セラミックチップを用いたレーザー血管内手術装置 ：チップにおける出力の安定化と専用内視鏡の開発

阿部裕輔、今西 薫、米沢卓実、鎮西恒雄*、祖川伊知朗*、鈴川正之、満洲邦彦、井街 宏、河野明正、小野俊哉、渥美和彦、田子友太郎*、藤正 巖

東京大学医学部医用電子研究施設

*東京大学先端科学技術研究センター

LASER ANGIOPLASTY SYSTEM USING CONTACT CERAMIC TIP: STABILIZATION OF POWER AND DEVELOPMENT OF ENDOSCOPIC SYSTEM

Y. Abe, K. Imanishi, T. Yonezawa,
T. Chinzei*, I. Sogawa*, M. Suzukawa,
K. Mabuchi, K. Imachi, A. Kouno, T. Ono,
T. Tago*, K. Atsumi and I. Fujimasa
Institute of Medical Electronics, Faculty of
Medicine, University of Tokyo. *RCAST

We have been developing laser angioplasty system using contact ceramic tip. In order to stabilize the required power for plaque ablation, ceramic coating tip was designed and developed by implanting metal at the point of the surface of ceramic tip, and the special endoscope with 7F size was designed and developed from the points of percutaneous approach and ceramic tip usage. The laser probe was designed to be separated at the part of laser fiber and able to be inserted from the top of the endoscope.

The special endoscope and laser probe with ceramic coating tip were very useful for atheroma ablation inside the aorta of atherosclerotic rabbits under the visual field. The required power for plaque ablation with ceramic coating tip was 5-15W, and was able to be stabilized.

【はじめに】

レーザーによる血管内手術においては、セラミックチップチップを用いたレーザープローブによる接触照射法は良好に動脈硬化組織（アテロマ）を焼灼可能であり、内視鏡の併用はセラミックチップの照準合わせや、レーザー照射前後の焼灼部位の観察が可能となるため、より有効に血管内手術を行えること分かっている^{1)、2)、3)}。

しかし、セラミックチップを用いたレーザー血管内手術システムを開発するためには、さらにチップにおける出力の安定化と経皮的アプローチが可能なセラミックチップ専用の血管内視鏡が必要である(Fig. 1)。

問題点

Fig. 1 レーザー血管内手術システムの問題点

本研究は、セラミックチップに先端コーティングを施すことにより、チップにおける出力の安定化をはかり、かつ経皮的アプローチが可能なサイズのセラミックチップ専用の血管内視鏡を設計開発することを目的とした。

【方法】

1、チップの出力の安定化

セラミックチップの作用としては、チップ先端に組織破壊産物である炭素が付着すると非常に破壊力を増し、かつ少ない出力で血管内手術が可能となる。したがって、チップに炭素のコーティング層ができるまでは高い出力を必要とし、コーティング層ができると出力を下げなければ逆にチップが熱破壊を起こしてしまうなどのチップ出力に関する問題点があった。この問題点を解決し、チップの出力を安定化させる方法としてはチップ先端に予め炭素などのコーティングを施しておけばよいことになる。

コーティングの手法として最も容易なものは、セラミックチップを用いて予め血液中かもしくは筋肉などにレーザーを照射して、チップ先端に炭素を付着させる方法である。この方法で、実験的には良好な組織破壊が可能となるが、炭素の付着状態が一定しないため、必要出力の安定化は不可能である。次に、チップ先端に特殊金属をコーティングする方法がある。一般的には蒸着法を用いるが、コーティングする材質とされる物質の熱膨張率が異なるため、レーザーを通した場合にコーティングが剥がれ易いという問題がある。しかし、必要出力の安定

化ができるため、コーティングの方法をうまく考えれば、最良の方法となる可能性があり、本研究ではこの方法を選択した。

2、セラミックチップ用内視鏡の設計

内視鏡に必要な第一条件は、経皮的アプローチができる太さの内視鏡にすることであった。セラミックチップは直径約1.7mmほどあるため、実際これの通るチャンネルを持つ内視鏡を設計製作したところ、直径約3.2mmほどになってしまい³⁾、これ以上に直径を細くするためには、チップ自体が通過可能なチャンネルを設けることは不可能となる。

以上のことを考慮し、内視鏡のチャンネルにはレーザープローブのファイバー部分のみを通すこととし、レーザープローブのセラミックチップ部分は内視鏡先端にあらかじめ設置した状態で使用する形態を考えた。したがって、内視鏡へのレーザープローブの装着は、内視鏡の先端からチップの付いている逆の部分よりレーザーファイバーを挿入し、内視鏡基部よりレーザーファイバーが出た時点でレーザーファイバーにレーザーを接続可能なようにすることにした。

3、動物実験による評価検討

以上の1、2、の方法で試作したセラミックコーティングチップ付レーザープローブおよび専用内視鏡は、高コレステロール食を用いて作成した動脈硬化家兔の大動脈を用いて、評価を行った。

(i) セラミックコーティングチップ付レーザープローブ

動脈硬化家兔の摘出大動脈を生理食塩水中におき、長田電気製Nd:YAGレーザー(Fig. 2)を用いセラミックコーティングチップによりアテロームを焼灼し、チップに必要なレーザー出力を検討した。焼灼状態および組織作用は、光学顕微鏡を用い組織学的に検討した。

Fig. 2 実験に使用したレーザー装置

(ii) 専用内視鏡

専用内視鏡は、セラミックコーティングチップ付レーザープローブを装着したまま動脈硬化家兔の腹部大動脈より挿入し、大動脈弓部に先端を進め、生理食塩水をフラッシュして視野を確保し、大動脈壁のアテロームの焼灼蒸散を試みた(Fig. 3)。

【結果】

1、セラミックコーティングチップ付レーザープローブ
実験用に、セラミックチップの先端部分のみに金属をインプラントしたチップを試作した(Fig. 4)。このチップは、コア径400 μ mの石英ファイバーに装着され、実験用に交換可能にできている。

このチップを用いて、動脈硬化家兔の摘出大動脈のアテローム部分および正常部分に接触照射したところ、組織は5~15Wの出力で焼灼された(Fig. 5)。

Fig. 3 セラミックコーティングチップ付レーザープローブおよび専用内視鏡を用いた内視鏡下照射実験系

このレーザープローブは、レーザーファイバーの途中に接続部分があり、この接続部分でファイバーがはずれるようにした(Fig. 6)。接続部分での効率率は80%以上であった。

2、専用内視鏡

内視鏡は、直径2.3mm (7Fサイズ) となり、直径1.3mm のチャンネルにはセラミックコーティングチップ用のレーザーファイバー部分 (直径0.9mm) が通過可能であった(Fig. 7)。

この内視鏡およびセラミックコーティングチップ付レーザープローブを使用した動脈実験においては、大動脈内部をよく観察でき、アテロームの焼灼も内視鏡下に良好に行えた(Fig. 8)。

Fig. 4 セラミックコーティングチップ

Fig. 5 家兎大動脈におけるセラミックコーティングチップの作用
右：動脈硬化部位（アテローマ）、左：正常部位、上：5W、下：15W

Fig. 6 レーザーファイバー部分で取り外し可能なレーザープローブ

Fig. 7 専用内視鏡にセラミックコーティングチップ付レーザープローブを装着した状態

Fig. 8 専用内視鏡およびセラミックコーティングチップ付レーザープローブを用いた内視鏡下照射実験、右：照射中、左：照射後

【考察】

試作したセラミックコーティングチップは、作用の点からはホットチップとセラミックチップのよい点のみを併せ持つチップであると考えてよい。すなわち、本チップを用いれば出力5～15Wの範囲で目的とする組織の焼灼状態を自由に制御できるため、ホットチップのような使い方をしようと思えば、出力5～8Wで使用すればよいし、また強力な焼灼蒸散を必要とする場合には出力を8～15Wで使用すればよい。さらに、熱の発生する部分がチップ先端のコーティング部位に限られるため、ホットチップほど組織にくっつかないという利点もある。

セラミックコーティングチップ付レーザープローブの内視鏡への装着には、チップの方で取り外し可能にして内視鏡基部よりレーザーファイバーを挿入する方法を最初考えた。しかし、チップ交換部の直径はレーザーファイバーよりかなり太いため、それが通過可能なチャンネルを設けようとする内視鏡がかなり太くなってしまう。今回、レーザーファイバーを内視鏡先端より挿入する方法を考案したが、内視鏡先端の小さなチャンネルにレーザーファイバーを挿入しなければならないため、レーザーファイバー挿入時に技術的に多少難しい点がある。

内視鏡は、7Fサイズと経皮的アプローチ可能な太さにできたが、先端に血流の閉塞用バルーンが必要か否かは現在考慮中である。すなわち、末梢動脈では内視鏡にバルーンを付けなくても、バルーンカテーテルを使用してその中に内視鏡を通すことが可能と考えられるからである。先端の屈曲機能に関しては、チップの確実な照準合わせに必要であるため、現在開発中である。

最終的には、セラミックコーティングチップに先端屈曲機能を持つ内視鏡を組み合わせる臨床用のシステムを完成させる予定である。

【まとめ】

- 1、セラミックコーティングチップを開発し、必要レーザー出力を安定化できた。
- 2、レーザープローブの内視鏡への挿入には、内視鏡先端よりプローブのレーザーファイバーを挿入する方法を考案した。
- 3、セラミックコーティングチップ専用の経皮的アプローチ可能な太さの内視鏡を開発し、動物実験で有用性を確認できた。

（謝辞）

本研究にあたりセラミックコーティングチップの開発に協力をいただきました長田電気株式会社および専用内視鏡の開発に協力をいただきました住友電気工業株式会社に深謝いたします。

〔参考文献〕

- 1) 阿部裕輔、他：血管内手術用レーザープローブに関する基礎的研究、医科器械学 6(supple.), 38-39 (1986)
- 2) 阿部裕輔、他：レーザー血管内形成術に関する基礎的研究—血栓およびアテローム変性動脈への血管内レーザー接触照射効果の解析、日本レーザー医学会誌、7(3), 115-116 (1987)
- 3) 阿部裕輔、他：セラミックチップによるレーザー血管内形成術：末梢動脈を対象とした内視鏡下照射に関する検討、日本レーザー医学会誌 9(3), 479-482 (1988)