

化粧と運動時の選択的脳冷却効果

| | | |
|---------|-----------------|---------|
| | 金 沢 大 学 | 平 田 耕 造 |
| (共同研究者) | 同 | 永 坂 鉄 夫 |
| | 同 | 野 田 祐 子 |
| | 同 | 紫 藤 治 |
| | 金 沢 女 子 短 期 大 学 | 平 井 敦 夫 |
| | 金 沢 経 済 大 学 | 平 下 政 美 |
| | 金 沢 工 業 大 学 | 高 畑 俊 成 |

Makeup Affects Selective Cooling of the Human Brain During Exercise

by

Kozo Hirata, Tetsuo Nagasaka,
Yuko Noda and Osamu Shido

*Department of Physiology, School of
Medicine, Kanazawa University*

Atsuo Hirai

Kanazawa Women's Junior College

Masami Hirashita

Kanazawa College of Economics

Toshinari Takahata

Kanazawa Institute of Technology

ABSTRACT

The present study consists of following two experiments. 1) To confirm whether brain temperature is selectively cooled during hyperthermia, we studied 8 subjects using measurements of tympanic temperature (T_{ty}). Hyperthermia was induced by leg water-immersion at a water temperature of 42°C , in a climatic chamber at an ambient temperature (T_a) of 35°C . When facial fanning at a wind velocity of $5.5\text{m}\cdot\text{sec}^{-1}$ was applied during

hyperthermia, forehead skin temperature (FT_{sk}) and T_{ty} were 2°C and 0.1°C lower than those without facial fanning. Subjects voted low rates of thermal sensation on the face (TS) with facial fanning. Facial fanning improved significantly hand-grip exercise performance (37%). 2) To investigate whether makeup hinders selective brain cooling during hyperthermia, we studied 7 subjects using head-out sauna (44°C) at a T_a of 25°C . Makeup significantly decreased forehead skin blood flow (31%) and FT_{sk} (0.5°C). Subjects voted high TS with makeup.

These results suggest that enhanced heat loss from the head and face induces selective cooling of the brain during hyperthermia, and hence improves exercise performance. From the standpoint of prevention of heat stroke, we advise that athletes should use face and head fanning after stop of exercise and should not exercise with makeup.

要 旨

健康な成人8名を対象として、鼓膜温 (T_{ty}) を指標に“選択的脳冷却”が起こるかどうか検討した。環境温 (T_a) 35°C 条件下で、下腿まで水中浸漬 (42°C) による高体温時 (食道温 0.5°C 上昇) に、秒速 5.5m の顔面送風を行った時、前額皮膚温 (FT_{sk}) は 2°C 、 T_{ty} は 0.1°C 低く抑えられた。顔面の温度感覚 (TS) も低い申告であった。それらの効果により、掌握運動のパフォーマンス (EP) は37%有意に改善した。

さらに、健康な成人7名を対象とし、選択的脳冷却におよぼす化粧の影響を検討した。 T_a 25°C 環境下で、頭部露出型のサウナ加温 (44°C) による高体温時には、化粧により前額皮膚血流量は31%、 FT_{sk} は 0.5°C 有意に抑制された。TS も高い値を申告した。しかし、 T_{ty} と EP には化粧による有意な変化は観察されなかった。

以上の結果から、高体温時には頭部・顔面からの熱放散量増加により、選択的脳冷却が起こり、パフォーマンスを向上させる。熱中症予防の立場から、高体温を伴う運動時には化粧を控えた方がよく、積極的に顔面送風を利用すべきである。

1. 緒 言

たいへん暑い日には、長距離走や自転車ロードレースの直後に、選手が突然死亡するケースが時々報告されている。運動中に作業筋で発生された大量の熱は、走行スピードに応じた風を受けて、速やかに外界へ放散される。その結果、脳温は危険温度以下に保たれるが、運動終了後には強制対流が無くなり、急上昇し危険温度を越えることが原因の一つであると示唆されている⁵⁾。

実際のマラソンレース中には、直腸温が 42°C にも達することが報告されており、脳の危険温度 40.5°C ⁹⁾ よりはるかに高い。このため、脳温は直腸温とは別に低く保たれる機構が存在すると考えられる。

動物では、羊・犬などの哺乳類にきわめて優秀な脳冷却システムの存在が報告されている¹⁾。ヒトでは解剖学的構造が動物と異なるため、その存在については現在も議論の対象となっている^{5,20,24)}。Cabanac⁵⁾ は、顔面および頭皮の血流量が増加し、発汗も加わり熱放散量が著増するため、冷却された静脈血が頭蓋内にはいり、脳を冷却する可能性を示している。

通常、女性が行う化粧は顔面における熱放散、ひいては選択的脳冷却にも影響し体温調節を妨げる可能性が考えられる。さらに、脳温の変化は運動のパフォーマンスにも影響すると考えられる。

そこで、本研究では以下の三点について検討することを目的とした。

- 1) 高体温下で脳温を低く保つための“選択的脳冷却”が、ヒトでも起こるかどうかが顔面送風を手段とし検討する。
- 2) 顔面の化粧により“選択的脳冷却”が影響されるかどうか検討する。
- 3) 顔面送風と化粧は、運動のパフォーマンスに影響するかどうか検討する。

2. 研究方法

本研究はすべて人工気象室 (TBL-6-S, Tabai MFG Co. Ltd, Osaka) にて行った。

1) 被験者

本研究は2つの実験から成り、実験1では健康な成人男性8名、実験2では健康な成人男性7名を被験者とした。彼らの身体的特徴は表1に示した。被験者にはあらかじめ実験手順をよく説明し、十分に練習を行わせた上で実験に参加させた。最大握力 (HGS_{max}) は Smedley's dynamometer を用いて測定した。

2) 測定項目

2-1 体温

食道温 (T_{es}) は鼻孔から食道内に挿入したサ

ーミスター (タカラ工業) により、また、鼓膜温 (T_{ty}) は外耳道から挿入したサーミスター・センサー (タカラ工業) を鼓膜に接触させた上で、外耳道を脱脂綿でふさぎ、外界から断熱して測定した。センサーと鼓膜との接触は、鈍痛を指標とした。

平均皮膚温 (\bar{T}_{sk}) はサーミスターにより全身7カ所で測定した皮膚温 (T_{sk}) から以下の式により算出した¹³⁾。

$$\bar{T}_{sk} = 0.07T_1 + 0.35T_2 + 0.14T_3 + 0.05T_4 + 0.19T_5 + 0.13T_6 + 0.07T_7$$

ただし、

T_1 : 前額, T_2 : 胸, T_3 : 腕, T_4 : 手,

T_5 : 大腿, T_6 : 下腿, T_7 : 足

T_{es} , T_{ty} , \bar{T}_{sk} および7点の T_{sk} はデータ・ロガー (K923, タカラ工業) を介し、パーソナル・コンピュータ (PS-80, ティアック) にオンラインで入力され、30秒ごとに測定・記録された。

2-2 心拍数 (HR)

HR は胸部誘導で導出した心電図出力を、心拍計 (AT-600G, 日本光電), DC アンプ (SA15U, ティアック), A/D コンバータ (ティアック) を介し、パーソナル・コンピュータ (PS-80, ティアック) にオンライン入力させ、30秒ごとの平均値を算出し測定・記録した。

2-3 前腕血流量 (FABF)

FABF は Whitney 型の 静脈閉塞プレチスモグ

表1 Pertinent subject characteristics.

| Subject | Age (years) | Height (cm) | Weight (kg) | HGS_{max} (N) |
|-------------------------|-------------|-------------|-------------|-----------------|
| (Experiment 1) n = 8 | 30.8 ± 3.7 | 170.9 ± 1.3 | 67.1 ± 2.8 | 492 ± 15 |
| (Experiment 2) n = 7 | 29.6 ± 2.2 | 170.4 ± 2.2 | 63.4 ± 1.7 | 465 ± 13 |

HGS_{max} , maximal hand-grip strength.

ラフィー²⁵⁾にて測定した。水銀を封入した Si-lastic ストレインゲージを非運動肢の前腕に10gの張力で固定し、温度補償用ストレインゲージ¹⁵⁾を近傍に装着した。静脈閉塞用カフ(幅13cm)を上腕に、手への動脈血流遮断用カフ(幅5cm)を手首にそれぞれ装着し、圧縮空気ポンベに接続したソレノイドバルブ操作により、それぞれ65mmHgと200mmHgの加圧を行った。前腕周径変化を記録し、FABFを測定した。

2-4 前額皮膚血流量 (Forehead LDF)

レーザー・ドップラー血流計 (PERIFLUX, PF-1, Perimed KB, Stockholm)^{14, 21, 22)}を用いて Forehead LDF を測定した。ホルダーを両面接着テープで前額に貼付し、ファイバー・プローブを装着した。レーザー・ドップラー血流計からの出力は二素子平衡型記録計 (SP-H5P, 理研電子) に記録した。

2-5 主観的運動強度 (RPE) と温度感覚

RPE は Borg⁴⁾の提唱したカテゴリースケールを日本語訳²³⁾したものを用い、作業肢についての RPE を毎分申告させた。

温度感覚 (Thermal Sensation) は Beshir と Ramsey (1980)³⁾が提唱したものを修正して用い、顔面と全身について毎分申告させた。カテゴリースケールは以下のごとくであった。

- | | |
|-----------|-----------|
| 18: 非常に暑い | 10: 少し暖かい |
| 16: かなり暑い | 8: 中立 |
| 14: 暑い | 6: 少し涼しい |
| 12: 暖かい | |

2-6 動脈血圧 (BP)

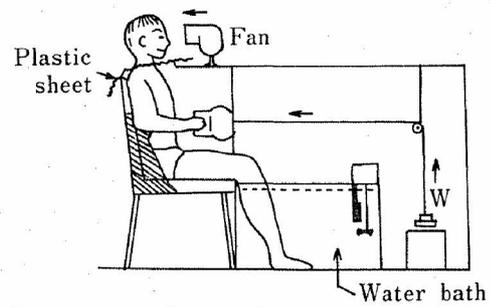
収縮期 (SBP) および弛緩期血圧 (DBP) は自動血圧計 (MPV-7101, 日本光電) を用いて上腕動脈で毎分測定された。

3) 実験手順

実験 1: 顔面送風と運動

室温 $35 \pm 0.5^\circ\text{C}$, 湿度 $75 \pm 3\%$ に調節された人工気象室内で椅座位をとらせ、各種測定装置を装

(Experiment 1)



(Experiment 2)

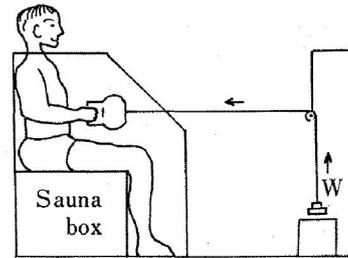


図1 Experimental setup for each experiment.

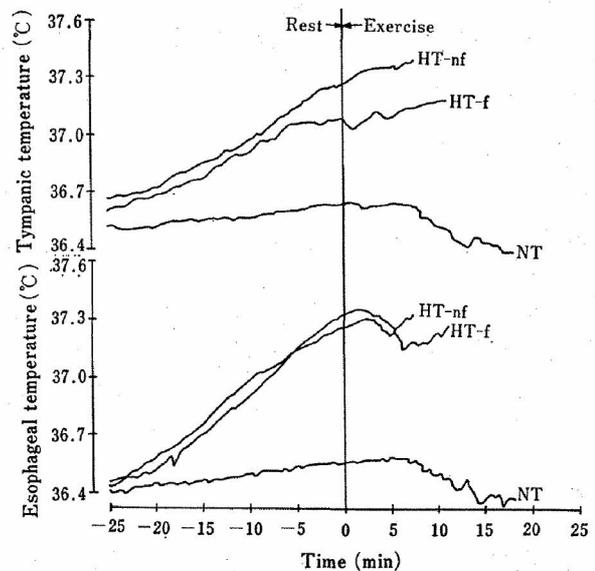


図2 Time course of typical experiments under three conditions. Showing tympanic and esophageal temperatures. Subj. PN.

着後、ショートパンツのみを着用した被験者に20分間の安静を維持させた(図1)。その後、次の3条件下で掌握運動をオールアウトまで行わせた(図2参照)。

NT: 加温なしの正常体温条件下でさらに30分間の安静の後、掌握運動開始。

HT-nf: 42°C の水槽に両下腿まで浸漬し高体温とし、 T_{es} が 0.5°C 上昇時から掌握

運動開始。顔面送風は無し。

HT-f：毎秒5.5mの風速で顔面送風した状態で、42°Cの水槽に両下腿まで浸漬し、 T_{es} が0.5°C上昇時から掌握運動開始。

掌握運動は各被験者の最大握力(HGS_{max})の20%に相当する重りを、2cm挙上し1秒間保持する運動を2秒に1回の頻度で毎分30回行わせた。

実験2：化粧と運動

室温25±0.5°C、湿度40%±3%に調節された人工気象室内に置いた一人用頭部露出型サウナ(スウェット, MA-800, ファミリー社)内で椅座位をとらせ、各種測定装置を装着後、ショートパンツのみを着用した被験者に10分間の安静を維持させた(図1)。その後、次の3条件下で掌握運動をオールアウトまで行わせた(図8参照)。

NT：加温なしの正常体温条件下でさらに30分間の安静の後、掌握運動開始。

HT-nc：サウナによる加温を行い高体温とし、 T_{es} が0.5°C上昇時点から掌握運動開始。一切の化粧は無し。

HT-c：以下の手順で通常の化粧を施した後、サウナによる加温を行い、 T_{es} が0.5°C上昇時点から掌握運動開始。

(化粧手順)

- 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 化粧用コットンに約2mlの乳液を含ませ、顔面全体につける。
- ③ 収れん化粧水をコットンに約2ml含ませ、軽くたたくようにしながら顔面につける。
- ④ その後、ファンデーションをやや厚めに顔全体にのぼしながらつける。

⑤ パフに十分量のパウダー(おしろい)をとり、顔面皮膚全体にたたくようにつける。

⑥ 以上の化粧は、同一実験者が各被験者に行った。

掌握運動は実験1と同様に、各被験者のHGS_{max}の20%に相当する重りを、2秒に1回の頻度で2cm挙上し1秒間保持する運動を、オールアウトまで行わせた。

統計検定はpaired t-testとWilcoxon matched pairs sign scale testを用いて行った。

3. 実験結果

実験1：顔面送風と運動

表2は3条件下で行った掌握運動のオールアウトまでの作業時間(Exercise performance time)を示したものである。NTに比べHT-nf, HT-fのいずれの高体温条件下でも、作業時間は有意に短縮した。高体温条件下での作業時間は、顔面送風により37%有意に延長した(10.5min→14.4min)。

表2 Exercise performance time (min) under each condition.

| NT | HT-nf | HT-f |
|----------|-----------|------------|
| 23.9±3.2 | 10.5±1.7* | 14.4±1.4*# |

Values are means±SE. Statistical significant from the NT values: *p<0.01. #p<0.02 for comparison of values for the HT-nf. NT, normothermia; HT-nf, hyperthermia without facial fanning; HT-f, hyperthermia with facial fanning.

図2は3条件下で加温中および運動中の鼓膜温と食道温変化の代表例を示した。実験方法で述べたように、食道温上昇はHT-nf, HT-f両条件下でほぼ同一の変化を示し0.5°C上昇したが、鼓膜温上昇は顔面送風(HT-f)により抑制されていることが解る。HT-nfとHT-f両条件下での鼓膜温の差は、運動中さらに拡大する傾向を示し

た. NT 条件での食道温, 鼓膜温変化はわずかであった.

図 3 では, 掌握運動のオールアウト時点での被験者 8 名の食道温と鼓膜温の平均値, および NT 条件下での作業時間に対する各条件下の相対的作業時間 (% Exercise performance) の平均値を示した. 高体温 2 条件での食道温上昇は 0.63°C と同一であったが, 鼓膜温上昇は HT-f で低く作業時間延長との関連性が示唆された.

図 4 は, HT-nf と HT-f の高体温 2 条件下の食道温変化に対する顔面の温度感覚と鼓膜温の相関を示した. 食道温を指標とした場合, 高体温になる過程で顔面送風を施すと, 顔面の温度感覚および鼓膜温の上昇が, とともに低く抑えられた.

図 5 では, 各部位の皮膚温および平均皮膚温の変化を示した. 高体温 2 条件下では, 下腿までの

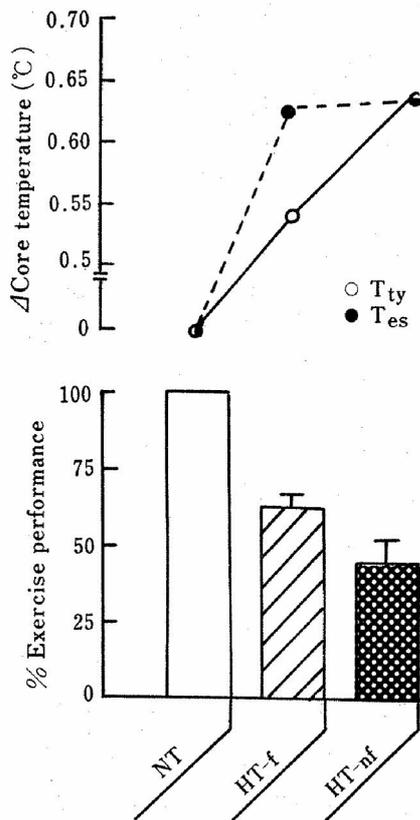


図 3 Increased esophageal and tympanic temperatures at the end of exercise, and % exercise performance under each condition.

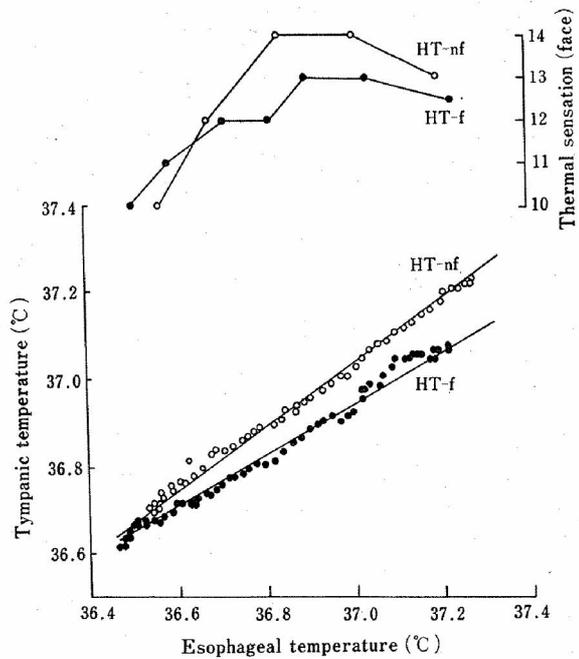


図 4 Relationships between esophageal temperature and face thermal sensation, or tympanic temperature under hyperthermic conditions.

水中浸漬を行ったため, 下腿部と足部の皮膚温, および平均皮膚温は NT に比べ有意に高い値を示した. 一方, 前額皮膚温は HT-f では顔面送風のため, いずれの時間でも HT-nf に比べ有意に低い温度を示した. その差は運動終了時点で 2.9°C にも拡大した. その他の部位の皮膚温では, 経時的变化および条件による差は観察されなかった.

図 6 は 3 条件での心拍数と前腕血流量変化を示している. HT-nf と HT-f の高体温 2 条件では, 心拍数・前腕血流量ともに NT より高い値を示したが, 顔面送風による効果は観察されなかった.

作業筋での RPE の経時的变化を 図 7 に示した. 高体温条件では NT に比べ, 有意に早い時間から RPE の上昇が観察された. また, HT-f 条件での RPE の上昇は, HT-nf に比べ有意に低く抑えられた ($p < 0.05$).

実験 2. 化粧と運動

表 3 は掌握運動の作業時間に及ぼすサウナによる高体温と, 化粧の効果を示した. 高体温により

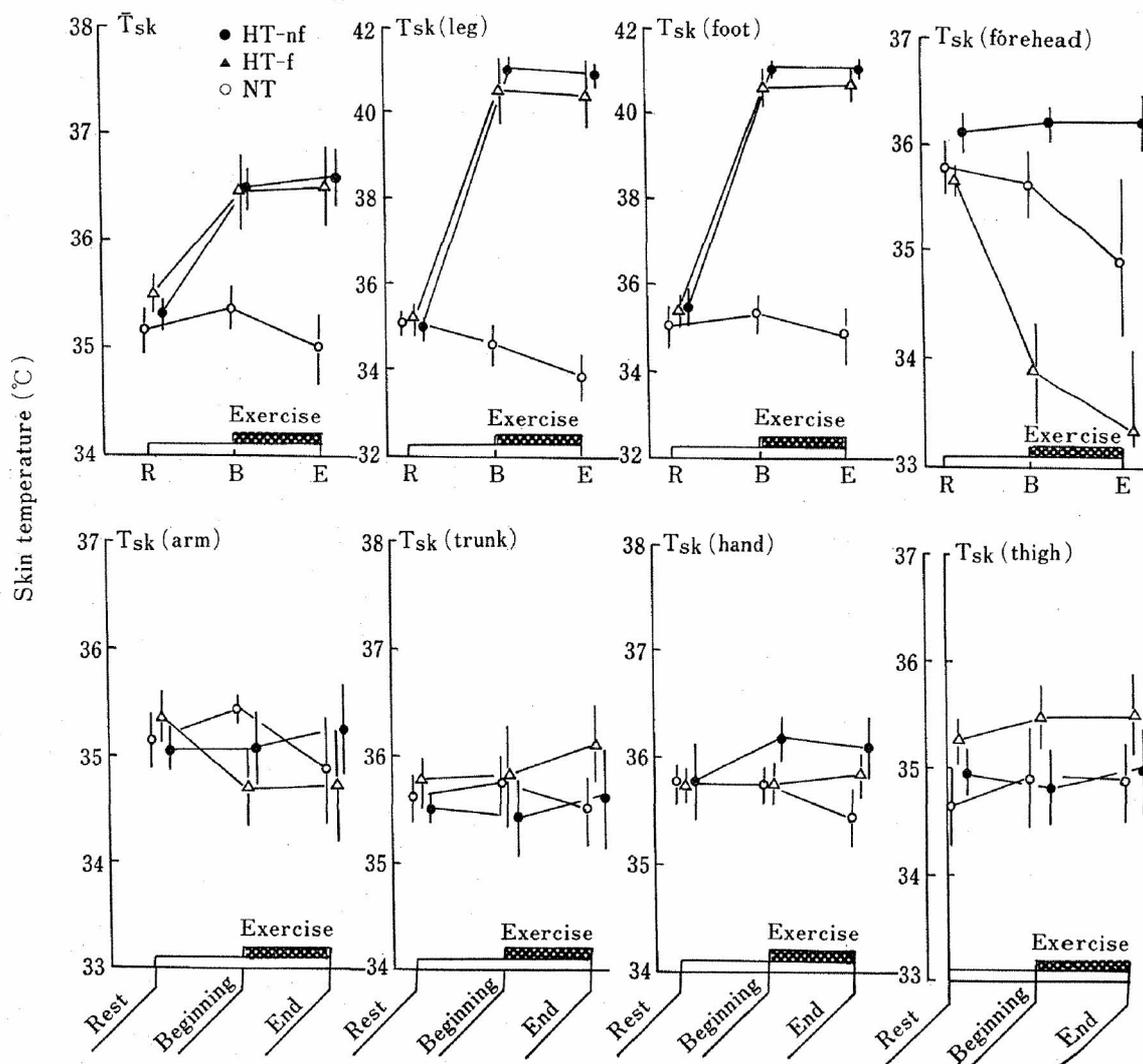


図5 Changes in mean skin and skin temperatures under each condition.

作業時間は平常体温 (NT) の $\frac{1}{2}$ 以下に短縮した ($p < 0.01$). しかし、顔面に施した化粧の効果は観察されなかった。

図8には NT, HT-nf および HT-c 3条件下での食道温, 鼓膜温, 皮膚温およびサウナ温の経時的变化を示した。NT では、28~29°C のサウ

ナボックス内で安静を保ち、著明な皮膚の変化は観察されなかった。HT-nf および HT-f の2条件では、サウナ温の上昇に伴い各部位の皮膚温は著明に上昇し、その変化は両条件でほぼ同程度であった。サウナ外の 25°C 環境に露出している前額皮膚温は、サウナ温上昇では著明な変化ではな

表3 Exercise performance time under each condition.

| | NT | HT-nc | HT-c |
|-----|--------------|---------------|---------------|
| min | 28.66 ± 5.28 | 10.09 ± 0.73* | 11.19 ± 1.18* |
| % | 100 | 41.9 ± 7.4* | 46.7 ± 9.5* |

Values are means ± SE. Statistical significant from the NT values:
* $p < 0.01$. NT, normothermia; HT-nc, hyperthermia without makeup;
HT-c, hyperthermia with makeup.

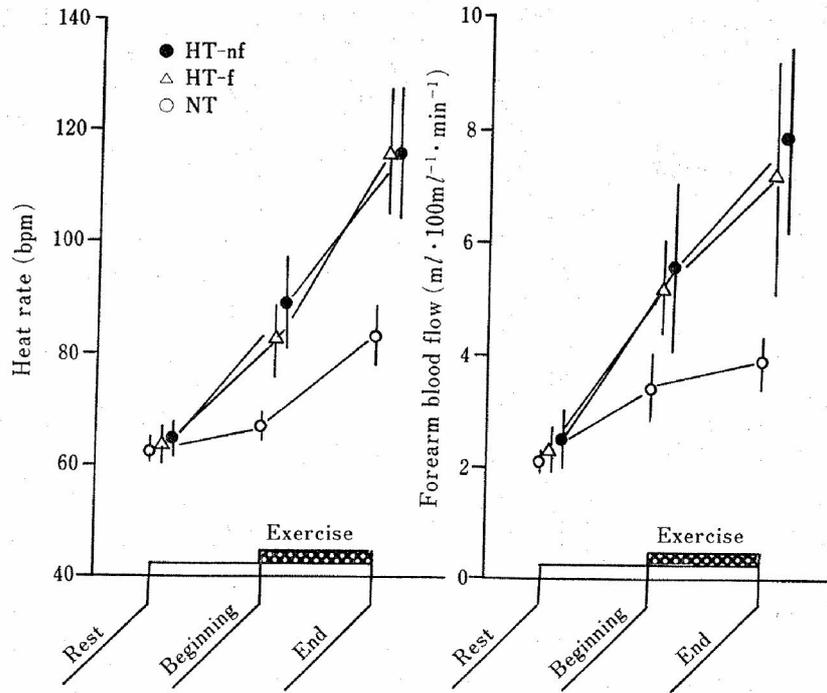


図6 Changes in heart rate and forearm blood flow under each condition.

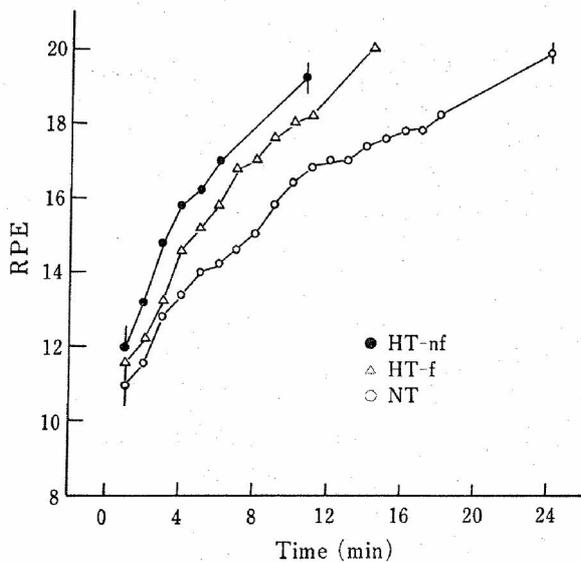


図7 Changes in rating of perceived exertion (RPE) under three conditions.

かったが、掌握運動開始により、 1°C 以上の有意な上昇を示した (表5)。しかし、化粧によりその上昇は有意に低く抑えられた ($p < 0.05$)。

平常体温で安静時には、鼓膜温は食道温より高い値を示し、その差は平均で約 0.1°C であった (表5)。加温中の体温上昇は食道温で早く始ま

り、鼓膜温を上回り高体温中ずっとその関係は逆転することはなかった。高体温中の運動終了時点では、ほぼ 0.1°C 鼓膜温より食道温が高い値を示した。表5に示したように、NTでは実験中不変であった。サウナによる加温を施したHT-ncとHT-cではおのおの有意に上昇し、NTに比べてもその差は有意なものであった。

図9は、NT、HT-nc および HT-c の3条件下での血圧、心拍数、前額皮膚血流量、全身および顔面の温度感覚、それに主観的運動強度の経時変化の代表例を示している。収縮期および弛緩期血圧は、ともに運動開始により漸次増加した ($p < 0.05$)。オールアウトにいたるまでに、収縮期血圧で $22 \sim 29\text{mmHg}$ 、弛緩期血圧で約 $7 \sim 10\text{mmHg}$ 上昇した (表4)。

心拍数はサウナによる加温で、平均 $28 \sim 29\text{bpm}$ 増加し、さらに掌握運動で平均 34bpm (HT-nc) と 29bpm (HT-c) 上昇した。これらの上昇はNT条件下の 10bpm 上昇に比べ有意 ($p < 0.05$) に高かった (表4)。

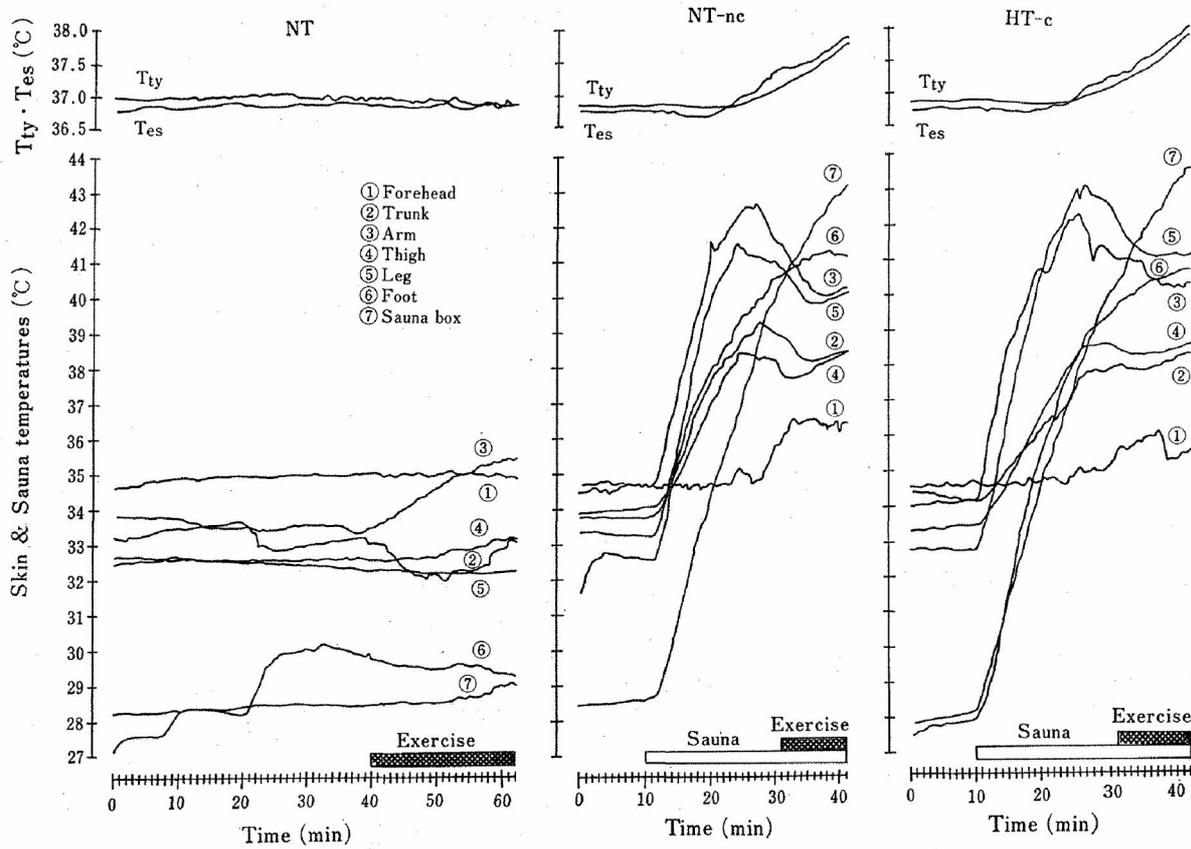


図8 Time course of typical experiments under three conditions. Showing from top, tympanic, esophageal, skin, and sauna temperatures. Subj. KH.

表4 Changes in cardiovascular responses at rest and during exercise under each condition.

| | NT | | | NT-nc | | | HT-c | | |
|-----------|---------------|---------------|----------------|---------------|----------------------------|-----------------------------|---------------|----------------------------|-----------------------------|
| | Rest | Exercise | | Rest | Exercise | | Rest | Exercise | |
| | | Beginning | End | | Beginning | End | | Beginning | End |
| SBP, mmHg | 127.2 ±2.6 | 127.0 ±3.2 | 150.6* ±2.2 | 122.2 ±2.2 | 127.0 ±2.4 | 156.2* ±6.3 | 127.2 ±2.6 | 132.3 ±1.6 | 154.8* ±6.4 |
| DBP, mmHg | 71.2 ±1.7 | 70.5 ±1.5 | 80.4 ±5.3 | 66.8 ±0.7 | 72.3 ±2.4 | 80.0* ±2.8 | 70.3 ±1.8 | 73.8 ±1.9 | 82.0* ±2.2 |
| HR, bpm | 66.8 ±3.0 | 75.7 ±3.6 | 85.8* ±7.2 | 65.3 ±4.2 | 94.3* ±6.2 [#] | 128.3* ±5.7 [#] | 67.3 ±2.9 | 95.2* ±4.3 [#] | 124.2* ±4.5 [#] |

Values are means ± SE. NT, normothermia; HT-nc, hyperthermia without makeup; HT-c, hyperthermia with makeup; SBP, systolic blood pressure; DBP, diastolic blood pressure; HR, heart rate; Statistical significant from the values at rest in each condition: *p<0.05, #p<0.05 for comparison of values for the corresponding NT condition.

前額皮膚血流量は、NT では運動時に若干の増加傾向が観察されたが、7名の平均では有意な変化ではなかった。一方、両高体温条件では著明に増加し、NT より有意に高い値を示した (p<

0.05)。化粧を施した場合 (HT-c)、運動前・中には化粧なしの場合 (HT-nc) に比べ有意に低い値を示した (p<0.05)。運動開始直前には7名の平均で HT-nc で $0.978 \pm 0.077V$ 、HT-c では

表5 Changes in thermal responses at rest and during exercise under each condition.

| | NT | | | HT-nc | | | HT-c | | |
|------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------------------------------|------------------------------|----------------|------------------------------|---|
| | Rest | Exercise | | Rest | Exercise | | Rest | Exercise | |
| | | Beginning | End | | Beginning | End | | Beginning | End |
| T _{ty} , °C | 36.95 ±0.10 | 36.88 ±0.10 | 36.89 ±0.13 | 36.87 ±0.09 | 37.19* ±0.09 [#] | 37.79* ±0.11 [#] | 36.87 ±0.11 | 37.17 ±0.11 | 37.84* ±0.12 [#] |
| T _{es} , °C | 36.87 ±0.10 | 36.81 ±0.12 | 36.82 ±0.12 | 36.73 ±0.08 | 37.28* ±0.09 [#] | 37.88* ±0.12 [#] | 36.74 ±0.11 | 37.22* ±0.11 [#] | 37.91* ±0.11 [#] |
| T̄ _{sk} , °C | 31.76 ±0.43 | 31.35 ±0.44 | 31.44 ±0.37 | 31.46 ±0.37 | 36.27* ±0.21 [#] | 36.77* ±0.23 [#] | 31.30 ±0.53 | 35.86* ±0.21 [#] | 36.63* ±0.14 [#] |
| T _{sk} , °C (forehead) | 35.04 ±0.25 | 35.01 ±0.26 | 35.01 ±0.25 | 34.81 ±0.25 | 35.76* ±0.32 | 36.42* ±0.14 [#] | 34.94 ±0.26 | 35.21 ±0.26 | 35.94* [@] ±0.18 [#] |

Values are means ± SE. NT, normothermia; HT-nc, hyperthermia without makeup; HT-c, hyperthermia with makeup; T_{ty}, tympanic temperature; T_{es}, esophageal temperature; T̄_{sk}, mean skin temperature; T_{sk} (forehead), forehead skin temperature. Statistical significant from the values at rest in each condition: *p<0.05, #p<0.05 for comparison of values for the corresponding NT condition. @p<0.05 for comparison of value for the corresponding HT-nc condition.

0.678±0.059Vを示した。また、運動5分値は、それぞれ 1.010±0.053V (HT-nc) と 0.783±0.034V (HT-c) であった。

表6には運動終了時の前額部発汗量を示した。高温条件ではNTに比べ有意に高かったが、化粧による変化は観察されなかった。

温度感覚は、サウナ加温のない時にはいずれの場合も8の“中立”付近にあった。NTでは運動開始後、全身および顔面ともに温度感覚は漸次上昇し、オールアウト時点で平均値で12.3±1.4であった。サウナによる加温条件下では、全身の温度感覚は化粧の有無による差は観察されなかったが、顔面の温度感覚は化粧を行った方がより高値を申告する傾向を示した。

主観的運動強度はいずれの条件下でも漸増したが、その上昇は高温の2条件でNTより有意に早かった(p<0.05)。しかし、化粧による効果は観察されなかった。

4. 考 察

マラソンレース中、選手の直腸温は42°Cにも上昇することが報告されている¹⁸⁾。レース中に脳温もこのような高い温度になっているならば、Caputa (1981)⁹⁾によって示された人の脳が耐え得る高温限界の40.5°Cを大きく越えることになる。しかし、羊や犬・うさぎなどの動物¹⁾と同様に、人でも高温になる時には、脳温を低く保つための“選択的脳冷却機構”の存在が示されている⁹⁾。

そのメカニズムとして、頸動・静脈間の対向流熱交換が考えられてきた^{12,19)}。さらに最近、図10に示すように高温時に増加した頭皮や顔面の皮膚血流が、皮膚表面からの熱放散により冷却され、頭蓋内にはいり海綿静脈洞に達する(Cabanac and Brinnet)⁶⁾。脳内に流入する頸動脈、脳底の動脈血はこの海綿静脈洞での熱交換により冷やされ、脳温が低く維持されるように働いており、マラソンレースにも耐え得るのであろう。し

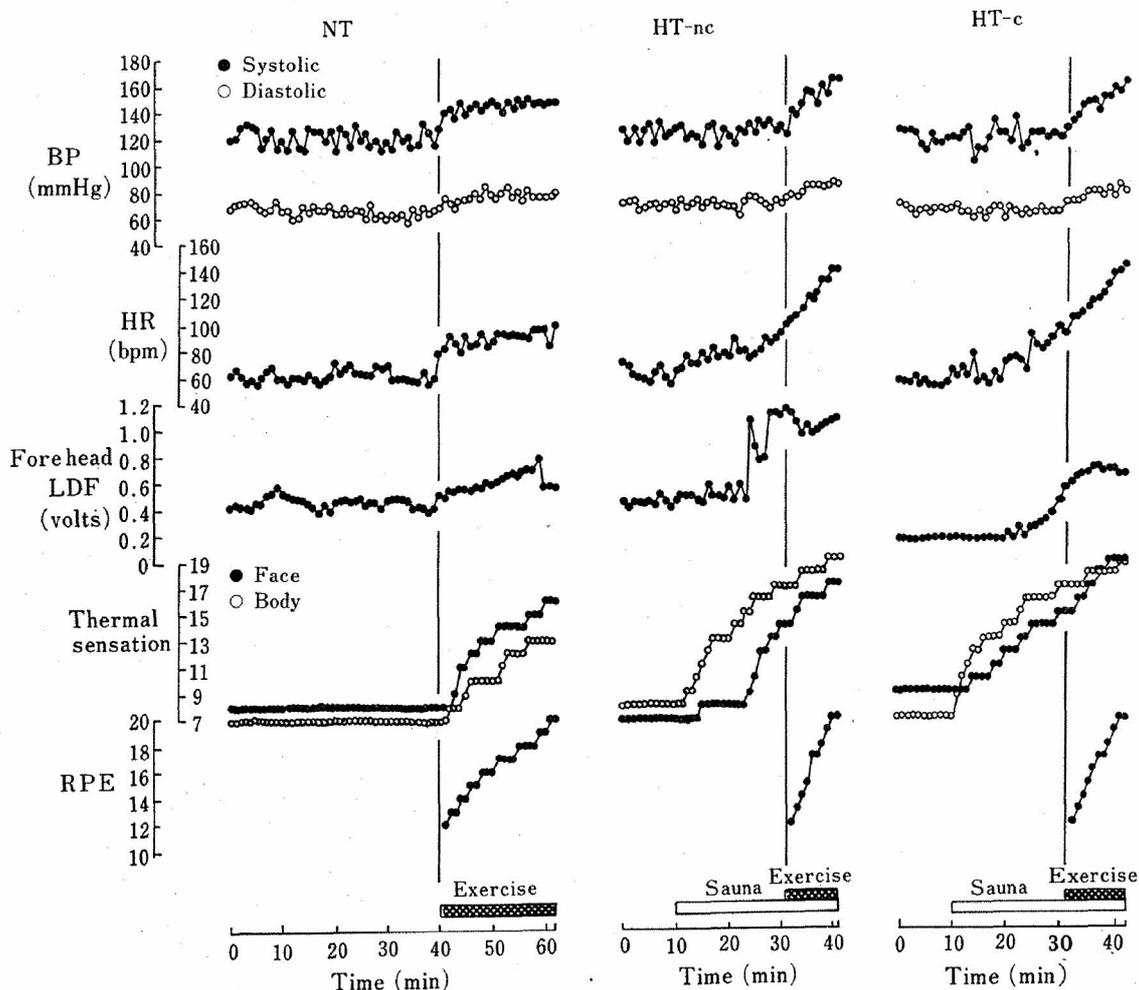


図9 Time course of typical experiments under three conditions. Showing from top, blood pressure, heart rate, forehead skin blood flow, thermal sensation, and rating of perceived exertion. Subj. KH.

表6 Changes in local sweating rate (LSR) at the end of exercise under each condition.

| | NT | HT-nc | HT-c |
|---|-----------|------------|------------|
| LSR (mg·min ⁻¹ ·cm ⁻²) | 0.05±0.02 | 0.34±0.07* | 0.33±0.06* |

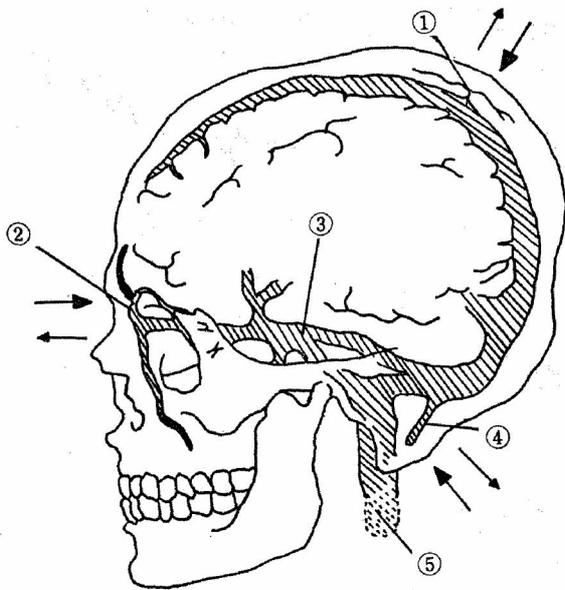
Values are means ± SE. Statistical significant from the NT value. NT, normothermia; HT-nc, hyperthermia without makeup; HT-c, hyperthermia with makeup.

かし、これには反対意見もあり論争が続いている^{20,24)}。

実際のマラソンレース中は、無風状態であっても走行速度に応じて強制対流による顔面送風を受けることになる。たとえば、42.195kmを2時間10分で走るとすると、秒速5.4mの風を顔面に受

けるのである。本研究で用いた秒速5.5mの顔面送風とほぼ同程度である。

本研究でも図2に示したように、血液温変化の指標となる食道温が同一であったにもかかわらず、脳温の指標となる鼓膜温は顔面送風を行った場合、低く維持された。さらに、頭部のみを25



- ① Parietal emissary v.
- ② Angularis oculi v.
- ③ Cavernous sinus
- ④ Mastoid emissary v.
- ⑤ Internal jugular v.

図10 Loci of human head where venous blood was recorded to flow abundantly from skin inward through calvaria during hyperthermia and possibly in the opposite direction during hypothermia. From Cabanac (1986)⁵⁾.

°C の環境に露出した状態でサウナ加温を行った場合も、鼓膜温は食道温より低く保たれ、“選択的脳冷却機構”は人でも存在することが確認された。この結果は Marcus (1973)¹⁷⁾, Hirata et al. (1978)¹²⁾ および Cabanac and Caputa (1979)⁷⁾ と一致するものである。

この顔面送風による脳温冷却では、心拍数や前腕血流量の変化に有意な差は観察されなかった(図6)。しかし、顔面皮膚温が低下し(図5)、顔面の温度感覚は低い値を申告した(図4)。これらの変化は、低い脳温との総合作用で生理的・心理的負担を軽減したものと思われる。

その結果、高体温のために ATP 利用、クレアチンリン酸分解、および解糖作用が促進している作業筋で⁹⁾ 代謝変化が生じたため RPE 上昇が抑えられ(図7)、作業時間が延長したものと考えられる。この変化には、Bell et al. (1983)²⁾ や

Hales et al. (1984)¹⁰⁾ によって示された作業筋への血流量の低下が関与する可能性もあるが、Hirata et al. (1987)¹¹⁾ による、運動中の体温上昇そのものを Intravascular heat exchanger で無くした場合でも、作業筋血流量の変化が観察されなかったとの報告もあり、今後さらに検討が必要であろう。

化粧により顔面皮膚を覆うことは、外気に直接触れなくなるため顔面からの熱放散が阻害されることが考えられる。25°C の環境温条件下では、化粧による安静時の顔面皮膚温に差は認められず(表5)、顔面の温度感覚も若干高い傾向はあったが、統計的有意差は認められなかった(図9)。高体温時には化粧の効果が明確に現れた。

前額部で測定した皮膚血流量の増加が、化粧により有意に抑制され、前額皮膚温も平均で0.48°C 低い値を示した。これは、収れん薬による血管収縮作用が関与するのかも知れない¹⁶⁾。発汗量には差が無かったことから、顔面の冷却作用は化粧により抑制されたことになるにもかかわらず、鼓膜温、作業時間には有意な変化が現れなかったのは、頭部露出型サウナを使用し、比較的涼しい環境に頭部を露出したことと、毛髪部からの熱放散は自由であったため代償されたものと思われる。

換言すれば、化粧して顔面が暑く感じ、顔面の皮膚血流量が抑制されるような状況下でも、頭部を涼しい条件にしておくことにより、選択的脳冷却機構が作動し、脳温の異常上昇、パフォーマンスの減少は補償されるのである。しかし、頭部にヘルメットを着用するなど、この補償作用が働かない場合には大変危険な状態となることが示唆される。細かく言えば、帽子、ヘッドバンド、メガネなど、頭部に着用する物品についても今後さらに検討を要するであろう。

5. 結 論

高体温時には、脳温をできるだけ低く保つため

の“選択的脳冷却機構”が人でも作動することが確認された。これには、顔面および頭皮の皮膚血流量、発汗量が重要な役割を果たすのである。脳冷却効果によりパフォーマンスも有意に向上した。

本研究で行った化粧では、顔面皮膚血流量増加が抑制されることが判明した。その結果、顔面の温度感覚は高くなったが、本実験条件下では、脳温の指標となる鼓膜温やパフォーマンスには影響しなかった。しかし、顔面および頭部の暑熱条件が厳しい場合、または非常な厚化粧により熱放散が阻害されるような場合には、“選択的脳冷却機構”が作動されず、脳温の過剰な上昇を引き起こす可能性もある。

暑熱下での運動時には、化粧を含め、顔面、頭部に着用する物品は、選択的脳冷却効果を妨げないかどうか考慮する必要がある。

謝辞 御援助いただきましたデサントスポーツ科学振興財団、本実験の被験者諸氏に深謝致します。本実験に御協力いただいた金沢大学医学部2年、岳尾基一、竹沢英夫両君に謝意を表します。

文 献

- 1) Baker, M.A.; A brain-cooling system in mammals. *Sci. Am.*, **240** : 130—139 (1979)
- 2) Bell, A.W., Hales, J.R.S., King, R.B., Fawcett, A.A.; Influence of heat stress on exercise-induced changes in regional blood flow in sheep. *J. Appl. Physiol.*, **55** : 1916—1923 (1983)
- 3) Beshir, M.Y. and Ramsey, J.D.; Perception and performance in the heat. Proc. Human Factors Soc. 24th. Ann. Meeting, pp. 367—371 (1980)
- 4) Borg, G.; Perceived exertion as an indicator of somatic stress. *Scand. J. Rehabil. Med.*, **2** : 92—98 (1970)
- 5) Cabanac, M.; Keeping a cool head. *NIPS*, **1** : 41—44 (1986)
- 6) Cabanac, M. and Brinnet, H.; Blood flow in

the emissary veins of the human head during hyperthermia. *Eur. J. Appl. Physiol.*, **54** : 172—176 (1985)

- 7) Cabanac, M. and Caputa, M.; Natural selective cooling of the human brain: evidence of its occurrence and magnitude. *J. Physiol.*, (London) **286** : 255—264 (1979)
- 8) Caputa, M.; Selective brain cooling, an important component of thermal physiology. In: Contribution of Thermal Physiology: Proceedings of a Satellite Symposium of the 28th International Congress of Physiological Sciences, Budapest, 1980, edited by S. Szelenyi and M. Szekely. New York: Pergamon Press, pp. 183—193 (1981)
- 9) Edwards, R.H.T., Harris, R.C., Hultman, E., Kaijser, L., Koh, D. and Nordesjö, L.O.; Effect of temperature on muscle energy metabolism and endurance during successive isometric contractions, sustained to fatigue, of the quadriceps muscle in man. *J. Physiol.*, (London), **220** : 335—352 (1972)
- 10) Hales, J.R.S., Bell, A.A., Fawcett, A.A., King, R.B.; Redistribution of cardiac output and skin AVA activity in sheep during exercise and heat stress. *J. Therm. Biol.*, **9** : 113—116 (1984)
- 11) Hirata, K., Hales, J.R.S. and Fawcett, A.A.; Thermoregulatory requirements do not significantly limit performance of moderate exercise in sheep. In: Transactions of the Menzies Foundation, eds. J.R.S. Hales and D.A.B. Richards. Menzies Foundation, Melbourne, **14** : 113—117 (1987)
- 12) Hirata, K., Nagasaka, T. and Sugano, Y.; Effect of alternating respiratory pathway on respiratory capacity, and tympanic and forehead skin temperatures during exercise. *Jpn. J. Aerospace Environ. Med.*, **15** : 8—13 (1978)
- 13) Hirata, K., Nagasaka, T., Hirai, A., Hirashita, M., Takahata, T. and Nunomura, T.; Effects of human menstrual cycle on thermoregulatory vasodilation during exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.*, **54** : 559—565 (1986)
- 14) Holloway, G.A. Jr. and Watkins, D.W.; Laser Doppler measurement of cutaneous blood flow.

- J. Invest. Dermatol.*, **69** : 306—309 (1977)
- 15) Honda, N.; Temperature compensation for mercury strain gauge used in plethysmography. *J. Appl. Physiol.*, **17** : 572—574 (1962)
- 16) 北川晴雄, 越浦良三, 山田 澄編; 最新薬理学, 第2改稿版, pp. 375, 廣川書店 (1982)
- 17) Marcus, P.; Some effects of cooling and heating areas of the head and neck on body temperature measurement at the ear. *Aerospace Med.*, **44** : 397—402 (1973)
- 18) Maron, M.B., Wagner, J.A. and Horvath, S.M.; Thermoregulatory responses during competitive marathon running. *J. Appl. Physiol.*, **42** : 900—914 (1977)
- 19) McCaffrey, T.V., Geis, G.S., Chung, J.M. and Wurster, R.D.; Effect of isolated head heating and cooling on sweating in man. *Aviat. Space Environ. Med.*, **46** : 1353—1357 (1975)
- 20) Nadel, E.R.; Comments on “keeping a cool head”. *NIPS*, **2** : 33 (1987)
- 21) Nilsson, G.E., Tenland, T. and Öberg, P.A.; Evaluation of a laser Doppler flowmetry for measurement of tissue blood flow. *IEEE. Trans. Biomed. Eng.*, **BME-27** : 597—604 (1980)
- 22) Öberg, P.A., Nilsson, G.E., Tenland, T., Holström, A. and Lewis, D.H.; Use of a new laser Doppler flowmeter for measurement of capillary blood flow in skeletal muscle after bullet wounding. *Acta Chir. Scand.*, (Suppl.), **489** : 145—150 (1979)
- 23) Onodera, K. and Miyashita, M.; A study on Japanese scale for rating of perceived exertion in endurance exercise. *Jap. J. Phys. Educ.*, **21** : 191—203 (1976)
- 24) Wenger, C.B.; More comments on “keeping a cool head”. *NIPS*, **2** : 150 (1987)
- 25) Whitney, R.J.; The measurement of volume changes in human limbs. *J. Physiol.*, (London), **121** : 1—27 (1953)