レンズを装着した光ファイバの基礎的研究

THE FUNDAMENTAL STUDY ON OPTICAL FIBER WITH LENS

井原章夫、中島正治、渥美和彦、葛西真一※

千竈俊夫、**町田晴彦**

Akio IHARA, Masaharu NAKAJIMA, Kazuhiko ATSUMI,

Shinichi KASAI, Toshio CHIKAMA, Haruhiko MACHIDA

東京大学医学部医用電子研究施設

※旭川医科大学 **~~(株)~~町田製作所

In irradiation of the medical laser through a optical fiber, a beam diverges with some conical angle, which results in irradiation and degeneration of the surrounding normal tissue is addition to the aimed area. Especially this happened frequently in endoscopical use of the laser because of the difficulty of maintaining the distance between fiber end and tissue.

In order to restrict the area of irradiation and gain high power density by focusing the laser beam, a optical fiber with lens tip was developed. A diameter of the optical fiber core was 0.6mm, lens diameter was 1.7mm and focusing distance was 2mm.

In early experiments there were many thermal damages at the fiber tip. In irradiation in water, bubbles emerged at the tip of the fiber which scatter laser beam and heat up to cause thermal damage of the lens and lowering of the irradiation power.

In order to solve these problems a nozzle was adapted to water jet or gas jet, which prevented adhesion of the bubble or heat damage of the lens and the laser power was maintained.

This lens tipped fiber was applied to destroy gall stones experimentally with successful results.

研究目的

nd:YAGやArgonレーザーなどの導光路に用いられる光ファイバは、伝送能力に優れ、柔軟性に富み、現在では実験的、臨床的に広く使用されている。光ファイバから出射されるレーザー光は、光ファイバの直径やレーザー光の入射状態などによって、ある拡がりをもち、そのまま組織に照射されている。

この場合、目的とする組織以外にも、レーザー光が照射され、正常組織の変性が発生することがあった。特に、内視鏡下では、光ファイバの先端（レーザー光の出射端）と照射部位との距離の維持が困難であった。また、光ファイバ先端が組織面と接触することによって、先端面が汚染（血液の付着など）し、レーザー出力の低下や先端面の熱破壊が多くあった。

そこで、我々はレーザー光を集束し、レーザーエネルギーの高密度化、凝固部位の変性の減少化、そして胆石の破壊などを目的とした、レンズ付光ファイバについて試作検討した。

方法および結果

実験に用いた熔融石英製ファイバは、コア径が0.6 mm、クラッド径が1.1 mmである。従来から使用されている光ファイバは、ガスの噴射機構を備えているため、テフロン管の中に位置されている。初期の実験においては、レンズ装着を主としたため、テフロン管を除外した。試作したレンズは、焦点距離2 mm、直径は約1.7 mmである。レンズと光ファイバは、レンズホルダーの内部で接着固定してある。

今回検討した内容は、レンズの耐久性と接着固定部（以下、加工部分という）の耐久性、そしてレーザー光を集束することによる有用性である。

レーザー装置と光ファイバの光軸およびレーザー光の集束状態の確認は、装置に装備されているガイド光（He-Neレーザー）でおこなった。図1は、レーザー光の集束状態である。これは、最初に試作したもので、レンズホルダーの外径は約2 mmである。

図1のような光ファイバを使用した基礎的実験

では、組織への局所的作用、胆石の破壊効果は著明であった。しかし、実際面においては、初期段階のものは、送風機などによって、外から冷却しても光ファイバ先端の加工部分とレンズの熱損傷が多くあった。

空気中での使用は、加工部分の冷却に対して、種々の制約があり、レーザー光が低出力でも、1分間以上の使用は困難であった。蒸留水など液体中での使用は、加工部分に対する冷却効果はあるものの、液体の貫流がない場合は、液温が上昇するため、冷却効果は減少した。また、液体中の使用の問題は、レーザー光の出射方向において、液体が短時間で熱せられるために生じる気泡が、レンズ表面に付着することである。

気泡の付着は、レーザー出力の極端な低下とレンズや加工部分の熱破壊を起すことが多くあった。付着した気泡は、長い時間静止することなく、時間経過と共にレンズホルダーの側面に移動する。この場合、レーザー出力は、ほとんど変化しなかった。しかし、気泡は順次発生して、数個の気泡が同時にレンズ表面に付着することがあった。この段階では、付着した気泡を除去するために、光ファイバの先端に振動を加えた。この方法では、照射部位が変動することからも、有用ではなかった。

図1 レーザー光の集束状態

図2 レンズホルダーの構成

上：1回目の改良
下：2回目の改良

1：レンズ
2：レンズホルダー
3：光ファイバ
4：テフロン管

これらの問題解決の1つとして、水やガスが、レーザー光と同軸方向から、噴射できるノズル付のレンズホルダーを新たに試作した。ノズルから噴射される水、またはガスの圧力と流量は任意である。

図2は、レンズホルダーの構成図である。図2の上部は、図1に示すレンズホルダーを改良したもので、光ファイバはテフロン管の中に装着されている。水やガスは、テフロン管と光ファイバの間を通り、レンズホルダー内のノズルを経て、外部へ噴射する。加工部分に対する冷却効果は著明であった。一方、気泡付着の防止については、噴射された水やガスが、光ファイバ先端部において飛散するため、よい効果は得られなかった。

そこで、次に改良したものが図2の下部である。これは、ノズルの内径を細くし、レンズホルダーを長くして、先端をほぼ直角に曲げた。これにより、噴射する水やガスは、レンズ表面を経て、レーザー光と同軸方向に噴射される。その結果、気泡付着の防止は良好で、レンズ表面の汚染防止の点からも有用であった。

図3は、水噴射の状態を示している。このときの条件は、水圧が約 0.4 Kg/cm^2 、流量は約 400 ml/min である。空気中で胆石の破壊効果をみる場

合は、これらの数値で、実験が可能であった。

図4は、レーザー光照射後の組織の断面である。図4の上部は、従来の光ファイバを使用したものである。図4の下部は、レンズ付光ファイバを使用したものである。実験は、空気中でおこない、レンズ付光ファイバには、水の噴射を同時におこなった。従来の光ファイバでの実験は、ガスの噴射はおこなっていない。レンズ付光ファイバを使用した組織には、ほとんど炭化は起らず、レーザー光の集束位置が著明に現われている。

胆石の破壊効果の実験は、ビ系胆石とコ系胆石を空気中および液体中でおこなった。空気中では、従来の光ファイバとレンズ付光ファイバを使用した。従来のもので、レーザー光を照射した場合(空気中)、胆石に対して熱損傷を与えるものの、破壊させるまでには、若干の時間を要した。ある胆石では、レーザー光を照射中、燃焼するものがあり、危険を伴った。

図5は、胆石を空気中で水噴射しながら照射している状態である。ある種の胆石は、レーザー光照射中は破壊せず、放射線状に亀裂を生じ、胆石を移動する際に破壊した。(図5はその例である) また、液体中でも破壊効果は良好であった。液体中での水の噴射は、胆石から生じる浮遊物の除去

にも有用である。

総 括

レンズを装着した光ファイバの空気中および液体中における基礎的な実験をおこない、レーザー光の集束、レンズなどの耐久性について検討した。

レンズおよびレンズホルダーの耐久性は、レーザーエネルギーによる熱の影響が大きく、初期のガラス製レンズや冷却機構をもたないレンズホルダーでは、短時間で破壊することが多くあった。

液体中での使用は、加工部分に対する冷却効果は認められるが、レンズへの気泡の付着が主因で破壊することが多くあった。

加工部分の冷却と気泡付着を防止するための、水噴射またはガス噴射の併用は、有効であった。胆石の破壊効果についても、基礎的実験の段階では有用であった。

結 論

レーザー光の集中によるレーザーエネルギーの高密度化は、装置のレーザー出力の減少化や凝固部位の変性域の減少化、そして胆石の破壊効果などの有用性が考えられる。

一方、実際面において、液体中の使用は、気泡

図3 水の噴射状態

の影響によるレンズの破壊防止と、レーザー出力の安定化を図るために、水噴射またはガス噴射の併用は重要である。空気中の使用も同様に、レンズホルダー内の冷却を十分考慮しなければならない。

レンズホルダーの冷却機構の検討は、今後も重要である。加工部分即ちレンズや光ファイバの固定方法とレンズに関する問題（大きさ、焦点距離など）の検討も残されている。また、長いレンズホルダーは、光ファイバの応用に、マイナスとなることが考えられる。

以上、種々の基礎的な検討が残されているが、特に内視鏡的応用に関しては、組織の微細部分への、より優れた凝固効果が期待されよう。

図4 レーザー光照射後の組織断面
上：従来の光ファイバ
下：レンズ付光ファイバ

図5 胆石の破壊