

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 16 日現在

機関番号：33902

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24792051

研究課題名(和文)CO₂レーザーを応用した歯根象牙質のアパタイトコーティング法の開発に関する研究

研究課題名(英文)Fundamental Study of Hydroxyapatite Coating on Root Dentin Surface by CO₂ Laser Irradiation and Nano-hydroxyapatite Application

研究代表者

成橋 昌剛 (NARUHASHI, MASAYOSHI)

愛知学院大学・歯学部・助教

研究者番号：00449430

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円、(間接経費) 840,000円

研究成果の概要(和文)：本研究により、波長9.3 μ mのレーザー照射は波長10.6 μ mに比べて高い結晶性と耐酸性を示した。この結果は、溶融物の影響と考えられた。さらにとくにナノハイドロキシアパタイトを併用した象牙質面に対するおけるCO₂レーザー照射は、たとえば高齢者の歯によく見られる露出歯根面の象牙質におけるアパタイトコーティングに非常に有効であることが判明した。

研究成果の概要(英文)：The 9.3-laser irradiation exhibited more acid resistance of human dentin compared to 10.6-laser irradiation. These effects may be due to the micro-melts and the high crystallinity hydroxyapatites produced more on the surface of the 9.3-laser irradiated dentin. The results of this particular study suggest that the CO₂ laser irradiation in conjunction with the nano-hydroxyapatite application on dentin surface might be effective to the hydroxyapatite coating of dentin such as exposed root surfaces of dentition among geriatric people.

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：歯学・保存治療系歯学

キーワード：レーザー アパタイト 波長

1. 研究開始当初の背景

近年、国内でも高齢者の残存歯数が増加している傾向があるが、一方ではそれら残存歯の歯根面露出に伴う根面う蝕や歯頸部侵蝕などの疾患について如何に対応することが問題となりつつある。このような露出した歯根面は多くの場合、セメント質が欠損し、象牙質が露出した状態となっている。そのため、もともとこれらの疾患・発症のリスクは高い。また高齢者であるため歯間鼓形空隙腔の増大、歯周病の関与さらにはセルフケアの不十分さも重なり、今後も罹患者がかなり増加するものと考えられる。さらに、これらの歯頸部歯質の欠損に対する修復治療を行うことは、手技や器材など臨床対応上きわめて困難であることが多い。従ってこれらの疾患を抑制するためには発症や進行を抑制することがやはり最も重要であり、また効果的である。これらの部位の歯質の耐酸性の向上、歯質の機械的な強化などを目指し、フッ化物を応用することやレジン系材料でコーティングすることなどが提唱されている。しかし、フッ化物の応用については効果を得るまでに時間を要すること、レジン系材料の応用については経時的に接着界面が劣化し、接着強さが低下するといった問題があり、国内外を通じて未だ有効な方法が確立されているとはいえない。

2. 研究の目的

これまで我々は、使用したナノハイドロキシアパタイトの形態学および分析化学的に検討を行った。また、従来のハイドロキシアパタイトおよびナノハイドロキシアパタイトを象牙質面に塗布し、歯質への侵襲が少ない低エネルギーレベルで CO₂ レーザー照射し、象牙質表層にアパタイトを融着させた。そして CO₂ レーザー照射したアパタイト塗布象牙質面を SEM および FT-IR などを用いて観察し、アパタイトの熔融、融着の様相および超音波洗浄にてその融着耐久性を比較検討した。その結果ナノハイドロキシアパタイトの結晶性はハイドロキシアパタイトと同一であり、その粒子はクラスター構造を呈してもナノサイズであることが判明した。また、ナノハイドロキシアパタイトを塗布後レーザー照射した試料は、ハイドロキシアパタイトを塗布後レーザー照射した試料より融着範囲、融着程度、融着耐久性が優れていることが判明した。しかしながらレーザー照射後の象牙質面に対する炭化層や亀裂の発生は少なくなったものの、融着させたナノハイドロキシアパタイトは超音波洗浄によって僅かな脱落がみられたことから、今後のさらなる検討が必要である。さらに、レーザー照射後の硬さや結晶粒子径および耐酸性においてどのような変化が起きているかは不明であり、機械的性質および分析化学的検討が今後の課題となっている。これまでの研究結果を基にハイドロキシアパタイトの吸収帯に近い CO₂ レーザー (9.3 μm) とナノハイ

ドロキシアパタイトを併用し、従来の CO₂ レーザー (10.6 μm) との比較検討を行い、ナノハイドロキシアパタイトを象牙質面に侵襲が少なく、より強固かつ広範囲に融着させる波長および照射条件の関係を明らかにする。さらにこれらの条件下にて微小硬度測定、結晶粒径測定、耐酸性の評価などの機械的性質および分析化学的検討も行う。

3. 研究の方法

(1) ナノ HAP および HAP 塗布後の CO₂ レーザー (10.6 μm) 照射後象牙質の融着耐久性の検討

ヒト抜去小白歯の頬側歯根面に #2000 仕上げの平坦面を調製し、10% クエン酸水溶液で 10 秒間処理後、十分な水洗乾燥を行う。次いで、ナノ HAP を塗布し、波長 9.3 μm および 10.6 μm の CO₂ レーザー照射し、各々の試料を蒸留水中で 30 分間超音波洗浄し、レーザー照射されたナノハイドロキシアパタイトが試料面に残留する状態を走査電子顕微鏡にて観察し、赤外分光分析装置 (以下 FT-IR) を用いて表層の組成分析を行った。

(2) CO₂ レーザー (波長 9.3 μm, 10.6 μm) 照射後象牙質の超微細構造観察および分析化学的検討

新鮮ヒト抜去大白歯の歯冠の咬合面にほぼ平行に #800 仕上げの象牙質平坦面を調製し、頬舌方向にほぼ均等に 2 分割した後、一方の象牙質面に波長 9.3 μm の CO₂ レーザーを 19.0、45.2 あるいは 69.0 J/cm² のエネルギー密度 (E 密度と略す) で照射した (それぞれ 9.3 L 群、9.3 M 群あるいは 9.3 H 群とし、これらを総称して 9.3 群と略す)。また、もう一方の象牙質面には波長 10.6 μm の CO₂ レーザーを照射し (10.6 群と略す)、9.3 群と同様の E 密度で照射した (それぞれ、10.6 L 群、10.6 M 群、10.6 H 群と略す)。レーザー照射面の形態的な変化を走査電子顕微鏡にて観察し、組成および結晶構造の変化を赤外分光分析装置および X 線回折装置を用いて測定した。また、レーザー照射後の象牙質の耐酸性の変化をみるため、レーザー照射象牙質面を 0.1 M 乳酸緩衝溶液で脱灰し、原子吸光分光光度計を用いて脱灰溶液中に溶出した Ca 量を測定した。

(3) 歯質強化後に行う修復処置への対応

本実験方法を修復前処置として行い、この獲得層に対する修復治療の可能性について検討した。接着用セメントを用いて接着試験を行った。さらに Er:YAG レーザー照射後象牙質の接着性能についても検討をおこなった。

4. 研究成果

(1) ナノ HAP および HAP 塗布後の CO₂ レーザー (10.6 μm) 照射後象牙質の融着耐久性の検討

FT-IR での PO₄ のピーク強度は、ナノ HAP 群、HAP 群は L 群と比べて高い傾向にあり、さらにエネルギー密度が高いほどそのピークは鮮明に分岐していた。一方、アミド結合のスペクトルは、ナノ HAP 群では 2W、3W で消失

し、HAP 群とL群では3Wで消失していた。これらのことから、ナノHAPの方が低エネルギー照射で効率的に象牙質に熔着していることが判明した。

一方、超音波洗浄を施すと、ナノHAP群、HAP群ともに熔着したアパタイト粒子は1Wではほぼ脱落しており、3Wではいずれも熔着していたが歯質に亀裂や炭化が著明に観察された。しかし、2Wでは、HAP粒子は脱落していたがナノHAP粒子は歯質にほとんど影響を与えずに熔融、熔着していた。これは、ナノHAPがHAPに比し、CO₂レーザーのエネルギー吸収効率が高いため、歯質に影響を及ぼすことなく熔融、熔着したものと考えられる。以上のことより、ナノハイドロキシアパタイトをヒト抜去小臼歯歯根面に塗布し、本照射条件でのCO₂レーザー照射を行なうことにより、歯面に亀裂や炭化などの熱影響をあまり及ぼすことなく、アパタイトを比較的強固に熔着させることが可能であることが判明した。したがってナノハイドロキシアパタイトを歯根面に塗布し、CO₂レーザーをRPTモード、0.5 sec、3パルス、距離0.5 mm、2W（エネルギー密度24.2 J/cm²）の条件で照射すると、アパタイト粒子を比較的効果的に熔融熔着させることができることが明らかになった。

(2)CO₂レーザー（波長9.3μm, 10.6μm）照射後象牙質の超微細構造観察および分析化学的検討

レーザー照射野の形態的観察から、9.3群ではいずれの出力（E密度）であっても照射野中央部に熔融像が観察され、その程度はE密度が高いほうが著しく、一方10.6群では本実験条件中のE密度が最も高いH群のみに、9.3L群と同じような熔融像を認めた。また、レーザー照射野の組成および結晶構造の分析から、9.3群ではいずれのE密度でも結晶性が高くなり、その程度はE密度が高いほど著しく、10.6群ではH群のみに9.3L群と同程度の結晶性の変化が認められた。さらに、耐酸性の変化については、9.3群ではE密度が最も低いL群でもCa溶出量は非照射群に比べて有意に少なく（ $p < 0.01$ ）、耐酸性が向上したことを認めた。10.6群ではH群のみが9.3L群とほぼ同等の耐酸性の向上が認められた。これらのレーザー照射による象牙質の性状の変化は、これまでの報告を追認するものであった。しかしながら、レーザー照射野における象牙質表層の熔融された像の状態、結晶性や耐酸性の向上などの程度は、9.3L群と10.6H群と比較するとほぼ同じであり、レーザーの出力（本研究でのE密度）が低くても（19.0 J/cm²）波長9.3μmのCO₂レーザーは、波長10.6μmのレーザーの、より高い出力（69.0 J/cm²）による照射とほぼ同じ効果を象牙質に及ぼすことが判明し、同じ種類のレーザーであっても波長が異なることによって、象牙質への吸収の特性が異なり、より効率的に象牙質のアパタイトの結晶性を向上

させ、また熔融して耐酸性を向上させたことが判明した。すなわち、レーザーと被照射体との間の相互的作用には、レーザーの出力および波長が影響していることが本研究からも明らかになり、CO₂レーザーによる象牙質へのさまざまな処理には、波長9.3μmのレーザーを用いたほうがより効果的ではないかと推察できる。波長9.3μmと10.6μmのCO₂レーザーを各々同じ出力と条件で象牙質に照射したところ、本研究の条件下では、照射野の性状の変化は、波長9.3μmの場合、より低い出力で10.6μmの場合と同程度であり、波長9.3μmのほうが象牙質への吸収がより効率的であることが判明した。

(3)歯質強化後に行う修復処置への対応

痛みを生じない程度の低出力でCO₂レーザー照射した象牙質面には構造欠陥や熱変性層が形成されレジンの接着性は低下するとの報告がある。そこでレーザー照射象牙質に適応可能なレジン接着システムの開発を目的に、各種条件で照射した象牙質面におけるRMGIの接着性についてボンディングレジンのそれと比較検討した。レジン添加型グラスアイオノマーセメント（RMGI）の接着強さは、約100μmの深さまで有意に低下し、200μmより深い部分では非照射面とほぼ同等であった。一方、接着材を使用したレジンセメントについては、約300μmまで接着強さは低下した。破壊形態は、RMGIは混合破壊（材料内凝集破壊+界面剥離）はであり、接着材を使用したレジンセメント象牙質内凝集破壊であった。従って、RMGIはレーザー照射の影響を被りにくいことが明らかとなった。

また、Er:YAGレーザー照射した象牙質においても、RMGIは接着界面における歪みの集中が緩和され安定した接着性を示すことが明らかとなり、レーザー照射象牙質に適応可能なレジン接着システムとしてRMGIを用いることの有用性が判明した。

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1件)

富士谷盛興,成橋昌剛,千田 彰

レーザー処理された象牙質の性状変化と接着性修復材料の接着ならびにレーザーを用いた歯の硬組織の予防介入
接着歯学(31),31-38,2013

〔学会発表〕(計3件)

成橋昌剛,千田 彰

ナノHAPとCO₂レーザーを応用した歯根象牙質のアパタイトコーティングに関する基礎的研究第3報 至適照射条件の策定
第137回日本歯科保存学会・学術大会

鶴田あゆみ,成橋昌剛,千田彰

Er:YAGレーザー照射象牙質におけるレジン接着に関する研究第1報 レジン添加型グラ

スアイオノマーセメントの接着強さについて
第 138 回日本歯科保存学会・学術大会

向井佑,成橋昌剛,千田彰
CO₂ レーザー (波長 9.3μm) 照射された象牙
質の形態学的ならびに結晶学的変化と耐
酸性について
第 139 回日本歯科保存学会・学術大会

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕
出願状況 (計 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況 (計 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

成橋昌剛 (NARUHASHI MASAYOSHI)
愛知学院大学・歯学部・助教
研究者番号：449430

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：