

論文の内容の要旨

氏名：那 須 大 介

博士の専攻分野の名称：博士（歯学）

論文題名：Er:YAG レーザーの照射条件が歯科用セメントの蒸散に及ぼす影響

歯科領域においてレーザーは、軟組織への外科処置、歯内療法、インプラント周囲炎など様々な分野で応用されており、硬組織に対しては、高速切削機器にかわる切削法としても応用が検討されている。Er:YAG レーザーの発振波長は2.94 μm であり、水の吸収ピークにほぼ一致する。そのため水分が照射表面で容易に蒸散されることから、注水を併用することにより被照射体の深部にまで熱影響を与えず、エナメル質や象牙質などの硬組織の蒸散に有効性が高いと報告されている。またレーザー照射による蒸散時の騒音や振動もタービンなどの高速切削機器より少なく、歯科治療におけるストレスの軽減につながると報告されている。

通常、歯内療法は一回の処置で終わることが少なく、患歯の状態によって治療回数が増えることがしばしばあり、治療ごとに歯科用セメント（以降セメントとする）による仮封やその除去が必要となる。Er:YAG レーザーの歯科治療への応用の一つとして歯科用材料の蒸散が考えられ、セメントをレーザーによって容易に除去できれば、振動に対するストレスを与えずに治療を進めることができる。Er:YAG レーザーの蒸散効率、設定条件により大きく異なることから、臨床応用に際しては適切な蒸散条件についての基礎データの収集が重要である。しかし、Er:YAG レーザーによってセメントの蒸散を行う際の適切な蒸散条件やセメントの形状変化について不明な点が多い。そこで今回、暫間充填や裏層などに使用されるセメントに対してEr:YAG レーザーを用い、蒸散の至適条件や残存セメントの形状変化を明らかにすることを目的に研究を実施した。

レーザー装置は、波長2.94 μm のEr:YAG レーザーであるErwin AdvErL（株式会社モリタ製作所、京都）を使用した。設定条件においては制限があり、繰り返しパルス1~10 ppsでは出力30~350 mJ、20 ppsでは30~150 mJ、25 ppsでは30~70 mJとされている。今回の実験では、レーザー照射条件として出力は150 mJ~350 mJ、繰り返しパルスは10~20 pps、注水量は0~8.0 ml/minにて行った。

被験用セメントとして、暫間充填や裏層などに使用される使用頻度の高い、水硬性セメントのキャビトンEX®（株式会社ジーシー、東京、以降HCとする）、酸化亜鉛ユージノールセメントのネオダイン α ®（ネオ製薬株式会社、東京、以降ZOECとする）、ガラスイオノマーセメントのベースセメント®（株式会社松風、京都、以降GICとする）の3種類を用いた。

被験試料用ホルダーには、アクリル角柱ならびにアクリル円柱（アクリサンデー株式会社、東京）の2種類を使用した。アクリル角柱は、幅10.0 mm×10.0 mm、高さ8.0 mmの中央部に内径2.5 mm、深さ3.0 mmのくぼみを形成し、HCは製造者指示に従った操作方法で、ZOECの粉液比は、粉末0.5g、液0.1 ml、練和時間1分、GICの粉液比は、粉末2.6 g、液1.0 g、練和時間1分の条件にて各セメントを充填した。アクリル円柱は、外径10.0 mm、高さ8.0 mmの中央部に内径7.0 mm、深さ8.0 mmの空洞を形成した。充填したセメントは、硬化後37°Cの水中に一週間浸漬し、その後、耐水研磨紙2000番まで順次研磨して実験に用いた。また、試料数は実験に応じて5または15とした。

まず、コンタクトチップの先端径の違いによる蒸散時間の測定についてアクリル角柱に充填したHC、ZOEC、GICを被験試料として実験を行った。被照射体に対し1.0 mmの距離から垂直にレーザーを照射した。照射条件は、コンタクトチップC400F（先端径400 μm ）およびC600F（先端径600 μm ）、注水量4.0 ml/min、出力350 mJ、繰り返しパルス10 ppsとした。蒸散時間は、照射開始から充填したセメントが蒸散されてなくなるまでの時間とし、ストップウォッチを用いて計測した。各セメントともC600FよりもC400Fで蒸散時間が短く、すべてのセメントにおいて有意差が認められた。

次に、注水量の違いによる蒸散時間の測定についてアクリル角柱ホルダーに充填したHCを被験試料として実験を行った。被験試料に対し1.0 mmの距離から垂直にレーザーを照射した。照射条件は、コンタクトチップC400F、注水量0、2.0、4.0、6.0、8.0 ml/min、出力150 mJ、250 mJ、繰り返しパルス10 ppsとした。蒸散時間は、照射開始から充填したセメントが蒸散されてなくなるまでの時間とした。蒸散時間は無

注水で、出力 150 mJ では 95 ± 5.3 秒、出力 250 mJ では、 60 ± 4.6 秒と最も短く、出力 150 mJ、250 mJ とともに注水量の増加に伴い蒸散時間は長くなった。150 mJ では、注水量 4.0 ml/min と 6.0 ml/min 間、250 mJ では、注水量 6.0 ml/min と 8.0 ml/min 間以外で蒸散時間に有意差が認められた。

続いて、レーザー照射による各セメントの温度変化の測定についてアクリル円柱に充填した HC、ZOEC、GIC を被験試料として実験を行った。被験試料より 1.0 mm の距離から垂直に 30 秒間レーザーを照射した。照射条件は、コンタクトチップ C400F、注水量 0、2.0、4.0、6.0、8.0 ml/min、出力 250 mJ、繰り返しパルス 10 pps とした。照射されたセメントの中央部と辺縁部の温度変化を Neo Thermo TVS-700（日本アビオニクス株式会社、東京）にて測定した後、熱画像解析ソフト PE Professional（日本アビオニクス株式会社、東京）を使用し、照射中心部と辺縁部の温度変化を測定した。照射中心部では、レーザー照射に伴い、無注水ですべてのセメントにおいて 100°C 以上の著しい温度上昇が認められたが、注水量 2.0 ml/min 以上では温度上昇が抑えられた。また注水量 8.0 ml/min では、HC、GIC において温度上昇は 10°C 以下に抑えられたが、ZOEC では、 10.8°C まで上昇した。有意差は すべてのセメントで 0 ml/min と 2.0、4.0、6.0、8.0 ml/min 間に認められた。照射辺縁部では、無注水下で HC の温度上昇は 65°C 程度であったが、ZOEC、GIC において 100°C 以上の温度上昇が認められた。また、注水量 4.0 ml/min 以上で、HC、ZOEC、GIC のすべてにおいて温度上昇は 10°C 以下に抑えられた。有意差は、HC、ZOEC では、0 ml と 2.0、4.0、6.0、8.0 ml/min 間に認められ、GIC では 0 ml と 2.0、4.0、6.0、8.0 ml/min 間、2.0 ml と 6.0、8.0 ml/min 間に認められた。

次に出力、繰り返しパルスによる蒸散時間の測定についてアクリル角柱に充填した HC を被験試料として実験を行った。被験試料より 1.0 mm の距離から垂直に 30 秒間レーザーを照射した。蒸散条件は、コンタクトチップ C400F、注水量 4.0 ml/min、出力 150 mJ、300 mJ、繰り返しパルス 10 pps、20 pps とした。蒸散時間は、照射開始から充填したセメントが蒸散されてなくなるまでの時間とした。出力 150 mJ、繰り返しパルス 20 pps と比較した場合、出力 300 mJ、繰り返しパルス 10 pps での蒸散時間が短く、繰り返しパルス数を倍増するよりも、出力を倍増した場合に蒸散時間はより短縮した。すべての設定条件間で有意差が認められた。

次にレーザー照射によるセメントの形状変化と蒸散量の測定について 3 項目に分けて実験を行った。

1) 移動照射によるセメントの形状変化について、アクリル円柱に充填した HC、ZOEC、GIC を被験試料として実験を行った。電動ステージにより 1.0 mm/s のスピードで試料を水平に移動させながら、コンタクトチップ C400F にて被験試料より 1.0 mm の距離からレーザーを垂直に 3 秒間照射した。照射条件はコンタクトチップ C400F、注水量 4.0 ml/min、出力 250 mJ、繰り返しパルス 10 pps とした。照射したセメントの蒸散面の形状変化をレーザー顕微鏡 VK-8500（KEYENCE 製、東京）を用いて観察し、画像計測、形状解析アプリケーション VK-H1W（KEYENCE 製、東京）、線幅自動計測アプリケーション VK-H1A7（KEYENCE 製、東京）を用いて解析した。

HC では、照射底面に向かい深くなだらかな蒸散が認められた。ZOEC では、照射部から照射辺縁部にかけて隆起を呈しており、照射底面は粗造であった。GIC では、照射表面は全体的に変性層が観察された。

2) 固定照射によるセメントの形状変化についてアクリル円柱に充填した HC、ZOEC、GIC を被験試料として実験を行った。被験試料より 1.0 mm の距離から、セメント表面中央部に垂直に 30 秒間レーザーを照射した。照射時間以外の照射条件は 1) と同様に設定し、セメントの蒸散面の形状変化を観察した。

HC では照射中央部に深い蒸散が認められた。ZOEC では、照射中央部が蒸散されたが底面は粗造であった。GIC では、照射表面に変性層が認められたが、蒸散量は少なかった。

3) 固定照射によるセメントの蒸散量の測定について、2) と同様に設定し、レーザーを照射したセメントの蒸散面の蒸散深さと蒸散体積を解析アプリケーションを用いて測定した。

蒸散深さ、蒸散体積ともに HC、ZOEC、GIC の順で小さくなり、各セメント間で有意差を認めた。

以上の結果より、Er:YAG レーザーによって各セメントを蒸散させることが可能であると考えられた。臨床応用に際しては、熱影響や蒸散効率を考慮し、使用するセメントの種類に応じて、コンタクトチップや注水量、出力、繰り返しパルスなどの照射条件を選択することが重要と考えられた。