COレーザーを用いた動脈内レーザー手術装置：
内視鏡・透視画像視野下in vivo動物実験

荒井恒憲¹⁾、水野杏一²⁾、菊地 眞¹⁾、栗田 明²⁾、竹内 清³⁾、内海 厚⁴⁾、赤井義朗⁵⁾

1)防衛医科大学校・医用電子工学講座、2)同校第一内科、3)フクダ電子、
4)三菱電線工業、5)浜松ホトニクス

CO Laser Angioplasty(VII) – In vivo CO
laser Angioplasty under Visualization on
Thin Angioscope and Angiography

T.Arai¹, K.Mizuno², M.Kikuchi¹,
A.Kurita², K.Takeuchi³, A.Utsumi⁴ and
Y.Akai⁵

- 1) Dept. Med, Eng., National Defense
Medical College
- 2) Dept. 1st Int. Med., ibid.
- 3) Fukuda Denshi.
- 4) Mitsubishi Cable.
- 5) Hamamatsu Photonics.

The animal experiment of CO laser angioplasty in vivo is described. The purpose of this study is the evaluation of guidance technology by the combination of angioscopy and angiography. A complete occlusion model at canine femoral artery was ablated by CO laser under this guidance system. The angioscope image was useful for the positioning of the ablation startpoint and also for the real time monitoring of the ablation depth. However, the simultaneous usage of angioscopy and angiography may be necessary to attain precise guidance in angioplasty procedure. The repetitive ablation procedures by CO laser contact irradiation made a large lumen comparing to single ablation procedure. The major experimental equipments which were employed in this study were the first trial products of the government supported angioplasty project.

1. はじめに

動脈内レーザー手術はその治療指針や有効性がまだ確立しているとはいいがたく、それらの検討は血管（冠状動脈）内で安全に運用できる新しい手術装置の開発に大きく依存している。我々は蒸散能に優れた赤外COレーザーとフレキシブルな赤外ガラスファイバーを用いた動脈内レーザー手術装置について、周辺技術を含め検討を進めている^(1,2)。今回、赤外連続COレーザーを用いた実用的な動脈内レーザー手術装置システムを構成し、動物実験においてその運用方法を検討したので報告したい。実験の目的はCOレーザー蒸散をin vivoで運用できるか否かの検証と、血管内視鏡によるレーザー蒸散ガイダンス方法の調査にある。

2. 実験装置

実験機材は可搬型医用COレーザー、レーザー血管内視鏡バルーンカテーテル、カルコゲン化物ガラスファイバーを用いたCOレーザーケーブル、内視鏡画像（処理）装置から構成されている。

可搬型COレーザーは発振波長 $5.4\mu\text{m}$ 、最大出力15Wであり、種々のchopped波形モードを備えている。レーザー血管内視鏡バルーンカテーテルは先端外径5F、挿入長60～80cmで一方方向の曲げ機能を持っている。外径0.6mm以上のレーザーケーブルを挿入できる貫通ルーメンを有しており、ケーブル挿入中でも内視鏡視野確保のために生理食塩水の注入が可能である。レーザーケーブルは抜き差し操作性を与えるためステンレスの肉薄チューブを外皮としており、出射端での常用出力は2Wである。内視鏡画像装置は血管内視鏡画像の各種処理と記録が可能である。今回は画像の記録機能の

みを用いた。

3. 実験方法

実験動物は大腿動脈にモデル閉塞を作った雑種成犬である。モデル閉塞は蟹甲羅から抽出したキチン質の管を動脈に2~3ヶ月留置して作成した。キチン管は繊維化組織に置き換わっていき、繊維化閉塞となる。脂質をほとんど含んでいない点がこのモデルと実際の繊維化狭窄・閉塞物との差異である。全長は15mm以上である。左総頸動脈よりガイドワイヤーで大腿動脈を選択し、このガイド下に内視鏡レーザーカテーテルを完全閉塞の直前の中枢側に前進させた。X線透視画像・血管造影画像と血管内視鏡画像を同時に使用して、レーザー照射方向を定めて透視・内視鏡視野下でC0レーザーの接触照射を行った。このためしばしば造影剤によるフラッシュを行った。

4. 実験結果

図1に完全閉塞部分の内視鏡画像を示した。僅かに色調が変化した部分が作成した閉塞断端であるが、基質化した血栓を伴う慢性閉塞の臨床冠状動脈像のように、血管壁との境界は明瞭ではない。9時方向に比較的大きい陥没が見える。また3時、および5時方向にも僅かに血液の逆流が見られる陥没孔がある。

図2に閉塞部分の血管造影画像を示した。閉塞部分が大腿骨直上にあり、かつ透視機材が消化器撮影用のものであるため、鮮明な画像情報が得られなかった。ガイドワイヤーを内視鏡で確認した陥没孔に順次挿入し、血管造影によってどの陥没孔がtrue lumenであるかを検証しようとしたが、血管造影画像の解像度が悪く確認できなかった。しかしこの操作によって、閉塞断端の一部が動き複雑な凹凸を有する完全閉塞断端であることがわかった。

3時方向の陥没（内視鏡画像で中心ではない）に向けて、レーザーケーブルを押しつけ接触照射を2回行った。レーザー照射は出力1.5Wで周波数1Hz、duty比50%、5秒間を基準にした。図3に照射中の内視鏡画像を示す。3時方向にレーザーケーブルが見える。1回目の照射では約10mmケーブル

を前進させた。血管造影画像上で蒸散方向はほぼ良好であるが、閉塞末梢側まで到達していないことが確認できた。2回目の照射はケーブルを閉塞中枢側に一旦引き抜いてから、1回目よりも5~10mm前方まで蒸散した。その結果、血管造影で血管穿孔と考えられる所見を得た。

図4に2回レーザー照射を行った部分の染色組織標本を示した。レーザー照射1回の部分は円形の蒸散孔が得られたのに対して、2回照射部分では約2倍の面積の矩形の蒸散孔が得られた。また、蒸散開始部位は内視鏡画像と同様に血管内腔中心をはずれており、約10mm血管中膜内側を血管に平行に蒸散した後、近位の血管壁を穿孔していた。

5. 考察

製作したC0レーザーケーブルによって、in vivo血管内で十分な蒸散速度を持つ実用的な蒸散が可能であった。またケーブルを2回抜き差しして蒸散を行った部位は、1回の部位に比べて大きい蒸散孔となり、反復照射によって大きい開通孔が得られる見通しを得た。

使用したX線透視画像装置は解像度、透視方向に問題があった。最終的には穿孔を生じてしまったが、蒸散開始位置を血管内視鏡像で確実に中心とし、血管の末梢側の曲率を血管造影で把握できれば完全閉塞に対するレーザー治療が行えるものとする。つまり、血管内視鏡画像と血管造影画像の2種類の画像を同時に組み合わせてレーザー蒸散のガイダンスを行う。この2種類の画像情報は相補的なものであり、組み合わせて使用することが極めて重要である。また透視画像を多用することからカテーテル、ケーブルなどの先端の透視画像上での視認性が重要であることがわかった。また血管内視鏡画像と血管造影画像の同時モニターのためには、精度の高い造影剤で視野フラッシュが可能のようにカテーテルを設計する必要がある。

表1にレーザー血管形成術に対する血管内視鏡の有用性についてまとめた。直接ガイダンス法として有用なほか、治療前後の状況を精密に把握できるメリットがある。

6. おわりに

COレーザーとAs-Sカルコゲン化物ガラスファイバーの組み合わせによってin vivoで実用的な治療用蒸散が行えることがわかった。また血管内視鏡の有用性が明らかになったとともに、実際のレーザー血管形成術のガイダンスには血管造影画像との組み合わせが重要であることがあきらかになった。

7. 参考文献

- (1) 荒井恒憲、水野杏一ら、COレーザーを用いた動脈内レーザー手術装置—内視鏡下in vivo照射に関する検討(2)、日本レーザー医学会誌、Vol.10、No.3、121-124(1989)。
- (2) T. Arai et al.: A continuous wave laser angioplasty using ir(CO) or uv(Ar) lasers under visualization by a thin endoscope: in vivo animal experiments, Proc. SPIE, Vol.1201, 54-62(1990)。

8. 謝辞

本研究で使用した実験装置の主要部は、医療福祉機器技術の開発研究の一環として、フクダ電子(株)、三菱電線工業(株)、および浜松ホトニクス(株)がNEDOから委託を受けて実施している研究において開発された機器である。

図1 モデル完全閉塞中枢側断端の血管内視鏡像

図2 右大腿動脈の血管造影像

図3 レーザー照射中の血管内視鏡像

表1 血管内視鏡の効用

術前：病巣の状況把握

術中：照射開始部位の決定・位置決め
蒸散深さのモニター

術後：術後状況の正確な把握

図4 2回蒸散部分の組織標本