

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 14 日現在

機関番号：32667
 研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：平成 22 年度 ～ 平成 24 年度
 課題番号：22592130
 研究課題名（和文） Er, Cr:YSGG レーザーを用いた窩洞形成と接着性の改善による歯冠修復法の確立
 研究課題名（英文） A novel crown restoration using cavity preparation with Er, Cr:YSGG laser and improved adhesive technique
 研究代表者
 新海 航一（SHINKAI KOICHI）
 日本歯科大学・新潟生命歯学部・教授
 研究者番号：90147843

研究成果の概要（和文）：

Er, Cr:YSGG レーザーを用いた歯の切削は、微小水蒸気爆発により歯面が粉砕されて生じることを確認した。レーザー切削象牙質面には熱変性層が生成されるが、熱変性層はリン酸処理後に次亜塩素酸ナトリウム処理を行った場合に除去された。レーザー切削面にリン酸処理あるいはリン酸と次亜塩素酸ナトリウムの併用による前処理を行うと 2 ステップセルフエッチシステム（歯質接着システム）の単独処理より接着強さが向上した。

研究成果の概要（英文）：

We confirmed that cutting of tooth substance using an Er, Cr: YSGG laser was occurred by micro phreatic explosion. On the surface of the dentin prepared with the laser, a thin heat denaturation layer was generated. After application of both 40% phosphoric acid and 10% sodium hypochlorite, a heat denaturation layer was disappeared. Pre-conditioning using phosphoric acid or both phosphoric acid and sodium hypochlorite was effective in improving the bond strength of two-step self-etch system for enamel and dentin prepared with an Er, Cr: YSGG laser.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,800,000	840,000	3,640,000
2011年度	300,000	90,000	390,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：歯学・保存修復系歯学

キーワード：Er, Cr:YSGG レーザー、レーザー切削、切削面の性状変化、リン酸処理、NaClO 処理、歯質接着強さ、窩壁適合性、コンポジットレジン修復

1. 研究開始当初の背景

近年国外で開発された Er,Cr:YSGG レーザーは、エアタービンに匹敵する切削効率が発揮できるといわれ (Gutknecht N, Quintessence, 2007)、国外では歯の切削に普及されつつあるが、本邦ではこの Er,Cr:YSGG レーザー装置の厚労省認可は得られておらず、使用者が少ないのが現状と思われる。当研究機関では、Biolase 社製 Waterlase® MD (Er,Cr:YSGG レーザー装置) の高い切削効率を確認しているが、国内における Er,Cr:YSGG レーザーに関する基礎的研究報告はほとんどみられず、国外においてもいまだ十分とはいえない。この種のレーザーは高い切削効率を発揮できることから、将来本邦でも広く普及して歯冠接着修復に大きな貢献をもたらすことが予想され、Er,Cr:YSGG レーザーを用いた新しい接着修復法を確立することは非常に有意義であると考えた。

2. 研究の目的

Er,Cr:YSGG レーザーは、エナメル質および象牙質を効率的に切削することが可能であるが、切削メカニズムが明らかでなく非接触であるが故に回転切削と比べて窩洞形成のコントロールが非常に難しい。また、レーザー切削したエナメル質および象牙質に対しては修復物の接着が不十分だという報告が多いが、いまだ確固たる有効な接着方法がない。そこで本研究の目的は、主にこれら2つの問題点を改善し、快適なレーザー切削による新しい接着修復法を確立することである。

3. 研究の方法

(1) Er,Cr:YSGG レーザーによるエナメル質および象牙質の切削メカニズムについて

① ヒト歯抜去大臼歯を使ってエナメル質片(小柱方向に垂直あるいは平行な平面を有

する厚さ約2mmの歯片)ならびに象牙質片(象牙細管方向に垂直あるいは平行な平面を有する厚さ約2mmの歯片)を作製した。

② 作製した歯片を Er,Cr:YSGG レーザーを用いて切削し、切削時の状況をハイスピードビデオカメラ(動き解析マイクロスコープ:新規)で撮影した。PC上でビデオクリップ画像を観察し、レーザー光、水およびエナメル質あるいは象牙質の直接相互作用のモニタリングを行って切削メカニズムを分析した。
(2) レーザーの照射条件が歯質切削に及ぼす影響

ヒト抜去上顎前歯を使って歯片(約5×5×3mm)を作製し、卓水研磨紙#600、#800および#1500を用いて平坦なエナメル質あるいは象牙質面を形成した(n=10)。Er,Cr:YSGG レーザー(Waterlase MD)を用いて各切削条件(レーザー出力・Hz/ウォーターズプレー水の相対的配合率/ウォーターズプレー空気の相対的配合率)でエナメル質あるいは象牙質の平坦面を切削した。切削面に対する照射光の入射角度を90度、照射距離を3mmに設定し、各歯片のエナメル質平坦面に対して各々切削条件を変えながら9箇所を約1秒間ずつ切削した。各切削時の状況をハイスピードビデオカメラ(動き解析マイクロスコープ)で撮影した。ビデオクリップ画像上でモニタリングを行い、切削中に生じた水蒸気爆発の回数(Hz数)をカウントした。切削されたエナメル質の深さは表面粗さ測定器(Surfcom 470A)で測定した。得られた結果から1Hzあたりの切削深度を算出した。対応のある2元配置分散分析を用いて統計学的解析を行い、ウォーターズプレーの水と空気の各相対比率が切削深度に与える効果を検定した($p < 0.05$)。

(3) レーザーによるエナメル質および象牙

質切削面の性状分析

(1) - ①に従い、エナメル質片および象牙質片を調整し、YSGGにより切削し観察用試料を作製した。レーザー照射条件は3.0W, 20Hz, 75%Water, 85%Airとした。

① 切削面をSEM観察(×2,000)により微細形態を比較検討した。

② アザン染色により切削試料の薄切切片を染色して顕微鏡観察を行い、レーザー照射による熱変性層の生成状態について組織学的に検討した。

(4) 接着歯面処理によるレーザー切削面の性状変化

レーザー照射条件(3.0W, 20Hz, 75%Water, 85%Air)に従って切削したエナメル質および象牙質面を次に示す3種類の歯面処理方法で処理し、(3)と同様に分析した。とくに熱変性層の除去ならびに脱灰層生成状態について詳細な観察を行った。

【歯面処理方法】

① 40%リン酸水溶液(K-etchant, Kuraray Noritake Dental) 30秒間処理→水洗・乾燥

② K-etchant 30秒間処理→水洗・乾燥→10%次亜塩素酸ナトリウム(AD Gel, Kuraray Noritake Dental) 90秒間処理→水洗・乾燥

③ Clearfil Mega Bond (Kuraray Noritake Dental) プライマー20秒間処理→強圧エアブロー

(5) レーザー切削したエナメル質および象牙質に対する接着強さの測定

① ヒト抜去大白歯の頬・舌側面に平坦なエナメル質面あるいは象牙質面を形成し、それらの平坦面表層をYSGGで一層削除した。

② 切削面の接着処理：下記の5実験群を設定し、接着試料を作製した。

M群：Clearfil Mega Bond 応用

EM群：リン酸エッチング後、Clearfil Mega Bond 応用

ENM群：リン酸エッチング後、さらに次亜塩素酸ナトリウム溶液で処理した後、Clearfil Mega Bond 応用

NC群：レーザー切削面にClearfil Mega Bondのボンドのみ応用(ネガティブコントロール)

PC群：耐水研磨紙で形成した平坦面にClearfil Mega Bondを応用(ポジティブコントロール)

なお、Clearfil Mega Bondの応用は、プライマー20秒間処理→乾燥→ボンド塗布・乾燥→光照射(10秒間)の手順で行い、処理面に光重合型コンポジットレジン(Clearfil Majesty, Kuraray Noritake Dental)を築盛して試料を作製した。

③ 接着強さの測定：小型卓上試験機(EZ Test, Shimadzu)を用いてエナメル質については剪断接着強さを、象牙質については微小引張り接着強さを測定した。

(6) レーザー切削窩洞・コンポジットレジン修復物の辺縁封鎖性および窩壁適合性の評価

① YSGGを用いてヒト大白歯の頬側面と舌側面に、直径3mm、深さ2mmの窩底隅角の滑らかな椀型窩洞を形成した。レーザー照射設定は、エナメル質：3.5W, Water 75%, Air 85%, 20Hz、象牙質：2.0W, Water 75%, Air 60%, 20Hzで、照射距離は焦点位(チップ先端から3~5mm)を保つように切削した。Control Groupは、エアタービンハンドピースに球状ダイヤモンドポイント(FG#440SS, Shofu)を装着し注水下にて同サイズの窩洞を形成、スチールラウンドバー(CA#2, Kavo Dent GmbH)で窩壁を整理した試料とした。

② (5) - ②と同様の方法で窩洞を接着処理した後、象牙質面にフロアブルレジンClearfil Majesty LV (Kuraray Noritake Dental)を約1mmの厚さで充填、40秒間の光照射を行った。次いで、Clearfil Majestyを

積層充填し、再度40秒間の光照射を行った。
 ③ 試料に対して5℃と55℃のサーマルストレスを500回与えた（循環式電子冷熱装置、Toyo Engineering Works, パーコテスター, Wada Seimitsu）。

④ 窩壁適合性の観察：各窩洞を歯軸方向に縦断し（Isomet, Buehler）、切断面に1.0%アシッドレッドプロピレングリコール溶液（Caries Detector, Lot# 0712AV, Kuraray Noritake Dental）を数滴滴下、5秒間放置後十分に水洗乾燥した。染色された切断面は実体顕微鏡（EZ4D, Leica）を用いて20倍で観察し、デジタル画像で記録した。

⑤ 窩壁適合性の評価：象牙質の窩壁不適合度（色素侵入度）については、画像解析ソフト（Image-Pro Express, Planetron）を用いて画像上で象牙質の窩壁全周の長さ色素侵入した窩壁の長さを測定し、色素が侵入した窩壁の長さの窩壁全周に対する百分率を算出して評価した。結果は Kruskal-Wallis Test と Mann-Whitney U-test with Bonferroni correction で統計処理を行った。

4. 研究成果

(1) Er, Cr:YSGG レーザーによるエナメル質および象牙質の切削メカニズムについて

撮影画像をモニタリングにより分析した結果、ウォータースプレーとともにレーザー光が照射された歯面が白く光った瞬間に水が周囲に拡散した。したがって、ウォータースプレーとともにレーザーが照射されるとエナメル質では小柱間、象牙質では基質内で微小水蒸気爆発が生じて歯質が粉碎されるという切削メカニズムが明らかとなり、従来の研究報告と一致した。

(2) レーザーの照射条件が歯質切削に及ぼす影響

① エナメル質の切削に及ぼす影響

各実験群の測定結果を表に示す。

実験群	Air (%)	Water (%)	切削深さ (μm)
			Mean ± SD
Group 1	70	60	10.4 ± 2.7
Group 2		70	10.5 ± 3.3
Group 3		80	9.8 ± 2.6
Group 4	80	60	9.2 ± 2.5
Group 5		70	9.7 ± 1.2
Group 6		80	8.5 ± 1.2
Group 7	90	60	9.6 ± 2.8
Group 8		70	10.2 ± 3.5
Group 9		80	9.9 ± 3.5

二元配置分散分析の結果、ウォータースプレーの水と空気の各相対比率は切削深度に有意な効果を与えないことが判明した ($p>0.05$)。

② 象牙質の切削に及ぼす影響

各実験群の測定結果を表に示す。

実験群	Air (%)	Water (%)	切削深さ (μm)
			Mean ± SD
Group 1	50	60	9.8 ± 2.2
Group 2		70	9.5 ± 1.5
Group 3		80	9.4 ± 1.6
Group 4	60	60	9.3 ± 2.1
Group 5		70	8.6 ± 1.5
Group 6		80	8.4 ± 1.9
Group 7	70	60	8.0 ± 1.2
Group 8		70	8.1 ± 1.7
Group 9		80	8.5 ± 1.6

二元配置分散分析の結果、ウォータースプレーの空気の相対比率が切削深度に有意な効果を与えることが明らかとなった ($p<0.05$)。

(3) レーザーによるエナメル質および象牙質切削面の性状分析

SEM 観察の結果、窩洞形成直後のエナメル質切削面にはエナメル小柱が露出された像と一部にエナメル小柱が溶融したような像が認められた。また、象牙質切削面ではスミ

ヤー層がなく、開口した象牙細管が認められた。アザン染色により Er, Cr:YSGG レーザー一切削面には熱変性層の存在が確認された。

(4) 接着歯面処理によるレーザー一切削面の性状変化

40%リン酸処理(30 秒間)後のエナメル質一切削面は鱗片状エナメル小柱と微細な凹凸を呈し、象牙質一切削面では象牙細管がロート状に開口していた。37%リン酸処理(30 秒間)後に10%NaClO処理(90 秒間)を行ったエナメル質一切削面はリン酸処理後と類似しており、象牙質は残存した管周象牙質が突出しているような像がみられた。セルフエッチングプライマー処理(20 秒間)後のエナメル質は微細な凹凸を呈し、象牙質はわずかに突出したような管周象牙質がみられた。

レーザー一切削により象牙質面に生成された熱変性層は、リン酸処理およびセルフエッチングプライマー処理では除去されなかったが、リン酸処理後に10%NaClO処理を行った場合に除去された。

(5) レーザー一切削したエナメル質および象牙質に対する接着強さの測定

測定結果を表に示す。

接着対象	実験群	接着強さ (MPa)
		Mean ± SD
エナメル質	M	20.8 ± 2.5
	EM	25.8 ± 1.7
	ENM	23.1 ± 3.3
	NC	17.3 ± 3.8
	PC	18.3 ± 4.9
象牙質	M	21.8 ± 4.9
	EM	40.7 ± 6.3
	ENM	39.0 ± 10.0
	NC	22.0 ± 11.0
	PC	52.7 ± 8.7

① エナメル質に対する接着強さについて
一元配置分散分析の結果、実験群の間に有

意差が認められ、EM群とENM群が他の実験群より有意に高い接着強さを示した ($p < 0.05$)。

② 象牙質に対する接着強さについて

NC群とM群は、EM群とENM群に比較して有意に低い接着強さを示した ($p < 0.05$)。NC群とM群の間ならびにEM群とENM群の間には接着強さに統計学的有意差は認められなかった ($p > 0.05$)。また、PC群の接着強さは、他の実験群(レーザー一切削面を被着面に用いた実験群)と比較して有意に高い値を示した ($p < 0.05$)。

(6) レーザー一切削窩洞・コンポジットレジン修復物の辺縁封鎖性と窩壁適合性の評価

窩壁不適合度を表に示す。

実験群 (n=10)	窩壁不適合度 (%)	色素が侵入した試料数
	Mean ± SD	
M	15.7 ± 11.4	10
EM	7.1 ± 9.9	5
ENM	5.8 ± 8.0	4
NC	81.6 ± 13.9	10
PC	1.4 ± 2.2	4

EM群とENM群はPC群と比較して統計学的有意差を認めなかった ($p > 0.05$)。K-etchant Gel や AD Gel を併用しないNC群とM群の窩壁不適合度は、PC群と比較して統計学的に有意に大きく ($p < 0.05$)、これらすべての試料に色素侵入を認めた。なお、すべての実験群でエナメル質への色素侵入は認められなかった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計4件)

- ① 新海航一、レーザーにより一切削されたエナメル質への接着、接着歯学、31、26-30、2013。(査読無)
- ② 加藤千景、新海航一、鈴木雅也、平賢久、加藤喜郎、Er, Cr:YSGG Laser 一切削象

牙質に対するコンポジットレジンの微小引張接着強さ、接着歯学、31、1-9、2013。

(査読有)

- ③ 鈴木雅也、平 賢久、加藤千景、加藤喜郎、新海航一、Er,Cr:YSGG レーザー一切削窩洞におけるコンポジットレジン修復の象牙質窩壁適合性、接着歯学、30、145-151、2012。(査読有)
- ④ Kato C、Taira Y、Suzuki M、Shinkai K、Katoh Y、Conditioning effects of cavities prepared with an Er,Cr:YSGG laser and air-turbine, Odontology, 100, 164-171, 2012。(査読有)

[学会発表] (計8件)

- ① Kato C、Suzuki M、Taira Y、Shinkai K、Shear bond strength of resin composite to Er,Cr:YSGG lasered enamel, 91st General Session & Exhibition of the IADR, 2013年3月23日、Washington state convention center
- ② 新海航一、レーザーを応用した保存治療：Er,Cr:YSGG レーザーを用いた歯質切削と切断面への接着、第12回日本歯科用レーザー学会総会学術大会(招待講演)、2012年9月29日、東京医科歯科大学特別講堂
- ③ Kato C、Suzuki M、Taira Y、Shinkai K、Effect of Er,Cr:YSGG Laser cutting on dentin bond strength and cavity adaptation of resin composite, 12th Biennial Meeting of Asian Academy of Aesthetic Dentistry / 23rd Congress of Japan Academy of Esthetic Dentistry, 2012年7月20日、札幌コンベンションセンター
- ④ 新海航一、Photodentistry が齶蝕治療を変えていく! ?、栃木県日本歯科大学校友会歯学研修会、2012年2月26日、栃

木県宇都宮市

- ⑤ 鈴木雅也、加藤千景、新海航一、Er,Cr:YSGG レーザー一切削窩洞に対するコンポジットレジン修復物の接着強さおよび窩壁適合性の改善、日本歯科大学歯学会研究推進フォーラム、2011年10月6日、日本歯科大学新潟生命歯学部
- ⑥ 加藤千景、新海航一、平 賢久、鈴木雅也、加藤喜郎、Er,Cr:YSGG Laser 窩洞に対する各種表面処理によるコンポジットレジンの微小引張り接着強さへの影響、第9回レーザー治療研究会、2011年4月6日、日本歯科大学新潟生命歯学部
- ⑦ 鈴木雅也、新海航一、平 賢久、加藤千景、加藤喜郎、Er,Cr:YSGG レーザー一切削窩洞におけるコンポジットレジン修復物の窩壁適合性 -各種表面処理法の影響-、第9回レーザー治療研究会、2011年4月6日、日本歯科大学新潟生命歯学部
- ⑧ 新海航一、歯冠修復治療におけるレーザー活用の現状と展望、第22回日本レーザー歯学会総会・学術大会、2010年11月14日、愛知県名古屋市

6. 研究組織

研究代表者

- (1) 新海 航一 (SHINKAI KOICHI)

日本歯科大学・新潟生命歯学部・教授
研究者番号：90147843

- (2) 研究分担者

海老原 隆 (EBIHARA TAKASHI)

日本歯科大学・新潟生命歯学部・准教授
研究者番号：40287777

鈴木 雅也 (SUZUKI MASAYA)

日本歯科大学・新潟生命歯学部・講師
研究者番号：10409237

加藤 千景 (KATO CHIKAGE)

日本歯科大学・新潟生命歯学部・助教
研究者番号：00459926