COレーザーメスの開発に関する基礎的研究(VII)ファイバー
導光を行ったCOレーザー光とNd:YAGレーザー光の生体
への同時同軸照射

Simultaneous Laser Irradiation of Fiber Deli-
vered CO and Nd:YAG Laser on Living Tissue

荒井恒憲*, 菊地 眞*, 富田靖彦*, 桜木史郎**, 斉藤正徳**
瀧沢雅也**

Tsunenori Arai, Makoto Kikuchi, Yasuhiko Tomita,
Shiro Sakuragi, Mitsunori Saito and Masaya Takizawa

防衛医科大学校、医用電子工学講座*

堀場製作所、開発本部**

Dept. Med. Eng., National Defense Medical College
Res. & Devel. Div., Horiba Ltd.

A purpose of this study is focused on the discussions concerning technical and physical problems which will be existed on the application of the simultaneous power delivery of CO and Nd:YAG laser by a single ir glass fiber for the new variable functioned laser treatment system. First, the distributions of two different kind of the output beam from the fiber were measured by means of scanning of the small sized ir detector. The fine agreement of the exposure view of CO laser and Nd:YAG laser from the fiber were obtained. Second, the effect of simultaneous exposure of these beams on living tissue were investigated in vitro. The results showed that the alteration of the power ratio of these beams induced the continuous variable function of light irradiation on living tissue.

1. はじめに

筆者らは、以前よりファイバー導光型の可変機能レーザー手術装置の必要性を論じその実現方法を提案してきた。(1)提案している装置は基本的には生体作用の異なる二つの波長のレーザー光をパワー比を制御しながら同時に照射するものである。切開用レーザーとしてCOレーザー、凝固用レーザーとしてNd:YAGレーザーを用いることによつて、1本の可撓性が高い赤外ガラスファイバー導光路を用いた両レーザーの同時伝送が可能になる。既に基礎的な検

討としてAs-S系のカルコゲン化物ガラスファイバーによつて両レーザーの同時同軸パワー導光を実現した。(2)本論文では同時同軸導光を行ったときのファイバー出射光ビームの特性とこの光ビームを生体試料にin vitroで照射したときの生体作用について報告する。

2. 同時同軸導光後のファイバー出射光ビームの特性

COレーザーとNd:YAGレーザーの一本の光ファイバーを用いた同時同軸導光の実験装置については参考文献(2)に記述しており、本論文ではその記述を

図1 ファイバー出射光強度分布

省略する。使用したファイバーはコア直径 $400\mu\text{m}$ のテフロンFEPクラッド付き As_2S_3 ガラスファイバーである。ファイバー長は約 400mm のものを用いた。ファイバーは直線状に保つて実験を行つた。ファイバー出射後の光ビームの応用を考えると、ビーム拡がり角、二種類の光ビームの同軸性などが重要な検討項目になる。そこでこれらの特性について、微小検出器スキャンによる光ビーム強度分布測定によつて調査した。光検出器は Au-Ga 光伝導素子を用い、直径 $400\mu\text{m}$ のアパーチャーによつて微小検出器とした。光検出器は X-Y-Z ステージ上に設置した。特に水平方向の移動用にサーボ機構を取り付けた。実測したファイバー出射光のビーム拡がり角（全角）は両レーザーに対応する光ビームともに約 70mrad で、ファイバー入射角と一致していた。このように短距離の多モード光ファイバーによる光伝送では幾何光学、それも簡単な子午光解析とほぼ一致する結果が得られる。図1にファイバー出射端 50mm の光軸に垂直な面内での強度分布の測定結果を示す。左の分布は CO レーザーの伝送後の光ビーム、右の分布は Nd:YAG レーザーの伝送後の光ビームに対する強度分布である。1 div. は 1mm に相当している。各線はそれぞれの光ビームにおける最大強度を 1 とし、その $(n/10)^2$ （ n は 9 以下の自然数）の強度の等強度線を示している。太線はほぼ $1/e^2$ に相当する等強度線で、ビ

ームウエストを示している。Nd:YAG レーザーに対する強度分布は水平方向にやや拡がっている。この原因は二つのレーザー光の同軸合わせを行う際に Nd:YAG レーザーが結晶板の反射を用いている為に結晶内部での多重反射によつてサイドローブが生じるからである。これは本実験系に固有の現象であり、結晶板の反射防止膜の設置によつて容易に抑制できる。図1の左右の分布を中心線で重ね合わせると二つの光ビームがほぼ一致していることがわかる。本実験ではファイバー入射端での同軸合わせの精度はただか $10\mu\text{m}$ であるが、この程度の実験系でも応用上なんら支障はないことがわかつた。この実験結果によつて二種類のファイバー導光後の光ビームの同時同軸照射の確認がおこなえた。

3. ファイバー導光後の CO レーザーと Nd:YAG レーザーの生体試料への同時同軸照射実験

CO レーザーと Nd:YAG レーザーのパワー比を変化させた同時照射によつて、生体作用の変化が生ずるかを検証した。図2に照射実験系を写真で示す。ファイバーの出射端付近を半径 5cm で鉛直下方に 90° 曲げて、下方に照射した。試料は摘出脱血した豚の肝臓を用いた。試料表面はファイバー出射端面と 5mm 離して設置した。ファイバー出射端面に試料の飛散物が付着してファイバー端面が溶融するのを防ぐ為に、ファイバー端面に横方向から空気を吹き付

図2 二波長同時ファイバー伝送光の生体試料照射実験

図3 同時照射試料(豚肝臓)
CO/Nd:YAGレーザーパワー比=0/100

図4 同時照射試料(豚肝臓)
CO/Nd:YAGレーザーパワー比=5/95

けた。試料表面でのビーム直径は $730\mu\text{m}$ である。照射光パワーは二種類の光の合計を 5W 一定とした。よつて試料表面でのパワー密度は 1.2 kW/cm^2 である。照射時間は15、30、60秒に変化させた。COレーザーとNd:YAGレーザーのパワー比は、0/100 (Nd:YAGレーザーのみ)、5/95、10/90、25/75、50/50と変化させた。照射試料はホルマリン固定後HE染色にて組織標本を作成した。

図3から図6に照射組織標本の顕微鏡像を示す。CO/Nd:YAGレーザーパワー比を変化させた。COレーザーのパワーの割合が大きくなるにつれて切開、蒸散能が強くなり、パワー比によつて光の生体作用が変化していることが明らかである。またCOレーザーのパワー比を増していくと、その増加の割合より大きい凝固層厚みの増加や切開穴深さの

図5 同時照射試料(豚肝臓)
CO/Nd:YAGレーザーパワー比=10/90

図6 同時照射試料(豚肝臓)
CO/Nd:YAGレーザーパワー比=25/75

増加が観測された。この原因はCOレーザー照射によつて試料表層の水分蒸発、蛋白質変成や炭化が生じ、この部分の光学特性が変化してNd:YAGレーザーの侵達性が減少し、結果として見掛け上Nd:YAGレーザーの切開能が向上したようにふるまうためではないかと推察される。つまりこのような二波長同時照射型のレーザー手術装置では、切開用のレーザー装置出力は凝固用レーザー装置の出力より小さくても生体作用を充分可変できることが示唆される。本報告では試験的な照射にとどまつたが、二波長照射の作用過程の解明するために検討を続けている。

4. おわりに

本論文では既に得られたCOレーザーとNd:YAGレーザーの As_2S_3 ガラスファイバーを用いた高強度同時同軸伝送の基礎的な実験結果をふまえて、これを実際の生体治療に応用する際に調査すべき項目について検討を加えた。ファイバー出射光ビームの同軸性については、実験室におけるファイバー入射系の軸合わせ精度でも出射端で実用上十分な二種類の光ビームの照射野の一致が得られることを確認した。またファイバーからの出射光ビームを生体試料に試験的に照射したところ、COレーザーとNd:YAGレーザーの混合比を変化することによつて混合照射光の連続的な切開能と凝固能の変化が可能であることを明らかにした。さらにCOレーザーのわずかな混入によつても切開性能の増加が顕著であり、二種類の光ビームの同時照射における生体作用の発現機序が一種類の光ビーム照射に比べてより複雑であることが示唆された。

5. 謝辞

最後に、本実験に御理解と御協力を頂いた日本電気レーザー事業部の都島宏一郎課長と山根毅士主任に感謝致します。

6. 参考文献

- (1) 荒井恒憲、菊地 眞：一酸化炭素レーザーを用いた手術装置と今後の展望、日本レーザー医学会誌、6:15-21、1985。
- (2) 荒井恒憲、菊地 眞、桜木史郎、斉藤光徳、瀧沢雅也：COレーザーメスの開発に関する基礎的

研究(VI)

COレーザーとNd:YAGレーザーの同時同軸ファイバー導光、日本レーザー医学会誌、6:(未定)、1985。