

歯科用高出力レーザーの透過率に関する研究

学位論文内容の要旨

緒言

歯科矯正治療においては、歯の移動を速やかに行う事が重要であることから、レーザーによる組織の活性化という着想に至った。すなわち、表面性状に影響を与えずに、有効なエネルギー量のレーザー照射を行い、歯根膜や歯槽骨といった深部の組織のリモデリングを活性化し、歯の移動を速やかに行うという考えである。このためには深部にエネルギーを効率的に到達させやすい高出力レーザーが望ましいが、高出力レーザーについては、組織活性はもとより、組織透過率そのものを検討した報告が少ない。今回、各種歯科用高出力レーザーの組織透過率を明確にすることを目的として、規格化された工業製品である人工真皮を用いて検討した。

資料と方法

資料にはコラーゲン製人工真皮（テルダーミス テルモバイオ社製 以下人工真皮）を用いた。一方、歯科用高出力レーザー発生装置としては半導体レーザー、Nd-YAG レーザー、Er-YAG レーザーおよび炭酸ガスレーザーを用いて下記の検討を行った。

実験 1. 照射による臨界値の測定

レーザー光を所定の条件で照射した際に、人工真皮の表面性状に変化が無く、最も高い出力かつ最も近い距離が得られる状態を臨界値と定義し、各レーザー発生装置の臨界値を求めた。照射時間は 180 秒とし、レーザー照射器先端から人工真皮までの距離を 40mm～10mm まで 10mm 間隔で、臨界値を求めた。なお 10mm の距離で最高出力にて照射した際にも、臨界値に至らない場合は 1～5mm の距離で同様の実験を繰り返した。

実験 2. 各種レーザーの人工真皮透過率測定

臨界値のデータをもとに人工真皮の透過率計測を行った。出力の検出にはサーモパイルセンサー方式レーザーパワーメーター(30A-SH OPHIR 社製 エルサレム)を用いた。透過率の計測は人工真皮の表面から 40mm (検知面から 50mm) の部位にレーザー照射器先端が来るように設定して行った。基準値とし

て、レーザー照射器先端を検知面から 50mm に設置し人工真皮の無い状態でレーザー出力を計測した。出力条件は 3.5W (Nd-YAG レーザーのみ 3.6W) パルス波とした。パルス波の Duty 比は各レーザー発生装置で可及的に近い値とした。計測は 3 回行い平均した。これらの各種レーザー光における透過率について一元配置分散分析を行った後、Tukey による多重解析を行った。

実験 3. 半導体レーザーについての検討

1) レーザー照射器先端と検知面の距離によるレーザー強度の変化に関する検討

レーザー照射器先端と検知面の距離を 10mm から 70mm まで各 10mm 間隔で変化させ、レーザー強度を計測した。出力については連続波とパルス波を用い、両者とも 1.0~4.0W まで各 1.0W 間隔にて 3 回計測した。算出された連続波とパルス波の両者におけるレーザー強度を t 検定にての検定した。

2) レーザー照射器先端と人工真皮の距離による透過率の差異に関する検討

レーザー照射器先端と人工真皮の距離の違いによる透過率に対する影響を検討した。出力については 1) と同様の条件とした。基準値は人工真皮を介在させない状態で測定した。透過率は測定された計測値の基準値に対する百分率として算定し、3 回計測して平均値を用いた。これらの数値について一元配置分散分析を行い検定した。

結果

実験 1. 高出力レーザー発生装置による臨界値の測定

半導体レーザーでは距離を 1mm とした場合は 4.5W が臨界値であるが、距離が 2mm においては最大出力である 20W においても表面性状の変化は見られなかった。Nd-YAG レーザーでは距離 1mm の時 4W で表面性状は変化せず、5mm の距離では最高出力である 7.2W でも表面性状が変化しなかった。Er-YAG レーザーでは 0.5W 10mm で表面性状が変化せず、40mm の距離で最高出力である 3.5W でも表面性状の変化は見られなかった。炭酸ガスレーザーは最少出力である 1.0W の距離 10mm が臨界値であった。これらの結果より人工真皮の表面性状に影響を与えず、最も高出力で最も近くからの照射が可能であったのは半導体レーザーであった。

実験 2. 各種レーザー光の人工真皮透過率測定

透過率が高かったのは、半導体レーザーで約 24%、次いで Nd-YAG レーザーで約 18%、さらに、炭酸ガスレーザーレーザー 2~3% と Er-YAG 2~3% の順であった。これより、Er-YAG レーザーと炭酸ガスレーザーはともに透過率が低かった。一方、半導体レーザーの透過率は他の 3 つの透過率に対して有意に大きく、Nd-YAG レーザーも Er-YAG レーザー、炭酸ガスレーザーに対して有意に大きかった。Er-YAG レーザーおよび炭酸ガスレーザー間においては有意差はなかった。

実験 3. 半導体レーザーについての検討

1) レーザー照射器先端と検知面の距離によるレーザー強度の差異に関する検討
半導体レーザーは連続波、パルス波のどちらであっても約 40mm の距離で 50%程度の減弱が認められる事がわかった。また、距離によるレーザー強度の差異について連続波とパルス波との間に有意な差は認められなかった。

2) レーザー照射器先端と人工真皮の距離による透過率の差異に関する検討

透過率は人工真皮からの距離あるいは連続波かパルス波かによらずすべて 22.82～25.60%であった。連続波とパルス波の間、またそれぞれにおける異なる距離の結果間には有意差はなかった。

考察

高出力レーザー発生装置による臨界値の測定においては、Er-YAG レーザーおよび炭酸ガスレーザーの両者は表面性状の変化をおこしやすいが、半導体レーザーおよび Nd-YAG レーザーは、近距離でも表面性状に変化を与えにくかった。これは熱や他の物理的要因による要因が強いためと考えられる。一方、各種レーザー光の人工真皮透過率測定結果から、今回の実験結果はこれまでの実験者が行った実験との間に違いが見られた。実験方法等が異なるため、直接比較はできないものの、一般に透過率には、試料の材質のみならず照射するレーザー光の波長や被照射体の色調および水分量などが影響を与えるといわれている。これより、レーザー発生装置の特徴や人工真皮の特徴が要因として考えられる。なお、これまで工業製品を用いた同種の実験はないが、構造が比較的均質である等の利点から、人工真皮は条件設定を一定にできるという優れた特長を有すると考えられる。

次に半導体レーザーについての検討では、レーザー照射器先端と検知面の距離によるレーザー強度の変化に関する検討から、連続波かパルス波かによらず距離により一定の減弱が見られた。本レーザー発生装置は、レーザー光が拡散されて照射されるタイプのレーザー照射装置であることが、このような結果を生じた大きな要因と考えられる。また、レーザー照射器先端と人工真皮の距離による透過率の差異に関する検討結果から、人工真皮の透過率は、発振方式（連続波およびパルス波）、出力・距離を問わず、ほぼ一定の値を示した。すなわち、一定の距離と出力を設定すると、対象となる部位に到達するレーザー光の量は確定出来ることが示された。これらから被照射体に与える影響や効果を考慮した照射条件であるパワー密度を決定する事が可能であると考ええる。

以上の結果より、組織深部へのレーザー光の透過を考えると、半導体レーザーが最も安全に、なおかつ効率的にレーザー光を到達させることができる可能性が示された。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 飯 田 順一郎

副 査 教 授 中 村 太 保

副 査 教 授 亘 理 文 夫

学 位 論 文 題 名

歯科用高出力レーザーの透過率に関する研究

審査は審査員全員出席の下で行った。まず申請者に提出論文要旨の説明を求めるとともに、適宜提出論文の内容と関連分野に関する説明を求め、その後、口頭試問の形式でその内容および関連分野について試問した。まず申請者から以下の説明がなされた。

【緒言】 歯科矯正治療では、歯の移動を速やかに行う事が重要である。表面性状に影響を与えずに、深部歯周組織のリモデリングの活性化に有効なエネルギー量のレーザー照射を行う事が出来れば、歯の移動を速やかに行える。本研究では人工真皮を組織材料に、エネルギー量の高い各種歯科用高出力レーザーの照射が表面性状に与える影響と組織透過率、半導体レーザーの距離による減弱と透過率について検討する事を目的とした。

【試料と方法】 試料にはコラーゲン製人工真皮を用いた。歯科用高出力レーザー発生装置として半導体(波長 805nm)、Nd-YAG(1.06 μ m)、Er-YAG(2.94 μ m)および炭酸ガス(10.6 μ m)の各レーザー光を用いて以下の検討を行った。

実験 1. [臨界値の測定] 人工真皮の表面性状が変化しない最大のエネルギー条件(臨界値)を求めるため、レーザー照射器先端から人工真皮までの距離を変化させ、各々180秒間照射して表面性状を実態顕微鏡で観察した。

実験 2. [各種レーザーの人工真皮透過率測定] 人工真皮の表面から40mmの部位にレーザー照射器先端が来るように設定し、透過率を計測した。出力条件は3.5~6Wパルス波とし、3回計測し平均した。得られた各種レーザー光の透過率について一元配置分散分析の後、Tukeyによる多重解析を行った。

実験 3. [半導体レーザーについての検討]

1) レーザー照射器先端と検知面の距離によるレーザー強度の変化に関する検討

計測する距離を10mm~70mm各10mm間隔で変化させレーザー強度を計測した。1.0~4.0Wまで各1.0W間隔で3回計測し、連続波とパルス波におけるレーザー強度をt検定した。

2) レーザー照射器先端と人工真皮の距離による透過率の差異に関する検討

出力は1)と同様の条件とした。基準値は人工真皮を介在させない状態で測定し、透過率

は測定された計測値の基準値に対する百分率として算定し 3 回計測して平均値を用いた。結果について一元配置分散分析を行い検定した。

【結果】実験 1. [臨界値の測定] 半導体では 4.5W で距離 1mm、Nd-YAG では 4.0W で距離 1mm、Er-YAG では 0.5W で 10mm、炭酸ガスは最少出力である 1.0W で距離 10mm、がそれぞれの臨界値であった。

実験 2. [人工真皮透過率] 透過率が高い順に、半導体で約 24%、Nd-YAG で約 18%、炭酸ガス 2~3%、Er-YAG 2~3%であった。検定の結果、半導体の透過率は他の 3 つの透過率に対して有意に大きく、Nd-YAG も Er-YAG、炭酸ガスに対して有意に大きかった。Er-YAG および炭酸ガスの間では有意差はなかった。

実験 3. [半導体レーザーについての検討]

1) レーザー照射器先端と検知面の距離によるレーザー強度の差異に関する検討

連続波、パルス波の両方で 40mm の距離で約 50%程度の減弱が認められ、検定の結果連続波とパルス波との間に有意な差は認められなかった。

2) レーザー照射器先端と人工真皮の距離による透過率の差異に関する検討

透過率は人工真皮からの距離、連続波かパルス波かによらず全て 22.8~25.6%であった。連続波とパルス波の間、またそれぞれにおける異なる距離の結果間には有意差はなかった。

【考察および結論】組織深部へのレーザー光の透過を考えると、半導体が最も安全に、なおかつ効率的にレーザー光を到達させることができる可能性が示された。

以上の論述に引き続き、以下の項目を中心に口頭試問を行った。

1. レーザーを使用する目的について
2. 各レーザーの波長と効果の相違について
3. レーザーの水による吸収と拡散について
4. 今後の研究の展望について。

歯科矯正治療においては、矯正力により歯周組織の改造現象を惹起して歯を移動させ不正咬合の治療を行うが、その組織反応をより活性化させれば歯の移動速度の亢進につながり、治療期間の短縮につながる。申請者はこの組織活性化の方法の一つとして高出力レーザーの照射に着目し、各種レーザー光の組織透過性に関する基礎的データを提示した。その結果、半導体レーザーが最も組織に障害を与えることなく、透過性が高いことを示した。この成果は今後の歯科矯正学の発展のために重要な情報を与えたものと高く評価できる。加えて、試問に対する回答は適切なものであり、申請者は本研究に直接関係する事項のみならず、関連分野における基礎的な広い学識を有していると認められた。また、本研究を基にして今後益々発展させて行く可能性があるものと評価された。よって審査担当者全員は、申請者は博士（歯学）の学位を授与される資格を有するものと認めた。