熱電対プローブを改良したレーザー照射組織の 真温度計測

Studies of true temperature measurements with the
improved thermocouple

○長澤 明範 *1, 加藤 一 一 *2, 西川 宏司 *3

Akinori NAGASAWA *1, Kazuitchi KATO *2,
Kouji NISHIKAWA *3

*1 東京都立広尾病院口腔外科, *2 芝浦工業大学通信工学科,

*3 東京大学医学部医用電子研究施設

The thermal effect of lasers is the most applicable to the therapeutic uses of lasers, so that measuring the temperatures of lased tissue correctly is very important for laser therapies.

The temperature of the lased tissues is usually measured with a thermocouple. However, it can not be always measured true temperature of the lasing tissue in such a laser as to penetrate into the tissue because of direct detection of penetrated laser energy in addition to the heat conduction from the target of the tissue.

The authors improved the thermocouple to have high reflectance for the lasers on its surface by spattering with reflecting material as aluminum.

The true temperature of lasing tissue can be measured correctly by using the improved thermocouple.

レーザー光の生体へ及ぼす各種の効果のうち、治療面に現在もっとも利用されているのは熱効果である。この場合、レーザーを照射した組織の温度を正確に知ることは極めて重要なことである。その測定法としては熱電対などの針状感温素子を組織に刺入して測定する方法が一般に採用されている。^{1), 2)}しかしこの方法で得たデータを検討した結果、いかなる場合にもレーザー照射組織の真の温度を指示しているとは限らないという結論に達した。即ち、YAG レーザーのように組織中に浸透する光の場合、上記の方法で測定した組織内温度は、レーザー照射と同時に急速に上昇し、照射終了と同時に急激に下降する。しかし一度加温された組織が冷却操作も加えられずに、急激に温度の下降を示すことは不自然であるので、この場合熱電対によって得られた結果は真の組織温度を指示しているとはいえない。そこで今回著者らはレーザーを照射した組織の真の温度を計測する場合の理論的検討を行ない、さらにその方法や測定器に関する基礎的実験を試みた。

1. レーザー照射組織の温度変化の理論的考察

レーザーを組織に照射すると、一部は表面で反射し、残りが組織内に入射する。組織に入射した光は散乱と吸収を繰り返しつつ減衰して深部へ浸透し、裏面に到達したものは組織を透過する。組織内部で吸収されたエネルギーは熱に変換される。したがってレーザーを照射した組織の温度を熱電対素子を刺入して計測する場合、素子が感受する熱は(A)レーザーを吸収して組織内に発生した熱の伝導によるもの(組織の真の温度)、および(B)組織内に浸透したレーザー光を素子が吸収して発生する熱(組織温度とは異なる)の2つが考えられ、後者が前者を上まわる場合は、熱電対で指示される温度は組織温度よりも高くなり、その後の組織温度変化にも影響すると考えられる。組織内部での光の吸収と浸透の三次元的な形状は、光の波長と組織の光学特性によって決まるが、浸透性の無視される場合には従来の測定法で組織の真温度を計測できるが、浸透性のある光の場合には、従来の方法では真の組織温度が指示され難い。しかし熱電対等の針状感温素子はこの種の計測には利点

多いので、正しい測温を可能にするような改良を加えることも好ましい。問題は浸透光が感温素子に及ぼす輻射的影響を除去して、組織からの伝導性熱変化のみをいかに忠実に検出するかということにある。そこで今回は熱電対のシース材表面に各種の加工を施し、レーザー光の反射を高めるものと、吸収を高めるものとを試作して、レーザー照射時の組織温度測定を行ない、正しい組織温度計測技術に関する基礎的な検討を行なった。

2. 実験方法

厚さ5mmの組織の表面にレーザー光を直角に照射し、光軸上の組織裏面の温度を、各種の表面加工を施した熱電対で測定すると共に、同部を赤外放射温度計で測定し、これらを多ペンレコーダーに同時に記録して、各種のデータを比較検討した(図1)。放射温度計は非接触計測であるため測定器への熱移漏によるロスがなく、対象光の波長が放射温度計の利用波長帯域外にあれば、組織の真温度を忠実に指示することができる。

3. 実験装置ならびに実験材料

- 1) 熱電対: 直径0.5mmのシース型CA熱電対 感温部表面の加工の種類, a.無加工のもの, b.金メッキしたもの, c.アルミ蒸着したもの, d.ベルベットブラックで黒色塗装したもの
- 2) 医用赤外線放射温度計 最小測温径2mm, 感度0.1°C, 測温範囲0~90°C, 応答波長帯域7~11 μ m
- 3) 多ペンレコーダー MC 6712, 室温保償回路およびリニアライザー内臓, 各ペンとも同一時間軸で記録可能, 温度レンジ0~400°C 4段切換
- 4) レーザー装置 CO₂, YAG, Ar 各レーザー装置
- 5) 材料 摘出した牛肝, イカの肉(可視光レーザーの浸透を期待したもの)

4. 実験結果

図2~図5に実験結果を示す。これらの温度変化をまとめると、①レーザー照射開始時刻より遅れて温度上昇を開始し、以後なだらかに上昇して最高温度に達し、この温度をしばらく維

持したのち徐々に初期温度に回復する経過をたどるもの(C型), ②レーザー照射と同時に急速に上昇し, 照射終了と同時に急激に下降し, 以後徐々に初期温度に回復する経過をたどるもの(T型)に分けることができる。

図2はCO₂レーザーをイカに照射した場合で, 熱電対表面の加工の種類に関係なく, いずれもC型を示した。図3はYAGレーザーを牛肝に照射した場合で, 金メッキしたものはC型で, 放射温度計による測定結果(B)と近似している。無加工のものはT型を示した。図4はArレーザーをイカに照射した場合で, 熱電対による温度変化は, すべてT型を示し, 放射温度計による測定値より高い値を示した。図5はCO₂, YAG, Arレーザーを牛肝に照射した場合で, CO₂, Arレーザーによる温度変化は, ともにC型を示した。

5. 実験結果の検討

CO₂レーザーの場合は, 組織表面で吸収(C型)されるため, すべての熱電対による指示値は真温度を示している。YAGレーザーを各種の熱電対に直接照射したときの結果が図6である。図7は代表的な金属の反射率を示したものである³⁾。Auの1.06 μm の波長に対する反射率は98%であり, YAGレーザー光はAuメッキによってほとんど反射され浸透光の影響を受けないため真温度に近い指示値が得られるものと考えられる。Arレーザーの場合, その波長領域におけるAuの反射率は約42%で, 反射は不完全となる。シース材インコネルはNi 72%, Cr 14~17%を含むが, それらの反射率は約60%, 70%である。したがってインコネルの反射率は, Auよりも大きいと推測され, 図4(A)(B)に示すような結果が得られたものと考えられる。

6. 結 論

レーザー照射組織の温度測定には, 熱電対等の針状測温素子が実用上利点が多い。この場合レーザー光の浸透がない場合は熱電対をそのまま用いて正しい計測が可能であるが, 浸透のある場合は素子に対するその輻射的影響を除去する工夫が必要である。今回は素子表面で浸透光を反射する表面処理を素子に施して, 組織の真

温度を測定する方法を検討した。その結果この方法は実用に供し得る一つの方法であることがわかった。YAGレーザーに対しては金メッキが有効であったが, Arレーザーに対しては, 感温部表面をアルミ蒸着した熱電対で測定するのが好ましいものと考えられる。

文 献

- 1) 池田茂人, 他: 日本レーザー医学会誌, 1: 206, 1980.
- 2) K. KATO, et al: LASER TOKYO '81: 22-17~20, 1981.
- 3) レーザオプト(I), (LASER-004), NEC, p 110

図1 測定方法

図2 CO₂ レーザーをイカに照射した場合の光軸上の組織裏面温度変化

図3 YAG レーザーを牛肝に照射した場合の光軸上の組織裏面温度変化

Argon LASER 2 (W), 5 (Sec)

(A) CUTLEFISH
(5mm THICK)

(B)

(C)

図 4 Arレーザーをイカに照射した場合の光軸上の組織裏面温度変化

LIVER

(A) CO₂ L. 10 (W) 2 (Sec)

(B) Argon L. 3 (W) 5 (Sec)

(C) YAG L. 23 (W) 2 (Sec)
L=80(mm)

図 5 CO₂, YAG, Arレーザーを牛肝に照射した場合の光軸上の組織裏面温度変化

THERMOCOUPLES LASED DIRECTLY

YAG LASER 10 (W) 1 (Sec.) L=100(mm)

図6 YAG レーザーを各種熱電対に直接照射したときの温度指示値の比較

図7 代表的な金属の反射率³⁾

本研究は昭和57年度文部省科学研究費の補助
(57480371)に基づいて行なわれたものである。