

## 研究報告

## 眼球表面温度は中核温度指標となり得るか？

COULD THE OCULAR SURFACE TEMPERATURE BE  
AN INDICATION OF CORE TEMPERATURE ?相澤清香<sup>\*1</sup> 中島利誠<sup>\*2</sup> 山野春子<sup>\*3</sup> 仲西正<sup>\*4</sup> 菅屋潤壱<sup>\*5</sup> 小川徳雄<sup>\*6</sup>Seika Aizawa<sup>\*1</sup>, Toshinari Nakajima<sup>\*2</sup>, Haruko Yamano<sup>\*3</sup>, Tadashi Nakanishi<sup>\*4</sup>, Junichi Sugeno<sup>\*5</sup>, Tokuo Ogawa<sup>\*6</sup>

## Abstract

The present study was carried out to examine the hypothesis that ocular surface temperature measured at the site over the iris by an infrared radiation thermometer could be an indication of core body temperature. In healthy young subjects, ocular surface ( $T_{os}$ ), tympanic ( $T_{ty}$ ), esophageal ( $T_{es}$ ), mean skin ( $\bar{T}_{sk}$ ) temperatures, and local sweating rates and skin temperature of the forehead ( $T_{sf}$ ) were measured in a chamber controlled at a moderate climate of 28°C-40%(rh) on two separate tests, a passive body warming and an exercise. The passive body warming was induced by immersion of lower limbs in hot water bath regulated at 43°C. The moderate exercise was performed with cycle ergometer at the intensity of 80 W. In both tests,  $T_{os}$  didn't follow either core ( $T_{ty}$ ,  $T_{es}$ ) or shell ( $\bar{T}_{sk}$ ,  $T_{sf}$ ) body temperatures. In the second series of experiments, ambient temperature ( $T_{am}$ ) was raised from 27°C to 34°C, or lowered from 34°C to 27°C for 10 min. In both tests,  $T_{os}$  followed the change of  $T_{am}$  rapidly in spite of the steady  $T_{ty}$ , and the change rates of  $T_{os}$  were greater than of  $T_{sf}$ . When  $T_{am}$  was raised slowly from 20°C to 23°C for 20 min, the  $T_{os}$  rise was almost simultaneous with the  $T_{am}$  rise, and there was a high correlation between these two factors ( $r=0.99$ ). Moreover, the regional thermograms around eyes showed that skin temperature surrounding eyes was significantly higher than  $T_{os}$  ( $p<0.01$ ). These results suggest that ocular surface temperature measured by an infrared radiation thermometer might reflect corneal temperature rather than iris temperature, and could not be an indication of core temperature.

*Key words: Ocular surface temperature, Tympanic temperature, Esophageal temperature, Infrared radiation thermometer, Thermograph*

眼球表面温, 鼓膜温, 食道温, 放射温度計, サーモグラム

## 1. 目的

視床下部は人体の内部環境の恒常性を維持しており、体温調節反応の理解において視床下部の温度情報を得ることは重要な課題である。視床下部温を直接測定することは殆ど不可能なため、従来様々な間接的測定が行われてきた。中島ら(1991)は放射温度計を用いて非接触に測定した虹彩上眼球表面温を虹彩温として捉え、視床下部温度指標としての可能性を示唆した。しかし、使用された放射温度計では測定部位の正確な特定が不可能であったこと、また測定部位が眼部周辺を含むかなり広い範囲であったことから、測定値が虹彩部の温度を正確に反映していたのかどうか不明な点が多い。またこの報告は、放射温度計を用いて同様に測定した眼球部の温度を『角膜温』とする従来の研究報告とも異なっている (Fatt and Chaston 1980; Hamano et al. 1976; 蒲山 1980; Mapstone 1968a, b; Merlin et al.

1991; Rysa and Sarvaranta 1974)。角膜は眼球の最も外側に位置し、無色透明で血管を持たないため、角膜からの熱損失は環境温に左右されているといわれている (Freeman and Fatt 1973; Jennifer 1988; Rysa and Sarvaranta 1974; Schwartz 1965)。このため本研究では、放射温度計により虹彩上で非接触に測定した眼球表面温が中核温度指標となり得るかどうかが再検討することを目的とし、測定部位が特定できる放射温度計を用いて、下肢温浴による外部からの熱負荷と中程度の運動負荷の異なる2通りの熱負荷を与えた場合の眼球表面温を、中核温度指標である鼓膜温および食道温と比較検討した。本研究では更に、環境温変化が眼球表面温に与える影響およびサーモグラムによる眼部周辺の温度分布の分析を加味し、眼球表面温の中核温度指標としての妥当性を検討した。

\*1 Laval 大学医学部生理学講座特別研究員・学博

Post-doctor, Faculty of Medicine, Laval University, Canada, Dr. Ph.

\*2 昭和女子大学大学院生活機構研究科教授・工博

Prof., Doctoral Course of Science for Living System, Showa Woman's Univ, Dr. Eng.

\*3 お茶の水女子大学生活科学部助手・医博 Assist. Prof., Department of Human Life and Environmental Science, Ochanomizu Univ., Dr. Med

\*4 お茶の水女子大学生活科学部助教授・工博 Assoc. Prof., Department of Human Life and Environmental Science, Ochanomizu Univ., Dr. Eng.

\*5 愛知医科大学第2生理学講座教授・医博

Prof., Second Department of Physiology, Aichi Medical Univ., Dr. Med.

\*6 愛知医科大学名誉教授・医博

Emeritus Prof., Aichi Medical Univ., Dr. Med.

## 2 方法

### 2.1 被験者

下肢温浴および運動を負荷する実験では、各実験でそれぞれ8名と6名の18歳から24歳までの健康な青年男子が実験に参加した。また、環境温を変化させる実験では21歳と23歳の女性2名および18歳の男性1名、眼部周辺のサーモグラムの撮影には22歳から24歳までの女性6名と35歳の男性1名が被験者として実験に参加した。実験に際し、各女性被験者が低温期であることを確認した。各被験者は実験内容について十分に説明を受け、深く理解し、承諾したうえで実験に参加した。

### 2.2 実験手順

まず始めに、恒常中立環境条件下 (28°C-40%rh) において下肢温浴或いは中程度の運動負荷を与える実験を行った。

被験者は綿100%のショートパンツ及び丸首Tシャツに着替えた後、環境温28°C-40%rhに制御された人工気候室内に入室した。入室後、食道温センサーを鼻孔から食道内へ挿入し、椅座安静を保った。皮膚温測定用センサーを身体各部位7カ所にサージカルテープで貼付した後、局所発汗量測定用カプセルをコロジオンで前額部に固定した。次に鼓膜温測定用センサーを外耳道に挿入、固定した。鼓膜温センサーが正しい位置に挿入されたことを被験者の感覚と37°C付近にある安定した値が得られていることで確認した。眼球表面温を測定するために、被験者の頭部を特殊なスタンドで固定し、マーカーで測定位置及び測定範囲を確認しながら放射温度計の位置を決めた。被験者の眼球の位置を固定するために、3~4m前方に約18cm×18cmのモニターを設置し、画面を正視させた。実験中、測定箇所及び範囲が虹彩上であることの確認を放射温度計に装備されたマーカーで5分毎に行った。

下肢温浴による熱負荷は、全ての実験を通して水温を43°Cに制御して行った。下肢温浴実験を行った8例中6例については、下肢温浴による熱負荷を行うための43°Cの浴槽と熱負荷時以外に浸漬部の温度を一定に保つための33°Cの浴槽を用意した(A)。また残りの2例については、下肢温浴による熱負荷を行うための43°Cの浴槽と熱負荷後下肢冷却を行うための20°Cの浴槽を用意した(B)。浴槽には踝から下腿中央程度の深さまで足を浸漬させた。(A)については、33°Cの温浴槽に30分間足を浸漬させた後、43°Cの温浴槽で30~40分間下肢温浴を行った。中核温の指標である鼓膜温および食道温の上昇がほぼ安定したことを確認してから、再び33°Cの温浴槽に20~30分間足を浸漬させた。(B)については30分間の椅座安静状態の後、43°Cの温浴槽に40~45分間足を浸漬させた。鼓膜温および食道温の上昇がほぼ安定したことを確認してから、20°Cの冷水で20分間の下肢冷却を行った。下肢温浴実験は全体で計8例行った。

運動実験では30分間の椅座安静の後、エルゴメーターにより80W強度の運動を20~30分間負荷した。鼓膜温および食道温の上昇がほぼ安定したことを確認した後に運動を停止し、約20分間椅座安静を保った。運動実験については6例行った。

環境温を変化させた場合の眼球表面温、鼓膜温、及び前額部皮膚温を比較検討した実験において、被験者は環境温27°Cまたは34°C(いずれも40%rh)に制御された人工気候室内に入室後、椅座安静を保った。皮膚温測定用センサーを前額部にサージカルテープで貼付し、続いて鼓膜温測定用センサーを外耳道に挿入、固定した。30分間の椅座安静の後、環境温を約10分間で27°Cから34°Cに急激に上昇、或いは低下させた。更に別の被験者において、20°C-40%rhの環境条件下において30分間の椅座安静を保った後、環境温を約20分間で20°Cから23°Cまで徐々に上昇させる実験も行った。鼓膜温測定用センサーの装着、また眼球表面温の測定方法については恒常環境下における実験と同様に行った。環境温変化を伴う実験については、各条件につき1例づつ、3名について行った。

眼部周辺のサーモグラムの撮影には、22歳から24歳までの女性6名と35歳の男性1名が被験者として参加した。恒常中立環境条件下 (28°C-40%RH) において30分間の椅座安静を保った後、各被験者について眼部周辺に局限したサーモグラムの撮影を行った。

### 2.3 測定

全ての実験は、人工気候室内で行った。全てのデータは、サンプリング周期を1秒として多ペンレコーダーに連続記録した。得られたデータから1分あたりの平均を算出し、グラフ化した。眼部周辺のサーモグラムの撮影を除く他の熱負荷を伴う全ての実験において、熱負荷前の恒常中立環境下における30分間の椅座安静時後半10分間をコントロールデータとした。

眼球表面温は、放射温度計 (IT2-50、キーエンス) を用い、虹彩上角膜において測定径1.2~2.1mmで測定を行った。放射率( $\epsilon$ )は、角膜の放射率に合わせて0.97 (Mapstone 1968a, b) とした。持続的開眼によるドライアイを防ぐために、測定中、瞬目は自由に行わせた (Hamano 1976)。

鼓膜温は慈大式サーミスタ(ST-21S、センサテクニカ) を用いて測定を行った。サーミスタの装着に際しては、外耳道の入り口部分に脱脂綿を巻き、外気の直接の影響を少なくした。食道温は食道温測定用サーミスタを鼻孔より食道内へ45cm挿入して測定を行った。

皮膚温は皮膚温測定用サーミスタを用い、前額部、上腕部、手甲部、足甲部、下腿部、大腿部、腹部の7点で測定を行った。平均皮膚温( $\bar{T}_{sk}$ )の算出には、次式を用いた。

$$\bar{T}_{sk} = 0.07T_{forehead} + 0.14T_{arm} + 0.05T_{hand} + 0.07T_{foot} + 0.13T_{leg} + 0.19T_{thigh} + 0.35T_{trunk}$$

局所発汗量はカプセル換気法に従い、前額部に断面積1.3cm<sup>2</sup>の発汗カプセルを装着し、乾燥窒素でカプセル内を換気してその湿度変化を静電容量湿度計 (HMP-23U, Vaisala) を用いて測定した。

環境温は床から1.2mの位置において、サーミスタ温度計を用いて測定を行った。

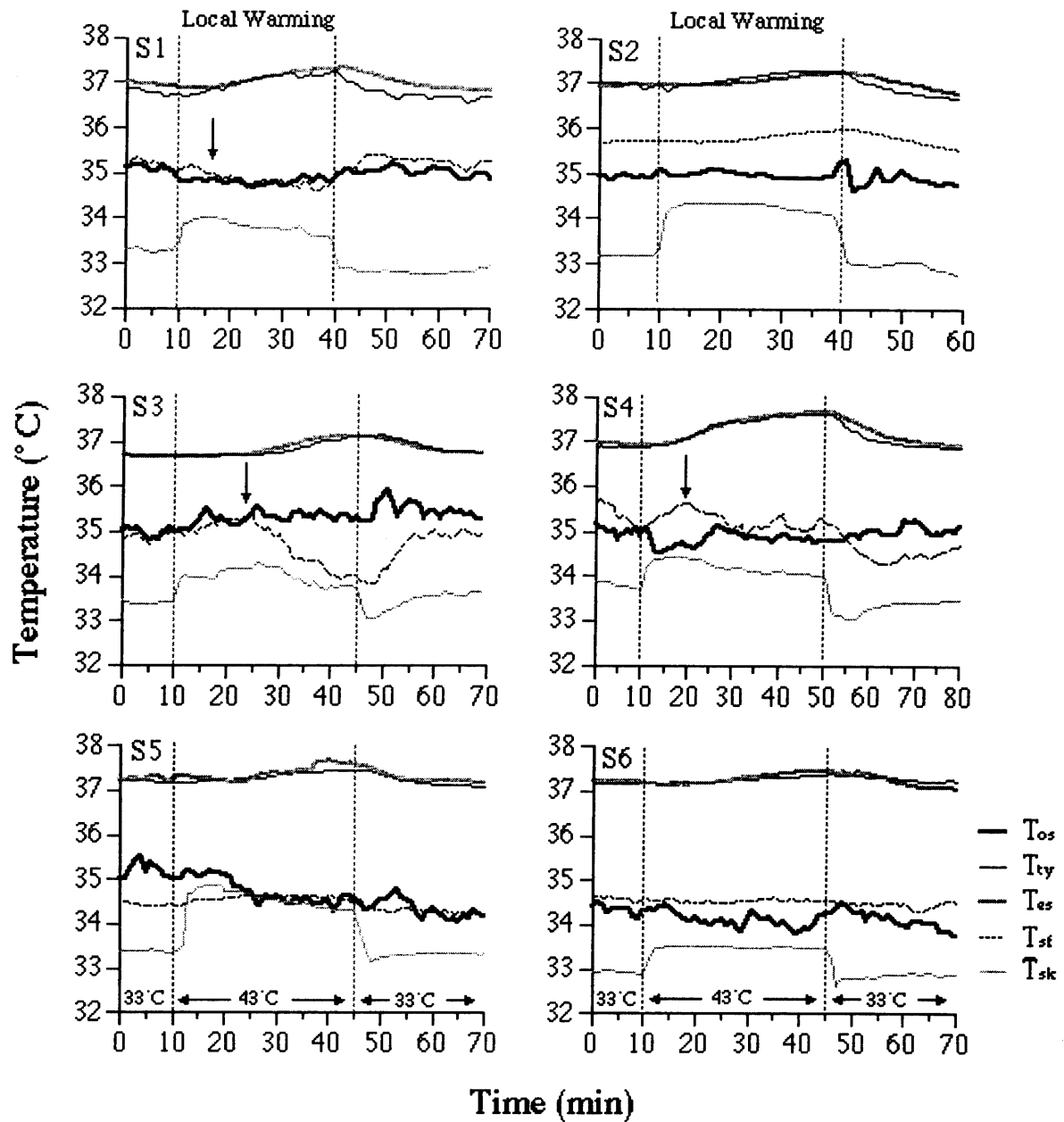


Fig. 1 Individual changes of ocular surface ( $T_{os}$ ), tympanic ( $T_{ty}$ ), esophageal ( $T_{es}$ ), mean skin ( $\bar{T}_{sk}$ ) temperatures and skin temperature of forehead ( $T_{sf}$ ) induced by local body warming at 43°C in water bath for 20 ~ 30 min. In these cases, the lower limbs were immersed in water bath controlled at 33°C both in control and recovery periods in accordance with the procedure (A). 3 out of 6 subjects (S1, S3, S4) sweated during local body warming. Arrows show the starting points of local sweating at forehead in each subject.

眼周周辺のサーモグラムの撮影は、サーマルビデオシステム (TVS-2100; 日本アビオニクス社製) を用いて行った。放射率 ( $\epsilon$ ) は、角膜の放射率に合わせて 0.97 (Mapstone 1968 a, b) とした。サーモグラムの撮影に際しては、左右眼球の虹彩上と眼窩上部皮膚上にマーカーを置き、各部位の温度を特定した。

#### 2.4 解析方法

下肢温浴、運動負荷および環境温変化実験により得られた局所発汗量を除く全てのデータは、被験者毎に眼球表面温と各測定項目について、2元配置分散分析 (ANOVA) により2変量間に差があるかどうか検定を行った。眼球表面温と特定の測定値に差が

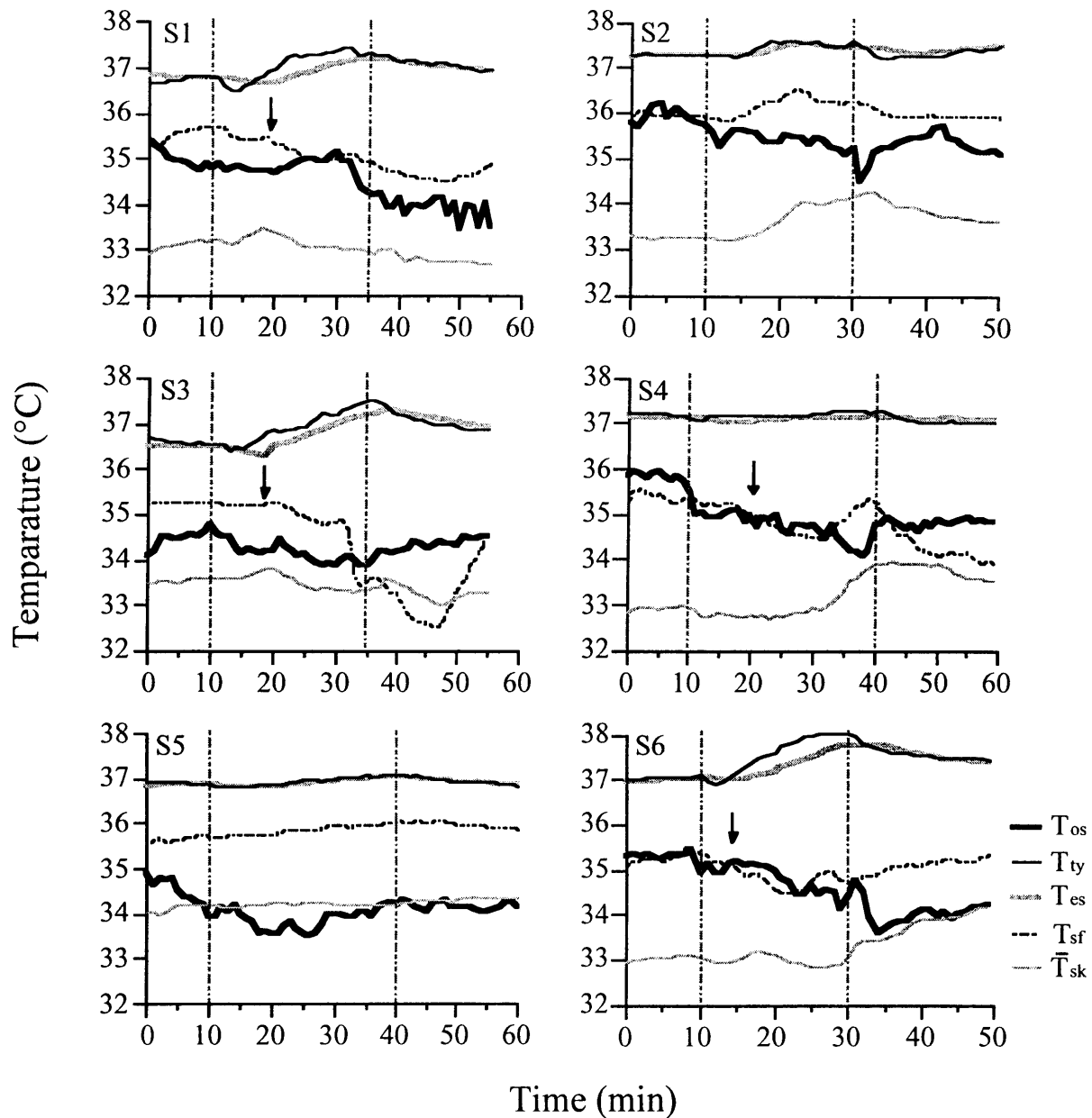


Fig. 3 Individual changes of ocular surface ( $T_{os}$ ), tympanic ( $T_{ty}$ ), esophageal ( $T_{es}$ ), mean skin ( $\bar{T}_{sk}$ ) temperatures and skin temperature of forehead ( $T_{sf}$ ) induced by the moderate exercise performed at intensity of 80 W with cycle ergometer. 4 out of 6 subjects (S1, S3, S4, S6) sweated during exercise. Arrows show the starting points of local sweating at forehead in each subject.

ないと判定された場合には、Pearsonの積率相関係数 (Pearson's correlation coefficient) を算出した。

眼部周辺のサーモグラムにより得られた左右眼球表面温および眼窩上部皮膚温のデータは、各被験者毎に眼球表面温の左右差、ならびに測定部位間の差について  $t$  検定を行った。

有意水準は、いずれも5%とした。

### 3. 結果

Fig. 1に、実験 (A) の手順に従い下肢温浴を行った被験者6名、また Fig. 2に実験 (B) の手順に従い下肢温浴後20℃の冷水で下肢冷却をおこなった被験者2名の眼球表面温( $T_{os}$ )、鼓膜温( $T_{ty}$ )、食道温( $T_{es}$ )、前額部皮膚温( $T_{sf}$ )、平均皮膚温( $\bar{T}_{sk}$ )の推移を示した。下肢温浴中発汗波が観測された4名の被験者(S1, S3, S4, S8)については、発汗開始時点を矢印で示した。下肢温浴中  $T_{ty}$  及び  $T_{os}$  は徐々に上昇したが、下肢温浴後33℃の温水または20℃

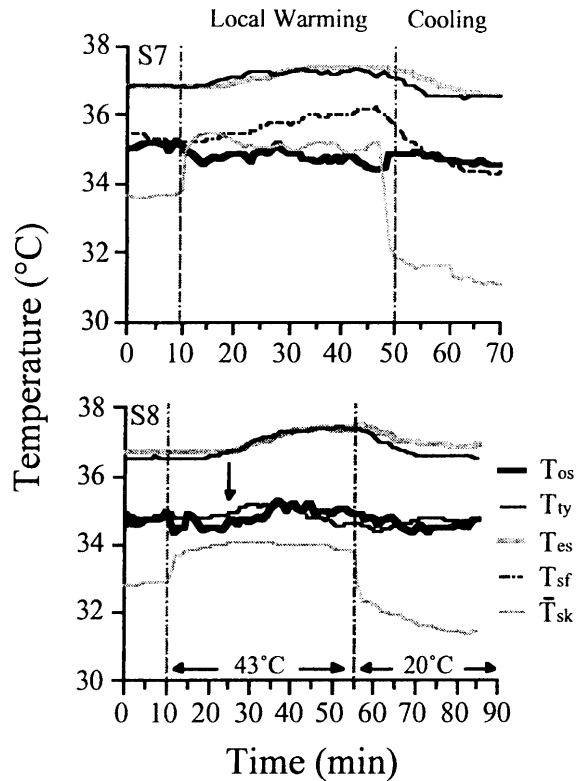


Fig. 2 Individual changes of ocular surface ( $T_{os}$ ), tympanic ( $T_{ty}$ ), esophageal ( $T_{es}$ ), mean skin ( $\bar{T}_{sk}$ ) temperatures and skin temperature of forehead ( $T_{sf}$ ) induced by local body warming at 43°C in water bath. In these cases, the lower limbs were immersed in water bath controlled at 20°C only in recovery period for local body cooling in accordance with the procedure (B). A subject (S8) sweated during local body warming. A arrow shows the starting point of local sweating at forehead in S8.

の冷水に下肢部を浸漬させると徐々に低下し、20~30分間ではほぼ温浴以前の値に回復した。 $T_{sf}$ は $T_v$ 及び $T_{es}$ と同様の動きを示したが、発汗波が観測された4名の被験者(S1, S3, S4, S8)については発汗発現により低下した。 $T_{os}$ の挙動は被験者間で差が大きく、一貫した傾向が見られなかった。下肢温浴を負荷した8例すべてにおいて、 $T_{os}$ は中核温である $T_v$ 、 $T_{es}$ だけでなく、外殻温の中でも比較的中核温に近いとされる $T_{sf}$  (Hardy and DuBois 1934)と有意に異なる挙動を示した。更に、 $T_{os}$ は外殻温である $\bar{T}_{sk}$ とも有意に異なる挙動を示した。

Fig. 3に、運動負荷を行った被験者6名の各測定体温の推移を示した。運動中発汗波が観測された4名の被験者(S1, S3, S4, S6)については、発汗開始時点を矢印で示した。運動負荷に伴い $T_v$ 及び $T_{es}$ は徐々に上昇したが、 $T_{os}$ は運動中むしろ低下する傾向を示した。 $T_{sf}$ は中核温と同様の動きを示したが、発汗波が観測され

た4名の被験者(S1, S3, S4, S6)については発汗発現により低下した。運動を負荷した6例すべてにおいて、 $T_{os}$ は他の測定体温とは有意に異なる独自の挙動を示した。

Fig. 4に、環境温( $T_{am}$ )を変化させた場合の $T_{os}$ 、 $T_v$ 及び $T_{sf}$ の推移を示した。 $T_{am}$ を10分間で27°Cから34°Cに急激に上昇或いは低下させた。いずれの場合も、 $T_v$ は $T_{am}$ の急激な変化の影響を受けず、その値はほぼ一定であった。しかし、 $T_{os}$ は $T_{am}$ の急激な変化に伴い大きく変化し、 $T_{sf}$ よりも $T_{am}$ の影響をより大きく受けた。 $T_{am}$ を20分間で20°Cから23°Cまで緩徐に上昇させた場合、 $T_v$ と $T_{sf}$ が $T_{am}$ の影響を殆ど受けずにはほぼ一定の値を示したのに対して、 $T_{os}$ は $T_{am}$ の上昇に伴い変化し、 $T_{am}$ に対して高い相関を示した( $r=0.99$ )。環境温変化を伴う非定常環境下において、 $T_{os}$ は中核温である $T_v$ とも、外殻温である $T_{es}$ とも有意に異なる挙動を示したが、 $T_{am}$ に対しては高い相関を示し、 $T_{am}$ の影響を強く受けていることが示唆された。

Fig. 5に、中立恒常環境条件下における眼部周辺のサーモグラムの1例を示した。眼部周辺のサーモグラムにおいて、 $T_{os}$ は眼部周辺部の皮膚温よりも低いことが示された。更に、眼部周辺のサーモグラムにおいて高温を示した眼窩上部皮膚と左右虹彩上眼球表面でその温度差を比較したところ、 $T_{os}$ に左右差は存在しないものの、 $T_{os}$ は眼窩上部皮膚よりも有意に低いことが示された( $p<0.01$ , Table 1)。皮膚の放射率( $\epsilon$ )は一般的に0.98とされており、角膜の放射率( $\epsilon=0.97$ )でサーモグラムの撮影を行った場合、皮膚温は実際よりも低く表示される。サーモグラムの撮影に先立ち、放射温度計によりその補正值を求めたところ、 $\epsilon=0.97$ で皮膚温を測定した場合、実際の皮膚温よりも $0.21\pm 0.08^\circ\text{C}$  ( $\pm\text{SEM}$ ) 低く測定されることが判明した。このため、実際の窩上部皮膚温はTable 1で示した値よりも更に高く、 $T_{os}$ と眼窩上部皮膚温の温度差も実際には更に大きくなることが予測される。

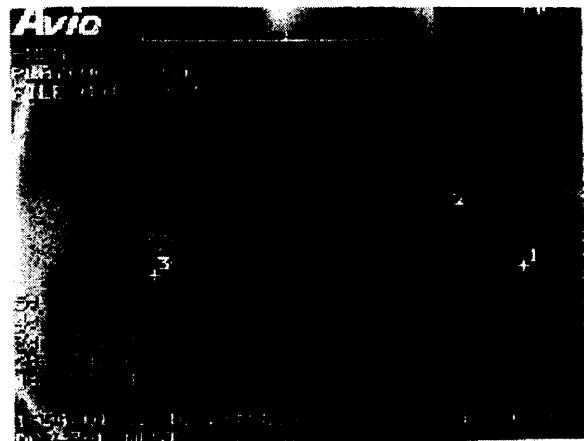


Fig. 5 A typical regional thermogram around eyes. Cross marker 1, 3: the ocular surface temperatures at right and left eyes. Cross marker 2: the skin temperature surrounding eyes.

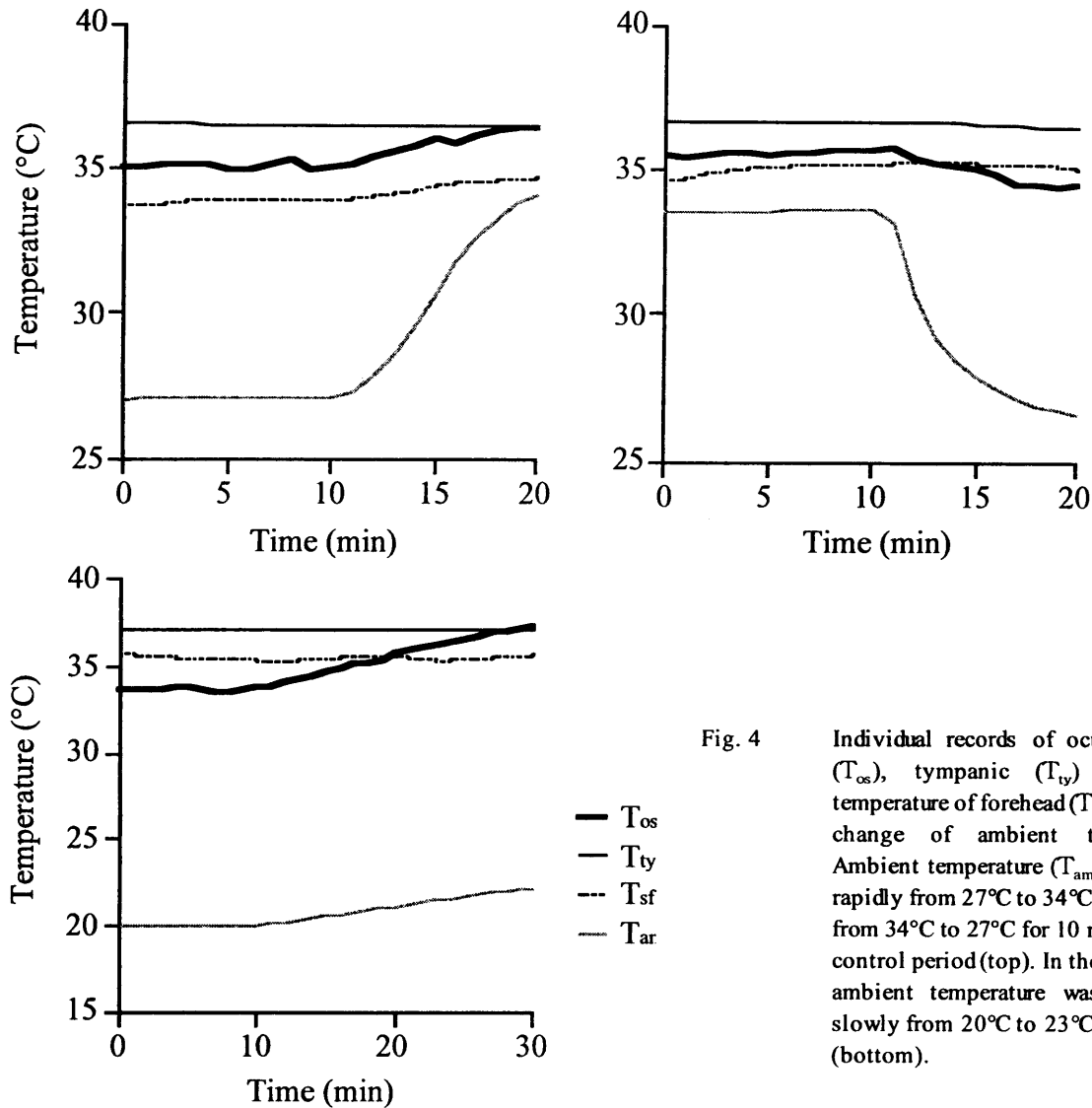


Fig. 4 Individual records of ocular surface ( $T_{os}$ ), tympanic ( $T_{ty}$ ) and skin temperature of forehead ( $T_{sf}$ ) under the change of ambient temperature ( $T_{am}$ ) was raised rapidly from 27°C to 34°C, or lowered from 34°C to 27°C for 10 min after the control period (top). In the other test, ambient temperature was increased slowly from 20°C to 23°C for 20 min (bottom).

#### 4. 考察

放射温度計を用いて虹彩上の眼球表面温を非接触に測定し、これを虹彩温として捉えることについて、測定値が虹彩部の温度を反映しているかどうか、また中核温度指標として妥当かどうか再検討した。その結果、眼球表面温は恒常中立環境下において熱負荷の種類や状態に関わらず、中核温である鼓膜温や食道温、かつ外殻温である前額部皮膚温や平均皮膚温とは異なる動きを示すこと、また非正常環境下においては前額部皮膚温よりも環境温の影響を受け易いことが確認された。また、恒常中立環境下において、虹彩上眼球表面は眼部周辺の皮膚よりも低温であることが判明した。

従来の研究報告では、放射温度計を用いて同様に測定した眼球部の温度を『角膜温』としている (Fatt and Chaston 1980; Hamano et al. 1976; 蒲山 1980; Mapstone 1968a, b; Merinet et al. 1991; Rysa and Sarvaranta 1974)。角膜は眼球の最も外側に位置し、無色透明で血管を持たないため、角膜からの熱損失は環

境温に左右されているといわれている (Freeman and Fatt 1973; Jennifer 1988; Rysa and Sarvaranta 1974; Schwartz 1965)。本研究においても眼球表面温が環境温の影響を受け易いことが確認されており、これらの報告と一致している。

角膜表面には同心円状の温度分布が存在し、角膜中央よりもその周辺部の結膜において高い傾向を示すことが明らかにされている (Alio and Padron 1982; 平光ら 1976; 蒲山ら 1979; Nathan et al. 1989)。この角膜表面の温度分布は角膜上皮の代謝量の違いに依存していると考えられており (Ebato et al. 1987)、角膜温が角膜下部の虹彩に環流する動脈血温を反映している可能性は低いと考えられる。虹彩部では虹彩長後毛様体動脈、脈絡膜短後毛様体動脈、毛様体小枝が吻合して大虹彩動脈輪を形成している。また虹彩捲縮輪に相当して小虹彩動脈輪があり、その中間には放射線の血管の走行がある。このため虹彩上眼球表面温が虹彩温を直接反映している場合、虹彩部に環流する動脈血温の影響を受け、その周辺部位よりも高温を示すと考えられる。しかし、本研究にお

相澤 清香 他：眼球表面温度は中核温度指標となり得るか？

Table 1 Individual comparisons between ocular surface temperature on iris and skin temperature of area surrounding eyes.

Subject	Ocular Surface Temperature (°C)		Skin Temperature (°C)
	Right	Left	
S1	33.74	33.54	34.86
S2	31.94	32.10	34.03
S3	32.86	32.78	33.90
S4	33.16	33.27	34.07
S5	33.39	33.35	34.23
S6	33.98	33.90	34.50
S7	33.28	33.35	33.91
Average	33.19±0.25	33.18±0.22	34.21±0.13**

\*\* p&lt;0.01; between ocular surface temperature on iris in each side.

いて、虹彩上眼球表面にその周辺部位よりも高温を示す箇所が認められなかったばかりか、眼瞼上部皮膚よりも低温であった。これは他の研究者による報告(平光ら 1976; 蒲山ら 1979; 近藤 1985; Nathan et al. 1989)とも一致し、眼球表面温が『角膜温』を反映している可能性を強く示唆している。

以上の結果より、虹彩部を放射温度計で非接触に測定した眼球表面温は虹彩温を直接反映しているのではなく、血流支配のない角膜温を反映している可能性が高く、中核温度指標となり得る可能性が低いことが強く示唆された。

## 5. まとめ

放射温度計により虹彩上で非接触に測定した眼球表面温が中核温度指標となり得るかどうかが検討した。健康な青年男子を被験者とし、28℃-40℃(h)の恒常中立環境下において、43℃の下肢温浴とエルゴメーターによる中程度の運動という異なる2通りの方法で熱負荷を与えた。その結果、眼球表面温は中核温の指標である鼓膜温や食道温、また外殻温である平均皮膚温や前額部皮膚温とも異なる動きを示した。更に、環境温を10分間で27℃から34℃に急激に上昇或いは低下させる実験を行った。その結果、鼓膜温はほぼ一定の値を示していたのに対して、眼球表面温は環境温の急激な変化に伴い大きく変化し、前額部皮膚温よりも環境温の影響を強く受けた。環境温を20分間で20℃から23℃まで緩徐に上昇させた実験では、眼球表面温は環境温に対して高い相関を示した ( $r=0.99$ )。恒常中立環境下における眼部周辺のサーモグラムを分析した結果、眼球表面温よりも眼部周辺の皮膚温が有意に高いことが判明した ( $p<0.01$ )。以上の結果より、虹彩部を放射温度計で非接触に測定した眼球表面温は虹彩温を直接反映しているのではなく、血流支配のない角膜温である可能性が高く、中核温度指標となり得る可能性が低いことが強く示唆された。

## 謝辞

本報告に関わる研究は、愛知医科大学第2生理学講座助手鈴木一乃先生、西山哲哉先生のご協力をいただきました。記して、厚く御礼を申し上げます。

## 参考文献または引用文献

- Alio J. and Padron M. (1982) Influence of age on the temperature of the anterior segment of the eye. *Ophthalmic Res.*, 14: 152-159
- Ekato B., Friend J. and Thoft R. A. (1987) Comparison of central and peripheral human corneal epithelium in tissue culture. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.*, 28: 1450-1456
- Fatt I. and Chaston J. (1980) Temperature of a contact lens on eye. *Int. Contact Lens Clin.*, 7: 195-198
- Freeman R. D. and Fatt I. (1973) Environmental influences on ocular temperature. *Invest. Ophthalmol.*, 12: 596-602
- Hamano H., Hori M., Hirayama K. and Mitsunaga S. (1976) Fundamental information of contact lens wear on the eye. *J. Jpn. Contact Lens Soc.*, 18: 1-18
- Hardy J. D. and DuBois E. F. (1988) The technic of measuring radiation and convection. *J. Nutr.*, 15: 461-475
- 平山忠久, 馬嶋慶直 (1976) 眼科におけるサーモグラフィ的研究. *臨眼*, 30: 305-310
- Jennifer A. S. (1988) The computation of temperature rises in the human eye induced by infrared radiation. *Phys. Med. Biol.*, 33: 243-257
- 蒲山俊夫, 鈴木仁, 堀内二彦, 芥川泰生, 松崎浩 (1979) 眼科サーモグラフィの研究—サーモグラフィとその眼科領域への応用—. *日眼*, 83: 326-334

- 蒲山俊夫 (1980) 眼科サーモグラフィの研究 第2報 正常者角膜面における温度分析. 日眼, 84: 375-382
- 近藤三博 (1985) サーモトリーによる前眼部表面温度の研究 - Contact Lens 装着時の経時変化-. 日コレ誌, 27: 251-256
- Mapstone R. (1968a) Measurement of corneal temperature. Exp. Eye Res., 7: 237-243
- Mapstone R. (1968b) Corneal thermal patterns in anterior uveitis. Br. J. Ophthalmol., 52: 917-921
- Merlin D. L., Brendon R. O. and Benjamin F. M. (1991) Ocular hypothermia the human papillary light reflex. Invest. Ophthalmol. Vis. Sci., 32: 3285-3287
- 中島利誠, 潮田ひとみ, 仲西正, 駒城素子 (1991) 中核温度指標としての虹彩温度 - 第1報 定常状態での虹彩温の挙動-. 日生気誌, 28: 157-163
- Nathan E., Graeme Y. and Noel A. B. (1989) Ocular surface temperature. Curr. Eye Res., 9: 901-906
- Rysa. P. and Sarvaranta, J. (1974) Corneal temperature in man and rabbit. Acta. Ophthalmol., 52: 810-819
- Schwartz B. (1965) Environmental temperature and the ocular temperature gradient. Arch. Ophthalmol., 74: 237-243

---

連絡先

相澤清香

Department of Physiology, Faculty of Medicine, Laval University, Québec, Canada

G1K 7P4

Phone: +1-418-656-3347 (extension 4662)

Fax: +1-418-656-3068

E-mail: [Seika.Aizawa@phs.ulaval.ca](mailto:Seika.Aizawa@phs.ulaval.ca)

(1999年4月14日受付, 2000年1月28日採用決定, 討論受付期限2001年2月末日)