Nd:YAGレーザー照射に伴う組織内温度の熱電対による測定
—測定値の校正について—

STUDY ON THE TEMPERATURE MEASUREMENT IN THE TISSUE
EXPOSED TO Nd:YAG LASER USED THERMOCOUPLES
—CORRECTION OF MEASURED VALUE—

加 藤 一 一*、長 澤 明 範**、浅 井 浩**

Kazuichi KATO* .Akinori NAGASAWA**.Hiroshi ASAI**

* 芝浦工業大学、**東京都立広尾病院

ABSTRACT

Thermocouples are practically useful and usually used to measure the temperature of lased tissues. The thermocouple, however, can not always indicate the actual temperature of lased tissues, particurally in the case of penetrable laser light, because the sensor absorbs directly the laser light penetrated into a tissue. Therefore, it is necessary to make a correction for the indicated value in this measurement. In this experiment, Nd:YAG laser irradiated vertically on the surface of the liver, and the temperature on the same point of lased surface of the liver were measured simultaneously by thermocouple and infrared thermometer. The temperature measured by thermocouple were compared to the actual value of temperature measured by infrared thermometer. It's impossible to derive the information for the correction of the indicated values by thermocouple. Therefore, the peak temperature in tissue was estimated by the characteristics of the temperature measured with a thermocouple after laser irradiation.

レーザー光を照射した組織の内部温度測定には熱電対などを刺入して行う場合が多いが、組織内に浸透性のあるレーザー光では熱電対自体が浸透

光を直接吸収して発熱するため、その指示値は組織温度を正しく示さない場合がある。著者らは、このレーザー光の直接的影響を除去するために、

レーザー波長に対して高い反射率を示す材料で表面処理を施した熱電対プローブを試作し、実験を行った。その結果、Nd:YAGレーザーでは金メッキを施したものが最も効果的だったが、完全には浸透光の影響を排除できなかった。そこで、熱電対による測定値を補正するための実験を試みた。

実験方法

牛のレバーの薄い皮膜直下に無加工のシース(シース材:インコネル)型CA熱電対(外径0.5mm)を刺入し、センサー部皮膜表面へNd:YAGレーザーを照射条件を変えて照射した。この際、同部を赤外線放射温度計で測定し、熱電対による測定値と比較した。赤外線放射温度計は非接触計測であり、使用レーザー光の波長が感応波長帯域(7~11μm)外にあれば組織の真温度を忠実に指示できる。

実験結果ならびに検討

図1は実験結果(点線、実線)で、経過時間と初期値からの温度上昇 ΔT を示す。熱電対による温度指示値はレーザー照射と同時に急激に上昇し、照射終了と同時に急激に下降して以後なだらかに組織温度(放射温度計による値)に近づく。一方放射温度計による値は照射開始時よりやや遅れて上昇し始め、以後照射量にほぼ比例して上昇するが、ピーク値は照射終了後に生じる。その後は自然放熱によってなだらかに低下する。このように両者の測定値は異なり、熱電対による温度指示値が組織温度を正しく指示していないことがわかる。この原因は、浸透したレーザー光が熱電対に直接作用して発熱したためと考えられ、レーザー光に対する熱電対の吸収率が組織の吸収率に比べて大きい場合に生ずる。この熱電対による測定結果から組織温度の経時変化を求めることは困難である。そこで、レーザー照射終了後の熱電対による特性が、時間経過とともに放射温度計の値に近接し、組織温度を示すので、この時点での熱電対の指示値から、組織のピーク温度を推定した。初期値からの温度上昇を ΔT とし、照射開始からの経過時間を t としたとき、放射温度計による測定曲線を $\Delta T = A t^{2.5} e^{-ct}$ と仮定し、熱電対による測

定値から係数を求めた。この際、照射終了後0.5にピーク値を生じるとして計算した。今回は t が8秒、12秒のときの熱電対による測定値を用いた。その結果、 $\Delta T = 12.42 t^{0.5115} e^{-0.2046t}$ となり、図1に示す曲線が得られ、ピーク値は13.6°Cである。放射温度計によるピーク値は15.5°Cで、ほぼピーク値を推定できる。これらの誤差は、仮定した関数の形式や係数を求める際の t の選び方などに起因しており、さらに詳細な検討が必要である。

結 論

Nd:YAGレーザー照射組織の内部温度を熱電対を用いて測定する場合、その指示値を補正する必要があるが、今回の実験からでは補正に必要な関係を見出すことができなかった。しかし、熱電対による測定値から組織温度のピーク値をほぼ推定することができた。

参考文献1) 長澤明範, 他: 日本レーザー医学会誌, VOL.3, No1:195~200, 1982. 2) 加藤一, 他: JJME, 第21巻(特): 309, 1983.

図 1