

機器紹介

医用サーモグラフィー

横田 祥* 山村剛康* 劔物 修*

近年、医用サーモグラフィーの発達により、各種虚血性疾患や腫瘍診断への応用が進み、麻酔科外来（ペインクリニック）でも血行障害性疾患の診断や神経ブロックの効果判定などに利用されている（表1）。また、当研究室では実験的心筋虚血の範囲測定にサーモグラフィーを使用し、コンピュータ化したシステムにより心筋虚血領域を連続的に観察できるようにした^{1,2)}。医用サーモグラフィーは日本アビオニクス、日本光電、日本電気三栄などでそれぞれ特徴のある製品を開発している。ここでは、現在使用している日本アビオニクス

社製医用サーモグラフィー（TVS-2000ME）を紹介する（写真1）。

概 要

サーマルビデオシステムは観測対象物の各部の温度を非接触で測定し、内蔵モニタテレビに温度分布像（熱画像）として疑似カラーで表示する装置である。装置は赤外線カメラヘッドとイメージプロセッサの主要部分より構成されている。

カメラヘッドは対象物の表面から放射される赤外線エネルギーを受光し、電気信号に変換する。

表1 医用サーモグラフィー検査適用疾患

適用領域	適用疾患例
血行障害	バージャー病などの動脈狭窄・閉塞性疾患、動静脈瘤、血管奇形、Raynard 症状、リンパ浮腫などの疾患、血流に影響をおよぼす薬剤・治療法の効果の経過観察、移植皮膚片の活着状況の判定、インポテンツの病態分析
代謝異常	多くの皮膚疾患、皮下組織疾患など
慢性疼痛	頸腕症候群・肩こり・腰痛などの慢性疼痛性疾患、頭痛、後頭神経痛、三叉神経痛、内蔵関連痛、脊髄神経根刺激症状（椎間板ヘルニアなど）の筋神経疾患および間歇性跛行など
神経障害	自律神経疾患、脊髄神経疾患、および交感神経系に影響をおよぼすと思われる神経疾患、神経ブロックの効果判定、麻酔深度および部位の判定、Raynard 症状の各種負荷による分析、電気刺激の効果判定
炎症	ヘルペス・皮膚炎などの各種表在性急性炎症、慢性関節リウマチなどのリウマチ性疾患、慢性炎症の経過観察や消炎剤の治療効果の判定
腫瘍	乳房腫瘍、甲状腺腫、皮膚腫瘍、骨肉腫、陰囊水腫、その他の表在性腫瘍、転移腫瘍の発見と悪性度の判定
体温異常	神経性食思不振、温度中枢の異常を思わせる疾患、ショックのモニタ
その他	東洋医学／鍼灸の効果測定、マッサージの効果測定、腹証の温度測定 整骨分野／骨折、治療経過、マッサージの効果、ねんざなど その他／カイロプラクティックの効果測定

*北海道大学医学部麻酔科

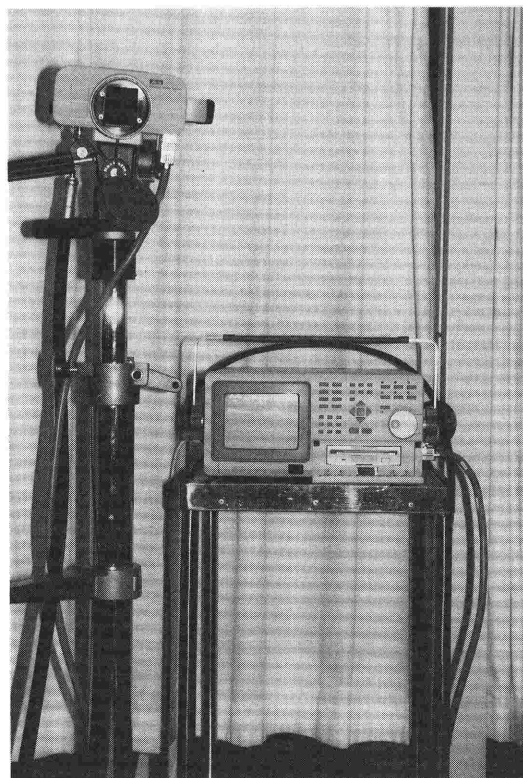


写真1

プロセッサはカメラヘッドからの信号をデジタル信号に変換しメモリに記憶した後、信号処理してカラーモニタに256階調の熱画像をリアルタイムで表示する。

本装置は毎秒30フレームで対象物を観測することができるため動いている対象物たとえば拍動する心臓の熱画像も鮮明に得られる。内蔵する2個のマイクロコンピュータにより、画質改善表示(アベレージング)、選択階調表示、ズーム表示、静止画表示などの各種モード表示や、任意の5点の温度表示、内蔵フロッピーへの画像記録、再生が可能である。RS-232C や GPIB インターフェイスを内蔵しており、外部からのコンピュータ制御が容易である。サーマルビデオシステムによる温度測定は非接触で、極めて高い精度が特徴といえるが、その測定原理を理解するうえで放射率について知る必要がある。

放射率の定義

サーマルビデオシステムは物体表面から放出される赤外線エネルギーを検知することにより、物

体表面の温度を表示する。物体表面の温度が高いほど放射赤外線のエネルギーは多くなるが、同じ温度の物体でもその材質、表面の状態などにより放射エネルギーの量は異なる。この放射の程度を表すのが放射率である。したがって、真の温度を知ろうとする場合は、放射率補正を行う必要がある。物質の放射率は次式により定義される。

$$\text{放射率} = \frac{\text{温度 } T \text{ の物体から放射される赤外線エネルギー}}{\text{温度 } T \text{ の黒体から放射される赤外線エネルギー}}$$

放射率が1の物体を黒体と称し、黒体以外の物質では常に1以下となる。

物質の光学的性質を示すための3つの係数がある。吸収率 (A)、反射率 (R)、透過率 (T) があり、エネルギー保存則により次の関係が成立する。

$$A + R + T = 1$$

物体から放射される赤外線エネルギーは、これら3つの係数に依存したエネルギーといえる。R=T=0 即ち A=1 の物体を黒体 (blackbody) といい、黒体は放射率が最大で、与えられた温度で可能な最大の熱放射エネルギーを放射する。

放射率の測定

放射率が不明の場合は次に示す方法で放射率を求めることができる。

(1) 水銀温度計、サーミスタ、熱電対等の接触温度計で物質の温度を測定し、同時にサーマルビデオシステムで同じ物体の温度を測定し、温度指示値が上記測定値と一致するように放射率補正を行う。この時の補正值がこの物体の放射率である。

(2) 温度を測定しようとする物体の表面に黒体塗料を塗布するか、黒体テープを貼り、放射率を1としてその部分の温度を測定する。次に黒体でない部分の温度を測定し、この温度が前記温度と等しくなるよう放射率補正を行う。この補正值がこの物体の放射率となる。

したがって、サーマルビデオシステムによる温度測定は次式によっている事になる。

$$V(T, T_a) = \epsilon W(T) + (1 - \epsilon) W(T_a) - W(T_a)$$

- T : 対象物温度
- T_a : 背景温度 (室温)
- ε : 対象物放射率
- W(T) : 温度 T の黒体放射エネルギー

$V(T, T_a)$: 検出器出力

即ち, $\epsilon W(T)$ は物体からの放射, $(1-\epsilon)W(T_a)$ は背景からの反射 (室温), $W(T_a)$ はカメラヘッドからの放射をそれぞれ表している.

主な物質の放射率は測定され, 一覧表として発表されている. たとえば研磨した銀は0.03-0.04, 黒色磁器は0.94, 白色磁器は0.90, 人の皮膚は0.98である.

結 語

サーマルビデオシステムは医学, 医療のあらゆる分野における今後の利用が期待される. その測定原理より, 環境温 (室温) やわずかな風によっても測定値に誤差の生じることを十分に留意した

い. また, 真の温度を測定しようとするならば, 放射率の測定も欠かせないことは既に述べた. 身体各部の表面温度が, 血液の温度と血流量の積を表しているとすれば, サーマルビデオシステムによる温度測定は血流量の測定といってもよいはずである. サーマルビデオシステムは非侵襲的な血流量モニタとして発展していくものと思われる.

文 献

- 1) 横田 祥, 石川岳彦, 劔物 修: 麻酔中の冠循環管理—心筋血流観察へのサーモグラフィの応用—. 循環制御 13: 33-37, 1992.
- 2) 石川岳彦: 心筋虚血領域に与えるイソフルレンの影響—熱画像法による解析—. 循環制御 13: 113-123, 1992.

* * * * *

* * * * *

* * * * *