レーザー手術における自動制御安全システム

FEEDBACK-CONTROLLED SAFETY SYSTEM FOR LASER SURGERY.

。山本^{*} 卓, 小林^{**} 慎裕, 朴^{***} 政用, 福本^{***} 一朗

Takashi YAMAMOTO^{*}, Shinsuke KOBAYASHI^{**}, Mignon PARK^{***} and Ichiro FUKUMOTO^{***}

^{*} 三菱電機 中央研究所

^{**} 工学院 大学 工学部 電子工学科

^{***} 東京大学 医学部 医用電子研究施設

^{*} Central Research Laboratory, Mitsubishi Electric Corp.

^{**} Dept. of Electronic Engineering, Kogakuin University.

^{***} Institute of Medical Electronics, Univ. of Tokyo.

ABSTRACT

In this paper we describe the feedback controlled safety system whose function is to prevent the mis-irradiation caused by the human errors.

The distance between the handpiece and the object is measured by detecting the reflected light from the object which is irradiated by He-Ne laser. If the measured distance becomes longer than the preset value, the irradiation of high energy laser is automatically stopped by the shutter.

The experimental results are following.

1. The preset region in which the laser irradiation was permitted is not affected by the difference of the reflectivity or the surface slope of the objects.
2. In the case of specular object such as a mirror, the irradiation of the laser beam is almost perfectly stopped even if the specular object is within the preset region.

1. はじめに

レーザーメスは広範な臨床応用が期待されており、十分な安全対策が不可欠であるが、現状は安全性のほとんどを執刀医の注意力に依存しており、人的ミスを防止する安全装置の開発が望まれる。

レーザーメスでは、レーザー照射端から対

象物までが刃先に相当するため、安全上および操作感覚の面からも問題となっている。

本研究では、レーザー誤照射を防止する最適な安全装置として、レーザー照射端からビーム方向に沿った一定距離内をレーザー照射可能領域とすることにより、実質的に有限な刃先を実現する誤照射防止装置を試作開発し

た。ここでは動作実験の結果を報告する。

2 誤照射防止装置

2-1 装置の概要

誤照射防止装置は距離検出部とレーザー照射制御部から構成される。本装置はその機能上、高速応答性が要求されるが、とくに距離検出部が具備すべき条件として次に示すものがある。

(1) 操作性・・・検出部を装着した際にメスの操作性を損わないこと。

(2) 安全性・・・人体に安全な計測方法であること。

(3) 安定性・・・設定領域が対象物によって変化しないこと。

ここでは上記の条件を考慮し、対象物からの反射光量を計測する方法を採用した。本計測方法は既にレーザーメスに装備されたガイド光 (He-Ne レーザー) を利用できるため、検出部の構成を非常に簡単化できるという特長をもつ。

一方、本計測方法はその原理上、対象物の傾きおよび反射率のちがいに影響されるため、これらの影響の小さな検出部を開発することが重要課題となる。

2-2 距離検出部

検出部の概略を図1に示す。図中、三種類の検出部を示したが、基本的には円筒などで指向性をもたせたフォトダイオードを検出器として用い、レーザービームに対してある角度 θ だけ傾斜させたものである。

図1(a)に示した単一の検出器を用いた場合の距離-反射光量特性に関しては、既に報告があるため詳細は省略するが、対象物の傾きおよび反射率変化に大きく影響され、検出部として不適当である。

図1(b)は、傾きによる誤差を軽減させるため、2つの検出器の加算出力をとる方法である。この加算型の検出部は、対象物の傾きによる誤差をある程度まで軽減できるが、種々の生体組織の反射率のちがいによる誤差が大きく、誤照射防止装置の検出部としては不十分である。詳細は次の実験結果のこ

Fig.1 Schematic diagram of the photo-detector arrangement.

Fig.2 The principle of the differential detection method.

ろで述べる。

図1(c)の検出部は、図2に示す様に2つの検出器の距離特性曲線の交点に対象物にあまり影響されず、ほぼ一定の距離で生じることに着目したもので、2検出器の差動出力をとる方法である。

本報告では主として、この差動型検出部に対する対象物の傾きおよび反射率変化の影響を検討し、その有用性を明らかにする。

3 実験結果

3-1 実験装置

実験装置の概略図を図3に示す。本装置はマイクロメータ付対象物移動台、距離検出部およびレーザー照射制御部から構成される。

以下に述べる実験はすべて本装置を用いて行なった。

反射率の影響を調べるため、対象物として

Fig.3 Schematic diagram of the experimental equipment.

Fig.4 The influence of the surface slope of the object.

ほぼ同じ厚さにした数種類の生体組織を用いた。また、図中に示した様に、角度 α を変化させて傾きの影響を調べた。距離は対象物移動台のマイクロメータから読み取った。

3-2 加算型検出部の特性

図ノ(b)の加算型検出部に関して、対象物の傾きと反射率変化が及ぼす影響を検討した結果を図4、図5に示す。

図4からわかる様に、20度程度の傾きによる測定距離誤差は2 mm程度におさえられているが、更に傾きが増加した場合はもはや補正しきれない。

また、図5から明らかな様に、加算型の検出部は生体組織の反射率のちがひによる誤差が大きく、種々の生体組織を対象とするレーザー手術への適用には不十分である。

3-3 差動型検出部の特性

図ノ(c)の差動型検出部を用い、対象物の傾きと反射率変化の影響について実験した結果を図6、図7に示す。

図6および図7からわかる様に、差動出力の零交差点はほぼ一定の距離において生じ、反射率および傾きの影響をほとんど受けないことを明らかにした。

3-4 動作試験

ここでは、差動出力が零以下の場合にシャッターを閉じる様に、比較器およびシャッター駆動装置を付加して誤照射防止装置を構成し、総合的な動作を確認した。

実験結果を図8に示す。

Fig.5 The influence of the reflectivity of the object.

Fig.6 The relationship between the distance and the differential output. The influence of the reflectivity of the object is shown.

Fig.7 The relationship between the distance and the differential output. The influence of the surface slope of the object is shown.

レーザー照射停止距離をレーザー照射端から3 / mm に設定したが、誤差± / mm の範囲で正確に動作した。

対象物としては生体組織以外にも金属、鏡を用いて実験を行なった。表面が荒く、生体組織と同様に乱反射する金属に関しては、ほぼ同じ動作が確認された。

対象物が鏡面体の場合は、反射したレーザービームが検出器Aに直接入射する特殊な場合を除き、たとえ鏡面体が照射領域内にあってもレーザー照射が停止されるという安全上好ましい結果が得られた。

ここで、鏡面で反射したビームが検出器Aに直接入射する確率は、照射されたビーム上の各反射点における検出面の立体角を求めれば計算できる。図9に示す検出器配置を考えた場合、ビーム上の距離rの点における検出器Aへの入射確率P(r)は次式で表わされる。

$$P(r) = \frac{S \cos(\tan^{-1} \frac{d}{r} - \theta)}{4\pi(r^2 + d^2)}$$

Fig.8 The performance of the mis-irradiation preventing system.

Fig.9 The arrangement of the detector.

この確率は本装置の場合でもたかだか / % 以下の確率であり、検出器をさらに小型化することによりこの確率を小さくできる。

4 おわりに

本研究では、レーザーメスに装備されているガイド光を利用した非常に簡単な構成の誤照射防止装置を試作した。

本装置は、対象物の影響をほとんどうけずに安定な照射領域設定が可能であり、安全上、操作上問題となっている長い刃先を実質的に制限することができた。

さらに本装置は原理上、鏡面体が照射領域内に入った場合にもレーザー照射を停止させる機能を備えており、レーザー手術の安全性向上に大きく貢献できるものと考えている。

参考文献

朴ほか：レーザー手術における自動制御システム，第9回 日本ME学会大会論文集