

令和 2 年 5 月 29 日現在

機関番号：32650

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K20464

研究課題名(和文)Er:YAGレーザー形成窩洞へのテクニカルイノベーション

研究課題名(英文)Technical innovation for Er:YAG laser-formed cavity

研究代表者

春山 亜貴子(HARUYAMA, AKIKO)

東京歯科大学・歯学部・講師

研究者番号：30385174

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：Er:YAGレーザー照射エナメル質面に対する接着強さは非照射時と比較し、2ステップセルフエッチングシステムでは有意に低いが、照射時の1ステップセルフエッチングシステムに比べて有意に高かった。Er:YAGレーザー照射象牙質面に対する接着強さは非照射時とほぼ同等だが、2ステップセルフエッチングシステムのほうが1ステップセルフエッチングシステムに比べて有意に高かった。1ステップシステム応用のリン酸処理は有効性を認めなかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

歯科治療のあらゆる領域でレーザーが活用されているが、レーザー照射被着歯面への接着性の不安定さゆえに、硬組織切削でのレーザー使用は普及しているとはいえない。

本研究において、レーザー照射エナメル質・象牙質に対して、以前の研究と異なる結果となった。接着システムは日々材料の進歩があり、必ずしも接着システムの種類で選択するとも言い難い。接着の解明をするために、今後も研究が必要と思われる。

研究成果の概要(英文)：Microtensile bond strength to the enamel surface irradiated with Er:YAG laser was significantly lower in the two-step self-etch adhesive than in the non-irradiated one, but was significantly higher than that in the one-step self-etch adhesive when irradiated. Although the bond strength to the dentin surface irradiated with Er:YAG laser was almost the same as that of the non-irradiated surface, the two-step self-etch adhesive was significantly higher than the one-step self-etch adhesive. It was not effective to the phosphoric acid pretreatment before applying the one-step self-etch adhesive.

研究分野：保存修復学

キーワード：Er:YAGレーザー 接着強さ コンポジットレジン

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

1) 現在の歯科臨床からみた背景

歯科治療のあらゆる領域でレーザーが活用されている。波長の特性を生かし、治療のみならず検査・診断の一助となっているものもある。Er:YAG レーザーは平成8年に我が国で医療器具として承認され、注水下での使用が可能であるため、歯髄へのダメージが極めて軽微であることから、軟組織のみならず、窩洞形成をはじめとした硬組織にも使用可能とされている。また、回転切削器具使用時に発する切削音や低速回転時の振動などの患者側の不快感や恐怖感も少ないため、小児や歯科恐怖症患者への齶蝕治療への有用性がある。

平成20年度の診療報酬改定で「齶蝕歯無痛の窩洞形成加算」が新設されたことも、Er:YAG レーザーの歯科臨床への期待が大きかったことが窺える。また、FDIにより提唱された Minimal Intervention Dentistry (必要最小限の侵襲による治療)の普及もあり、近年では前歯・臼歯に関わらず直接法接着性コンポジットレジン修復でより審美的な修復を行う機会が増えている。

2) 現在の問題点

歯科診療室でのシェアーとして、硬・軟組織の両者に使用できる Er:YAG レーザーは他のレーザーと比較し高くなっているが、齶蝕治療に使用されるケースは少ないと報告されている。

Er:YAG レーザーは、従来から使用される回転切削器具と異なり歯質表面に切削屑が形成されず、また照射面表層に微細な凹凸が形成されるとともに、象牙細管が開くため、一見すると修復材料との接着に有利であるように思われる。しかし、実際にはエナメル質・象牙質ともに、レーザーの影響による脆弱層は数十 μm と非常に厚く、修復材料との接着に必須な接着材料の歯質内への浸透に限界があるゆえ、結果として非照射歯質への接着強さに比べて低くなり、硬組織切削でのレーザー使用は普及していないとかがえる。

3) 我々のこれまでの研究成果と本研究との関連性

研究分担者は、これまで Er:YAG レーザーを歯質へ照射した際の構造変化などを報告している(亀山敦史, 接着歯学; 18: 126-132, 2000) (Kameyama A, Bull Tokyo Dent Coll; 41: 43-48, 2000)。また、レーザー照射後の接着強さはエナメル質・象牙質ともに非照射歯質への接着強さに比べて低く(Kameyama A, J Adhes Dent; 2: 297-304, 2000)、照射象牙質表層ではコラーゲンをはじめとする有機成分の大半が消失し、残存したコラーゲンもそのほとんどが熱作用により変性したためと考えられている(Kameyama A, et al, Eur J Oral Sci; 109, 354-360, 2001/Kameyama A, et al, Dent Mater J, 22: 1-9, 2003)。

直接法接着性コンポジットレジン修復時における接着システムには多くの製品があるが、エナメル質・象牙質ともに比較的酸性度がマイルドな1ステップセルフエッチングプライマーシステム、なかでも粘性が低いタイプのものが望ましいのではないかと推測されているが(Kameyama A, et al, Photomed Laser Surg, 27: 3-10, 2009)、非照射歯質と同程度の接着強さが得られているとは言い難い。

2. 研究の目的

上記の背景をもとに、本研究では、Er:YAG レーザー照射歯質の性質・性状改善とレーザー照射歯面専用の修復材料開発を目指すため、各種接着システムや修復用材料によるレーザー照射面への接着性の検討、親水化処理などによるレーザー照射歯質の改質とその接着性向上効果の検討、レーザー照射歯面専用のレジン接着システムと修復材料の新規開発を行うことを本研究の目的とした。

3. 研究の方法

1) 405nm 半導体レーザーによる接着強さの検討

ウシ髄腔象牙質に対して2種類の漂白(30%過酸化水素水とハロゲンランプ(Optilux 501, Kerr) / 二酸化チタン含有3.5%過酸化水素水(Pyrenees, Mitsubishi Gas Chemical Co)と405-nm半導体レーザー(VLM 500, Sumitomo Electric Industries)を応用した。応用直後、1ステップ(Clearfil S3 Bond, Kuraray Noritake Dental)ならびに2ステップセルフエッチングプライマーシステム(Clearfil SE Bond, Kuraray Noritake Dental)で接着処理を行い、コンポジットレジン(Clearfil AP-X, Kuraray Noritake Dental, shade A2)を築盛、微小引張接着強さ(Tensilon RTC-1150-TSD, Orientec)を検討した。

2) Er:YAG レーザーのパワー密度の計測

Er:YAG レーザー(アーウィンアドベール, モリタ製作所)にコンタクトチップ(直径600 μm , C600F, モリタ製作所)を装着した。レーザー照射条件は先端出力50W/cm²、繰り返しパルス数10pps、注水下で行うこととした。なお、パネル表示によるパワー密度はチップ先端までに減弱している可能性があるため、先端出力をパワーメーター(FieldMaxII-TO, Coherent, Wilsonville, OR, USA)で適宜確認しながら使用した。

3) 歯質表面へのぬれ性向上の検討

過去の研究において、使用後のハンドピースに潤滑スプレーを応用した場合、オートクレーブ

滅菌後にもスプレー成分が残留するため、潤滑スプレーで汚染された象牙質被着面に対するコンポジットレジンとの接着強さが、スプレー成分に油を含んでいるか否かに関わらず、低くなることを発表している (Sugawara Y, Kameyama A, Haruyama A, et al. Clin Cosmet Investig Dent 2010.)。そこで、ウシ象牙質面に対し、メンテナンス用スプレー (KaVo Spray 2112, KaVo Dental GmbH) を応用後、家庭用洗剤 (JOY compact, P&G) あるいはエッチング材 (K エッチャント GEL, Kuraray Noritake Dental) で窩洞洗浄をまず行った。その後、光重合型セルフエッチングシステム (クリアファイルメガボンド 2, Kuraray Noritake Dental) あるいは化学重合型ワンステップシステム (ボンドマー ライトレス, Tokuyama Dental) で接着処理を行い、コンポジットレジン (Herculite XRV, Kavodental Systems, shade A3) を築盛、微小引張接着強さ (Bisco Inc., Schaumburg) を検討した。

4) 歯質表面へのぬれ性向上の検討

「親水化処理による接着性向上効果」を検討するため、リユース強化 CAD / CAM ガラスセラミックブロック (IPS Empress CAD for CEREC and InLab, HT/A2 I12, Ivoclar Vivadent) を切断し、#220 から #600 までの SiC ペーパーで平坦にした後、超音波洗浄 (ASU-6M, AS ONE), 乾燥させ、40%リン酸 (K-etchant GEL, Kuraray Noritake Dental) で処理した。各試料に対し、コントロール (1群), Clearfil SE bond primer (SEP) (Kuraray Noritake Dental) と Clearfil Porcelain Bond Activator (PBA) (Kuraray Noritake Dental) を混合し応用 (2群), プラズマ処理 (NJZ-2820, 長野日本無線) を 10 秒間 (3群), 紫外線照射 (BioForce Nanosciences) を 60 分間 (4群), 10 秒間プラズマ処理後、Clearfil SE bond primer と Clearfil Porcelain Bond Activator を応用 (5群), 60 分間紫外線照射後、Clearfil SE bond primer と Clearfil Porcelain Bond Activator を応用 (6群) した。各群に対し、水に対するぬれ性の測定 (CA meter (Phoenix-Alpha, Meiwafoysis) と応用直後に 2 ステップセルフエッチングプライマーシステム (Clearfil SE Bond, Kuraray Noritake Dental) で接着処理を行い、コンポジットレジン (Herculite XRV, Kavodental Systems, shade A2) を築盛、微小引張接着強さ (Micro Tensile Tester, Bisco Inc) を検討した。

5) Er:YAG レーザー照射によるウシエナメル質・象牙質へのコンポジットレジン接着

ウシエナメル質面・象牙質面を露出後、耐水研磨紙 #600 を用いて注水下で平坦面を形成した。Er:YAG レーザー (アーウィンアドベール, モリタ製作所) にコンタクトチップ (直径 600 μm, C600F, モリタ製作所) を装着し、レーザー照射条件は先端出力 50W/cm² 繰り返しパルス数 10pps, 注水下に設定、レーザーの照射は過不足がないように「コ」の字を書くようにフリーハンドで移動させながら行った。照射後、2 ステップセルフエッチングプライマーシステム (クリアファイルメガボンド 2, Kuraray Noritake Dental) あるいは 1 ステップセルフエッチングプライマーシステム (アイゴスボンド, YAMAKIN), エッチング材 (マルチエッチャント, YAMAKIN) を 30 秒間応用後に 1 ステップセルフエッチングプライマーシステム (上記と同じ) で接着処理を行い、コンポジットレジン (Clearfil AP-X, Kuraray Noritake Dental, shade A2) を築盛、微小引張接着強さ (Bisco Inc., Schaumburg) を検討した。

4. 研究成果

1) 405nm 半導体レーザーによる接着強さの検討

二酸化チタン配合 3.5%過酸化水素水で漂白後では、1 ステップセルフエッチングプライマーシステムより 2 ステップセルフエッチングプライマーシステムで高い接着強さを示した。また、漂白剤を応用していない象牙質では 1 ステップセルフエッチングプライマーシステムと 2 ステップセルフエッチングプライマーシステムとの間に統計的な有意差は認められなかった。30%過酸化水素での漂白後に接着操作を行った場合、接着システムの種類に関わらず接着できなかった。

以上から、低濃度の過酸化水素水使用直後の接着はやや接着強さが劣るもののある程度の接着が得られることが分かった。

Micro-tensile bond strength (mean ± SD, MPa) and the number of the pre-testing failure (n=36)

	1-SEA	2-SEA*
Control	24.0 ± 5.6 ^a (0)	26.5 ± 9.8 ^a (0)
Group 1	0.0 ± 0.0 ^d (36)	0.0 ± 0.0 ^d (36)
Group 2	7.6 ± 9.4 ^c (21)	17.3 ± 5.8 ^b (0)

Group 1 : 30%H2O2, Optilux 501

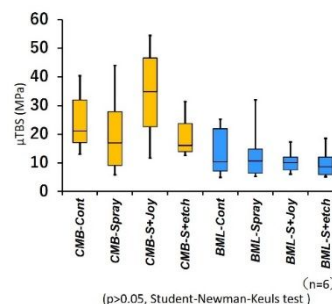
Group 2 : 3.5%H2O2 + TiO2, 405-nm diode laser

Same superscript letters represent no statistically differences (Tukey-Kramer test; p>0.05)

* μTBS values of 2-SEA were cited from Haruyama et al., 2010

3) 歯質表面へのぬれ性向上の検討

光重合型セルフエッチングシステムでは、スプレー噴霧後に家庭用洗剤を応用した群で最も高い接着強さが得られた (p<0.05)。他の群では、コントロールと有意差を認めなかった (p>0.05)。一方、化学重合型ワンステップシステムではいずれの群間にも有意差を認めなかった (p>0.05)。2 種類の接着システムを比較した場合、コントロール群とスプレー噴霧後に家庭用洗剤を応用した群では光重合型セルフエッチングシステムが化学重合型ワンステップシステムに比べて有意に高い接着強さを示した (p<0.05)。



本研究結果から、窩洞形成後にスプレーの汚染が疑われる場合、家庭用洗剤で窩洞洗浄を行った後に光重合型セルフエッチングシステムを応用することでコンボジットレジンとの接着強さが向上する可能性が示唆された。

4) 歯質表面へのぬれ性向上の検討

Clearfil SE bond primer と Clearfil Porcelain Bond Activator を混合し応用した (2群) では、高い微小引張接着強さ (44.3 ± 6.0 MPa) と水に対する接触角が (33.8 ± 2.3°) を示し、1・3 および 4 群との間に有意差を認め (p < 0.05)。プラズマ処理後の SEP/PBA 応用時の微小引張接着強さは効果を認めず (5 群, p = 0.229), また紫外線処理後の SEP/PBA 応用時でも効果が低かった (6 群, p = 0.006)。

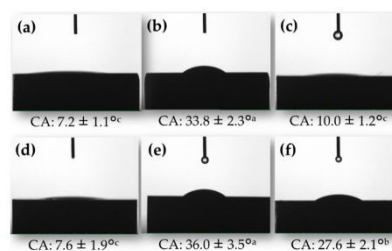
また、紫外線照射ではコントロールと比較しぬれ性は有意差を認めなかったが、プラズマ処理ではわずかにぬれ性は小さかった。

これらより、リユース強化 CAD / CAM ガラスセラミックブロックに対しリン酸処理後のシランカップリング剤の塗布は、接触角の向上を認め、かつ微小引張接着強さも増加することが分かった。

Microtensile bond strength (μTBS) and number of pre-testing failure (PTF) in each group.

Group	Treatment	μTBS (Mean ± SD; MPa)	Median (Range)	PTF/n
1	Control (K-etchant)	4.4 ± 9.0 ^c	0.0 (0.0-35.2)	27/35
2	SEP/PBA	44.3 ± 6.0 ^a	44.3 (29.8-59.5)	0/33
3	APP	1.6 ± 5.4 ^c	0.0 (0.0-21.5)	32/35
4	UV	3.1 ± 7.8 ^c	0.0 (0.0-29.6)	27/32
5	APP + SEP/PBA	40.8 ± 6.2 ^{ab}	39.9 (33.0-57.4)	0/29
6	UV + SEP/PBA	35.5 ± 12.1 ^b	38.5 (16.0-53.1)	0/33

Notes: SD, standard deviation; n, total number of bonded specimens; PTF, pre-testing failure; SEP/PBA, 1:1 mixture of Clearfil SE Bond primer and Clearfil Porcelain Bond Activator; APP, atmospheric-pressure plasma; UV, ultraviolet light. The same superscript letters indicate no statistically significant differences (p < 0.05, Games-Howell tests).



Representative cross-sectional images of a water droplet on glass ceramic surfaces: (a) control (only K-etchant); (b) SEP/PBA; (c) APP; (d) UV; (e) APP + SEP/PBA; and (f) UV + SEP/PBA. CA: contact angle (mean ± SD, °). Values with the same superscript letters showed no statistical significance (p > 0.05).

5) Er:YAG レーザー照射によるウシエナメル質・象牙質へのコンボジットレジン接着

Er:YAG レーザー照射エナメル質面に対する接着強さは非照射時と比較し、2ステップセルフエッチングシステムでは有意に低いが、照射時の1ステップセルフエッチングシステムに比べて有意に高かった。

それに対し、Er:YAG レーザー照射象牙質面に対する接着強さは非照射時とほぼ同等だが、2ステップセルフエッチングシステムのほうが1ステップセルフエッチングシステムに比べて有意に高く、1ステップシステムの応用前のリン酸処理に有効性は認めなかった。

微小引張り接着強さ (単位: MPa)				
群	レーザー照射		レーザー非照射	
	平均 (標準偏差)	PTF/n	平均 (標準偏差)	PTF/n
MB2	29.9 (7.1) ^b	0/23	42.1 (8.7) ^a	0/22
iGOS	16.3 (4.8) ^c	1/22	20.6 (2.1) ^{bc}	2/7*
ME+iGOS	18.1 (4.7) ^c	0/23	29.9 (6.3) ^b	1/24

PTF: 接着試験前の破断試料数 n: 接着試料数
 * 3本の歯のうち2本で水中浸漬中に剥離したため、残る1本からのみ試料を採取
 各群の測定値の右肩で、同じアルファベットは有意差がないことを示す (Tukey-Kramer test, p < 0.05)

エナメル質での微小引張り接着強さ

微小引張り接着強さ (単位: MPa)				
群	レーザー照射		レーザー非照射	
	平均 (標準偏差)	PTF/n	平均 (標準偏差)	PTF/n
MB2	38.9 (10.0) ^a	0/19	48.1 (10.5) ^a	0/22
iGOS	26.2 (12.5) ^{bc}	2/21	28.2 (8.0) ^b	0/19
ME+iGOS	17.8 (10.3) ^c	1/19	23.5 (10.0) ^{bc}	0/21

PTF: 接着試験前の破断試料数 n: 接着試料数
 各群の測定値の右肩で、同じアルファベットは有意差がないことを示す (Tukey-Kramer test, p > 0.05)

象牙質での微小引張り接着強さ

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 Kameyama A, Haruyama A, Tanaka A, Noro A, Takahashi T, Yoshinari M, Furusawa M, Yamashita S	4. 巻 8
2. 論文標題 Repair Bond Strength of a Resin Composite to Plasma-Treated or UV Irradiated CAD/CAM Ceramic Surface	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Coatings	6. 最初と最後の頁 230
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.339	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 Haruyama A, Kameyama A, Kato J, Takemoto S, Oda Y, Kawada E, Takahashi T, Furusawa M.	4. 巻 2016
2. 論文標題 Resin bonding of self-etch adhesives to bovine dentin bleached from pulp chamber	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 BioMed Research International	6. 最初と最後の頁 1313586
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1155/2016/1313586	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 亀山敦史, 春山亜貴子, 加藤純二	4. 巻 28
2. 論文標題 Er:YAGレーザー照射歯質へのレジン接着における問題点	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 日本レーザー学会誌	6. 最初と最後の頁 1-8
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 オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Abo H, Kameyama A, Haruyama A	4. 巻 4
2. 論文標題 Clinical observation of the tooth surface during air-drying of self-etching primer under 3D video microscope	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Applied Adhesion Science	6. 最初と最後の頁 7
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1186/s40563-016-0064-6	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 Kameyama A, Haruyama A, Abo H, Kojima M, Nakazawa Y, Muramatsu T	4. 巻 7
2. 論文標題 Influence of solvent evaporation on ultimate tensile strength of contemporary dental adhesives.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Adhesion Science	6. 最初と最後の頁 4-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10. 1186	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12件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 春山亜貴子, 亀山敦史, 杉山利子, 高橋俊之
2. 発表標題 ハンドピース用メンテナンススプレーがコンポジットレジン of 象牙質接着性能に及ぼす影響
3. 学会等名 第11回日本総合歯科学会総会・学術大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Haruyama A, Kameyama A
2. 発表標題 Effect of surface treatment after the flowable composite base on the bond strength of the restorative ceramic block.
3. 学会等名 International Dental Materials Congress 2016 (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Kameyama A, Haruyama A
2. 発表標題 Influence of solvent evaporation on ultimate tensile strength of cured dental adhesives.
3. 学会等名 International Dental Materials Congress 2016 (国際学会)
4. 発表年 2016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
研究協力者	亀山 敦史 (KAMEYAMA ATSUSHI) (60338853)	松本歯科大学・歯学部・教授 (33602)	