CO₂ レーザの歯科口腔外科における防護安全対策Safeguards against CO₂ Laser Irradiation
in Dentistry○西川宏司¹⁾, 長澤明範²⁾, 加藤一一³⁾, 平柄喜章⁴⁾, 川原恒夫⁴⁾, 渥美和彦¹⁾Kouji NISHIKAWA¹⁾, Akinori NAGASAWA²⁾, Kazuichi KATŌ³⁾,
Yoshiaki HIRATSUKA⁴⁾, Tsuneo KAWAHARA⁴⁾, Kazuhiko ATSUMI¹⁾¹⁾東京大学, ²⁾東京都立広尾病院, ³⁾芝浦工業大学,⁴⁾株式会社吉田製作所¹⁾University of Tokyo, ²⁾Metropolitan Hiroo General Hospital,³⁾Shibaura Institute of Technology, ⁴⁾The Yoshida Dental MFG. Co., LTD.

Abstract

This paper reports on dental laser safety investigation and CO₂ laser protectors for dentistry

1) The laser protect effects of the experimental materials. 2) Reflection and heat production on the surface of metal instruments after CO₂ laser irradiation. 3) Development of prototype of CO₂ laser protectors for dental use. This protector is composed of "WASHI" (Japanese paper) filled with water and aluminum foil.

Results

1) Both "WASHI" contained water and aluminum foil showed excellent laser inhibition effects. 2) Black coated metal surface with various materials was effective to prevent reflection of CO₂ laser, while the temperature on it was elevated. 3) The prototype laser protectors were able to inhibit soft and hard tissues from CO₂ laser energy, even in 30 watts for 2 seconds.

1. はじめに

現在レーザは多くの臨床面で応用が試みられているが、危険性を大いに含んでいるため、レーザの臨床応用に際しては十分な安全対策が必要である。そこで著者らはレーザの臨床応用における防護、安全対策に関して基礎的研究を進

めてきた^{1),2)}。歯科口腔外科領域は口腔内が狭小で、レーザを微小部に正確かつ安全に照射することが困難である。また、術中の出血により視野が不明瞭となりやすく、再生不能な歯牙が存在する。かつ、可動性の下顎が存在する等の解剖学的、部位的特殊性から、口腔内用レーザシステ

ムの開発と共にレーザーの障害により照射目的部以外の口腔内外を保護するレーザープロテクターの開発が望まれる。今回はまず、①CO₂レーザーに対する各種防護器材の防護効果、②反射性防護材、レーザーと併用する金属器具の表面におけるレーザーの反射、さらにレーザー照射部の金属面の温度変化についてこれまでの実験方法に改良を加え基礎的再検討を行なった。つぎにこれをもとに歯科口腔外科に必要なCO₂レーザープロテクターを試作したので報告する。

2. 実験装置

CO₂レーザー装置は日本赤外線工業社製のNC 1050を用いた。最高出力は50W、レンズ焦点距離は50mm、焦点ビーム径はφ0.2~0.3mm、ビーム開き角は2mrad以下である。

パワーメータはCOHERENT MODEL 201を用いた。測定出力は100Wまで、出力密度は200W/cm²、応答速度は0.9秒である。

温度測定は³⁾長澤らの考案試作した測定部明示装置のついた医用赤外線放射温度計を用いた。これは焦電形検出器を用い、検出温度は0.05℃、応答速度は0.1秒、最小測温スポットは焦点位でφ2mmである。

3. 実験方法

(1) 各種防護器材の防護効果

防護効率を求める手段として、1.5×4.0×6.0cmの無色透明なアクリル樹脂ブロック（以後AC-Bとする）を用いた。写真1のように、防護器材を装着してないAC-B、AC-B上に防護器材を装着したものについて、CO₂レーザーを出力30W、照射時間1.0秒で照射し、その際生じた穿孔の深さを比較、検討した。レーザー照射に併用するN₂ガス噴射は防護器材に温度的影響を与えない程度に微弱にして用いた。また、防護器材により厚みが異なるため、レーザー照射孔からAC-B表面間距離を4mmに固定した。今回実験に使用した防護器材は、含水ガーゼ、含水和紙、アルミ箔である。防護器材の防護効率を次の方法により求め防護効果を検討した。まず、防護器材を装着してないAC-Bにレーザー照射を行ない、照射エネルギーに対するAC-B穿孔深さの関係を図1のグラフにあらわした。次に、防護器材を装着したAC-Bに一定条件でレ

ーザ照射を行ない、その際生じた穿孔深さを測定し、その長さまで穿孔させるに必要なレーザーエネルギー（E₂）をグラフより求めた。照射エネルギー（E₁）とE₂の差は防護器材が阻止（吸収、反射）したエネルギーであり、これを（E_i）と比較することにより、防護効率を求めた。

$$\text{防護効率} = \frac{(E_1) - E_2}{\text{照射エネルギー} (E_1)} \times 100\%$$

(2) 反射性防護材および金属器具の表面におけるCO₂レーザーの反射の測定ならびにレーザー照射部の金属面温度測定

反射性防護材と金属器具はその表面におけるレーザーの反射が考えられるため、十分な考慮が必要である。金属表面におけるレーザーの反射率を求めるために、レーザーの反射光のパワー、直接光のパワー測定に使用した装置の配置を図2、図3に示す。反射光のパワー測定は、図2に示すように測定試料をレーザービームに対して45°に固定し、パワーメータを金属表面からの反射光を測定するように、反射光の光軸とパワーメータの受光軸を一致させて配置した。直接光のパワー測定は図3に示すように、レーザー照射孔からパワーメータ受光面までの距離を反射光のパワー測定の際の距離（l₁+l₂）と同じにして測定を行なった。なお、パワーの測定に使用したパワーメータの応答性は極めて遅いため、パワーメータの指示値が安定した時の値を測定値とした。そして、反射率を次式により求めた。

$$\text{反射率} = \frac{\text{レーザーの反射光のパワー}}{\text{レーザーの直接光のパワー}} \times 100\%$$

レーザー照射に伴う金属裏面温度の測定について、使用した装置の配置を図4に示す。温度測定には赤外線放射温度計を用い、レーザー照射部位に相当する金属の裏面温度を最小スポットで測温した。測温に際して、赤外線放射温度計の受光軸を金属面と直角にした。測定金属面は、①ステンレス板光沢面、およびそのテフロン加工面、②鉄板光沢面、鉄板黒染面、③アルミ板光沢面、アルミ板電解処理黒メッキ面、アルミ板テフロン加工面、④アルミ箔光沢面である。①~③は4mm×4mm×1mm、④は4mm×4mm×17μmの大きさである。

4. 実験結果

(1) 各種防護器材の防護効果

表1は含水ガーゼ、含水和紙について、表2はアルミ箔ならびに含水ガーゼ、または含水和紙をアルミ箔上に置いた防護器材についてレーザーをそれぞれ5回ずつ照射した結果である。

表1から、含水ガーゼ、含水和紙において100%の防護効果を得るためにはそれぞれ12重以上、10重以上必要であった。しかしながら、これらの防護器材については部位により、また含水状態が変化することにより防護効果が異なった。

表2から、アルミ箔のみの場合、含水ガーゼまたは含水和紙をアルミ箔上に置いた場合、どちらにおいても、防護効率は100%であった。

(2) 金属表面におけるCO₂レーザーの反射およびレーザー照射部の金属面の温度変化

金属の光沢面、加工面におけるレーザーの反射率、ならびに出力20W、照射時間0.5秒のレーザー照射に伴う金属裏面における上昇温度のピーク値を表3に示す。金属光沢面における反射率は高く、アルミ板光沢面で約90%と最も高い値を示した。金属裏面の温度上昇はアルミ板、鉄板の光沢面ではほとんど認められなかったが、ステンレス板光沢面で7.3℃、アルミ箔光沢面で15℃の上昇が認められた。一方、黒色表面加工を施した金属面については、反射率はアルミ板電解処理黒メッキ面で約4%と最も低く、次にステンレス板テフロン加工面、アルミ板テフロン加工面、鉄板黒染面の順で高くなった。金属裏面の上昇温度はステンレス板テフロン加工面で40℃以上と最も高く、次に金板黒染面、アルミ板電解処理黒メッキ面、アルミ板テフロン加工面の順で低くなり、20℃以下の上昇温度を示した。また、反射率に対する上昇温度の関係は反射率の高いもののほど低かった。レーザー照射後の金属面の変化を見ると、テフロン加工を施した面では照射部位に痕跡が認められた。その他、含水和紙12重をアルミ箔上に置いた防護器材は出力30Wで20秒間レーザーを照射しても反射は認められなかった。

(3) 歯科口腔外科のレーザー治療に必要なレーザープロテクターの試作

歯科口腔外科領域においてレーザー治療を行な

う場合、口腔は患者の眼に近接した部位にあるため、口腔内外はもとより眼に対する防護は不可欠である。そこで、(1)、(2)の結果をもとにCO₂レーザーの障害から照射目的部以外の組織を保護するためのレーザープロテクターを試作した。

1) 口腔用CO₂レーザープロテクター

レーザーの障害から照射目的部以外の口腔内を保護するためのものである。歯牙および口腔粘膜をまず、厚さ17μmのアルミ箔で被い、次にその上を含水和紙(12重)で被い、これを保持装置で把持させ、歯牙および粘膜に密着させる(写真2、写真3)。保持装置は直径1mmの金属線とスプリングをつけたU字型の金属性把持部(クリップ)から構成されており、このクリップは金属線を自由に移動できる。口腔内に装着するには写真2、写真3のように、歯例弓外側または内側に沿って金属線を屈曲させ、クリップによって反対側を把持しプロテクターを保持させる。実際にはレーザープロテクターおよび保持装置を口腔内に試適し、その後、口腔外でレーザープロテクターのレーザーの照射目的部に相当する部位を開窓する。次に、その開窓部とレーザー照射目的部を一致させ口腔内にプロテクターを装着する。その後、保持装置を口腔内に装着し、保持装置のクリップを照射目的部と関係のない部位まで移動させる(写真4)。このプロテクターおよび保持装置は次のような欠点を持っている。①アルミ箔を口腔内に装着する際、口腔粘膜を傷つけやすく、装着感にすぐれない。②含水和紙の含水状態に十分な注意が必要である。③CO₂レーザープロテクターとして、まだ厚く口腔内の視野を狭くする。④歯牙欠損が多い場合、保持が困難である。

2) 眼球用CO₂レーザープロテクター(写真5)

レーザーの障害から患者の眼球を保護するためのもので、含水和紙12重をアルミ箔上に置き、これをゴムの膜で被ったものである。実際には顔面側にアルミ箔、術者側に含水和紙が来るようにして、耳にかけて使用する。

3) 口腔外用CO₂レーザープロテクター

これは眼球用レーザープロテクターと同様の構造である。実際には写真6のようにレーザー照射目的部を開窓し、体表に密着させて使用する。²⁾

5. 考 察

防護器材のレーザーに対する防護効果を検討するためには、その防護効率を求めることが必要である。従来は防護効率をAC-B穿孔深さの比較により次式から求めた。

$$\text{防護効率} = \frac{(A) - \text{防護器材装置時の穿孔深さ}}{\text{防護器材未装置時の穿孔深さ}(A)} \times 100\%$$

この式から算出した防護効率を表4に示す。しかしながら、上記の式より得られる防護効率は、次に示すような理由から、正確さに欠ける。すなわち、①図1に示すように、照射エネルギー量とAC-B穿孔深さが正比例の関係にない。②レーザー照射孔からAC-B表面までの距離を変えてレーザー照射を行なうと、距離を長くした場合にはAC-B内部におけるレーザーのエネルギー分布密度が低くなり、防護効果の測定においてみかけ上の防護効果が加算される。以上の点を考慮して、今回はレーザー照射孔からAC-B表面までの距離を一定にし、防護器材のレーザー阻止エネルギー量をその照射エネルギー量と比較して防護効率を求めた。この防護効率と従来の防護効率を比較すると、従来の方法で求めた防護効率は、低く、かつバラツキの範囲が広がったが、今回の測定法ではこの点が改善された。

次の問題点としては、レーザー照射時に併用するN₂ガス噴射の影響があげられる。N₂ガス噴射は、特に含水ガーゼ、含水和紙等の吸収性防護材に大きく影響し、これらにN₂ガスを常用のガス圧で噴射させレーザーを照射した場合、中に含まれる水分は飛散する。そのため、真の防護効率は測定できない。そこで、N₂ガス噴射を防護器材に影響を与えない程度に、微弱にして実験を行ない、その結果を表1、表2、表4に示した。これに対し、N₂ガスを常用のガス圧で噴射させてレーザーを出力30W、照射時間1.0秒で照射した場合、含水ガーゼまたは、含水和紙をアルミ箔上に置いた防護器材の防護効果は、完全であったが、含水ガーゼ、または含水和紙だけの単一防護器材では、それぞれ12重、10重にしてもレーザーは、これらを透過した。そこで、臨床に際しては、レーザー照射時に、N₂ガス噴射を併用するため、吸収性防護材に含まれる水分を飛散させないようにする手段が必要で

ある。そのひとつとして、吸収性防護材の表面を薄いゴム膜で被覆する方法などが考えられる。

さらに、レーザー照射時の金属面温度変化について、上昇温度を金属の熱伝導率の点から検討すると、熱伝導率の高い金属は、レーザー照射部に熱が発生しても、熱の拡散が速く、温度はあまり上昇しない。また、熱伝導率の低い金属は、逆に熱の拡散が遅くレーザー照射部の温度が上昇しやすい。本実験に使用した金属の熱伝導率は、高いものからアルミ、鉄、ステンレスの順である。そして本実験の結果、上昇温度の高いものからステンレス板、鉄板、アルミ板の順となり、熱伝導率の点から検討した結果と一致する。

6. 結 論

CO₂レーザーの臨床応用において、目的部以外の生体を保護するための防護器材の防護効果、CO₂レーザーの金属面における反射、レーザー照射部の金属面温度について、基礎的検討を行ない、これをもとに歯科口腔外科のレーザー治療に必要な、レーザープロテクターを試作した。

1) 防護器材としては、単一の防護器材だけで人体を保護することは危険であり、吸収性防護材と反射性防護材を併用して、二重の安全性をもたせることが必要である。

2) 金属面におけるレーザーの反射を防ぐためには、黒色表面処理が有効であるが、反射を完全に防ぐことはできなかった。また、表面でレーザーを吸収するように処理した金属面にレーザーを照射した場合は、当然、熱が発生するので、それに対する対策も必要となる。

3) 今回試作したCO₂レーザープロテクターは、含水和紙とアルミ箔を併用したものである。このプロテクターは、30W、2.0秒のレーザー照射では、N₂ガスを常用のガス圧で噴射させても、防護効果は完全であり、実用に供し得るものであると考えられる。

7. おわりに

今回試作したCO₂レーザープロテクターは、まだかなりの欠点を持っており、今後改良の余地がある。また、レーザー照射において補助として用いる、臨床金属器具の反射、発熱、有害物質の発生などに関して、使用金属材料、表面加工の開発も必要である。

写真1 防護器材を装着してないAC-B, 防護器材を装着したAC-BへのCO₂レーザー照射

図1 照射エネルギー量とAC-B穿孔深さ

図4 レーザ照射に伴う金属表面温度の測定に使用した装置の配置

図2 金属表面におけるレーザーの反射光のパワー測定に使用した装置の配置

図3 レーザの直接光のパワー測定に使用した装置の配置

防 護 器 材		防 護 効 率 (%)
含水ガーゼ	2重	57.7 ± 9.0
	4重	75.3 ± 6.0
	6重	93.3 ± 4.7
	8重	99.3 ± 0.7
	(厚さ 2.5 mm) 10重	99.8 ± 0.2
	12重	100
含水和紙	2重	65.0 ± 3.0
	4重	85.0 ± 3.3
	6重	93.8 ± 1.5
	8重	99.8 ± 0.2
	10重	100
	(厚さ 2.5 mm) 15重	100

表 1 含水ガーゼ、含水和紙の防護効率

防 護 器 材		防 護 効 率 (%)
含水ガーゼ	2重	36.5 ± 9.6
	4重	56.9 ± 8.4
	6重	85.6 ± 9.6
	8重	98.8 ± 1.2
	(厚さ 2.5 mm) 10重	99.7 ± 0.3
	12重	100
含水和紙	2重	42.8 ± 3.9
	4重	70.1 ± 4.8
	6重	86.2 ± 3.0
	8重	97.6 ± 2.4
	10重	100
	(厚さ 2.5 mm) 12重	100

表 4 含水ガーゼ、含水和紙について
従来の式から算出した防護効率

防 護 器 材	防 護 効 率 (%)
アルミ箔 厚さ 17μ	100
17μアルミ箔+含水ガーゼ 6重	100
・ 12重	100
17μアルミ箔+含水和紙 6重	100
・ 12重	100

表 2 アルミ箔ならびに含水ガーゼ、または
含水和紙をアルミ箔上に置いた防護器
材の防護効率

レーザ照射対象面	反射率 (%)	金属裏面 上昇温度(℃)
[1] ステンレス板光沢面・	85.9	7.3
[2] ステンレス板テフロン加工面	13.2	40℃以上
[3] 鉄板光沢面	71.1	1.1
[4] 鉄板黒染面	33.1	17.5
[5] アルミ板光沢面	89.2	0.2
[6] アルミ板電解処理 (黒メッキ)面	4.1	13.9
[7] アルミ板テフロン加工面	21.5	9.9
[8] アルミ箔光沢面	85.9	15.0

表 3 金属表面におけるCO₂レーザの反射率、
およびレーザ照射に伴う金属裏面
における上昇温度のピーク値

写真 2

写真 3

試作した口腔用CO₂レーザプロテクターおよび保持装置

写真4 レーザプロテクターおよび
保持装置の口腔内装着

写真5 試作した眼球用CO₂
レーザープロテクター

本研究は昭和55年度 厚生省
がん研究助成金(54-35)に基
づいて行なわれたものである。

写真6 試作した口腔外用CO₂レーザ
プロテクター

参考文献

- 1) 西川宏司, 他; レーザの臨床応用における
防護, 安全対策に関する基礎的検討(1)(特に
炭酸ガスレーザーの場合), 医用電子と生体工
学, 第18巻 特別号, P.154-155, 1980.
- 2) 長澤明範, 他; CO₂レーザーの生体防護器材
に関する基礎的検討, 医器学, 第50巻 臨時
号, 受稿済み, 1980.
- 3) NAGASAWA Akinori; MEDICAL
INFRARED THERMOMETER WITH
SPOT LIGHT INDICATOR, 11 th
I. C. M. B. E., DIGEST PAPERS, P
36-37, 1976.