

エルビウムヤグレーザーによる象牙質の蒸散

—蒸散深さと被照射面の状態—

岩井啓寿

日本大学大学院松戸歯学研究科
日本大学松戸歯学部う蝕抑制審美治療学講座
(指導：池見宅司教授)

抄録：Er : YAG レーザーのもつ波長は水の吸収スペクトルと一致していることから、水を含む被照射体の蒸散が可能であると報告されている。しかし、Er : YAG レーザーを使用した歯質の蒸散において、蒸散深さを予測することは困難で、照射出力やパルス数、照射時間、照射方法、先端チップの形状等だけでなく被照射体の性状によっても異なるものと考えられる。被照射体に関しては、口腔内環境において多くの水分を含有していると考えられる罹患象牙質に対して Er : YAG レーザーを使用することで選択的な除去の可能性が推測される。

そこで、本研究ではウシの歯を使用して、健全な象牙質と人工的に脱灰した象牙質を被照射体として、Er : YAG レーザーの照射出力の違いによる蒸散能と被照射面の性状変化を調べることを目的として実験を行った。蒸散深さに関しては、C400F の先端チップを使用して被照射面に接触照射し、総照射エネルギー量を同一にしたものと照射時間を一定にしたものについて検討した。そして、性状変化についてはエックス線回折にて調べ、さらに、被照射面の形態変化については SEM にて観察を行った。

本実験条件において、Er : YAG レーザーの象牙質蒸散深さは、総照射エネルギー量に依存しておらず、1 パルス当たりの照射エネルギー出力に左右されるものと考えられた。蒸散深さと照射エネルギー出力の関係は、健全象牙質において一次関数で良好な相関が得られ、蒸散深さの予測が可能と考えられた。また、水分を含んでいると考えられる脱灰象牙質では健全象牙質よりも蒸散深さが増加しており、56~112 mJ/pulse・10 sec で 240~290 μm 程度の蒸散深さが得られることから、蒸散深さの予測の一助となるものと考えられた。XRD では、両試料条件において、レーザー照射でハイドロキシアパタイトの結晶性の向上がみられた。SEM 所見から、同一の照射エネルギーでも象牙質表層の性状の違いにより被照射面は、おのおの異なった形態が観察された。

キーワード：Er : YAG レーザー、象牙質の性状、蒸散

緒言

今日、歯科臨床で応用されているエルビウムヤグ(以下、Er : YAG)レーザーは他のレーザーに比べて効率よく歯の硬組織削除ができ、患者に不快感を与えないことから¹⁾、主としてコンポジットレジン修復の際の窩洞形成に使用されている。歯質接着性を有するコンポジットレジン修

復では、定形的な窩洞形態を必要とせず、う蝕罹患部分を除去することでほとんどの窩洞形成が完了するといっても過言ではなく、このような材料学的な進歩に伴って、Minimal intervention の概念に沿った治療術式が試行されるようになり、レーザーによる硬組織削除が注目されるようになった。

Er : YAG レーザーのもつ波長は水の吸収スペクトルと一致していることから、水を含む被照射体の蒸散が可能

著者連絡先：岩井啓寿

〒271-8587 千葉県松戸市栄町西 2-870-1 日本大学松戸歯学部う蝕抑制審美治療学講座

TEL : 047-360-9360, FAX : 047-360-9361, E-mail : iwai.hiroto@nihon-u.ac.jp

受付：平成 18 年 12 月 1 日/受理：平成 18 年 12 月 7 日

であると報告されている^{2,3)}。本レーザーによる象牙質蒸散の特徴として、エアーピンや電気エンジンのような回転切削器具とは異なり、不快な振動や高音を発生することなく象牙質を削除できるだけでなく、臨床的にも無痛的な削除が可能であると報告され⁴⁻⁶⁾、その臨床応用の将来性が期待されている^{7,8)}。

しかし、Er:YAGレーザーを使用した象牙質の蒸散において、蒸散深さを予測することは困難で、1パルス当たりの照射エネルギー(以下、照射エネルギー)やパルス数、照射時間、照射方法、先端チップの形状等だけでなく、被照射体の性状によっても蒸散深さは異なるものと考えられる⁹⁾。特に、口腔内環境において多くの水分を含有していると考えられるう蝕象牙質は、脱灰によりコラーゲン線維やその他の有機質で覆われており、これら有機質成分の存在がEr:YAGレーザーによる蒸散深さにどのように影響しているかについて明らかにする必要がある。しかし、性状の異なる象牙質に対してEr:YAGレーザーを照射した際の照射エネルギーと蒸散深さの関係や、レーザー照射後の性状変化あるいは形態変化に関する基礎的な報告は見当たらない。

そこで、本研究では、ウシの歯を使用して健全象牙質と人工的に脱灰した象牙質試料を作製し、Er:YAGレーザー照射による蒸散深さを調べることを目的として実験を行った。さらに、被照射面に及ぼす影響を検討するために、被照射部の性状変化をX線回折(以下、XRD)にて分析し、形態変化については走査電子顕微鏡(以下、SEM)にて観察した。

材料および方法

1. 試料

抜去後、冷凍保管したウシ前歯唇側エナメル質を削除して象牙質の表面を平坦に研磨し、1 μ mのインペリアルラッピングフィルム(3M)にて最終研磨を行った。最終研磨表面に0.2%EDTAを1分間作用させ、15分間超音波洗浄して健全象牙質(以下、SD)試料とした。SD試料の近遠心側に1mm幅でネイルバーニッシュを塗布した後、10%に調整したギ酸(和光純薬)に37°Cで2時間浸漬し、1時間流水下にて十分に水洗して、人工脱灰象牙質(以下、DD)試料とした。

2. DD試料の表面レベルの確認と脱灰深さ

DD試料において、蒸散深さを測定する際の基準面とした試料の表面レベルの再現性を確認するために、ネイルバーニッシュを除去して近遠心的に切断し、切片を作製した。それらの切片を15分間放置して乾燥による収縮を確認し、切断面にう蝕検知液(カリエスチェック、日本歯科薬品)を塗布、水洗した。そして、水洗による加水

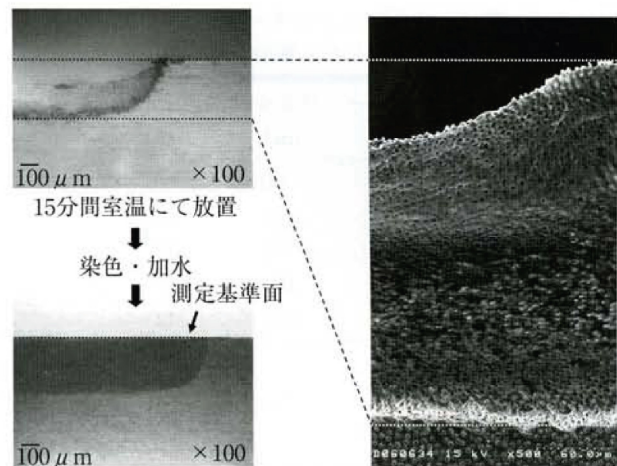


図1 脱灰試料における蒸散深さ測定の基準面

で脱灰象牙質の表面レベルがネイルバーニッシュにより確保された健全象牙質の表面レベル付近まで復元することを光学顕微鏡(デジタルマイクロスコプ GLB-B1500MBITa, Shimadzu)にて確認した。また、加水下での表面レベルの変化を15分間観察し、変化のないことも確認した。脱灰深さの計測は、脱灰部の画像をコンピュータに取り込み、距離計測ソフト Motic Images Plus 2.0S (Shimadzu)にてコンピュータ画面上で行った。試料は8試料とし、その平均値を求めた。さらに、SEM写真(500倍)3枚を合成して脱灰部を確認した(図1)。なお、SEM設定条件に関しては後述した。

3. Er:YAGレーザーの照射条件

Er:YAGレーザーは市販のアーウィンアドベールTM(モリタ)を使用した。照射エネルギーに関しては、パネル表示と導光ファイバー先端の照射エネルギーが同等となるようにパワーメーター(OPHIR, 30 A-P-SH-V1, Nova Display)にて調整した。先端チップにはC400Fを用い、そのエネルギー減衰率は未使用のチップ8個についてパワーメーターで測定した結果、 $44 \pm 2\%$ であった(以下、照射エネルギーは実測値で示す)。照射条件は5ppsにて、照射エネルギー28 mJ/pulse(パネル値50 mJ)、56 mJ/pulse(パネル値100 mJ)、84 mJ/pulse(パネル値150 mJ)、112 mJ/pulse(パネル値200 mJ)、140 mJ/pulse(パネル値250 mJ)の5条件とし、注水下(4 ml/min)にて、試料に対してチップ先端を垂直に当て、加重50 gで接触照射を行った。

総照射エネルギー量を一定にした実験では、上記5条件の総照射エネルギー量が8.4 Jとなるようにおのおの照射時間を設定して連続照射を行った(表1)。

照射時間を一定にした実験では、上記5条件の照射エネルギーにて10 secの連続照射を行った。

表 1 総照射エネルギー量を 8.4 J と一定にしたときの照射時間

照射エネルギー (mJ/pulse)	パネル値 (mJ)	照射時間 (秒)
28	50	60
56	100	30
84	150	20
112	200	15
140	250	12

4. 蒸散深さ測定

3の条件でレーザー照射した試料の蒸散深さは、ダブルスキャン高精度レーザー変位計(LT-9030 M, キーエンス)を用いて測定した。なお、脱灰試料の蒸散深さの基準面は脱灰表面レベルとした。試料数はおおのこの条件につき8試験体とし、その平均値を求め、蒸散深さと照射エネルギーの関係を求めた。

5. XRD 測定

照射時間を 10 sec と一定にし、照射エネルギーを 28, 84, 140 mJ/pulse とした条件でレーザー照射した SD 試料と DD 試料について、照射前後におけるアパタイトの結晶性変化を調べるために、回転対陰極型粉末 X 線回折装置(M18XHF²²-SRA, マックサイエンス)、管電圧 45 kV、管電流 200 mA にて測定した。同一試料の非照射面を対照とし、被照射部とのハイドロキシアパタイトの回折パターンの違いについて比較検討した。

6. SEM 観察

照射時間を 10 sec と一定にし、照射エネルギーを 28, 84, 140 mJ/pulse とした条件でレーザー照射した SD 試料と DD 試料について、エタノール昇順脱水後、t-ブチルアルコール置換を行い、フリーズドライヤー(ES-2030, 日立)で凍結乾燥を行った。蒸着はイオンスパッター(E-1030, 日立)を用い、15 mA で 5 分間白金パラジウムにて行った。SEM(S-2700, 日立)を使用して、加速電圧 15 kV、エミッション電流 11 μA、ワーキングディスタンス 50 mm とし、倍率は 150 と 1,000 倍で観察を行った。

結 果

レーザー照射から蒸散深さ測定に要した時間は 15 分以内で、その間の加水下における脱灰試料の表面レベルの変化は認められなかった。これにより、DD 試料においては脱灰表面レベルを蒸散深さ測定の基準面とした。なお、脱灰により表層部は数 μm 喪失していたが、本実験の蒸散深さ測定の精度には影響を及ぼさない範囲と考えられた。脱灰深さは、 $316 \pm 20 \mu\text{m}$ であった(図 1)。

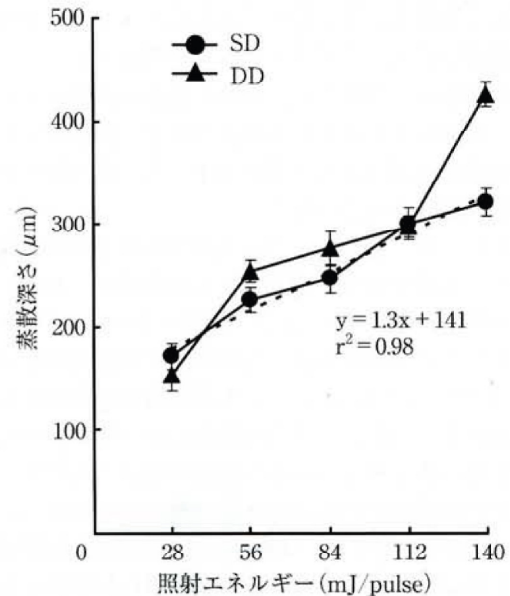


図 2 総照射エネルギー量を 8.4 J としたときの蒸散深さ

図 2 には、総照射エネルギー量を 8.4 J とした試料の蒸散深さを示す。SD 試料では照射エネルギーが高くなるに従って蒸散深さは直線的に増大し、回帰直線 $y = 1.3x + 141$ 、相関係数 $r^2 = 0.98$ と良好な相関が得られた。DD 試料では 28 mJ/pulse で $150 \mu\text{m}$ 程度であったが、56~112 mJ/pulse までは、約 250~300 μm と緩やかな上昇を示し、140 mJ/pulse では約 430 μm と深さが急増した。

図 3 には、照射時間を 10 sec と一定にした試料の蒸散深さを示す。SD 試料では照射エネルギーが高くなるに従って蒸散深さは直線的に増大し、回帰直線 $y = 1.4x + 119$ 、相関係数 $r^2 = 0.98$ と良好な相関が得られた。DD 試料では 28 mJ/pulse で $130 \mu\text{m}$ 程度であったが、56~112 mJ/pulse までは、約 240~290 μm と緩やかな上昇を示し、140 mJ/pulse では約 370 μm まで深さが急増した。

図 4 には、XRD による SD 試料の分析結果を示す。コントロールの非照射面に比べ、被照射面では全体的にハイドロキシアパタイトの結晶性の向上が認められた。

図 5 には、XRD による DD 試料の分析結果を示す。コントロールの非照射面では、ハイドロキシアパタイトの結晶性が不明瞭であったが、照射エネルギーが大きくなるに従って結晶性の向上が認められた。しかし、140 mJ/pulse においても SD 試料と同様の回折パターンは示されなかった。

図 6 には、SD 試料の SEM 観察の結果を示す。照射エネルギーが大きくなるほど照射痕の径が増大し、照射痕の辺縁が明瞭となる傾向を示した。全体的に管周象牙質と管間象牙質の境界が明瞭に観察された。28 mJ/pulse では、管間象牙質が強く蒸散されており、管周象牙質の

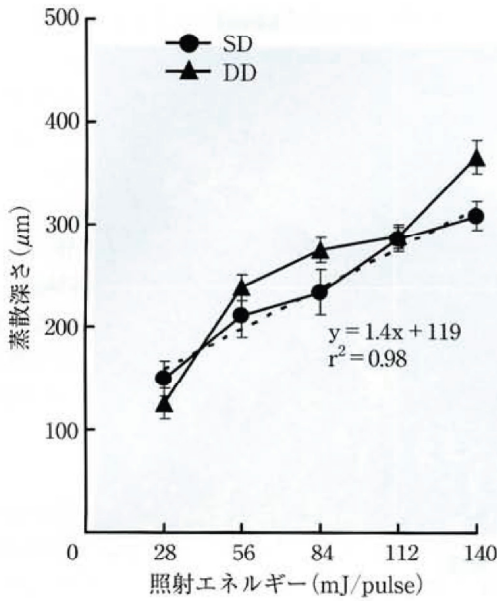


図3 照射時間を10 secと一定にしたときの蒸散深さ

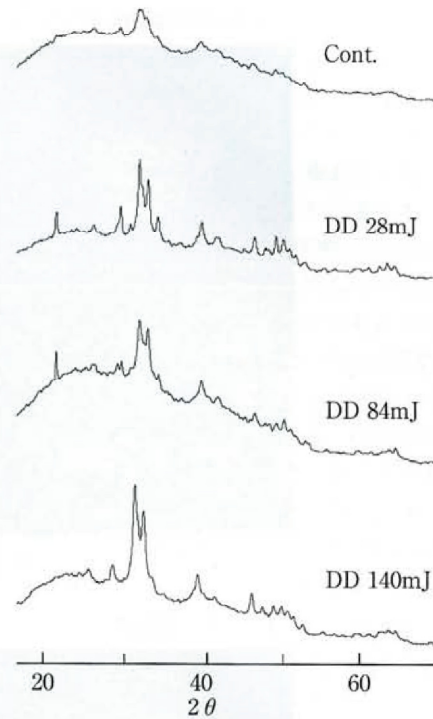


図5 脱灰象牙質のXRD

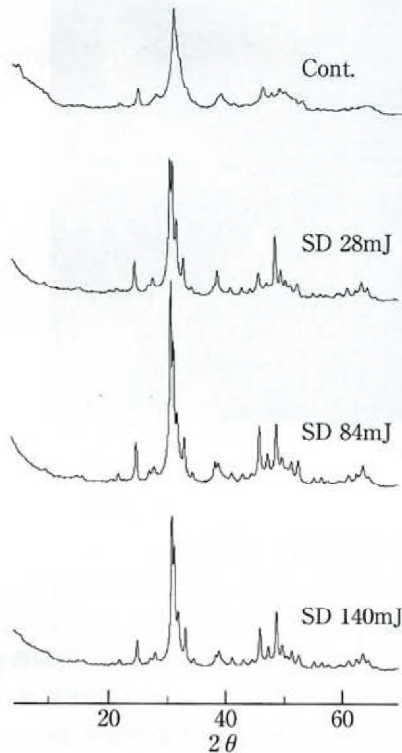


図4 健全象牙質のXRD

突出している像が観察された。84 mJ/pulseでは、管間象牙質の蒸散がより深く観察され、管周象牙質の突出が明確に認められた。140 mJ/pulseでは、管間象牙質と管周象牙質の蒸散に高低差のない像が観察された。

図7には、DD試料のSEM観察の結果を示す。SD試料と同様に、照射エネルギーが大きくなるほど照射痕の

径が増大し、照射痕の辺縁が明瞭となる傾向を示した。28 mJ/pulseでは、象牙細管は不明瞭で、スポンジ状の構造物が観察された。84 mJ/pulseでは、管間象牙質と管周象牙質の境界は不明瞭で、象牙細管は大きく開口しており、形態的に不揃いの細管開口部が観察されたが、部分的には象牙細管の認められないところも観察された。140 mJ/pulseでは、管間象牙質と管周象牙質、細管開口部は84 mJ/pulseと同様の形態が観察されたが、象牙細管はより明瞭となる像が観察された。

考 察

Er:YAGレーザーの波長は水の吸収波長に近似しており、水の存在下で効率よく歯質の削除ができる^{2,3)}とされ、軟組織の切除等に関する報告もある⁵⁾。口腔内の象牙質う蝕の表層は脱灰されており、その部分は無機成分が少なく、コラーゲン線維等の有機成分や唾液由来の水分が多く含まれていることが推察されるが、脱灰された象牙質に対する本レーザーの蒸散深さ等に関する基礎的な報告はない。

Er:YAGレーザーによる象牙質の蒸散で問題となるのは、蒸散深さを予測することが困難であることが挙げられる。臨床的には、Er:YAGレーザーは接触照射¹⁰⁾することが多く、非接触照射に比べて蒸散深さを感覚的に得

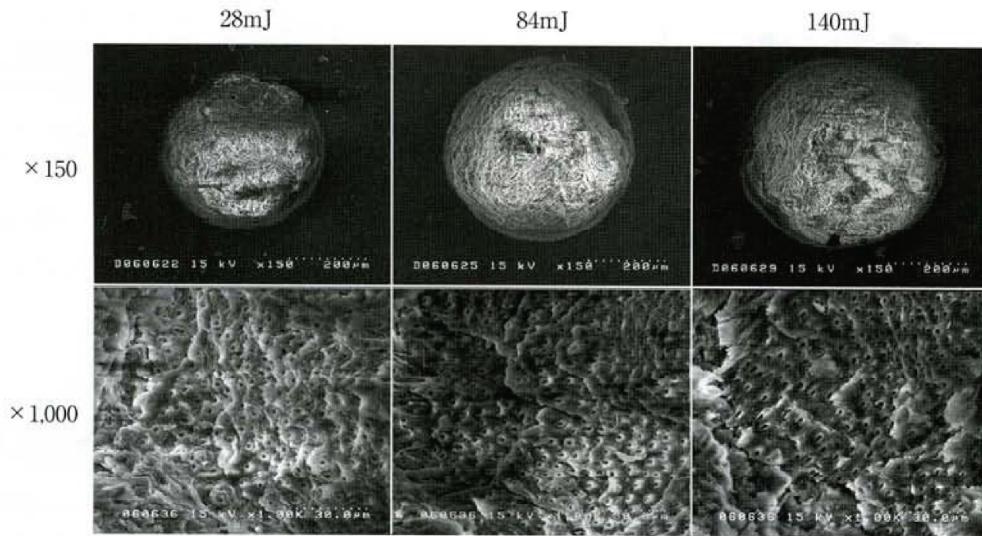


図6 健全象牙質のSEM像

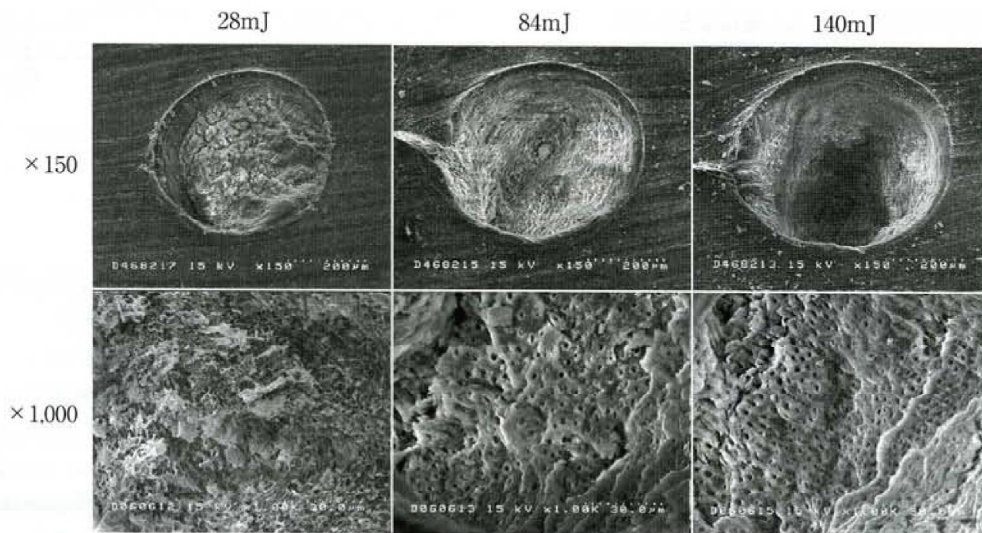


図7 脱灰象牙質のSEM像

られるという利点がある。しかし、接触照射後にどの程度の蒸散深さが得られるかを事前に予測することは困難である。そこで、本実験は、Er:YAGレーザーの照射エネルギーと象牙質蒸散深さの関係について調べること、被照射面の性状ならびに形態変化について検討することを目的として行った。

脱灰象牙質に対するEr:YAGレーザーの蒸散深さを測定する場合には、実験中の水分の蒸発に伴う脱灰コラーゲン層収縮を考慮しなければならず、本実験を行うにあたり、まず蒸散深さ測定の基準面の設定について、その再現性を確認した。その結果、ギ酸により脱灰された象牙質表面は、室温で放置すると経時的に収縮するが、水を加えることで脱灰直後の表面レベルまで回復した。したがって、蒸散深さ測定は加水下にて行い、脱灰直後の

表面レベルを基準面とした(図1)。

総照射エネルギー量を一定とした実験では、健全あるいは脱灰象牙質の蒸散深さは照射エネルギーに依存して増加する傾向を示し、健全象牙質では一次関数 $y=1.3x+141$ で良好な相関が得られた。脱灰象牙質では56~112 mJ/pulseの範囲で比較的安定した250~300 μm の蒸散深さが得られた(図2)。本実験条件では、蒸散深さが照射エネルギーに強く依存することから、照射時間をおおの10 secと一定にした条件で蒸散深さを調べた。その結果、総照射エネルギー量が異なるにもかかわらず図2と類似した結果が得られ、照射エネルギーが高くなるに従って蒸散深さの増加傾向^{11,12)}が認められた(図3)。その際の健全象牙質の蒸散深さと照射エネルギーとの関係は一次関数 $y=1.4x+119$ で良好な相関が得られ、総照射エネ

ルギー量を一定とした条件の回帰直線の傾きと近似していた。以上の結果から、照射エネルギーで蒸散できる健全象牙質が予測でき、照射エネルギーが低い場合には、照射時間を延長しても効率の良い蒸散が得られないことが示唆された。

脱灰象牙質に関して、56~112 mJ/pulse の範囲において、総照射エネルギー量を一定とした条件では250~300 μm 、照射時間を10 secとした条件では240~290 μm の蒸散深さとなることが示され、56~84 mJ/pulse では、健全象牙質よりも蒸散深さは増大していた。本実験条件で、総照射エネルギー量を一定にした条件と照射時間を10 secにした条件を比較してみると、蒸散深さは照射時間に比例しておらず、特に、脱灰象牙質の56~112 mJ/pulse では同程度の蒸散深さであった。これは、脱灰象牙質の表層に存在すると考えられるコラーゲン線維が、Er:YAG レーザー照射による熱¹³⁾で変性し、蒸散しにくくなったためと考えられた。

XRDによりハイドロキシアパタイトの結晶性の変化について検討した結果、健全象牙質ではレーザー照射により結晶性が向上する傾向¹⁴⁻¹⁸⁾を示した(図4)。これは、レーザー照射で生じる瞬間的な熱エネルギーによるハイドロキシアパタイトの再結晶化、あるいはレーザーで蒸散されやすい不純物が取り除かれたためと考えられた。脱灰象牙質に関しても、レーザー照射により結晶性は向上する傾向を示した。これは、低い照射エネルギーでは熱変性したコラーゲン線維等の有機質が多く存在しているものと考えられ、照射エネルギーを高くするに従って蒸散深さが深くなり、分析領域内に存在するハイドロキシアパタイトの比率が高くなるためXRDの回折パターンに変化を生じたものと思われた(図5)。また、140 mJ/pulse で得られた蒸散深さとXRDの回折パターンから推察すると、光学顕微鏡で得られた脱灰深さ以上に脱灰されているものと考えられた。

次に、照射時間を10 secと一定にした条件の照射後の形態変化についてSEMで調べた。その結果、健全・脱灰象牙質の両者において、照射エネルギーが高くなるほど照射痕の径が増大し、その辺縁が明瞭となる傾向¹⁹⁻²¹⁾を示した(図6, 7)。このことは、照射エネルギーを高くすることで、効率的な象牙質削除ができるものと考えられた。そして、健全象牙質の28 mJ/pulse と84 mJ/pulse では、管間象牙質の蒸散が管周象牙質より深く観察された。これは、管周象牙質に比べ管間象牙質のほうが石灰化の程度が低い²²⁾からであろうと想像された。一方、140 mJ/pulse では、管間象牙質と管周象牙質の境界は明瞭であるが、高低差のない像が観察され、高い照射エネルギーでは管周象牙質も同様に蒸散できるものと考えられた(図6)。

脱灰象牙質の28 mJ/pulse では、象牙細管は認められ

ず、スポンジ状の構造物が観察された。この構造物はコラーゲン線維が熱変性したものと考えられた²³⁾。84 mJ/pulse では象牙細管を認めたが、管間象牙質と管周象牙質の境界は不明瞭で、部分的にはコラーゲン線維が変性して象牙細管を覆っていると考えられる像も観察された。140 mJ/pulse では、象牙細管はより明瞭となったが、管間象牙質と管周象牙質の境界は不明瞭な形態が観察され、健全象牙質のレーザー照射面とは異なった形態を示していた。この結果をXRD所見と併せて考えると、その部は脱灰象牙質に相当するものと思われた(図7)。

本実験から、Er:YAG レーザーの先端チップにC400Fを用い、照射エネルギーを変化させて健全象牙質と脱灰象牙質の蒸散深さを検討した結果、健全象牙質に関しては照射エネルギーから蒸散深さを予測できる可能性が示された。一方、脱灰象牙質に関しては、56~112 mJ/pulse では10秒間の照射において240~290 μm と健全象牙質よりも深く、比較的安定した蒸散深さが得られたが、XRDならびにSEM所見により熱変性したと思われるコラーゲン線維等の存在が推測された。本実験条件ではその部の象牙質は脱灰された状態であり、臨床的にはこれら脱灰部分を残さずに除去しなければならないものと考えられた。

結 論

象牙質表層の性状がEr:YAG レーザーの蒸散深さと被照射面の性状ならびに形態に与える影響を検討し、以下の結論を得た。

1. 本実験条件では、象牙質の蒸散深さは総照射エネルギー量よりも、1パルス当たりの照射エネルギーに強く依存していることが示唆された。
2. SD試料における、照射エネルギーと蒸散深さの関係は、総照射エネルギー量を同一にした条件で回帰直線 $y=1.3x+141$ 、照射時間を10 secと一定にした条件で $y=1.4x+119$ となり、両者とも相関係数 $r^2=0.98$ と良好な相関を示した。
3. 照射時間を10 secと一定にした条件のDD試料では、56 mJ/pulse 以上の照射エネルギーで蒸散深さが急増して112 mJ/pulse までは約240~290 μm の深さを示し、その間の照射エネルギーでは安定した蒸散深さが得られるものと考えられた。蒸散深さは56~84 mJ/pulse の範囲でSD試料よりも増大していた。
4. XRDの結果から、SD、DD試料ともにレーザー照射により結晶性が向上する傾向を示した。
5. SEM所見では、SD試料において、照射エネルギーの違いにより管周象牙質と管間象牙質の蒸散の違いが観察された。DD試料において、28 mJ/pulse ではスポンジ

様の構造物が観察され、84 mJ/pulse では熱変性したと考えられるコラーゲン線維様物質が部分的に表面を覆っていた。140 mJ/pulse では象牙細管はより明瞭となったが、管間象牙質と管周象牙質の境界は不明瞭な形態が観察された。

以上のことから、Er: YAG レーザーによる象牙質の蒸散深さは1パルス当たりの照射エネルギーに強く依存しており、健全象牙質において照射エネルギーと蒸散深さの関係は良好な回帰直線が得られ、蒸散深さを予測する一助となるものと考えられた。また、脱灰象牙質では56~112 mJ/pulse の範囲で約240~290 μm の蒸散深さとなることが示された。そして、56~84 mJ/pulse の範囲でSD試料よりも蒸散深さが増大していたが、XRDならびにSEM所見により熱変性したと考えられるコラーゲン線維等の存在が推測された。

謝 辞

本稿を終えるに臨み、終始ご懇篤なるご指導、ご校閲を賜りました日本大学松戸歯学部う蝕抑制審美治療学講座 池見宅司教授に対し深甚の謝意を表すとともに、ご協力を賜った教室員各位ならびに株式会社サンギ 石崎 勉様、川又寛之様に対し深く感謝いたします。また、ご助力を賜りました佐藤勇教授をはじめとする日本大学量子科学研究所(LEBRA)の先生方に篤く御礼申し上げます。

本研究の一部は、文部科学省学術フロンティア推進事業の補助の下に行われた。

文 献

- 滝澤雅一: Er: YAG レーザーによる歯牙硬組織切削に関する検討; 日歯保存誌 39, 1089-1128, 1996.
- 篠木 毅: Er: YAG レーザー(アーウィン)を使用した例; Dental Diamond 9, 34-38, 1998.
- 熊崎 護: Er: YAG レーザーおよび分子振動レーザーによる歯牙硬組織切削について; 日レ医誌 20, 55-61, 1999.
- 熊崎 護: レーザーによるう蝕治療; 歯医学誌 15, 112-120, 1996.
- 渡辺 久, 青木 章, 安藤嘉則, 石川 烈, 鈴木基之, 小杉 禎久, 星 政和, 長谷川紘司, 石川達也, 藤井辨次: Erbium: YAG レーザーの軟組織外科手術, スケーリングおよび窩洞形成への応用と臨床評価; 日歯保存誌 38, 1168-1179, 1995.
- Kumazaki M, Toyoda K: Removal of hard dental tissue (Cavity preparation) with the Er: YAG laser; 日レ歯誌 6, 16-24, 1995.
- 篠木 毅: Er: YAG レーザーの硬組織への応用; 日レ歯誌 14, 139-143, 2003.
- 滝澤雅一, 青木 聡, 高瀬保晶, 石川達也, 熊崎 護, 井上昌孝, 善入邦男, 藤井辨次, 長谷川紘司, 石川 烈: Er: YAG Laser の窩洞形成への応用と臨床評価; 日歯保存誌 38, 1035-1047, 1995.
- Yamazaki K, Eguro T, Maeda T, Tanaka H: Output energy changes of quartz contact probe for Er: YAG laser with tooth ablation; Dent Mater J 22, 292-300, 2003.
- 高野達治: Er: YAG レーザーの照射面形態および成分の変化について 第2報 パルス幅の影響について; 日歯保存誌 40, 1354-1364, 1997.
- 岩田有弘, 大前正範, 谷本啓彰, 三原拓也, 吉川一志, 井上昌孝, 井上正義: Er: YAG レーザー照射歯質に関する研究(第一報) レーザー照射出力と象牙質の切削効率について; 日歯保存誌 44, 272-278, 2001.
- 石丸和俊, 高野達治, 浅野倉栄, 日下輝雄, 陳 昭清, 榊原康智, 高水正明, 後藤 繁, 河野 篤: Erbium: YAG レーザーの歯質への影響; 日歯保存誌 39, 1229-1239, 1996.
- 滝澤雅一, 天谷哲也, 春山親弘, 亀山敦史, 高瀬保晶, 平井義人, 熊崎 護: Er: YAG レーザー照射時の注水量が象牙質切削に及ぼす影響; 日レ歯誌 12, 84-91, 2001.
- 鈴木秀敏, 寒河江登志朗: エナメル質結晶解析に関する顕微フーリエ変換赤外分光分析法と微小部 X 線回折法の二次元的微小領域分析への応用; 日大口腔科学 29, 101-117, 2003.
- 岩田有弘: Er: YAG レーザー照射歯質に関する研究; 日歯保存誌 45, 147-158, 2002.
- 青木秀希, 加藤一男, 蛭原正臣, 井上正秀: アパタイトの歯科材料への応用に関する研究(第一報) 合成アパタイトの焼結体一; 歯理工誌 17, 200-205, 1976.
- 粟津邦男: 歯科レーザーと生体硬組織の相互作用; 日レ歯誌 14, 3-7, 2003.
- 峯 篤史: Er: YAG レーザー照射歯質被着体の性質と接着に関する研究; 岡山歯誌 22, 123-137, 2003.
- Ishikawa I, Aoki A, Watanabe H, Yamada T, Otsuki M, Ando Y, Arakawa S, Tagami J, Yamamoto H: Erbium: YAG laser, promising procedure for caries treatment; Dentistry in Japan 33, 165-169, 1997.
- 関根義朗: Er: YAG レーザーによる歯牙硬組織切削の病理組織学的研究; 日歯保存誌 38, 211-233, 1995.
- 川端明美, 山崎一郎, 宮沢裕夫: 幼若歯に対する Er: YAG レーザーの照射影響—第2報 照射面 SEM 観察およびラット歯髓の病理組織学的変化—; 小児歯誌 37, 782-797, 1999.
- 石丸和俊, 高野達治, 浅野倉栄, 日下輝雄, 小澤正明, 薄井秀樹, 榊原康智, 高水正明, 河野 篤: Erbium: YAG レーザーの歯質への影響—形成された窩洞表面の形態について—; 鶴見歯学 22, 175-184, 1996.
- 山田啓司, 近川真一, 細川 晃, 上田隆司: レーザー歯科治療における分光分析による熱損傷モニタリング; 日レ歯誌 15, 1-5, 2004.

Dentin Ablation by Er: YAG Laser

—Study on the Ablated Depth and Dentin Surface Condition—

IWAI Hirotooshi

Nihon University Graduate School of Dentistry at Matsudo
Department of Dental Caries Control and Aesthetic Dentistry, Nihon University School of Dentistry
(Director: Prof. IKEMI Takuji)

Abstract: Since the wavelength of Er: YAG laser closely matches the absorption wavelength of water, it has been reported that dentin for irradiation which contains water could be ablated by the laser. However, it is difficult to estimate the depth of dentin to be ablated by Er: YAG laser because it is considered to depend not only on the irradiation's energy output, pulse count, duration, method and shape of the tip, but also the properties of the dentin for irradiation. As for dentin for irradiation, it seems possible that affected dentin which may contain much water in the oral environment can be selectively and successfully removed by using Er: YAG laser.

In this study, therefore, the ablating capacity of Er: YAG laser of different irradiation energies was examined in relation to the change in surface layer properties of test dentin for irradiation, that is, sound bovine dentin and artificially decalcified dentin. The ablated depth was determined after the test dentin surface was contact-irradiated by using the tip of a C400F at the same total energy and duration of irradiation. The influence of laser irradiation was examined by X-ray diffraction analysis (XRD), and the changed surface layer properties of the test dentin were observed by scanning electron microscope (SEM).

The depth of dentin ablated by Er: YAG laser was found not to depend on the total amount of energy but was influenced by the energy output per pulse under the present experimental conditions. A good linear correlation was observed between the ablated depth and the energy output in sound dentin, suggesting that it may be possible to predict the depth to be ablated. In the case of decalcified dentin which seems to contain much water, the ablated depth tended to be greater compared with sound dentin. The depth of 240-290 μm was observed at 56-112mJ/pulse \cdot 10 sec, the level of which may serve as a predictor of the depth to be ablated. XRD findings of both dentin conditions indicated that a clearer structure of hydroxyapatite crystal could be obtained by Er: YAG laser irradiation. From SEM findings, various ablated forms were observed to be caused by the laser irradiation depending on the different conditions of the dentin surface layer, even though the energy output was the same.

Key words: Er: YAG laser, Property of dentin, Ablation