生体組織におけるNd:YAGレーザーの組織透過率の測定

前間 篤¹、橋本 大定²、篠原 一彦²、
田嶋 顕一郎³、横谷 定雄³、庄司 正弘³、
幕内 雅敏⁴

¹ 国立精神神経センター国府台病院外科

² 東京警察病院外科

³ 東京大学工学部機械工学科

⁴ 東京大学医学部第二外科

Measurement of Permeability of Nd:YAG Laser to the Tissues of the Human Body

Atsushi Maena¹, Daijo Hashimoto², Kazuhiko Shinohara², Kennichiro Tajima³,
Sadao Yokoya³, Masahiro Shoji³, and Masatoshi Makuchi⁴

¹National Center of Neurology and Psychiatry, Department of Surgery

²Tokyo Metropolitan Police Hospital, Department of Surgery

³University of Tokyo, Department of Mechanical Engineering

⁴University of Tokyo, Second Department of Surgery

Abstract

Resected specimens of the intestines, the stomach and colon, were divided carefully into (1)the mucosa and submucosal layer, and (2)the muscle layer and serosa. Both tissues were irradiated by Nd:YAG laser, and the permeability of Nd:YAG laser was measured. It was revealed that the permeability of Nd:YAG laser to the formers was lesser than the latters.

はじめに

現在医療の現場において、様々な分野で種々のレーザーが利用されているが、その使用方法に関しては、実際には術者の経験と感に依存するところが多分にあるのが実状である。そこで我々は、レーザーの生体組織に対する透過性を各

組織ごとに測定し、その透過性に差異があるのかの客観性のあるデータを示すことが、レーザーの臨床応用に役立つのではないかと考えた。

今回はレーザー治療の対象となることの多い胃・結腸に対するNd:YAGレーザーの組織透過性を測定し、sm層までとmp層以深とでレーザー透

Lambert の法則 厚さ d の媒質に強度 I_0 の光を入射させたときの透過光の強度 I は次式で与えられる

$$I = I_0 e^{-\alpha d}$$

図1

組織	試料	吸収係数 α (1/mm)
胃	粘膜+粘膜下組織	3.24 ± 0.24
	固有筋層+漿膜	2.56 ± 0.08
結腸	粘膜+粘膜下組織	3.52 ± 0.24
	固有筋層+漿膜	2.45 ± 0.08

表1

過性が異なるかを調べることにした。

方 法

手術にて摘出したヒトの胃及び結腸のうち、その健常部分を、粘膜下組織と固有筋層の間を境として丁寧に鋭的に剥離し、①粘膜+粘膜下組織、②固有筋層+漿膜、の二つの組織に分けた。

次に、上記組織を約2×2cm大の大きさに切り出してレーザーを照射する試料とし、その厚さを測定した。厚さ測定にはlaser displacement meter (小野測器)を用いた。

次に、試料を厚さ1.00mmのガラス板二枚にはさみ、Nd:YAGレーザー (FYL-M1、富士写真工機)を連続照射した(300秒間)。照射出力は1.00W、スポット径は6.00mmとした。試料を透過したレーザーの出力は、レーザーの光軸上にパワーメーターを設置して測定した。パワーメーターはlaser instrumentation社のサーモパイル型パワーメーター26S及び26SHを使用した。

こうして得られた測定結果をもとにランベルトの法則を用い、試料の吸収係数を計算し、この吸収係数をもってレーザーの組織透過性の指

標とした。ランベルトの法則というのは、厚さ d の均一な媒質に強度 I_0 の光が入射したときの透過光の強度 I は、

$$I = I_0 e^{-\alpha d}$$

で与えられるというものである。この α が吸収係数と呼ばれるもので、媒質に特有の値であり入射光の波長の関数である。またこの α は、ある波長の光が媒質に入射する時、透過光の強度が $1/e$ になる時の媒質の厚さの逆数であり、この α の値が大きい程、光の透過性が悪いということになる。

今回は試料を二枚のガラスにはさんでレーザーを照射しており、ガラス・試料の二つの異なる媒質をレーザー光が透過することになるため、以下のような考えに基づき試料のみの吸収係数を計算した(図1)。

まず、吸収係数 α_1 、厚さ d_1 の媒質(ガラス)を二枚重ね、レーザーを照射した場合の入射光の出力 $P_{in①}$ と透過光の出力 $P_{out①}$ の関係は、

$$P_{out①} = P_{in①} e^{-2\alpha_1 d_1}$$

となる。次に吸収係数 α_2 、厚さ d_2 の媒質（試料）を、吸収係数 α_1 、厚さ d_1 の媒質（ガラス）ではさみ、レーザーを照射した場合の入射光の出力 $P_{in②}$ と透過光の出力 $P_{out②}$ の関係は、

$$P_{out②} = P_{in②} e^{-2\alpha_1 d_1 - \alpha_2 d_2}$$

となる。この二つの式から $e^{-2\alpha_1 d_1}$ を消去し、試料の吸収係数 α_2 を求めると、

$$\alpha_2 = \frac{1}{d_2} \ln \left[\frac{P_{out①}}{P_{in①}} \frac{P_{in②}}{P_{out②}} \right]$$

となる。

胃・結腸とも、粘膜+粘膜下組織、固有筋層+漿膜についてそれぞれ5例ずつNd:YAGレーザーを照射し透過光の出力を測定、上記計算方法によって各々の吸収係数を求めた。

結 果

胃・結腸それぞれにおける、粘膜+粘膜下組織、固有筋層+漿膜のNd:YAGレーザーに対する吸収係数は表1の通りであった。胃・結腸いずれにおいても、粘膜+粘膜下組織のほうが、固有筋層+漿膜よりも吸収係数が有意に高値であった（ $p < 0.001$, t検定）。

考 察

粘膜+粘膜下組織が、固有筋層+漿膜よりも吸収係数が高いと言うことは、すなわち前者が後者よりもNd:YAGレーザーに対する透過性が低い、ということである。今回パワーメーターで

測定した組織を透過したレーザーの出力は、組織に入射したレーザー光のうち光軸に平行に直線的に透過したもののみを測定していることになり、組織入射後散乱したレーザー光を無視したことになる。よって、表1に示したそれぞれの吸収係数の値は、我々の測定システムにおける場合に限ったものであり、数値そのものは普遍的なものではない。しかし、同じ測定システムで得られたもののゆえ、吸収係数同士の比較・検討は可能と考えた。

また、組織がレーザーにより凝固・蒸散を起こすと、その組織変性のため組織を透過するレーザーの出力が変化するので、今回は組織を透過するレーザー出力が照射時間中一定になるように、出力1.00W、スポット径6mmと、単位面積あたりに照射されるレーザーのエネルギーをあえて小さくして、照射組織が凝固・蒸散を起こさないようにした。実際に生体において治療を目的にレーザーを照射する場合には、当然組織が凝固・蒸散するような高出力で行うことが多いわけであるから、今回の結果がそのままこのような高出力の場合にもあてはまるわけではないが、少なくとも組織の物性として、胃・結腸の粘膜+粘膜下組織が固有筋層+漿膜よりも、Nd:YAGレーザーに対する透過性が低いということとは言えると考えられる。

現在我々は、Nd:YAGレーザーの生体組織に対する優れた組織透過性を利用して、組織表面冷却法と組み合わせて組織表面を保護しつつ、深部病変に対して選択的に凝固効果を及ぼすという、まったく新しいレーザー治療法の確立に向けて様々な基礎研究を行っており¹⁾²⁾、この組織透過率の測定もその一つである。今後の研究

成果についてはまた別の機会に報告したいと考えている。

結 論

胃・結腸においては、粘膜+粘膜下組織が固有筋層+漿膜より、Nd:YAGレーザーに対する透過性が低いと考えられた。

文 献

- 1) 北村 礼, 徐 重人, 橋本 大定, 庄司 正弘. レーザー照射治療法の熱伝導解析. 第31回日本伝熱シンポジウム講演論文集. C243, p565-567, 1994.
- 2) 徐 重人, 橋本 大定, 田嶋 顕一郎, 庄司 正弘. レーザー照射治療に対する熱工学的研究. 第32回日本伝熱シンポジウム講演論文集. D224, p481-482, 1995.