(18) 医器学 Vol. 53, No. 1 (1983)

原 著

展 開 サ ー モ グ ラ フ ィ 〔Ⅱ〕

——パノラミック サーモグラフィ——

長 澤 明 範*

Developmental Thermography 〔Ⅱ〕

——Panoramic Thermography——

Akinori NAGASAWA

*Chief of Department of Oral Surgery,
Metropolitan Hiroo General Hospital,
Tokyo, Japan*

ABSTRACT

The most basic process for the pattern analysis of medical thermography is accurate comparison of the temperature distributions on various parts of a body surface. However, since conventional infrared thermography converts the three-dimensional temperature distributions into a two-dimensional plane image viewed along the optical axis of a thermocamera, the linearity of thermograms thus obtained do not correspond to the real image of the body surface and geometrical deformation cannot be avoided. In practice several thermograms of various sides of a subject must often be taken, but the thermograms thus obtained are not continuous to the ends of each frame, "Panoramic thermography", however, which has been developed by the author, is a new thermographic method which displays the three-dimensional temperature distributions of a body surface as a continuous developmental pattern for all target area of a body, with either the thermocamera or the subject rotating on the subject's center axis. The temperature distributions on all or any part of a body surface can be observed continuously and three-dimensionally. Panoramic thermography is a epoch-making thermographic technique and is expected to have many unique uses in a wide range of medical applications.

* 都立広尾病院口腔外科
(原稿受付: 昭和57年7月17日)

1. 緒 言

サーモグラフィの医学応用におけるパターン解析でもっとも基本的で重要な過程は体表各部の温度分布を正確に比較することであるが、従来の赤外線サーモグラフィ法は本来は3次元の曲面上にある体表温度分布をサーモカメラの受光軸方向から平面的に眺めた2次元の画像に変換して表示しているため、「展開サーモグラフィ〔1〕」(以下、「論文〔1〕」)で述べたように、従来法は医学応用上多くの問題があった。

そこで著者は1968年より体表各面の温度分布を同時に記録する方法に関する研究を続けてきた¹⁻³⁾。そして1978年に2つの展開サーモグラフィ法を考案した⁵⁾。そのうちの1つ「三面サーモグラフィ法」は「論文〔1〕」で述べたように、人体の正左右各面のサーモグラムを同時に撮影(映像)する方法であって、医学応用上利点は多いが、次のような問題もなお残されている。①対象の被写面は増したものの根本的には従来法と同じ画像変換法であるため、3次元の体表温度分布の適切な表示方法とはいい難く、未解決の問題が残されている。②各面の画像の境界が不連続となるため、被写範囲全域を連続的に記録観察することはできない。③身体全周域を被写範囲にカバーすることはできない。④被写範囲から欠漏する体表の部分を皆無にはできない。⑤赤外反射鏡を介して撮影する側面像と、直接撮影する正面像とでは測定条件が異なる。

ところで馬蹄形状をした顎骨等体内曲面部の展開X線像を撮影する方法に、回転断層X線撮影法を応用したオルソパントモグラフィ法⁶⁾があるが、サーモグラフィでも同様な撮影法が望まれる。1969年に著者ら²⁾は頭部の中心軸を中心に回転するアームの先端に装着した赤外線放射温度計で顔面の温度を測定しながらこれを頭部の周囲を駆動し、回転軸に設けたポテンシオメータの回転角度に比例したバイアス電圧と放射温度計の出力電圧とをX-Yレコーダに入力して、顔面周囲の任意の線上の連続的温度分布曲線、すなわちパノラミックサーモプロフィールを得る方法を考案した。これをもとに著者⁵⁾は

1978年に回転サーモグラフィ法を用いて身体全周域にわたる体表温度分布を連続的な展開像として撮影するパノラミックサーモグラフィ法を考案した。本論文はパノラミックサーモグラフィ法の方法ならびに実験結果を示し、併せて本法の問題点と応用性について検討を加えたものである。

2. パノラミック サーモグラフィ法 (Panoramic Thermography)

(1) 原 理

円筒状の対象の展開表面温度分布像は液晶やサーモペイントを用いれば直接得られるが、サーモカメラを用いる場合は図1に示すような方法が考えられる。まずサーモカメラで常に対象の中心軸とサーモカメラの受光部を結ぶ対象表面の一定直線上を走査させながら、対象の中心軸を中心にして、サーモカメラの掃引速度に見合った適当な速さで対象を回転するか、もしくはサーモカメラを対象のまわりの軌道上を回転させながら、撮影を行うと、対象表面の連続的な温度分布の展開像(パノラミックサーモグラム)が得られる。この場合、回転体の回転速度はサーモカメラの1フレームタイムで1回転以内になるようにする。さらに回転角の位相とサーモグラムの展開軸掃引信号(表示部では垂直掃引信号)の位相を適合させることによって、被写体の表面と相似形状をもった展開温度分布像が得られる。以上の操作はサーモカメラの線走査機構を用いて実施できるが、線走査機構を内蔵しない装置ではこれを別に接続して行うことができる。

(2) 本法の手法の種類

本法はまず④被写体をその中心軸を中心に回転する方法と、⑧サーモカメラを被写体の中心軸を中心にしてそのまわりを回転させる方法に大別され、それぞれについて回転体の回転角の位相とパノラミックサーモグラムの展開軸の掃引信号の位相を適合させる方法に次の3つの方式が考えられる。

- ① 被写体またはサーモカメラの回転角の位相信号でパノラミックサーモグラムの展開軸の掃引信号を同期的に制御する方法
- ② パノラミックサーモグラムの展開軸の掃引

(20) 医 器 学 Vol. 53, No. 1 (1983)

信号で被写体またはサーモカメラの回転角度の位相を同期的に制御する方法

- ③ 被写体またはサーモカメラの回転速度とパノラミックサーモグラムの展開軸の掃引速度とを適切に適合させる方法

本法には以上6通りの手法が考えられるが、その中から技術的に利点の多い方法を採用する。

(3) 回転軸の方向と走査方向の一致

本法では回転体の回転軸（被写体の中心軸）の方向とサーモカメラの走査方向とは同じでなければならない。両者の方向が一致しない場合、例えば人体のように回転軸が垂直位にあるものを、水平走査方式のサーモカメラを用いて本法を行うような場合には、サーモカメラの走査方向を水平から垂直に変換する必要がある。それには次のようなものが考えられる。

- ① 垂直走査方式のサーモカメラを作る。
- ② 一般の水平走査型の走査機構を垂直型に改造する。
- ③ サーモカメラを受光軸を中心に 90° 回転させた位置（水平走査となる）で用いる。
- ④ 走査方向を 90° 変換する水平↔垂直変換鏡（H-V変換鏡）を通常の水平走査型サーモカメラと被写体の間に介在させる。

これらの中で③、④の方法は従来のサーモカメラをそのまま利用できるもので有利であるが、③の方法はサーモカメラの検出器を液体窒素等で冷却する形式の装置には適用できない。したがって④の方式がもっとも実用性が高い。H-V変換鏡は写真1Bに示すように、赤外平面鏡を2

図1 パノラミックサーモグラフィの原理（回転サーモグラフィ）

枚水平位に対して 45° の角度で上下に置き、そのうちの一方を垂直軸を中心に 90° 回転した位

置に固定した構造である。これによって光軸は水平方向でも 90° 変向する。H-V 変換鏡はサーモカメラに近づけて置くほど小さくて済む。

(4) 人体のパノラミックサーモグラフィ法

人体のパノラミックサーモグラフィにおいては、いずれの部位を対象にする場合でもその中心軸（回転軸）は実施上の制約からこれを垂直位とするのが妥当である。したがって、本法に通常の水平走査式サーモカメラを用いる場合には、H-V 変換鏡が必要となる。本測定システムは①サーモカメラ、②ラインスキャナー（ただし、①が線走査機構を内蔵している場合は不要）、③ H-V変換鏡、④人体もしくはサーモカメラの回転機構、⑤被写体支持機構などより構成される。撮影方法は図2に示すように、まず

図2 パノラミックサーモグラフィ法

人体の測定部を垂直に置き、その中心軸を回転機構の回転軸に一致させる。H-V 変換鏡をこれとサーモカメラおよび被写体とを結んだ角度が 90° となる位置に配置し、サーモカメラの線走査機構を作動させたとき常に被写体の中心軸上の体表の一定線上を走査するように設定する。回転体の回転速度とフレームタイムを適合させる。縦横比のバランスのよい展開像が得られるように、サーモカメラ—H-V変換鏡—被写体間の距離を選定し、ピントを合わせる。サーモカメラと回転体の始動位置を合わせる。以上のように撮影の設定が完了したのち、被写体もしくはサーモカメラを回転すると同時に、サーモ

カメラを始動し、回転体の回転角と展開像の展開軸の位相とを適合させながら撮影を行うと、人体のパノラミックサーモグラムが得られる。

この方法では後述するようにフレームタイムと回転体の回転速度（回転時間）の比率を変えると、被写角度つまり展開被写範囲が変化する。

3. 実験装置ならびに実験方法

実験には前項の①～③の方法を採用した。すなわち、サーモカメラを線走査で作動させ、常に被写体の中心軸上の体表一定線上を走査させながら（このままではこの線上の経時温度変化を表示する）、被写体を中心軸のまわりに回転させて撮影すると、体表のパノラミックサーモグラムが得られる。実験に用いた装置は写真1 Aに示すごとく、サーモカメラとその支台、ラ

写真1 実験用パノラミックサーモグラフィシステム (A) とサーモカメラの走査方向を90°変える変換鏡 (H-Vコンバータ) (B)

インスキャナー、H-V変換鏡、被写体回転装置と支持機構（電動回転椅子）などよりなる。サーモカメラは線走査機能をもつもの（経時温度変化表示機能のあるもの）が好ましいが、それのないものでもラインスキャナーを併用すれば可能となる。H-V変換鏡は赤外反射率0.96のアルミ蒸着平面鏡を用いて作った。被写体の回転はサーボ機構によって体重負荷に関係なく、台座が所定の速さで等速度回転する電動椅子を用いた。その背当と肘かけは検査中の人体の支持に用い、用途に応じて着脱できる。回転ベースには椅子の始動でサーモカメラの始動をかけるリレーが設けてある。回転椅子の上方には回転軸を指示するセンターガイドが設けられており、被写体の中心軸はこれに従って回転軸に一致させる。撮影の方法は次のごとくである。ま

ず、被写体およびサーモカメラ部を撮影位に予め設定する。次に正中線を H-V 変換鏡に向けた位置で通常の面走査で被写体の正面像を映像し、これが画面の中央にくるように、また展開像の縦横比を考慮しながらサーモカメラの高さや撮影距離を調節し、ピントを合わせる。最後に走査線が正中線にきたところで面走査を線走査に切替える。以上の設定が完了したところで椅子を撮影の開始位置にもどして椅子の始動ボタンを押すと、自動的にパノラミックサーモグラムが撮影される。回転速度は速過ぎると回転中に体位が崩れたり、気分が悪くなったりする。実験の結果、1回転20秒程度の回転速度が適していたので、これを標準速度とし、フレームタイムもこれに合わせた。

測定位は、頭部と軀幹を対象とする場合には回転椅子を用いて坐位をとる。軀幹の場合には両上肢が撮影の妨げにならないように、両手を頭上で組ませるか、または両上肢を挙上させる。下肢の場合は、非対象肢は撮影の妨げとならないように屈曲して上方へ吊り上げ、被検肢で回転ベースの上に片脚立位をとる。上肢の場合は、回転軸上に上肢の中心軸がくるように挙上して撮影する⁷⁾ (写真2 A～E)。

写真2 パノラミックサーモグラフィの各測定体位
A: 頭部, B, C: 軀幹, D: 上肢, E: 下肢

4. 実験結果

写真3は本法のデータサンプルで、正常人頭部のパノラミックサーモグラムである。本法によって、体表全周にわたる温度分布の展開像が1回の操作で、同一条件で撮影され、それを

(22) 医 器 学 Vol. 53, No. 1 (1983)

写真3 パノラミックサーモグラムの例 (正常人頭部)

3次元的に連続的に展望することができる。顔面以外の部位を対象にする場合は展開サーモグラム上に部位の目印となるものが乏しく、サーモグラムと被写体相互の部位の対応が難しいのでその対策が必要となる。パノラミックサーモグラムは H-V 変換鏡に用いた2枚の反射鏡の赤外反射損失分だけみかけ上低温度で表示される。しかしこの場合は全体的に一樣に赤外線の減衰が生じるので、体表の温度分布をこの展開サーモグラム上で比較的観察する場合にはあまり問題はない。今回の実験結果からも、赤外反射率0.96の鏡で作った H-V 変換鏡によるサーマルパターンの劣下は、実用上支障のない程度のものであることがわかった。しかしこのデータから体表の真温度を問題とする場合は、H-V 変換鏡の影響を考慮する必要がある。

写真4 回転体の回転速度とフレームタイムの比率の変化に応じたパノラミックサーモグラムの被写範囲の変化
この場合はフレームタイムを20秒に固定し、人体の回転速度を変えた。各場合の回転速度 (秒/1回転) と被写角度は、
A : 20, 360°, B : 24, 300°, C : 26.7, 270°, D : 40, 180°, E : 53.3, 135°, F : 80, 90°

写真4は本法において、フレームタイムと被写体の回転速度 (回転時間) の比率を変えた場合の被写角度の変化を示す。フレームタイムが一定のとき、回転速度を遅くするにしたがって、

展開像の被写角度 (被写範囲) は狭くなり、部分的に拡大した展開像が得られるので、サーモグラフィの精査に利用できる。

本法においても輝度変調表示 (正、逆表示)、偏向変調表示、カラー表示、等温部表示など赤外線サーモグラフィのあらゆる表示法を適用することができる。

臨床応用

写真5は左側頬上顎部の腺様嚢胞癌の頭部パ

写真5 左側頬部上顎癌の頭部パノラミックサーモグラム

写真6 右側乳癌の軀幹部パノラミックサーモグラム

パノラミックサーモグラムである。癌の部分は高温を呈し、病巣の範囲は左側頬部から同側口角部にかけて展延している様子を連続的に3次元的に展望することができる。

写真6は右側乳癌の軀幹部パノラミックサーモグラムである。やはり癌の部分は高温を呈し、乳房から周囲へかけて病巣の展延状態を連続的に観察することができる。

5. 検討ならびに考察

はじめに本法の問題点について検討を加え、次に本法の特長と有用性について考察する。

本法の問題点とその検討

(1) H-V 変換鏡の影響とその対策

H-V 変換鏡では1回反射の場合よりも赤外減衰量が大きくなるが、画面全域にわたって一様に指示値が低下するので、温度分布を比較的に観察する場合はあまり問題はない。ただし得られたデータから対象の真温度を知る場合には補正などの対策が必要となる。

H-V 変換鏡が測定値に及ぼす影響

表面温度 TK の対象面から放射される赤外線は赤外反射率 γ (赤外反射損失率 $\Delta\gamma = \gamma - 1$) の反射鏡で1回反射したものをサーモカメラで測定する場合、装置に入射する赤外有効検知エネルギー W は、次式で表わされる。

$$W = \gamma R(T) + (1 - \gamma) R(T_a) = R(T') \dots\dots (1)$$

ここで、

TK : 対象の表面温度

T'K : 表面温度 TK の対象面を反射率 γ の鏡を経由してサーモカメラで測定した場合の指示温度

TaK : 環境温度 (赤外反射鏡の表面温度)

R(T) : 表面温度 TK の対象面から放射する赤外線を直接測定する場合のサーモカメラの赤外線有効検知エネルギー (ただし対象面の輻射率 $\equiv 1$ とする)

$(1 - \gamma) R(T_a)$: 室温 TaK に放置された赤外反射率 γ の鏡の表面からサーモカメラに入射する赤外線に対するサーモカメラの赤外線有効検知エネルギー

次に H-V 変換鏡を用いた場合のように、表面温度 TK の被写体から放射される赤外線を赤外反射率 γ の反射鏡 2 枚で、2 回反射したものをサーモカメラで測定する場合、装置に入射する赤外有効検知エネルギー w およびそのときのサーモカメラの測温指示値 T'' は (1) 式から、

$$\begin{aligned} w &= \gamma R(T') + (1 - \gamma) R(T_a) \\ &= \gamma [\gamma R(T) + (1 - \gamma) R(T_a)] + (1 - \gamma) R(T_a) \\ &= \gamma^2 R(T) + (1 - \gamma^2) R(T_a) = R(T'') \dots\dots (4) \end{aligned}$$

ここで赤外温度計測においては近似的に

$$R(T) = \alpha T^n \quad (\alpha: \text{定数}, n: \text{装置によって定まる数値}) \dots\dots (5)$$

と表せる⁹⁾ ので、(4)式は

$$w = \gamma^2 \alpha T^n + (1 - \gamma^2) \alpha T_a^n \dots\dots (6)$$

となる。ここで赤外反射率 γ の反射鏡を介して、温度 TK の対象面をサーモカメラで測温する場

合、反射鏡面における赤外反射損失に伴って、サーモカメラの温度指示値が T より ΔT だけ変化して、 T'' となったということは、みかけ上温度が $T''K$ の対象面をサーモカメラで直接測温するのと同じことであるので、 $R(T'') = w$ 、である。ここで $T'' = T + \Delta T$ であるから、

$$\alpha (T + \Delta T)^n = \gamma^2 \alpha T^n + (1 - \gamma^2) \alpha T_a^n$$

となる。ここで $T \gg \Delta T$ であるから、

$$T^n + n T^{n-1} \Delta T = \gamma^2 T^n + (1 - \gamma^2) T_a^n$$

$$n T^{n-1} \Delta T = (\gamma^2 - 1) (T^n - T_a^n)$$

$$\Delta T = \frac{1}{n} (\gamma + 1) (\gamma - 1) \left(T - \frac{T_a^n}{T^{n-1}} \right)$$

$$= (2 + \Delta\gamma) \frac{T}{n} \left[1 - \left(\frac{T_a}{T} \right)^n \right] \Delta\gamma$$

となり、ここで医用の場合は $T \equiv T_a$ であるので、

$$\begin{aligned} \Delta T &= (2 + \Delta\gamma) (T - T_a) \Delta\gamma \\ &= 2 (T - T_a) \Delta\gamma + (T - T_a) \Delta\gamma^2 \end{aligned}$$

となり、 $2(T - T_a) \Delta\gamma \gg (T - T_a) \Delta\gamma^2$ であるので

$$\Delta T = 2(T - T_a) \Delta\gamma \dots\dots (7)$$

と近似的に表すことができる。すなわち、2 回反射の場合は 1 回反射の場合の約 2 倍の指示誤差を示す。

よって、 $T'' = T + \Delta T = T + 2T \Delta\gamma - 2T_a \Delta\gamma \dots\dots (8)$

$$T = \frac{T'' + 2T_a \Delta\gamma}{1 + 2\Delta\gamma} \dots\dots (9)$$

と表すことができる。

次に以上の式を用いて、室温 25°C で 35°C の体表を、赤外反射率 0.96 の H-V 変換鏡で 2 回反射させてからサーモカメラで測定した場合の指示温度 T'' は

$$\begin{aligned} T'' &= 308 - 2 \times 308 \times 0.04 + 2 \times 298 \times 0.04 \\ &= 307.2\text{K} = 34.2^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$\Delta T = -0.8^\circ\text{C}$$

となり、今回の実験の実測値と同じ値を示す。

H-V 変換鏡の影響の改善方法

1) H-V 変換鏡での赤外反射損失低減法

赤外反射鏡における赤外反射損失を小さくするためには (7) 式から ① 可及的に大きな赤外反射率をもつ反射鏡を用いるか、② 反射鏡の温度を被写体の温度に可及的に近づければよいことになる。しかしこれらについては「論文(1)」で示したような問題を伴う。なお H-V 変換鏡に各種の蒸着材を用いた場合の温度指示誤差は、い

(24) 医器学 Vol. 53, No. 1 (1983)

ずれも1回反射の場合の2倍となるので、各個の計算例については「論文(1)」を参考にされたい。

反射鏡の影響をまったく受けないパノラミックサーモグラフィ法としては、H-V変換鏡を用いない直接撮影法が考えられる。直接撮影法ではその走査の方向が人体の回転軸の方向と同じく垂直のものが必要となるため、垂直走査型サーモカメラを作るか、一般のサーモカメラの走査方向を水平から垂直に改造しなければならないので実用上問題がある。

2) H-V変換鏡に基づく測温指示誤差の補正

H-V変換鏡を用いるパノラミックサーモグラフィでは対象から放射する赤外線を経2回反射したのちサーモカメラで測定するため、指示値の低下度は1回反射の三面サーモグラフィの場合の2倍になるが、この場合は被写範囲全域にわたって一律に指示値が低下するので、その補正は全体補正が適用されるため、部分的に補正を要する三面サーモグラフィの場合よりも補正操作はむしろ容易である。

本法の補正法は「論文(1)」に述べた三面サーモグラフィの補正法の中の全体補正法をすべて適用することができる。補正値は(7)~(9)式に基づいて算出され、その補正法にはつぎのようなものが考えられる。

- ① 較正図表や較正尺を用いる方法。
- ② コンピュータを用いて低温度で表示された画像を補正したのち再生する（後処理）か、補正画像を同時に映像する方法（同時処理）。
- ③ サーモカメラに補正回路を組み込んで撮影する方法（同時処理）。
- ④ 輻射率補正機構、あるいはレベルおよびゲイン調節機構を備えたサーモカメラでは、それらを適切に調節することによって真温度に較正したパノラミックサーモグラムが得られる（同時補正）。

(2) パノラミックサーモグラムの幾何学的画像歪みとその改善方法

パノラミックサーモグラムは被写体の展開像と相似形に近いほど観察しやすく、両者間の部位の対応も行いやすい。パノラミックサーモグラフィにおいて、回転体を等速度で回転する場合、対象が四肢や頭部のように円柱形状に近

い部位ほど画像歪みの少ない展開像が得られるが、軀幹のように中心軸から体表までの距離が部分毎に異なる部位を対象にする場合はそのパノラミックサーモグラムは実体の展開像と比較して幾何学的歪みが大きくなる。この場合の幾何学的画像歪みの改善方法には次のようなものが考えられる。

1) 図3Aに示すように被写体の形状と相似な外部の軌道上を、サーモカメラを等速度で駆動しながら撮影する方法。

図3 パノラミックサーモグラムの幾何学的画像歪みの補正法

A: 被写体と相似な外部軌道上をサーモカメラを駆動して撮影する方法

B: 回転中心から被写体の被走査部までの距離に応じて、回転速度もしくはサーモカメラ表示部の展開軸掃引速度を適切に制御する方法

このような方法は顎部のオルソパントモグラフィ法で採用されているもので、理想的な方法ではあるがパノラミックサーモグラフィにおいては実施上問題が多い。

2) 微小単位時間における被写体の移動距離（被走査幅）と表示部の展開軸掃引距離とが常に一定の比例関係にあるように、回転速度と掃引速度とを制御する方法。

今、仮りに図3Bに示すような断面をもつ立体の表面のパノラミックサーモグラフィを行うものとする。この立体の回転角速度を ω 、回転軸から被走査部までの距離を R 、立体表面の被走査幅を L とすると、微小単位時間 Δt の間の被走査幅 ΔL は

$$\Delta L = \frac{dL}{dt} \Delta t = R \omega \Delta t \quad \text{と表される。}$$

一方、サーモグラム表示部 CRT の展開軸掃引速度を v 、展開軸掃引距離を X とすると、微小単位時間 Δt の間の掃引距離 ΔX は

$$\Delta X = \frac{dX}{dt} \Delta t = v \Delta t \quad \text{と表される.}$$

パノラミックサーモグラムが被写体の展開像と相似であるためには、上の両者が常に一定の比例関係にあればよいので、

$\Delta L \propto \Delta X$, すなわち、 $R\omega \propto v$, の関係を常に保ちながら撮影を行えばよい。これには次の2つの方法が考えられる。

2)-1 被写体の回転速度が一定で、サーモグラムの展開軸掃引速度をRの変化に応じて変化させる方法

この場合、 ω は一定であるので k_1 , を定数として

$v = k_1 R$ となる。すなわち、この場合は常にRに正比例する掃引速度で展開サーモグラムをCRT上に描けばよいことになる。

2)-2 掃引速度 v が一定で、回転角速度 ω をRの変化に応じて変化させる方法

この場合、 v は一定であるので k_2 を定数として、

$$R\omega = k_2, \quad \omega = \frac{k_2}{R} \text{ となる。すなわち、この}$$

場合はRに逆比例する回転角速度で被写体を回転させて展開サーモグラフィを行えばよい。

以上の方法では、常に被写体の回転軸から被走査部までの距離Rを読み取り、これを電気信号に変換する機構、ならびにこの信号で回転角速度 ω もしくは表示部の展開軸掃引速度 v を制御する機構が必要となるので、この種の補正法はかなり複雑なものとなる。

(3) 展開サーモグラムと被写体の部位の対応

サーモグラムの各部に一致する被写体各部の部位の対応は通常のサーモグラフィでも問題となるところであるが、パノラミックサーモグラフィの場合は、この種の展開像を見慣れていないため、部位の対応はさらに難しい。頭部の場合はサーモグラム上に目印となるものが多く映し込まれるので部位の対応は比較的容易であるが、その他の部位では目印が少ないために部位の対応は難行する(写真6参照)。本法における部位の対応の方法には次のようなものが考えられる。

1) アルミ箔など輻射率が皮膚と著しく異なるものの小片を体表の要所に貼布して、これらの光学的マークをパノラミックサーモグラムに映し込んで、部位の対応の補助手段とするもの。

2) 回転体の回転角度(被写角度)目盛をパノラミックサーモグラム内に印記するもの。これには回転ベースから回転角度の信号を取り出して利用するものと、被写体に設置した光学マークを被写体と共に回転する方法がある。

3) 初めに体表全周域にわたる展開サーモグラムを撮影し、そこで発見した異常部を中心に被写範囲を徐々に絞ったパノラミックサーモグラムを撮影していくのも部位の対応に役立つ。

4) その他

対象の測定体位とそのセッティングも問題点の1つである。回転運動中、被写体の中心軸を回転軸に一致させ体位を一定に保つことは極めて重要で、それには適当な回転軸指示機構ならびに被写体支持機構が必要となる。回転中身体を支持するための回転握手は不可欠である。もっとも問題なのは下肢を測定する場合の片脚立位の際の身体的支持と非対象肢の処理法である。

本法の指示照準機構や回転制御機構にレーザを応用したり、回転系と映像機構相互の制御にコンピュータを応用するなど、高度な技術を導入することによって、さらに高精度の展開サーモグラフィ技術に発展されよう。

本法の利点と有用性

(1) 本法の特徴と利点

本法は身体各部を対象にその全周もしくは任意の範囲の表面温度分布の連続的な展開像を1回の撮影操作で得るもので、次のような利点がある。

身体各部の全周もしくは任意の範囲について、体表温度分布を連続的に比較観察し、そのパターンを分析できる。熱的異常部の範囲も連続的に認識される。また被写範囲で展開熱映像に欠落する体表の部分がないので、異常部検出エラーはまったくない。

本法は3次元の体表温度分布画像処理法と考えられる。すなわち、パノラミックサーモグラムに回転角度を与えることによって、体表温度

(26) 医器学 Vol. 53, No. 1 (1983)

の 3 次元的分布状態を検討することができる。

回転体の回転速度とフレームタイムの比率を変えることによって、パノラミックサーモグラムの被写範囲を変化させることができる。

全域にわたって同一条件で撮影されるため、正確な解析ができる。

本法は操作が容易で、検査時間も短いため、検査者の労力および被検者の負担をともに軽減することができる。

(2) 本法の有用性

本法の特長から本法独自の応用法を考えてみる。

1) 体表の温度変動や熱的反応などを体表全周域にわたって連続的に記録、観察することができる。

2) 被写体の全周域が被写範囲に含まれ、欠落部分がないので、サーモグラフィのスクリーニングテストに最適である。

3) 撮影上の各設定条件を一定にすることによって、規格のサーモグラフィが実施できる。

4) フレームタイムに対して回転体の回転速度を遅くすると展開像は展開軸方向に拡大するので、サーモグラフィの精査に利用できる。

5) コンピュータやデータプロセッサを用いて、体表温度のデジタル化記録、対称部の温度差計測、各部の平均温度計測などを被写体の全周域の範囲まで行うことができる。また体表温度の 3 次元的分布の解析やそのモデル作成などにも応用可能と思われる。このように本法は独自のデータ処理法の可能性が期待される。

6. 結 論

本法は回転サーモグラフィ法によって、被写体の全周域もしくは部分について、体表温度分布の連続的な展開像を得る方法であって、次のような利点をもっている。

被写体の全周もしくは任意の範囲を対象に

- ① 体表温度分布を連続的に比較観察できる。
- ② パターン解析も連続的に行うことができる。
- ③ 熱的異常部の範囲も連続的に認識される。
- ④ 被写範囲に欠落部分がないので、異常部検出エラーがまったくない。
- ⑤ 体表温度の 3 次元的分布画像処理法の 1 つで

ある。

- ⑥ パノラミックサーモグラムの被写角度（展開軸方向の拡大率）を変えることができる。
- ⑦ 全域にわたって撮影条件が同一であるため、正確なパターン解析が可能である。
- ⑧ 操作が容易で検査時間が短いため、検査者、被検者の双方にとって有利である。

以上の特長から、本法はスクリーニングテスト、規格のサーモグラフィ、サーモグラフィの精査、サーモグラムの 3 次元的画像解析とデータ処理などに利用可能である。

本法は画期的な医用サーモグラフィ法であって、多くのユニークな応用法が期待され、サーモグラフィの価値を向上するものと思われる。

なお、本研究は東京都立病産院臨床研究費の助成に基づいて行われたものである。

参 考 文 献

- 1) 長澤明範：Thermography における私の Vision, 第 1 回日本サーモグラフィ研究会抄録集：13, 1968.
- 2) 長澤明範, 岡田平治：サーモグラフィの特殊応用法, 医器学, 39(4)：337-345, 1969.
- 3) 長澤明範：Thermography の臨床応用とその価値, 顎口腔領域における thermography の応用 2, 顎口腔疾患の thermography., 日本口科誌, 19(3)：705-730, 1970.
- 4) 西坂剛, 渡辺幸敬：赤外線サーモグラフィにおける多方向同時撮影法, 医器学, 45(10)：500-511, 1975.
- 5) Nagasawa, A. : "SYSTEM FOR STANDARDIZED MAXILLO FACIAL THERMOGRAPHY", II CONGRESO EUROPEO DE THERMOGRAFIA RESUMENES : 128, 1978.
- 6) Paatero Y. V. : "Pantomography in theory and use". Acta Radiol. 41 : 321, 1954.
- 7) 長澤明範, 加藤一一, 西川宏司, 近藤日出雄：全身多側面同時撮影サーモグラフィ法の検討, Bio-Medical THERMOGRAPHY, 1 (1) : 67-69, 1981.
- 8) Nagasawa, A. and Okada, H. : Medical Thermography (Edited Atsumi, K.) : 151-166 (Thermal-Recovery), University of Tokyo Press, 1973.
- 9) 下間照男：温度計測：188-189 (第 4 章 熱放射を応用した温度計), 社団法人計測自動制御学会, 温度計測研究会, 1981.