

令和 4 年 6 月 22 日現在

機関番号：33902

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K10139

研究課題名(和文) Er:YAGレーザー仕上げ照射歯質に最適な接着界面強化型ポリ酸系接着材の新規開発

研究課題名(英文) A new development of an interface-reinforcing poly acid-RMGI adhesive system for secure bonding to finishing-irradiated dentin by Er:YAG laser

研究代表者

富士谷 盛興 (FUJITANI, Morioki)

愛知学院大学・歯学部・教授

研究者番号：60190055

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：Er:YAGレーザー仕上げ照射歯質に最適なレジン接着システムの新規開発を目指し、10%クエン酸+2%塩化第2鉄水溶液による酸コンディショニングおよび4-METおよびHEMAを主成分とする親水性モノマーによるプライミング後、ポリ酸ベースのレジン添加型ガラスアイオノマー(RMGI)系ボンディング材を用いた接着システムを開発し、そのレジンの接着性について検討した。

本3ステップ・RMGI系接着システムは、レーザー照射接着界面の諸構造において正常象牙質とレジン間の物理的・機械的諸性質を移行的に近似させ、その結果レジンの接着性向上に繋がることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、レーザーによるう蝕治療のなかで懸案であったレジンの接着性改善が実現できた。したがって、レーザーによる侵襲の少ない歯質切削と専用の接着材の併用により、う蝕治療におけるQOL向上に本研究は大きく寄与するものと期待される。

研究成果の概要(英文)：In order to develop a new resin bonding system suitable for Er:YAG laser-finish irradiated dentin, an acid conditioning with 10% citric acid + 2% ferric chloride solution and priming with hydrophilic monomers consisting mainly of 4-MET and HEMA, followed by bonding with polyacid-based resin-modified glass ionomer (RMGI) bonding material was developed and the adhesive properties of the resin were investigated.

The three-step RMGI-based bonding system was found to transitionally approximate both the physical and mechanical properties of normal dentin and resin at the laser-irradiated bonding interface, resulting in improved adhesion of the resin.

研究分野：歯学

キーワード：Er:YAGレーザー 象牙質 ボンディング材 レジン添加型ガラスアイオノマーセメント レジン 接着
強さ 鉄イオン 親水性プライマー

1. 研究開始当初の背景

市販のレジン接着システムは、スミヤー層の処理を前提に開発されているため、スミヤー層のないレーザー処理象牙質面には安定した接着効果は得られない。さらに、臨床的に痛みが出ない低エネルギー照射面には変性層が生じ、確実なレジン接着は望めない。変性層の処理を含めたレーザー専用の接着システム開発の必要性が急務とされている(図1)。このような中、報告者らは低出力照射後、生じた変性層を中出力で仕上げ照射(フィニッシング照射)すると、変性層がある程度蒸散され、レジン接着が回復することを見出してはいたが、性状の詳細は検討していなかった。一方、Er:YAG レーザー照射象牙質に対し、レジン接着システムとしてのレジン添加型ガラスアイオノマー(RMGI)系ボンディング材はレジン系ボンディング材に比し安定した接着性を示すが、ひずみがボンディング材とレーザー照射影響象牙質との界面に集中し接着強さの測定値は低かった。そこで、その界面の変性層とRMGIの物性を強化することによりRMGIの接着強さの向上を図る目的で、レジンの重合促進、浸透促進、あるいはコラーゲンの強化などの作用を有するクエン酸と塩化第2鉄の水溶液(10-2溶液)による歯面処理が接着促進効果を示すことを見出した。しかし、フィニッシング照射後に残存した変性層の内部に限局したひずみが依然として存在するため、非照射(正常)象牙質に対するRMGIの接着強さと有意差のない程度までの接着性の回復はできず、変性層の強化およびひずみの集中回避を指向した接着材の検討が必要となった。

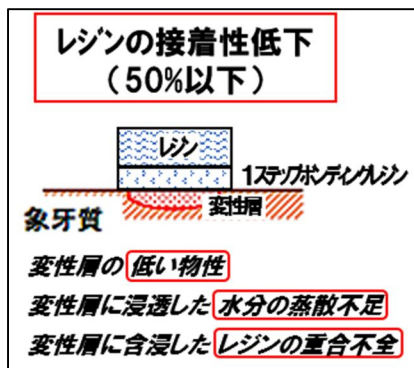


図1

2. 研究の目的

Er:YAG レーザー仕上げ(フィニッシング)照射象牙質において、鉄イオン含有酸処理による変性層/RMGI系ボンディング材の界面強化だけでなく、各種親水性モノマーによるプライミングで変性層全体をさらに強化してレジンの接着性向上を図ることを指向し、変性層強化に最も効果的な酸コンディショニングならびにプライミング処理法を検索するとともに、RMGIにポリ酸系モノマーを添加したものをベースとし、その含水量の調整、強化ガラスの配合、またはイオン型架橋の強化などを探索調製しながら、Er:YAG レーザー仕上げ照射象牙質に対する接着界面強化型ポリ酸系接着システムの新規開発を目的とした。(図2)

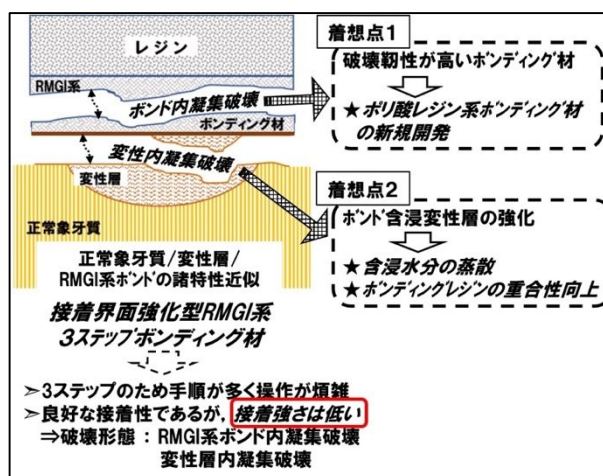


図2

3. 研究の方法(図3)

(1) Er:YAG レーザー照射象牙質平坦面に対し、10%クエン酸+2%塩化第2鉄水溶液(10-2溶液)による酸コンディショニング後、4-METおよびHEMAによる親水性プライマー処理を施したときのRMGI系ボンディング材の初期接着強さ、ならびに温度負荷をかけたときの接着耐久性を微小引張接着試験法により検討した。

(2) 低出力照射で生成した変性層を残置した場合、ならびにフィニッシング照射(低出力照射後、

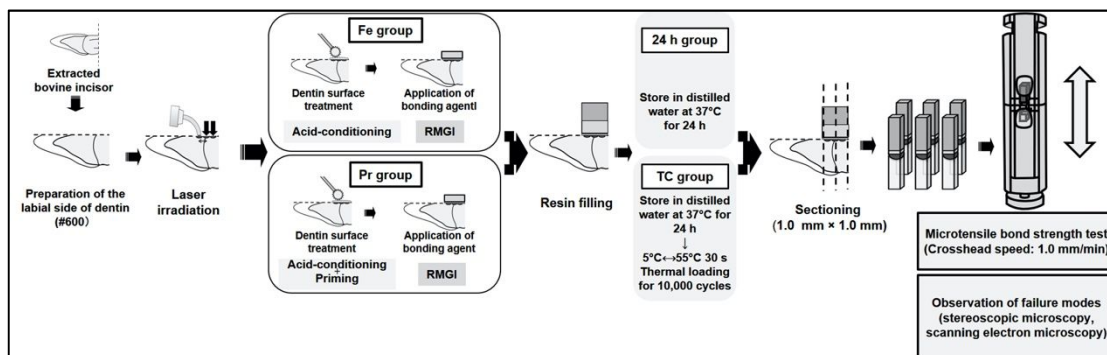


図3 (Journal of Hard Tissue Biology¹⁾より転載)

中出力仕上げ照射)により変性層を一層蒸散させさらなる接着性向上を期待した場合の二種の照射条件下のレジンの初期接着性(24 時間後の接着強さ), および接着耐久性(万回の熱サイクルによる温度負荷後の接着強さ)について, 10%クエン酸+2%塩化第 2 鉄水溶液による酸コンディショニングおよび 4-MET および HEMA を主成分とする親水性モノマーによるプライミング後, ポリ酸ベースの RMGI 系ボンディング材によるレジンの接着強さと接着試験後の破壊形態を比較検討した。

4. 研究成果

(1) レーザー照射象牙質面に対するレジンの接着性

非照射象牙質において, 酸コンディショニング(Fe 群), あるいは酸コンディショニング後プライミング(Pr 群)を併用すると, 歯面処理を施さなかった場合に比し有意に高い初期接着強さが得られた。温度負荷をかけると, Pr 群は影響を被らなかったが, Fe 群の接着強さは低下した。レーザー照射象牙質において, 歯面処理を併用しなかった場合の接着強さは計測が不可能であった。また, Fe 群より Pr 群の方が有意に高い接着強さを示し, 非照射象牙質における Fe 群および Pr 群のそれらと同等であった。また, Fe 群, Pr 群ともに温度負荷の影響は認められなかった。

レーザー照射象牙質における Pr 群の初期の破壊形態は, ほとんどすべての試片において RMGI 内凝集破壊を示し, それらの試片のうち約 30%は界面破壊を伴っていた。また, 約 70%の試片が象牙質内凝集破壊であり, いずれも変性層と正常象牙質との境界付近における破壊であった。ところが温度負荷をかけると, 界面破壊を示す試片が増加する傾向にあった。

(2) フィニッシング照射象牙質面に対するレジンの接着性

対照の非照射象牙質, 低出力照射象牙質およびフィニッシング照射象牙質におけるレジンの初期接着強さは, それぞれ 26 MPa, 27 MPa および 27 MPa であり差異はなかった。破壊形態はほとんどすべての試片において RMGI 内凝集破壊を示し, 約 70%の試片が象牙質内凝集破壊を伴う混合破壊であり, いずれも変性層と正常象牙質との境界付近における破壊であった。温度負荷後の接着強さは, それぞれ 32 MPa, 22 MPa および 23 MPa であり有意差は認められず界面破壊を示す試片が増加していた。(図 4、表 1、図 5)

以上の結果より本実験の条件下では, 残置した変性層の量はレジンの接着性に影響を及ぼさないことが判明した。

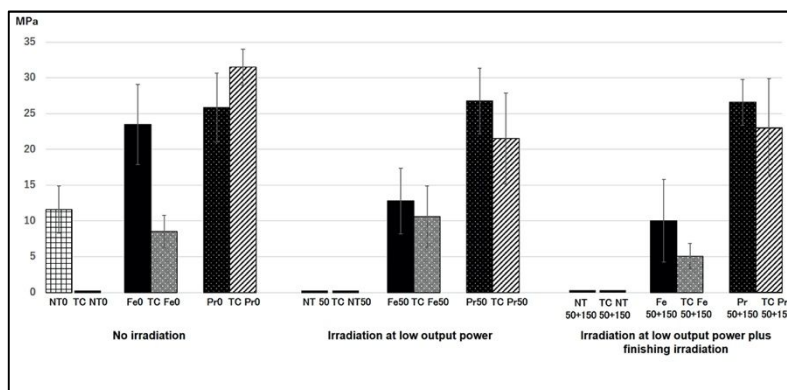


図 4 (Journal of Hard Tissue Biology¹⁾ より転載)

表 1 (Journal of Hard Tissue Biology¹⁾ より転載)

| Dentin Surface treatment | No irradiation | | Irradiation at low output power (50 mJ/l pps) | | Irradiation at low output power plus finishing irradiation (50+150 mJ/l pps) | |
|--------------------------|--------------------------|-------------------------|---|-------------------------|--|--------------------------|
| | 24 h | TC | 24 h | TC | 24 h | TC |
| NT group | 11.6 (3.3) ^{ab} | — [§] | — [§] | — [§] | — [§] | — [§] |
| Fe group | 23.5 (5.6) ^{ag} | 8.5(2.3) ^{cgh} | 12.8 (4.6) ^d | 10.6 (4.2) ⁱ | 10.0 (5.8) ^{ej} | 5.1 (1.8) ^{fk} |
| Pr group | 25.9 (4.8) ^{bh} | 31.5 (2.5) ^c | 26.8 (4.6) ^{di} | 22.3 (6.4) | 26.6 (3.2) ^{ek} | 23.0 (6.9) ^{fi} |

Bond strengths are shown as the mean (SD). n=12
 * Significant differences between values marked with the same letter (p < 0.05).
 § Test could not be performed because of interfacial dissociation that occurred during sample preparation.

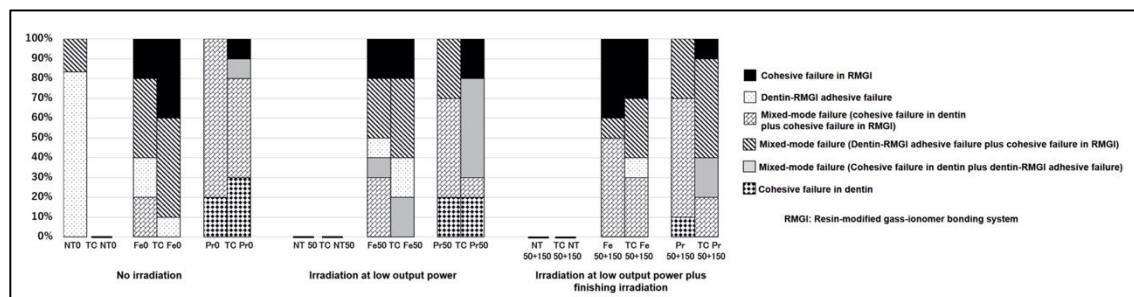


図 5 (Journal of Hard Tissue Biology¹⁾ より転載)

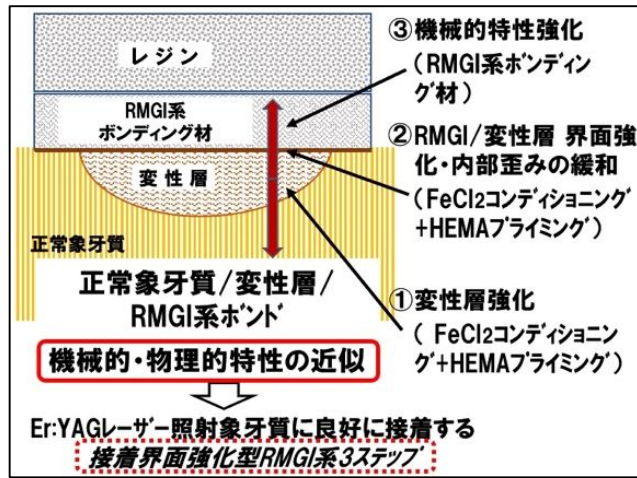


図 6

この3ステップ・RMGI系接着システムは、鉄イオンを用いた歯面処理(10%クエン酸+2%塩化第2鉄水溶液(10-2溶液)による酸コンディショニング),ならびに変性層強化のためのプライミング(4-METおよびHEMAによる親水性プライマー処理)の併用により、当該接着界面の構造において、正常象牙質とコンポジットレジン間の物理的・機械的諸性質を移行的に近似させることが可能となり、その結果レジンの接着性向上に寄与したと考えられた(図6)。

本研究により、レーザーによるう蝕治療のなかで懸案であったレジンの接着性改善が実現できるものと予想されたが、レーザーによる侵襲の少ない

歯質切削と専用の接着材の併用により、う蝕治療における QOL 向上に本研究は寄与するものと期待される。

- 1) Takeguchi A *et al.* Development of a Novel Optimal Resin-bonding System for Er:YAG Laser-irradiated Dentin: Effects of 3-step Resin-modified Glass-ionomer Bonding System Incorporating Acid-conditioning and Priming on Initial Bond Strength to Er:YAG Laser-irradiated Dentin and its Durability after Thermal Loading. J Hard Tissue Biology 29(4): 239-246, 2020

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 3件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 3件）

| | |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名 Takeguchi Ayumi, Inoue Kazuho, Horie Taku, Niwa Yukari, Sugita Yoshihiko, Yamada Mitsuyoshi, Maeda Hatsuhiko, Tomoda Shigetaka, Fujitani Morioki | 4. 巻 29 |
| 2. 論文標題 Development of a Novel Optimal Resin-bonding System for Er:YAG Laser-irradiated Dentin: Effects of 3-step Resin-modified Glass-ionomer Bonding System Incorporating Acid-conditioning and Priming on Initial Bond Strength to Er:YAG Laser-irradiated Dentin and its Durability after Thermal Loading | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Hard Tissue Biology | 6. 最初と最後の頁 239 ~ 246 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2485/jhtb.29.239 | 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 HONDA Yuma, SUGITA Yoshihiko, YOSHIYAMA Masanori, HATTORI Takehiro, ISOMURA Madoka, KAWAI Ryoko, YOSHIDA Waka, KUBO Katsutoshi, NIWA Yukari, NAKANO Kenjiro, HAYASHI Kensuke, FUJITANI Morioki, SENDA Akira, MAEDA Hatsuhiko | 4. 巻 30 |
| 2. 論文標題 Effects of Low Reactive Level Laser Therapy on the Progress of Bone Healing | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Japanese Society for Laser Dentistry | 6. 最初と最後の頁 49 ~ 56 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5984/jjpsoclaserdent.30.49 | 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 富士谷盛興 | 4. 巻 30 |
| 2. 論文標題 2040年への歯科イノベーションロードマップ レーザー歯学会が進むべき道 | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 日本レーザー歯学会誌 | 6. 最初と最後の頁 1-1 |
| 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 - |

| | |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名 富士谷盛興, 林 建佑, 中野健二郎 | 4. 巻 38 |
| 2. 論文標題 歯科用レーザー照射療法 - 現状と展望 - | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 日本歯科理工学会誌 | 6. 最初と最後の頁 141-144 |
| 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 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 - |

| | |
|--|------------------|
| 1. 著者名 富士谷盛興 | 4. 巻 39 |
| 2. 論文標題 歯科用レーザーとコンプライアンス | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 日本歯科医学会誌 | 6. 最初と最後の頁 62 |
| 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 オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 - |

〔学会発表〕 計2件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件)

| |
|---|
| 1. 発表者名 井上和穂, 竹口あゆみ, 水野絢香, 堀江 卓, 岸本崇史, 佐久間恵子, 丹羽由香理, 中野健二郎, 友田篤臣, 富士谷盛興 |
| 2. 発表標題 Er:YAGレーザー照射象牙質に最適なレジン接着システムの新規開発に関する研究 - 酸コンディショニングまたはプライミングを併用したレジン添加型ガラスイオノマー系ボンディング処理がEr:YAGレーザーによる低出力照射象牙質におけるレジンの初期接着ならびに接着耐久性に及ぼす影響 - |
| 3. 学会等名 第32回日本レーザー歯学会総会・学術大会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|-----------------------------|
| 1. 発表者名 富士谷盛興 |
| 2. 発表標題 令和のこちらで考える光治療 |
| 3. 学会等名 日本レーザー歯学会 (招待講演) |
| 4. 発表年 2019年 |

〔図書〕 計2件

| | |
|---|-----------------|
| 1. 著者名 富士谷盛興, 藤澤政紀, 奈良陽一郎, 新海航一, 大槻昌幸, 他 | 4. 発行年 2019年 |
| 2. 出版社 永末書店 | 5. 総ページ数 192 |
| 3. 書名 歯科審美学 | |

| | |
|---|-----------------|
| 1. 著者名 富士谷盛興, 田上順次, 奈良陽一郎, 山本一世, 斎藤隆史, 他 | 4. 発行年 2020年 |
| 2. 出版社 永末書店 | 5. 総ページ数 321 |
| 3. 書名 第5版 保存修復学21 | |

〔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 | 堀江 卓 (HORIE Taku) (50579993) | 愛知学院大学・歯学部・講師 (33902) | |

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 |
|---------|---------|