, Tsuchida Yumi, Takahashi Hidekazu	4. 巻 -
2. 論文標題 Effects of build orientation on adaptation of casting patterns for three-unit partial fixed dental prostheses fabricated by using digital light projection	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of Prosthetic Dentistry	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.prosdent.2021.01.006	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 高橋英和, 岩崎直彦, 土田優美	4. 巻 41
2. 論文標題 CAD/CAM 用歯科材料 除去加工用材料と付加製造用材料	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本歯科技工学会雑誌	6. 最初と最後の頁 69-77
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件/うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Patcharanun C, 高橋英和, 安江透, 岩崎直彦, 宇尾基弘, 和田敬広
2. 発表標題 Effects of built condition on the casting using digital light process
3. 学会等名 学際・国際透光度人材育成 ライフイノベーションマテリアル創生共同プロジェクト 第2回公開討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 HIKITA K, MAIDA T, ENAMI Y, IIJIMA M, PHYU TS, CHUREI H, UENO T, TAKAHASHI H
2. 発表標題 Manufacturing of sports mouthguard by digital technology
3. 学会等名 5th International Academy for Digital Dental Medicine (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hidekazu TAKAHASHI, Kazuyuki HANDA, Yashuhiro HOTTA, Naohiko IWASAKI, Patcharanun CHAIAMORNSUP, Yumi TSUCHIDA
2. 発表標題 Dimensional stability of dental model fabricated with vat photopolymerization
3. 学会等名 5th International Academy for Digital Dental Medicine (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Chaiamornsups P, Iwasaki N, Yasue T, Wada T, Uo M, Takahashi H
2. 発表標題 Effects of glycerin immersion during post-curing process on mechanical property of polymers fabricated using digital light process
3. 学会等名 The 3rd International Symposium on Creation of Life Innovation Materials for Interdisciplinary and International Researcher Development (iLIM-3) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Chaiamornsups P, Uo M, Yamamoto Y, Yasue T, Iwasaki N, Takahashi H
2. 発表標題 Effect of build direction and exposure time on edge reproducibility of prism specimens using DLP
3. 学会等名 第71回日本歯科理工学会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Chaiamornsup Patcharanun, Yumi Tsuchida, Naohiko Iwasaki, Takahiro Wada, Motohiro Uo, Hidekazu
2. 発表標題 Effects of build angle and DLP machine on adaptability of bridge casting pattern.
3. 学会等名 学際国際高度人材育成ライフイノベーションマテリアル創製共同研究プロジェクト第4 回公開討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 チャイアモンサップ パチャラナン、土田優美、塩沢真穂、上條真吾、大木明子、鈴木哲也、高橋英和
2. 発表標題 3D プリンタを用いた新しい義歯のラベリング方法
3. 学会等名 日本デジタル歯科学会第11 回学術大会
4. 発表年 2020年

〔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
研究 分担者	西川 出 (Nishikawa Izuru) (90189267)	大阪工業大学・工学部・教授 (34406)	
研究 分担者	岩崎 直彦 (Naohiko Iwasaki) (20242216)	東京医科歯科大学・大学院医歯学総合研究科・助教 (12602)	

	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
研究 協力者	チャイアモンサップ パチャラナン (Chaiamornsup Patcharanun)		

6. 研究組織（つづき）

	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
研究協力者	塩沢 真穂 (Shizawa Maho)		
研究協力者	土田 優美 (Yumi Tsuchida)		

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			
タイ	Naresuan University			