

化粧が高温環境下の発汗反応及び 選択的脳冷却機構に及ぼす影響

金沢大学 医学部

田辺 実・永坂 鉄夫

Six healthy males were subjected to the following two experiments in a climatic chamber at ambient temperature of 28 °C.

Experiment 1) To confirm whether the makeup of the face suppresses sweating responses during exercise at 1.5, 2.5 and 3.5 kp. The frequency of sweat expulsion (F_{sw}) and sweat rate (M_{sw}) on the forehead of right (makeup) and left (non-makeup) sides were measured. F_{sw} on the makeup side always synchronized with F_{sw} on the non-makeup side. There was no difference of M_{sw} between both sides.

Experiment 2) To investigate whether this suppression of evaporative heat loss from the head hinders the selective brain cooling during hyperthermia induced by head-out sauna. Tympanic (T_{ty}) and esophageal (T_{es}) temperatures and blood flow in the angularis oculi vein (Q_{ov}) were measured. When a hood was applied over the head of subjects after thermal equilibrium was obtained, T_{ty} became to be higher than that of T_{es} , even with a gradual increase of Q_{ov} .

These results suggest that cosmetics on the face do not suppress evaporative heat loss from the face during exercise. When the whole head is covered, however, it would be dangerous for the brain cooling.

1 緒言

脳は代謝の高い臓器であると同時に、熱に極めて弱く脳温が39.5~40.5°Cに達するとその機能障害が発生し、意識喪失、血圧低下などのショック状態を起こす。これを防ぐ機構として、生体には高体温時に脳温だけを選択的に低く保つ機構が発達している(選択的脳冷却機構)。偶蹄類¹⁻²⁾などではパンティングにより多量の静脈血が鼻粘膜で冷却され、頭蓋底の静脈叢に流れ込む。頸動脈は網状にこの静脈叢を貫通しており、脳に向かう動脈血は静脈叢を通過する際に冷やされ、次い

で、低温の動脈血が脳組織を冷却する。ヒト³⁻⁴⁾の選択的脳冷却機構は偶蹄類のそれとはやや異なっている。高体温時、ヒトは頭部や顔面に多量の汗をかく。汗の蒸発に伴い、頭皮や顔面、および同部皮下の静脈血が冷却される。低温の静脈血は眼角静脈や導出静脈を経由して頭蓋底の静脈叢(海綿静脈洞)に流入し、その結果、頸動脈血温が低下し、脳温は低く保たれる(図1)。

通常、化粧に用いられるいわゆるファンデーションなどは皮膚に比較的厚く塗られるため高体温時の顔面の汗の蒸発を阻害すると共に、その成分によっては顔の皮膚と外気との熱絶縁層となり、顔面からの熱放散の減弱、ひいては導出静脈血流による脳の冷却効率を弱める可能性がある。しかし、ヒトの選択的脳冷却効率が化粧によってどの程度影響されるのかを温熱生理学的立場から詳細に検討した報告はない。

本研究では、化粧の有無が暑熱負荷時の体温上昇に伴う前額部の発汗反応、眼角静脈の血流動態及び脳冷却効率にいかに関与するか検討した。

Effect of cosmetics on sweating and selective brain cooling in hyperthermic humans

Minoru Tanabe

Faculty of Medicine,
Kanazawa University



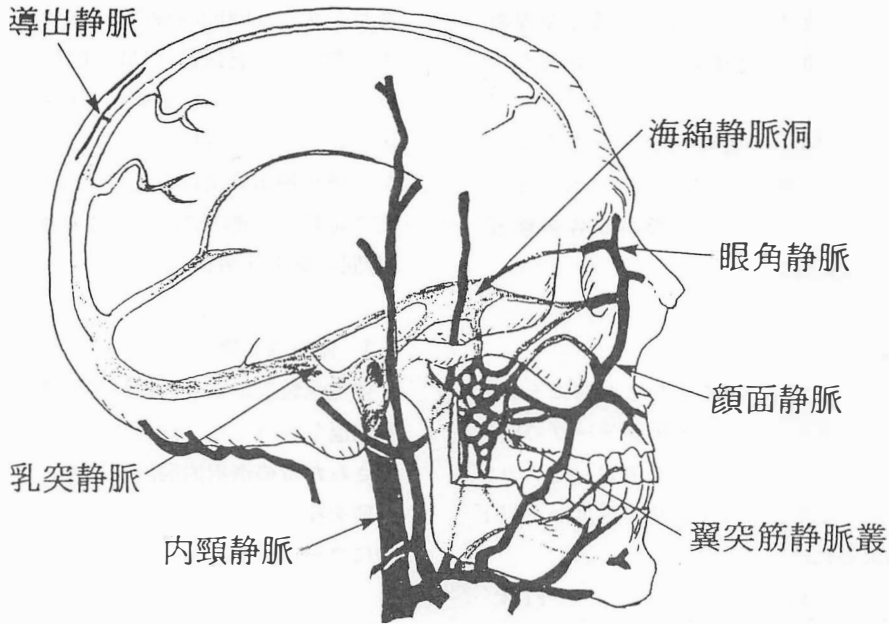


図1 頭蓋内外の静脈の走行

2 実験

本研究はすべて環境温 $28.0 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 、相対湿度 $40 \pm 3\%$ に調節した人工気象室(TBS-6-S、Tabai-ESPEC、Osaka)にて行った。

2.1 被験者

本実験の被験者は、健康な成人男子6名であった。著しい肥満、痩身者は被験者から除いた。被験者には、実験の主旨、手順を十分に説明した上で、実験に際して危険性がないことを理解してもらい、実験に協力してもらった。実験に際して食事性熱産生の影響を取り除くため実験開始前3時間は絶食とした。

2.2 運動実験

自転車エルゴメーター運動により被験者の深部体温を体内から段階的に上昇させた。この体温上昇に伴う発汗反応(発汗拍出頻度、発汗量)が化粧の有無によりいかに影響されるか検討した。

2.2.1 実験手順

被験者は毎回定められた時刻にショーツのみを着用した裸体で人工気象室に入室した。下記の化粧の手順に従って被験者の顔面の右半面に化粧を行った。その後、自転車エルゴメーターのサドルに座り少なくとも30分以上の安静を得た。この間に前額の左右に発汗カプセルを両面テープで貼付した。温度平衡が得られた後、毎分50回転のリズムで自転車エルゴメーター運動を30分間行った。運動強度は10分毎に段階的に1.5kp、2.5kp、3.5kpと増加させた。

2.2.2 化粧の手順

- 2.2.2.1 化粧用コットンに約2mlの柔軟化粧水を含ませ、顔面皮膚を十分に拭く。
- 2.2.2.2 化粧用コットンに約2mlの乳液を含ませ、顔面の右半面につける。
- 2.2.2.3 収れん化粧水をコットンに約2ml含ませ、軽く叩くようにしながら顔面の右半面につける。

- 2.2.2.4 その後ファンデーションをやや厚めに顔面の右半面にのぼしながらつける。
- 2.2.2.5 パフに十分量のパウダーをとり、顔面皮膚全体に叩くようにつける。
- 2.2.2.6 以上の化粧は同一験者が各被験者に行った。

2.2.3 測定項目

発汗量 ($\dot{m}_{s.w}$): 前額の中心から左右にそれぞれ4cmの部位に発汗カプセルを両面テープで貼付し、換気カプセル法により $\dot{m}_{s.w}$ を測定した。カプセル内の空気の絶対湿度はその相対湿度から以下の式にて算出した。

$$D = \frac{H}{100} \cdot \frac{804}{1 + 0.00366t} \cdot \frac{Es}{Po} \cdot \frac{Flow}{area}$$

但し、D: 絶対湿度 (g/m^3)=(mg/l)

H: 相対湿度 (%)

t: 環境温度 ($^{\circ}C$)

Es: $t^{\circ}C$ における飽和水蒸気圧 (mmHg)

Po: 標準気圧 (mmHg)

Flow: カプセル内の気流量 (0.5l)

area: カプセルの面積 ($0.785cm^2$)

圧縮 N_2 ガスから減圧弁を介してカプセル内に流入する気流量はマスフローコントローラー(SEC-400MK3、エステック、京都)により毎分500±2mlに調節した。カプセル内空気の相対湿度は湿

度センサー (HMP36ASPF、バイサラ社、東京)により測定し、記録器 (INR-6041、TOA、東京)にチャートスピード6cm/minの速さで記録し、同時にフロッピーに10Hzのサンプリング周期で収録した。発汗拍出頻度は左右の2ヶ所の相対湿度の変化で同期した発汗波について各運動強度の終了前1分間の値を計測した。

2.3 体加温実験

体加温装置によりに被験者の深部体温を体外より加温し維持した。汗の蒸発に伴う熱放散量が抑制された時の選択的脳冷却効率と眼角静脈の血流動態を検討する目的で、被験者の頭部全体を一時的にフードで覆った。

2.3.1 実験手順 (図2)

人工気象室内に設置した市販の体加温装置 (スエット、MA-800、ファミリー社) 内に、被験者はショートパンツのみを着用し、頭部のみを露出した状態で座位にて30分以上の安静を得た。その後、顔面に送風をしつつ体加温装置内の温度を $50^{\circ}C$ まで上昇させ全身を40分間加温した。その後深部体温が一定になるように加温装置を調節した。深部体温、発汗量が平衡状態に達した後、10分間一時的に被験者の頭部全体をビニール製のフードで覆い顔面・頭皮からの汗の蒸発を抑制した。

Protocol

T_a $28^{\circ}C$, 40% RH
fanning (1.5 m/s)

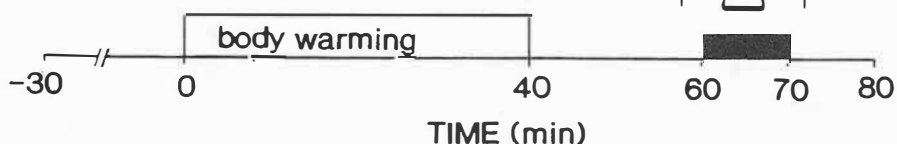


図2 体加温実験の手順

2.3.2 測定項目

食道温 (T_{es}): 軀幹部の深部体温の指標として T_{es} を用いた。鼻孔から42cm挿入し食道内の右心房位で最も高い温度を示す位置に留置した T_{es} 測定素子 (PZL-74、Technol Seven、横浜) で測定した。

鼓膜温 (T_{ty}): 脳温の指標として T_{ty} を用いた⁵⁾。耳鏡により鼓膜の位置を確認した後、 T_{ty} 測定素子 (PZL-74、Technol Seven、横浜) の先端が鼓膜光錐部にあったことを確認してから、外耳道を脱脂綿で塞いでリード線を固定し、断熱の目的で四角く切った脱脂綿で耳介部全体を覆った。

皮膚温 (T_{sk}): サーミスター温度素子により、全身7ヶ所 (前額、前腕、手、胸、大腿、下腿、足) の皮膚で測定した。サーミスターは、先端部分を皮膚に接触させてその上からサージカルテープを一重にして皮膚に貼付した。これら T_{sk} は、サーミスター温度データ収録装置 (K923、タカラ

工業、横浜) に収録し、サーモ分析システム (サーモスキャナープログラム、金沢コントロール機器、金沢) を介し、30秒毎にコンピューター (PC-9801VX、日本電気、東京) に入力した。

平均皮膚温 (T_{sk}): 上記の全身7ヶ所で測定した T_{sk} にそれぞれの部位の面積比を乗じ、以下の式より算出した。

$$T_{sk} = 0.07T_1 + 0.14T_2 + 0.05T_3 + 0.35T_4 + 0.19T_5 + 0.13T_6 + 0.07T_7$$

(但し、 T_1 は前額、 T_2 は前腕、 T_3 は手、 T_4 は胸、 T_5 は大腿、 T_6 は下腿、 T_7 は足の各 T_{sk})

眼角静脈血流 (Q_{ov}): Q_{ov} の方向と速度は超音波ドップラー血流計 (Model 909、Parks、Oregon) により連続測定した。測定プローブは、8MHzの静脈血流用のダイレクトモードに合わせ、眼角静脈上の皮膚に対して垂直に近い角度をもって接触させて固定した。内側をスポンジで覆ったアルミニウム製のヘッドバンド (幅3cm) で素子を固定した。

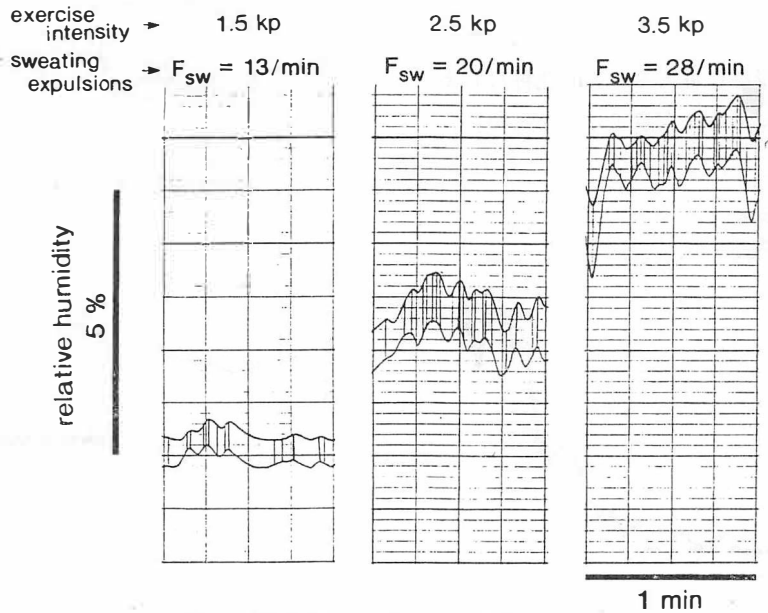


図3 前額の発汗カプセル内の相対湿度の変化。

上線：化粧なし (左顔半面)、
下線：化粧あり (右顔半面)、
運動強度：1.5kp, 2.5kp, 3.5kp、
 F_{sw} ：発汗拍出頻度

2.4 統計処理

各変量の時間経過に伴う変化は、one-way ANOVAで検定し、有意性が認められた時、paired Student's t-testを行った。変量は全てmean±SEとして求め、統計的有意水準は5%とした。

3 結果

3.1 運動実験

図3は前額に貼付したカプセル内の相対湿度の変化について、各運動強度の終了前1分間の左(化粧なし)と右(化粧あり)の前額の2ヶ所で同期した発汗波を線で結んで示した。発汗拍出頻度は運動強度1.5kpで13/min、2.5kpで20/min、3.5kpで28/minであった。発汗拍出は化粧なしの部位と化粧ありの部位で同期し、この同期は運動強度が増加しても常に一致した(図2)。

図4は前額の発汗量の経時変化を1分毎に6名の平均値で示した。運動時の発汗潜時は化粧なしで415±30秒、化粧ありで415±30秒であった。各被験者において発汗潜時にはばらつきがあるが、同一被験者において発汗潜時は化粧の有無に関係なく一致した。発汗量は化粧ありの方が化粧なしより若干少ない傾向にあるが有意差はなかった。

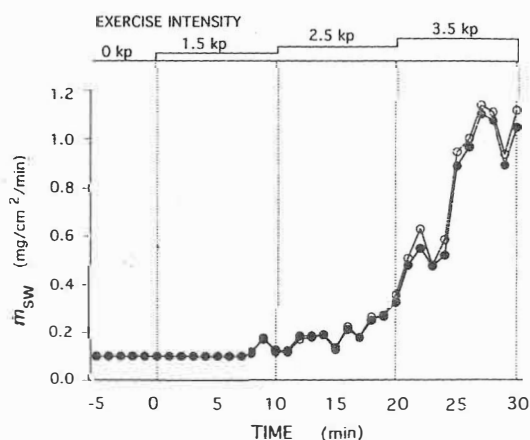


図4 前額発汗量 (\dot{m}_{sw}) の経時変化。

- : 化粧なし (左顔半面)、
- : 化粧あり (右顔半面)

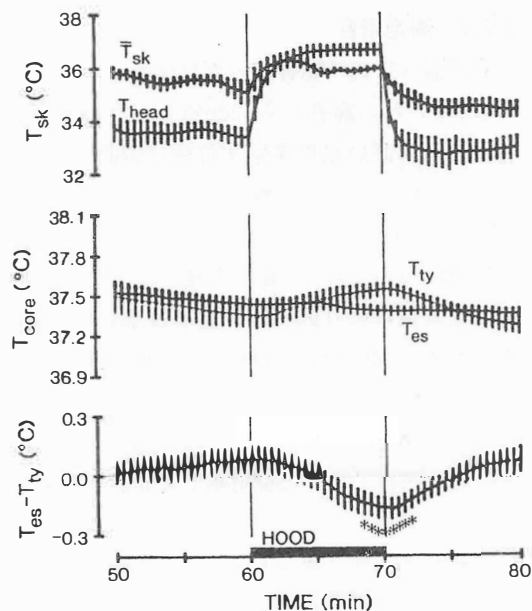


図5 フードで頭部全体を覆った時の平均皮膚温 (T_{sk})、前額皮膚温 (T_{head})、鼓膜温 (T_{ty})、食道温 (T_{es})、 $T_{es}-T_{ty}$ の経時変化。

HOOD : フードで頭部全体を覆った10分間

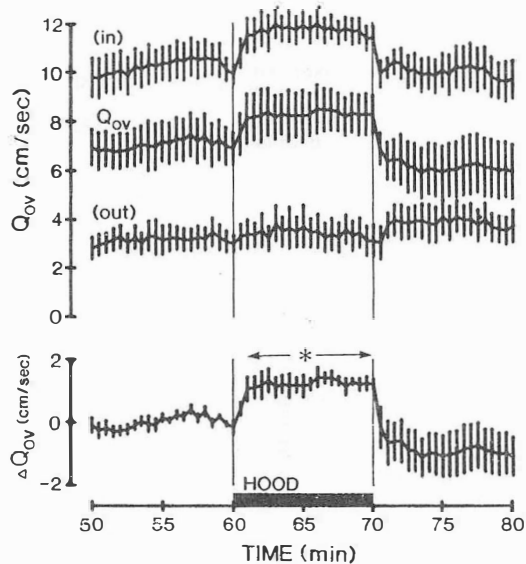


図6 フードで頭部全体を覆った時の眼角静脈血流 (Q_{ov}) の経時変化。 Q_{ov} はプラス側が顔面側から頭蓋内への流入を、マイナス側が頭蓋内から顔面側への流出を示す。
in : Q_{ov} の頭蓋内への流入成分、
out : Q_{ov} の頭蓋外への流出成分、
 ΔQ_{ov} : Q_{ov} のフード装着前10分間に対する変化分

3.2 体加温実験

図5は T_{sk} 、前額皮膚温、 T_{ty} 、 T_{es} 及び T_{es} から T_{ty} の値を差し引いた値についてフードで頭部全体を覆う前、中、後の経時的变化を6名の平均値と標準誤差で示した。頭部全体をフードで覆った時、前額皮膚温は $33.44 \pm 0.37^\circ\text{C}$ から $36.65 \pm 0.22^\circ\text{C}$ に急激に上昇した。フードで頭部全体を覆っている10分間に、 T_{es} はほとんど変化しなかったが、 T_{ty} は $37.36 \pm 0.09^\circ\text{C}$ から $37.54 \pm 0.05^\circ\text{C}$ へと 0.18°C 上昇し T_{es} より高くなった。 T_{es} から T_{ty} を差し引いた値は $+0.09^\circ\text{C}$ から -0.16°C へと有意に下降した。

図6は眼角静脈の血流動態についてフードで頭部全体を覆う前、中、後の経時的变化を6名の平均値と標準誤差で示した。眼角静脈の頭蓋内の海綿静脈洞への流入成分(in)はフードで頭部全体を覆った10分間に $10.05 \pm 0.49\text{cm/sec}$ から $11.33 \pm 0.55\text{cm/sec}$ に増加した。眼角静脈の頭蓋内から顔

面皮膚側への流出成分(out)はフードで頭部全体を覆った時ほとんど変化せず($3.08 \pm 0.45\text{cm/sec}$ から $3.11 \pm 0.68\text{cm/sec}$)、流入成分(in)よりも小さかった。眼角静脈を經由して頭蓋内の海綿静脈洞へ流れる血流はフードで頭部全体を覆った10分間に $6.97 \pm 0.76\text{cm/sec}$ から $8.23 \pm 0.81\text{cm/sec}$ に約18%増加し、その変化分は有意であった。

図7は安静時より約 0.6°C 高い T_{es} の状態で維持し、フード装着後に失神直前の症状を起こした被験者についてのデータである。フードで頭部全体を覆った間、この被験者の T_{ty} は常に T_{es} よりも低く保たれた。この被験者の Q_{ov} はフードで頭部全体を覆った時、海綿静脈洞への流入成分が徐々に増加する傾向を示した(図8)。

4 考察

4.1 運動実験

前額部の発汗の拍出は化粧なしの部位と化粧ありの部位で同期し、その頻度は運動強度に依存して増加した(図3)。Sugenoyaら⁶⁾はmicroneurographyによる皮膚交感神経活動と発汗拍出頻度との関係について、発汗の拍出は皮膚交感神経の発射と常に一致し、発汗中枢機構の活動を示すこと

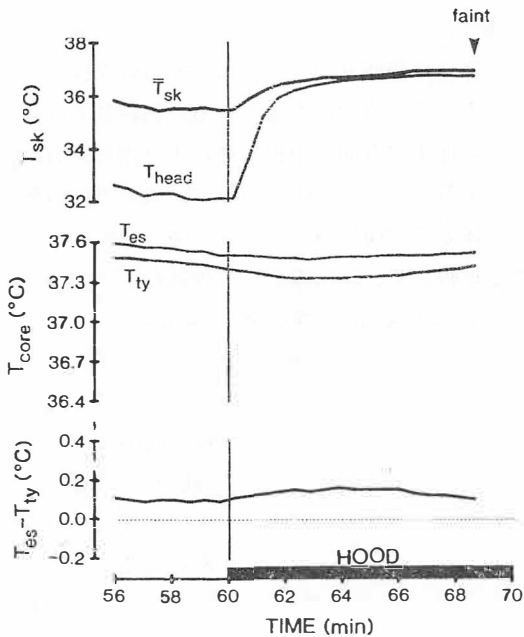


図7 フード装着実験で失神を起こした被験者の平均皮膚温(T_{sk})、前額皮膚温(T_{head})、鼓膜温(T_{ty})、食道温(T_{es})、 $T_{es}-T_{ty}$ の経時的变化。矢印：被験者が失神し実験を中断した。記号は図5に準じる。

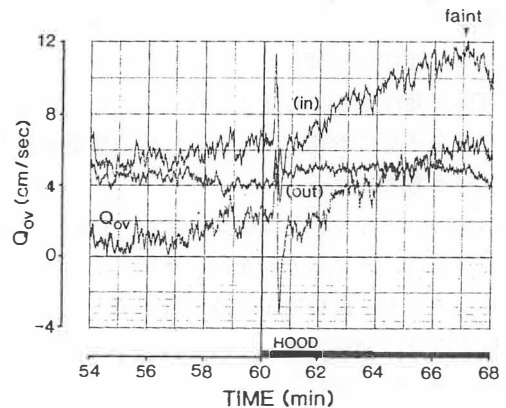


図8 フード装着で失神を起こした被験者の眼角静脈血流(Q_{ov})の経時的变化。矢印：被験者が失神し実験を中断した。記号は図6に準じる。

を報告した。小川⁷⁾は発汗拍出頻度が発汗遠心路における干渉が汗の拍出頻度や同期性には影響せず、拍出波の大きさにのみ影響すること、たとえば一側側胸部の圧迫により、同側上半身の発汗量は減少するが、その際対側の発汗と比べ拍出の同期性は失われず、拍出波の波高が低下していることを報告した。本研究で前額部の発汗拍出が化粧ありの部位と化粧なしの部位でまったく同期していることから、少なくとも発汗遠心路においては化粧の有無による影響はないと考えられる。

前額部で化粧ありの部位の発汗量は化粧なしの部位に比べて僅かに少ないことが観察された(図4)。多量発汗または高湿環境下で発汗を続けると、発汗量が次第に減少する。これは表皮の湿潤に関連した局所的な現象とみなされ、発汗漸減 hidromeiosis と呼ばれている。発汗漸減は水の浸透によって角質層が膨張し、汗腺導管の汗口部の狭窄ないし閉塞が起こるためと考えられる⁸⁻⁹⁾。発汗漸減の速度は最高発汗時の無効発汗量が多いほど速いこと、発汗漸減により無効発汗量(dropping)のみが減少し有効発汗量(皮膚からの蒸発量)は変化しないこと、発汗漸減は無効発汗量がなくなるまで進行し、その後は発汗量は減少しなくなることが知られている¹⁰⁻¹¹⁾。このことから、化粧をした部位の発汗量の僅かな減少は皮膚と化粧の間における湿潤が発汗漸減現象を起こした可能性が示唆される。しかしながら、化粧の有無で発汗量には有意差がないことから、化粧は有効発汗量に影響せず、蒸散性熱放散量を抑制しないと考えられる。

CabanacとCaputa¹²⁾は暖かい環境で被験者に自転車エルゴメーター運動を行わせた。この自転車エルゴメーターは被験者自身が最も漕ぎやすい負荷量を自分で調節できるような装置であった。被験者には一回はプラスチックのフードを被って頭部に風が当たらないようにし、他の一回は顔に小型扇風機で風を送ったが、フードを着用した被験者は自転車を漕ぎはじめて間もなくペダルの負荷量を軽減した。 T_{re} は顔に風が当たっている被験

者に比べてフードのある方で有意に高くなった。この結果は汗の蒸発効率が悪いと脳温が下がらず運動能力が減退することを示唆する。本被験者の内省報告では化粧の有無による頭部の温度感覚、湿度感覚の違いが得られなかった。このことから、運動時の化粧は発汗効率を抑制させず、運動パフォーマンス、精神的疲労度に影響しないと推察される。

4.2 体加温実験

頭部全体をフードで覆い汗の蒸発による熱放散を抑制した時、前額 T_{sk} が急激に36.65℃に上昇した(図5)。皮下深層の静脈血の温度はこれよりもさらに高いと考えられる。フードで頭部全体を覆っている間、高体温で眼角静脈を経由して頭蓋内の海綿静脈洞へ流入する血流はさらに増加した(図6)。この時の T_{sk} はほとんど変化しなかったが、 T_{re} は徐々に上昇し T_{sk} よりも高いレベルに達し、 T_{sk} から T_{re} を差し引いた値(選択的脳冷却の効率)はプラスからマイナスに転じた(図5)。導出静脈には静脈弁がなく血流は頭蓋骨を挟んで内外のどちらの方向にも流れる。偶蹄類では眼角静脈の血流の方向が中枢神経により調節されたものであること、この眼角静脈の血流の方向の転換は高体温で顔面静脈の平滑筋が強く収縮し眼角静脈が拡張して、鼻粘膜からの静脈血が総て眼角静脈経由で頭蓋底の静脈叢に至るようになること¹⁻²⁾、ラクダでは顔面静脈の組織温度が上昇しその部の平滑筋の収縮が起きることが報告されている。ヒトでは、眼角静脈の機械的閉塞で脳温が著しく上昇すること³⁾、眼角静脈から頭蓋内の海綿静脈洞への血流の流入は、末梢皮膚からの温度入力に関係なく、深部体温がある温度レベルに達すると決まって急激に始まる⁴⁾。今回の結果から、高体温で眼角静脈の流入の方向が頭蓋内へ転換した後、顔面、頭皮の静脈血が十分に冷却されず高い値を保つ時には、眼角静脈血流の流入が増加して脳温をさらに上昇させる危険性のあることが推察される。

フードで頭部全体を覆った時に失神を起こした被験者の眼角静脈は徐々に増加したが、 T_{ey} は常に T_{es} よりも低く保たれていた(図8)。この被験者で失神を惹起させた誘因の一つとして、眼角静脈を経由した血流の頭蓋内への流入増加で頭蓋内圧が上昇し脳を圧迫する可能性が考えられる。この点についてはさらに検討が必要であり、高温環境下での脳障害や熱中症の発生の機序を解明していく上で今後極めて重要な課題といえる。

5 謝 辞

ご援助いただきましたコスメトロジー研究振興財団、本実験の被験者諸氏に深謝します。

引用文献

- 1) Johnsen HK, : Nasal heat exchange, an experimental study of effector mechanisms associated with respiratory heat loss in Norwegian reindeer (*Rangifer tarandus*), *Univ. of Tromso, Norway*, 72-87 1988
- 2) Elkward AO, Al-Zaid NS and Bou-Resli MN, : Facial vessels of desert camel (*Camelus dromedarius*): role in brain cooling, *Am. J. Physiol.*, 258 R602-R607 1990
- 3) Nagasaka T, Hirashita M, Tanabe M, Sakurada S and Brinnel H: Role of the veins of the face in brain cooling during body warming in human subjects, *Jpn. J. Biometeor.*, 27 113-120 1990
- 4) Hirashita M, Shido O and Tanabe M, : Blood flow through the ophthalmic veins during exercise in humans, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 64 92-97 1991
- 5) Brinnel H and Cabanac M, : Tympanic temperature is a core temperature in man, *J. Therm. Physiol.*, 14 47-53 1989
- 6) Sugenoja J, Iwase S, Mano T and Ogawa T, : Identification of sudomotor activity in cutaneous sympathetic nerves using sweat expulsion as the effector response, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 61 302-308 1990
- 7) 小川徳雄, : 発汗活動に影響する中枢性および末梢性要因, *日本生理誌*, 48 1-13 1986
- 8) Sarkany L, Shuster S and Stammers M, : Occlusion of the sweat pore by hydration, *Brit. J. Dermatol.*, 77 101-104 1965
- 9) Kerslake DMck, : The stress of hot environments, Cambridge University Press, London, 1972
- 10) Candas V, Libert JP and Vogt JJ, : Sweating and sweat decline of resting men in hot humid environments, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 50 223-234 1983
- 11) Ogawa T, Asayama M, Sugenoja J, Fujimatsu H, Miyagawa T and Terai Y, : Temperature regulation in hot-humid environments, with special reference to the significance of hidoromeiosis, *J. Therm. Biol.*, 9 121-125 1984
- 12) Cabanac M and Caputa M, : Open loop increase in trunk temperature produced by face cooling in working humans, *J. Physiol.*, 289 163-174 1979