

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 20 日現在

機関番号：12602

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2022

課題番号：18K17060

研究課題名（和文）コンポジットレジン修復欠陥の非侵襲的3D動的評価と臨床手法評価および開発への応用

研究課題名（英文）Practical Applications - Nondestructive Real-time 3-D Evaluations of Internal and Marginal Defects of Resin Composite Restorations

研究代表者

林 樹莉（Hayashi, Juri）

東京医科歯科大学・歯学部・非常勤講師

研究者番号：60803187

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,500,000円

研究成果の概要（和文）：要となった実績は、光干渉断層計(OCT)による、光硬化型歯科充填材料の窩洞内界面ギャップ形成のタイミングやパターンをリアルタイム観察と、3D定量解析を行う手法の開発であり、複数の国際学会および雑誌にて成果発表を行った。上記手法により、チェアタイムの短縮など臨床現場のニーズと治療確実性が両立するのかを、より臨床的なアプローチから即時的直観的に観察理解することが可能となり、新規材料開発や性能評価にも大きく寄与した。障害者歯科分野との共同研究により、閉所・分離不安を持つ障害者歯科患者の初期う蝕スクリーニング評価においても、従来のデンタルレントゲン撮影法と比較して優れた有効性を示すことができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

組織染色法など従来の窩洞適合性評価において、観察切片作成に伴う試料に及ぼすストレスそれ自体は不可避であり、また経時的追跡は叶わなかった。本研究成果のOCT観察法は、材料の光重合中の窩洞適合性喪失の観察を可能とし、また試料破壊を伴わないデータ採得により、経時的な3次元総体定量解析を実現した。修復物の窩洞適合性の喪失に伴う二次う蝕や脱落などの臨床的問題は処置直後には視認されず中長期的な観察期間を要する。OCT観察法は近年拡大する直接法コンポジットレジン修復や光重合型レジンセメントによる間接法接着修復などの臨床予後の予見可能性を有し、患者の口腔環境保全に係るスクリーニング評価への応用可能性を有する。

研究成果の概要（英文）：The key achievement of our group is the developments of a method for a real-time observation and 3D quantitative analysis of timings and patterns of interfacial gap formations of resin composite restorations by optical coherence tomography (OCT). The method has provided the distinctness to promote perceptions and understandings for the real-time performances of restorative treatments in clinical setups. It has contributed to the developments of numerous novel materials and light curing units driven by clinician concerns, such as reduced chair time and perfect marginal sealings. The results of investigations have been presented in various international conferences and journals, and accepted by various fields. A collaborative research for patients with developmental disabilities with claustrophobia and separation anxiety demonstrated the superiors of OCT imaging about pain and discomfort relief in initial caries screening evaluation compared to conventional dental x-ray radiographs.

研究分野：歯科修復分野

キーワード：光干渉断層計 OCT 光重合型コンポジットレジン 重合収縮 ストレス ラマン分光法 接着

1. 研究開始当初の背景

近年の直接法コンポジットレジン修復の需要拡大の一方で、コンポジットレジンの重合時、ポリマー鎖形成に起因する容積収縮応力の発生は避けられない。材料中で発生した収縮応力は接着界面に伝搬し、修復物の窩洞適合性の喪失（界面ギャップ形成）に伴い二次う蝕や脱落などの臨床的問題を引き起こすことが知られている。従来の非臨床試験では、組織染色法を併用した種々顕微鏡観察による窩洞適合性の評価から、臨床的病態の発生を推測してきた。しかしながら、これら従来の試験は試料破壊を伴うため、修復歯の総体的な観察は不可能であり、また欠陥発生や進行に関する時間軸的な情報を得ることはできない。したがって従来の方法では、直接法コンポジットレジン修復の評価を行ううえで課題が多く、新規の手段が望まれている。近年、micro-computed tomography (μ CT) を用いることで試料を破壊することなく 3D 評価を行った報告がなされているが、データ取得には 20 分程度を要すること、電離放射線を使用し被曝は避けられないことから、 μ CT を用いたリアルタイム観察および臨床評価への応用は現実的ではない。

請者ら研究グループは、本研究期間開始以前より、光干渉断層計（Optical Coherence Tomography; OCT）の、近赤外光を用い非破壊で内部構造の可視化を可能とする特性に着目していた。既に眼科領域では網膜内層構造のリアルタイム観察を可能とし、緑内障などの臨床診断に活用されていた。当グループは、コンポジットレジン修復界面ギャップの同定と定量化における OCT の有用性を報告してきた。

研究期間直前、申請者らは牛歯に形成した 2 mm 深さの窩洞において光照射中のコンポジットレジン修復界面ギャップ形成のリアルタイム OCT 観察を報告しており、世界で初めての試みとして高く評価され受け入れられたことで、本研究課題の発案に至っている。研究開始当初の背景として、臨床現場でのチェアタイム短縮のニーズの高まりに応じて、4 mm 深さの窩洞の一括充填修復が可能とされるバルクフィルコンポジットレジン材料や、高出力の光照射器の開発が目覚ましく、本研究にはそれらの評価を行いさらなる開発研究に寄与する期待があった。

2. 研究の目的

- (1) バルクフィルコンポジットレジン修復の窩洞適合性のリアルタイム観察及び、窩洞適合性と体積重合収縮率の 3 次元的定量分析手法の確立
- (2) 新規バルクフィルコンポジットレジン材料および高出力光照射器の窩洞適合性および重合率評価
- (3) 発達障害小児患者の初期う蝕スクリーニング評価における疼痛や不快感における、OCT 観察と従来の歯科用レントゲン撮影法の比較検討

3. 研究の方法

バルクフィルコンポジットレジン修復の窩洞適合性および体積重合収縮率のリアルタイム観察手法と重合率の解析手法について、以下の図1に示す。

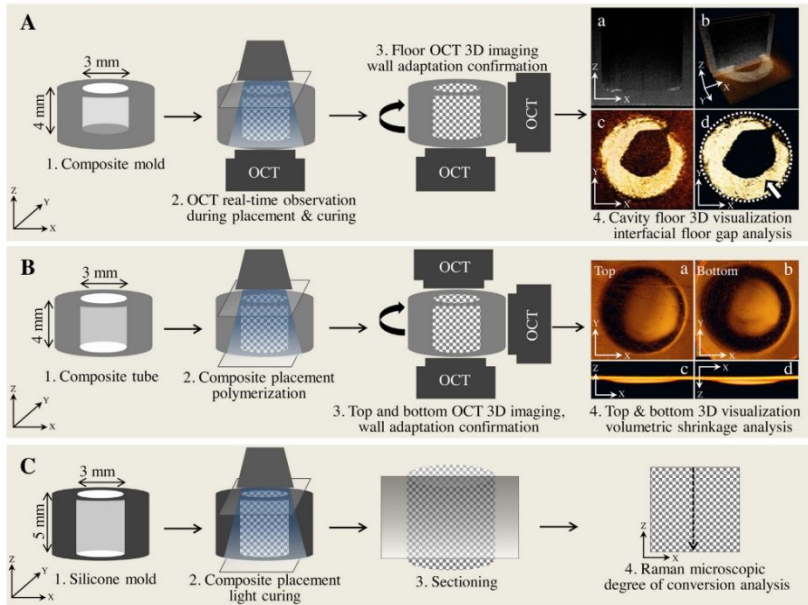


図1 - 界面ギャップ解析 (A)、体積収縮解析 (B)、および重合率解析 (C) 方法の概略図。

(A) 円筒形窩洞 (4 mm × 3 mm) を作成した (A1)。バルクフィルコンポジットレジンの充填と光照射手順中に、OCTプローブを窩洞底面に位置し、OCT XZ 平面画像のリアルタイム動画撮影を行った (A2)。光照射終了直後に、窩洞底部の OCT 3D データを取得した後、OCT プローブを 90 度回転させ、試験片の周囲を回転させながら窩洞壁面の適合性を観察した (A3)。

一連の OCT XZ データ (A4a) によって再構成された 3DOCT 画像 (A4b) は、窩洞底面上 100 μm 厚の領域を分析用に選択した (A4c)。選択した領域を 2 次元画像に投影し、最終的に全キャビティ領域 (太い破線で囲んだ部分) に占めるギャップ面積の割合 (白矢印) を計算した (A4d)。

(B) 体積収縮解析には、深さ 4 mm 直径 3 mm の円筒型を用いた (B1)。光照射中、円筒の両端はプラスチックマトリックスで覆われ (B2)、照射後円筒の上底部の OCT 3D データ取得と壁への適合性確認を行った (B3)。OCT 3D データから作成した 3D 画像より、円筒内の体積に対する体積収縮率を計算した (B4)。

(C) 重合率を分析するために、バルクフィルコンポジットレジンシリコン製の円筒 (5 mm × 3 mm) 内に充填し、円筒両端をプラスチックマトリックス (C1、2) で覆った状態で光重合させた。37 °C の暗所で 24 時間保管し、乾燥させた後、低速ダイヤモンドブレードで試験片の中央を垂直に切断し (C3)、断面中央の垂直線上にラマンスペクトルを記録した (C4)。

4. 研究成果

(1) 市販の各種バルクフィルコンポジットレジンの評価

各種光重合型バルクフィルコンポジットレジン (SonicFill (SNF), Tetric N-ceram Bulk Fill (TNB), Surefil SDR (SDR), Clearfil Photo Core (CPC)) とデュアルキュア型バルクフィルコンポジットレジン Bulk EZ (BEZ) の比較検討を行った。すべての光重合型バルクフィルコンポジットレジンはいずれも光照射中に窩洞底面にギャップ形成を示した一方 (図 2A-C)、デュアルキュア型バルクフィルコンポジットレジン Bulk EZ は化学重合中、光重合中のいずれにおいてもギャップ形成を示さなかった (図 2D)。ギャップ形成は主に窩洞隅角部から発生し、窩洞底に沿って進展した (図 2A-C)。3D 定量分析において、各種光重合型バルクフィルコンポジットレジンの窩洞適合性は様々な様相を呈していたのに対し、デュアルキュア型バルクフィルコンポジットレジンはいずれの試料においても完全な窩洞適合性を示した (図 3)。

図 2

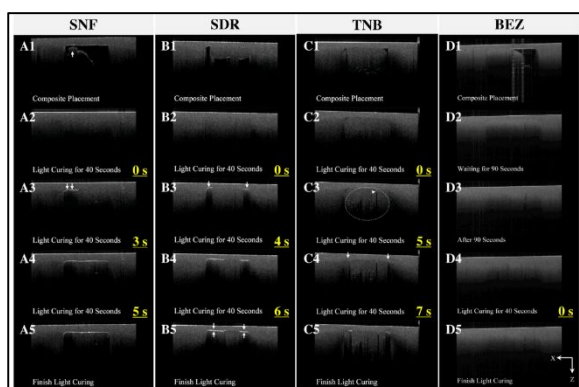
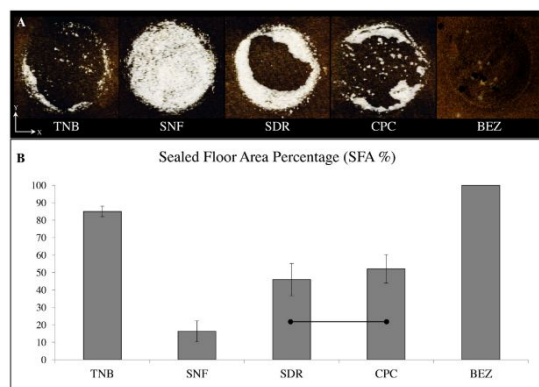


図 3



(2) 新規光重合型バルクフィルコンポジットレジンと光照射器の評価

チェアタイム短縮の臨床ニーズに応じて開発された、新規光重合型バルクフィルコンポジットレジン（ペーストタイプ：Tetric PowerFill (PwrPst)、フロータイプ：Tetric PowerFlow (PwrFlw)）の、新規開発光照射器の出力と照射時間の組み合わせによる2つのモード（normalモード (LED-Nrm: 1200 mW/cm², 10-s)、 powerモード (LED-Pwr: 3400 mW/cm², 3-s)における窩洞適合性評価を行ったところ、(1)のすでに市販されている従来型のバルクフィルコンポジットレジンには見られなかった、コンポジットレジン内部亀裂を観察した(図4)。

図4

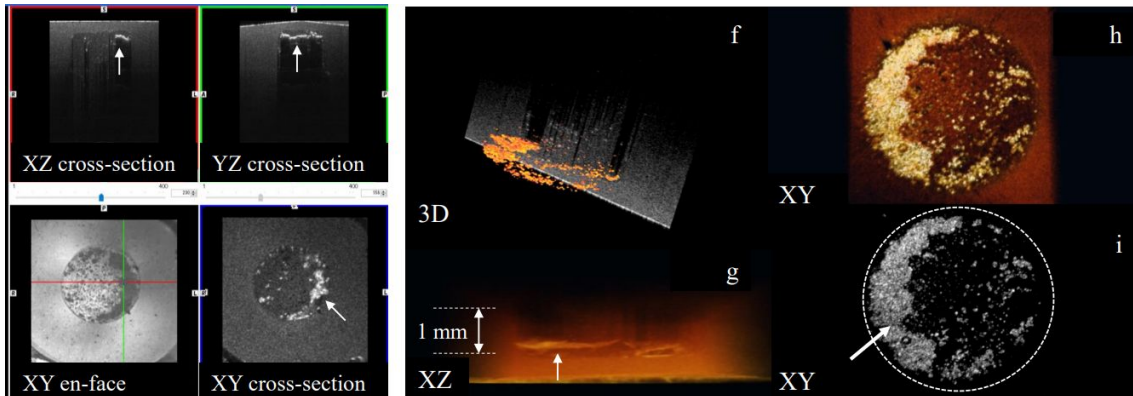
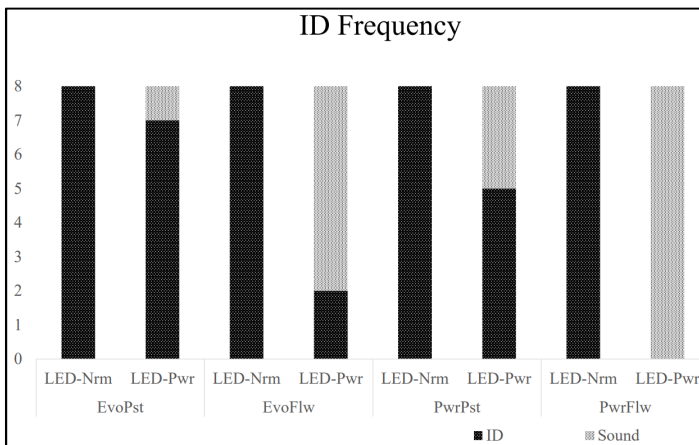


図5



界面ギャップもしくは内部亀裂を伴った試料を ID、いずれも生じなかった試料を Sound とし、各試験群における試料数を比較したところ、PwrFlw・LED-Pwr 群のみがすべての試料で Sound を示した(図5)。

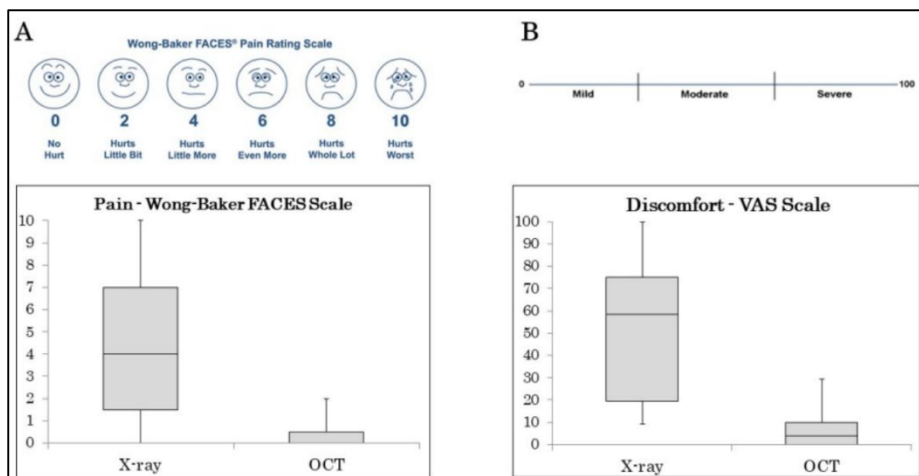
本評価により、直接法コンポジットレジンの治療確実性における要件は、窩洞適合性のみならず修復物内部の欠陥の有無も確認すべき事項であり、いずれを満たしていても、重合収縮のストレスが窩洞外の歯質に及んだ場合、それらが

歯質破折を生じる原因となりうる事が示唆された。今後の材料および光照射器開発における新たな解析手法および提言となった。

(3) 発達障害小児患者の初期う蝕スクリーニング評価における OCT 観察の有効性

発達障害小児患者の初期う蝕スクリーニング評価において、各被験者に痛みの程度を Wong-Baker faces rating scale 上、不快の程度を Visual analog scale 上に示すよう指示したところ、OCT 観察法(OCT)は従来の歯科用レントゲン撮影法(X-ray)に比較して、いずれも優位な軽減を示した(図6)。これにより、臨床現場でのスクリーニング評価において、非放射線暴露的のみならず、痛みや不快感の少ない観察手法としての OCT の有用性が示唆された。

図6



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 4件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Espinoza Kimberly, Hayashi Juri, Shimada Yasushi, Tagami Junji, Sadr Alireza	4. 巻 21
2. 論文標題 Optical Coherence Tomography for Patients with Developmental Disabilities: A Preliminary Study	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Sensors	6. 最初と最後の頁 7940 ~ 7940
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/s21237940	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 該当する
1. 著者名 Juri Hayashi, Junji Tagami, Daniel Chan, Alireza Sadr	4. 巻 36(12)
2. 論文標題 New Bulk-fill Composite System with High Irradiance Light Polymerization: Integrity and Degree of Conversion	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Dental Materials	6. 最初と最後の頁 1615-1623
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.dental.2020.10.012	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 該当する
1. 著者名 Sadr A, Bakhtiari B, Hayashi J, Luong MN, Chen YW, Chyz G, Chan D, Tagami J.	4. 巻 36(4)
2. 論文標題 Effects of fiber reinforcement on adaptation and bond strength of a bulk-fill composite in deep preparations.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Dental Materials	6. 最初と最後の頁 527-534
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.dental.2020.01.007.	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 該当する
1. 著者名 Juri Hayashi, Jorge Espigares, Tomohiro Takagaki, Yasushi Shimada, Junji Tagami, Tomoko Numata, Daniel Chan, Alireza Sadr	4. 巻 35(4)
2. 論文標題 Real-time in-depth imaging of gap formation in bulk-fill resin composites	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Dental Materials	6. 最初と最後の頁 585-596
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.dental.2019.01.020	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 該当する

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 7件）

1. 発表者名 Hayashi Juri, Tagami Junji, Chan Daniel, Sadr Alireza
2. 発表標題 Internal Defects and Degree of Conversion of New Flash-curing Composite
3. 学会等名 International Association of Dental Research (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Zin Aung Swe, Takagaki Tomohiro, Ikeda Masaomi, Hayashi Juri, Sadr Alireza, Nikaido Toru, Tagami Junji
2. 発表標題 Gap Formation of Flowable Composites with Different LCUs Using SS-OCT
3. 学会等名 International Association of Dental Research (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Lyann Sai Kham, Takagaki Tomohiro, Ikeda Masaomi, Nikaido Toru, Hayashi Juri, Sadr Alireza, Tagami Junji
2. 発表標題 Effect of Adhesive-Resin-Cements on Sealing Performance of Lithium-Disilicate Glass-Ceramic to Dentin
3. 学会等名 International Association of Dental Research (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sorensen John, Hayashi Juri, Sadr Alireza
2. 発表標題 Clinical Trial of OCT Imaging of Posterior Adhesive Ceramic Restorations
3. 学会等名 International Association of Dental Research (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sorensen John, Hayashi Juri, Tagami Junji, Sadr Alireza
2. 発表標題 3D OCT Internal Clinical Analysis of Posterior Adhesive Ceramic Restorations
3. 学会等名 International Association of Dental Research (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Sung Cheng-en, Hayashi Juri, Al Naqshabandy Ibraheem, Chung Kwok-hung, Sadr Alireza, Chan Daniel
2. 発表標題 Dye Penetration, Porosity and Void Formation in Proximal Slot Preparations
3. 学会等名 International Association of Dental Research (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Juri Hayashi, Junji Tagami, Alireza Sadr
2. 発表標題 Does Cavity Size and Shape Affect Bulk-fill Gap Formation?
3. 学会等名 International Association of Dental Research (国際学会)
4. 発表年 2018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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------