半導体レーザーのバッテリー駆動による ハンディタイプ簡易止血装置の開発

阿部裕輔、若松 剛*、河野明正、鎮西恒雄、後藤 繁*、井街 宏

東京大学大学院医学系研究科医用生体工学講座、*長田中央研究所

Development of Handy-type Semiconductor Laser Equipment with Small Battery Power Source for the Management of Small Bleeding

Yusuke Abe, Koh Wakamatsu*, Akimasa Kouno, Tsuneo Chinzei,
Shigeru Goto*, Kou Imachi

Department of Biomedical Engineering, Graduate School of Medicine, The University of Tokyo

*Osada Research Institute, LTD.

Abstract

We developed handy-type semiconductor laser equipment with small battery power source for the management of small bleeding. In order to reduce the required power source, the equipment was designed with following principle; 1. no computer control, 2. no guide light and contact irradiation with optical fiber, 3. no electrical cooling of laser diode, 4. small battery as the power source. By using Ni-Cd battery (4.8V), 1 watt of laser power at the optical fiber end and from 15 to 30 minutes of continuous irradiating time could be obtained with no over heating of laser diode. In the animal experiment using anesthetized rat, small bleeding such as woozing could be managed and small vessels could be coagulated with both contact irradiation method. This kind of simple laser equipment is considered to be very useful for the management of small bleedings in the small surgery and small wound.

【はじめに】

外来や病棟で使えるハンディタイプな簡易止血装置としては、電熱線と乾電池を用いたものがあり、コードレスであるために、まるごと消毒できたり、取り回し自由度が高いなど、使いやすい形態となっている。しかし、出力が小さいため、眼科や皮膚科的な疾患に対しては十分な能力を持っていても、小切開創の止血などには使用できない。そこで、高出力半導体レーザーをバッテリー駆動で使用するによりコードレス化をはかり、専用にシステム設計をすれば、小切開創の止血まで可能な出力を持ち、丸ごと消毒可能で、かつ本体を

手に持って使用できる小型簡易止血装置ができるのではないかと考えた。本研究は、半導体レーザーを用いたコードレスでハンディタイプな簡易止血装置を開発し、動物実験により止血効果を評価することを目的とした。

【方法】

1. 開発方針と実験装置の設計

図1のような装置を想定し、この形態が実現できるように、以下の開発方針とした。

a. コンピュータ制御なし

制御項目を減らし、照射条件の設定や表示を無

図1 半導体レーザーを用いた簡易止血装置

くすとともに、消費電流を低減する。

- b. ファイバー導光、ガイド光なし
ファイバー先端での接触照射のみとする。
- c. 冷却装置（ペルチェ素子）なし
強制空冷のみとし、消費電流を低減する。
- d. バッテリーで駆動
半導体レーザー素子駆動部分以外を極力なくして消費電流を低減する。

実験装置は以下のように設計した。

- a. 半導体レーザー素子
ペルチェ素子を内蔵しない出力2Wの半導体レーザー素子を使用し、駆動回路は、A C C回路＋リミッター回路のみとする。
- b. 温度制御
半導体レーザー素子を直接ヒートシンクと小型ファンで強制冷却し、ヒートシンクに設けたサーミスタにより30℃でレーザーの照射を中止するようにする。
- c. 表示（L E D）
表示はL E D一つとし、電源ON（緑）、エミッション（オレンジ）、アラーム（赤）というように、発光色で状態を表示するようにする。
- d. レーザーファイバー
接触照射用レーザーファイバーとしては、コア径600 μm と900 μm の石英ファイバーを用いることとし、照射はベアファイバー先端で接触照射とする。
- e. 操作
装置の操作は電源用のK E Yスイッチ（電源ON/OFF）と、レーザー照射用の手元プッシュスイッチ（レーザーON/OFF）の2段階とする。
- f. ブザー音
レーザー照射中とアラーム発生時（音色を変える）には、警告用にブザー音が出るようにする。

2. 基礎実験および動物実験

上記開発方針および装置の構成で、部品をブラックで組み上げ、最大レーザー照射出力や照射時間を検討した。また、ラットを用いて、ネンブタール麻酔下に開腹手術を行い、止血効果や臓器・組織の作用を検討した。

【結果】

実験用装置として、波長980nm、出力2WのInGaAs半導体レーザーを使用した装置を試作した（図2）。照射実験の結果、Ni-Cdバッテリー（4.8V）により、ファイバー先端出力1Wで最高30分程度の連続出力を得ることが出来ることがわかった。

動物実験では、バッテリーの充電が完全でなかったせいもあり、ファイバー先端出力1Wで平均15分程度の照射時間が得られた。動物実験は、ファイバー先端出力1Wで行った。

図3は、コア径600 μm のレーザーファイバーを用いて、皮下のウー징を止血している写真である。ウー징程度は容易に止血できた。図4は、血管に対する凝固作用を見るために、腸管脈動静脈に照射してる写真である。コア径600 μm のレーザーファイバーを使用した場合、直径0.5～1mmの動静脈は1秒程度の接触照射で容易に凝固することが出来た。また、血管を切断し、血液が流出している状態で接触照射をした場合には、組織を圧迫して出血を抑えた状態であれば止血可能であったが、血液が流出している状態では、血液のみが熱変性して、ファイバー先端に黒い炭化物の固まりが発生するため、止血は困難であった。図5は、コア径600 μm のレーザーファイバーを用いて、腹直筋断端からのウー징を止血しているところであるが、筋肉からのウー징はそれ

図2 開発した実験用装置

図3 皮下のウージングの止血

ほどひどくなかったせいもあり、容易に止血可能であった。図6は、組織凝固の状態を見るために、肝臓に照射した写真である。レーザーファイバーはコア径 $600\mu\text{m}$ のものと、コア径 $900\mu\text{m}$ のものを使用し、1～3秒接触照射した場合である。これを見ると、コア径 $900\mu\text{m}$ のレーザーファイバーを使用した方が、コア径 $600\mu\text{m}$ のレーザーファイバーを使用した場合よりも、凝固組織の横方向の広がり大きいことが分かる。横方向の広がり、3秒照射では、コア径 $600\mu\text{m}$ のレーザーファイバーを使用した場合が約1.5mm、コア径 $900\mu\text{m}$ のレーザーファイバーを使用した場合が約2mmであった。この組織をマッソントリクローム染色した組織所見が図7である。これを見ると、横方向の広がりとは逆で、コア径 $600\mu\text{m}$ のレーザーファイバーを使用した方が、コア径 $900\mu\text{m}$ のレーザーファイバーを使用した場合よりも、凝固組織の深さ方向の進達度が大きいことが分かる。凝固組織の深さ方向の進達度は、コア径 $600\mu\text{m}$ のレーザーファイバーを使用した場合が約1.5mm、コア

図5 腹直筋切断端からのウージングの止血

図4 腸管脈動静脈の凝固
(上：照射中、下：照射後)

径 $900\mu\text{m}$ のレーザーファイバーを使用した場合が約1mmであった。

【考察】

コードレスでハンディタイプを可能とする止血装置を開発する場合、高周波を用いた、いわゆる電気メスタイプでは、バッテリーの内部抵抗により十分な出力が取れず、また、超音波利用は熱変換効率の低さから現状では困難である。従って、現時点における可能性としては、発振効率の良い高出力半導体レーザーの利用が唯一と考えられる。また、数ワット程度の出力があれば、ファイバーチップや人工サファイアなどを使用することにより、半導体レーザーが小切開創の止血などに使用できることは、既に我々の過去の研究で分かって

図6 肝臓への照射

図7 肝臓への照射後の組織所見

(左上：600 μ m・1秒、左下：600 μ m・3秒、右上：900 μ m・1秒、右下：900 μ m・3秒の条件でそれぞれで照射、マッソントリクローム染色)

いる^{1)~3)}。高出力半導体レーザーのバッテリー駆動は、冷却や制御の問題等から従来は不可能と考えられていたが、今回の実験より、専用にシステム設計をすれば、バッテリーの内部抵抗を考慮しても十分可能性があることがわかった。連続照射可能時間も15分以上取れることが動物実験においても証明された。この照射時間があれば、臨床的にも有用である可能性は高いと考えられる。

動物実験の結果からは、小出血の制御は十分可能であることがわかった。使用するレーザーファイバーのコア径によって、組織凝固の空間的な広がりが少し異なるが、これは、コア径が小さい方が、出力密度が大きいため、より深くまで凝固変性できるためであると考えられる。今回は、レーザーファイバー先端出力が1Wの装置を開発したが、この出力であれば、コア径600 μ mのレーザーファイバーが適当であるような印象を受けた。しかし、実際のレーザー素子は2Wのものを使用しているため、ファイバーのカップリングを良くすることにより、さらに出力は大きく出来ると考えられるし、肝臓への照射実験より、コア径900 μ mのレーザーファイバーの方が良い可能性もあり、今後、さらに研究を進める予定である。

高出力半導体レーザーのバッテリー駆動であるが、今回はNi-Cdバッテリーを使用した。最近では、Ni-MHバッテリーやリチウムイオンバッテリーなどの高容量バッテリーも開発されているため、さらに高出力のレーザー素子を使用できる可能性もある。今後は、まずは今回開発した装置を、臨床の場で評価できるように、図1のような形態にする努力を行う予定である。

こうした簡易止血装置が実用化すれば、病棟や外来のみならず、野外や救急の現場などでも使用できるなど、その有用性は大きいと考えられる。

[文献]

- 1) 阿部裕輔、米沢卓実、鎮西恒雄、他：半導体レーザーを用いたレーザー小手術、第12回日本レーザー医学会大会論文集、p126-129、1992
- 2) 鎮西恒雄、阿部裕輔、米沢卓実、他：半導体レーザーを用いたコンタクトレーザーメスの開発、第11回日本レーザー医学会大会大会論文集、p651-654、1990
- 3) 鎮西恒雄、阿部裕輔、米沢卓実、他：マイクロサージェリーのための半導体レーザー装置の開発、日本レーザー医学会誌9(3):p387-390、1988