Single Quartz Fiber による照射野拡大法

Spreading Laser Light Using a Single Quartz Fiber

○米川元樹* 七沢 洋** 中沢郁生*** 西坂 剛***

Motoki Yonekawa* Hiroshi Nanasawa** Ikuo Nakazawa***
Tsuyoshi Nishisaka***

*北海道大学医学部第一外科 ** 富山医科薬科大学第三
内科 *** 旭川医科大学第三内科 ****東京農工大学保健
管理センター

* 1st. Dept. of Surg., Faculty of Medicine, Hokkaido Univ.
** 3rd. Dept. of Int. of Medicine, Toyama Med.&Pharmaceut. Univ.
***3rd. Dept. of Int. of Medicine, Asahikawa Medical College
****Health Science Center, Tokyo Noh-Koh Univ.

We have developed a rounded shape optical fiber for the purpose of spreading laser light over a wide field. The purpose of this study was to evaluate a illumination characteristics of the rounded shape opyical fiber, the tapered shape optical fiber and the graded index optical fiber (Selfoc). The diverging angle of the output laser light of the rounded shape fiber, the tapered shape fiber and Selfoc were 60°, 360° and 25°, respectively. Though the tapered shape had a widest beam divergence, its energy distribution was not uniform. The rounded shape has been used clinically, however its energy distribution showed a high density at centre and a down slope. Selfoc had a small diverging angle, however its energy distribution was most uniform. The uniform area of Selfoc was three times as large as the usual fiber. These results suggest that Selfoc is most useful for a wide and uniform illumination.

1. はじめに

レーザー光による内視鏡的蛍光観察や光化学治療においてはレーザー光を効率良く広い範囲に照射する必要がある。内視鏡を用いたレーザー光の照射野拡大法としては、内視鏡のlight guideを用いる方法と、single quartz fiberを用いる方法とが

ある。われわれは簡単に広い照射野が得られるrounded shape optical fiberを作製し¹⁾内視鏡的蛍光観察に応用してきた²⁾。今回このrounded shapeの他に tapered shape optical fiber やgraded index fiber (以下 Selfoc) などを用いて、各ファイバーの空間光エネルギー分布、拡散の程度、光エネルギーの伝

送効率などを比較検討した。

2. 方法

光源としてはArgon laser (Spectra Physics, Model 165-00, 514.5nm) を用いた。Step index fiberとしてはコア径600 μm のものを、熱的処理により先端をrounded shapeおよびtapered shapeに加工した。Selfocはコア径500 μm のもので先端は平坦に研磨した。

各光ファイバーの空間光エネルギー分布は図1に示すようにコア径1mmの光ファイバーで受光し、Densitometer (Photodyne, Model 99XL) により測定した。受光面形状の相違によるパワー密度の変化を考慮して、出射光軸に対して直角の平面のみならず、球面においても測定を行った。レーザー光出力はpower energy meter (Sciencetech, Model 362) を用いて測定した。

図1 空間光エネルギー測定法

3. 成績

(1) 出射パターン

各光ファイバーの出射角は、通常用いられているstraight typeでは 8° 、rounded shapeでは先端球部の半径によって多少

異なるが約 60° 、tapered shapeでは側方への出射は少ないもののほぼ 360° であった。また、Selfocでは約 25° であった（図2）。

(2) 空間光エネルギー分布

ファイバー先端から3cmの距離の平面における光エネルギー分布をみると、rounded shapeが最も広い照射野を示すが、その分布は中心部で最も高く周辺にいくにしたがって低下する山型を呈し均一ではない。Selfocはrounded shapeほど広い照射野は得られないものの、分布形状は台形で、照射野の光エネルギーがほぼ均一であることを示している。この均一な照射野の面積は約 3cm^2 となり、straight typeの3倍である（図3）。

受光面が球面の場合のエネルギー分布をみると、平面の場合と同様に、Selfocは均一な照射野を、またrounded shapeは広い照射野を得ることができる。一方、tapered shapeでは前方および斜め後方へのエネルギーは強いが、側方へのエネルギーは非常に弱く最高値の $1/25$ 以下に減衰する（図4）。

(3) 伝送効率

各ファイバーの伝送効率をみると、straight type 92%、rounded shape 83%、Selfoc 92%で、straight typeとSelfocが良好であった。また、rounded shapeは先端球部が大きくなると効率が低下した。

図2 出射パターン

図3 平面における光エネルギー分布

図4 球面における光エネルギー分布

4. 考察

内視鏡的にレーザー光の照射野を拡大する方法としては、光ファイバーを用いる方法と内視鏡のlight guideを用いる方法とがある。後者の場合、light guideには数百mW程度までしか導入できないため、蛍光観察や光化学治療への応用は難しく、一般には前者の方法が広く用い

られている。

single quartz fiberによる方法としては(1)特殊ファイバー(Selfoc)の使用、(2)マイクロレンズの装着、(3)先端加工、(4)機械的屈曲、(5)光ファイバーへの斜入射³⁾などがある。先端加工法としては、化学的処理⁴⁾研磨、熱的処理がある。照射野拡大用光ファイバーには、加工が簡単であること、可及的均一な照明ができること、さらには光エネルギーの伝送効率が良いであることなどが要求される。われわれは手技の簡便さや出射角の大きさなどから熱的処理による加工法を用いてきた。¹⁾

今回検討したstraight type、rounded shape、tapered shape、Selfocの中で出射角の最も大きかったのはtapered shapeであった。しかし、エネルギー分布は非常に不均一で実用的ではない。rounded shapeは加工上の簡便さや、出射角の大きさで勝れているものの、平面におけるエネルギー分布が中心部と辺縁部とで大きく異なり均一照明とはならない。その点Selfocは出射角が25°とrounded shapeより狭いが、エネルギー分布がほぼ均一であり、さらに伝送効率も92%と非常に良好である。

照射エネルギーの均一性については、単に光ファイバーから出射されたエネルギー分布のみならず、照射面の形状についても考慮する必要がある。図5Aに示すように管腔の壁に直角に光が照射された場合、長軸方向Lと輪状方向Rとでは光エネルギー

C

θ	b/a	$(b/a)^2$
5°	1.0038	1.0076
10°	1.0154	1.0310
15°	1.0352	1.0717
20°	1.0641	1.1324
25°	1.1033	1.2174
30°	1.1547	1.3333
35°	1.2207	1.4902
40°	1.3054	1.7040
45°	1.4142	2.0

図5 平面と球面における光エネルギー分布の相違

一分布状態は異なる。すなわち図5Bにおいて、同一角度で出射された光であっても、輪状面までの距離 a と長軸面までの距離 b とは異なり、出射角が大きくなるほどその差は著しくなる。図5cに示すごとく、例えば $\theta = 45^\circ$ すなわち出射角 90° の場合、 b/a は1.4142で、空間光エネルギーは距離の2乗に反比例するという法則にしたがうと $(b/a)^2$ は2.0となり、長軸面での光エネルギーは輪状面の1/2になることを意味している。このように出射角を大きくすることは、より不均一な照射をもたらすことになる。single quartz

fiber先端を点光源とみなすと、出射角拡大と均一照射との両者を満足させることは不可能である。本実験からは出射角がそれほど大きくないものの、均一照射という点で良好なSelfocが実用上勝れているといえよう。しかしながら、例えば半径の小さな球面においてはrounded shapeも均一照射となり得るので、照射野の形状に合わせて光ファイバーを選択する必要があると考えられる。

今後はより均一な照射野を得るため、単一点光源から多点光源、さらには面光源などの応用を試みる予定である。

5. まとめ

各種光ファイバーによる照射野拡大法を比較検討し、以下の結論を得た。

- (1) 出射角はstraight type 8° 、Selfoc 25° 、rounded shape

60°、tapered shape 360°であつた。

- (2) 光エネルギー分布は照射面の形状により異なり、平面では出射角が大きい程中心部と辺縁部との差が大となる。
- (3) 空間光エネルギー分布はSelfocが最も均一で、tapered shapeは最も不均一であつた。
- (4) 伝送効率straight typeとSelfocが最も良好で92%、rounded shapeは83%であつた。
- (5) 以上から、照射野拡大用光ファイバーとしてはSelfocが最適であると考えられた。

S.Kaneko, M.Tsuru : Light scattering properties of a rough ended optical fibre, Opt. Laser Technol., 16:40-44, 1984.

文 献

- 1) 西坂 剛、鹿島研司、米川元樹、葛西洋一、米村元喜、平塚秀雄、竹本忠良：先端部球形オブチカルファイバー，日本レーザー医学会誌 3：175～182，1982.
- 2) 星原芳雄、福地創太郎、早川和雄、山田直行、小川高伴、西坂 剛、米川元樹：消化管におけるレーザー光励起蛍光の観察（第一報）—内視鏡下生体内撮影条件の検討—，日本レーザー医学会誌 3：449～454，1982.
- 3) McKenzie A.L. : How to control beam profile during laser photoradiation therapy, Phys. Med. Biol., 29:53-56, 1984.
- 4) H.Fujii, T.Asakura, S.Jutamulia,