

高温環境下における飲水と局所冷却による効果

日 本 大 学	川 島 祥 三
(共同研究者) 同	横 井 郁 子
同	横 井 元 治
航空医学実験隊	小 川 亘
同	尾 崎 博 和

Effects of Head Cooling and Water Ingestion on Thermoregulation in a Hot Environment

by

Shouzou Kawashima,
Yuuko Yokoi, Motoharu Yokoi
College of Science & Technology, Nihon University
Wataru Ogawa, Hirokazu Ozaki
Aeromedical Laboratory, Japan Defense Agency

ABSTRACT

In the present study, we examined subjective evaluation and physiological responses to heat stress for the purpose of finding out an effective thermoregulatory method to prevent heat stroke and deterioration of work performance during sports activity in a hot environment. Subjects were five healthy male students. They were exposed to a hot environment at the ambient temperature of 37 °C and relative humidity of 60 % for 60 minutes. In that environment they rested in sitting position for 10 minutes and performed bicycle exercise for 20 minutes twice separated by a 10 minutes rest interval. In the cold water intake test, they took 250 ml of

cooled sports drink (7°C) 30 minutes after the beginning of the exposure. In the head cooling test, the forehead and vertex were continuously cooled by the cold water of 10°C . In the combination test of water intake and head cooling, subject's forehead was cooled and the 250 ml of sports drink was consumed. During the hot environment exposure, the body temperature and heart rate were increased, suggesting that thermoregulatory mechanism was well functioning. In the no water intake test, the increase in tympanic temperature was the largest, and the perspiration rate was almost twice as much as observed in other conditions. In the water intake test, the increase in rectal temperature could not be suppressed but the increase of mean skin temperature was suppressed. In the head-cooling test, the difference of cooling site did not show any difference in thermoregulatory function. The combination test of water intake and head cooling suppressed the increase in tympanic temperature.

要 旨

本研究では、高温下のスポーツ活動中に伴う熱中症などの予防および運動パフォーマンスの能力低下を防止するための有効な体温調節法を検討するために、主観的評価および体温などの生理反応の違いを実験検討した。

5名の健常な男子学生を被験者として、環境温 37°C 、60 % R.H.に設定した人工気候室で10分間の座位安静に続いて20分間の自転車エルゴメータ運動を高温暴露60分間で2回行った。飲水群では 7°C のスポーツ飲料を高温暴露の30分後に250ml摂取した。頭部冷却群では前頭部と頭頂部をそれぞれ冷却し、併用群では前頭部冷却を行いながら、スポーツ飲料を摂取した。

高温暴露中、体温、心拍数などが上昇し、体温調節機能が活発に働いた。とくに、無飲水群では鼓膜温の上昇が他の実験群より大きく、発汗量も他の実験群の2倍であった。また飲水群は直腸温の上昇を抑制できないが、平均皮膚温の上昇抑制の効果が認められた。頭部冷却群では冷却部位の違いによる体温調節反応の違いは認められなかった。頭部冷却と飲水を併用することで鼓膜温の上昇を抑制できることを確認した。

まえがき

高温環境下における熱中症などの暑熱障害を予防するための実験研究が従来から多く行われてきた¹⁻⁶⁾。また暑熱下のスポーツ活動時における体温調節および液性調節には、糖電解質溶液などの液体摂取の重要性が実験研究により検証され⁷⁻¹¹⁾、液体摂取量のガイドラインが示された^{5, 6, 12-15)}。

一方、ヒトの体温調節において重要な脳温コントロールの機序について、哺乳動物のパンチングによる選択的脳冷却との違いが見出され、高体温時にヒトにおいて選択的脳冷却が惹起される可能性が高いことが示された^{16, 17)}。ヒトの選択的脳冷却の限界を超える高体温時では、補助的な体幹部の局所冷却の有効性が論じられた。そのうち、冷却効率が良いと言われている頭部冷却の実験研究が盛んに行われてきた¹⁸⁻²⁰⁾。とくに前頭部冷却は他部位の頭部冷却に比べて体温の上昇抑制効果において優位であることが示唆された²⁰⁾。

昨年、著者らは高温下での座位時の液体摂取と前頭部冷却の体温調節反応、液性調節反応および熱的快適性に関する主観的評価の実験検討を行った²¹⁾。その結果、冷水の液体摂取は体温上昇をわずかに軽減し、前頭部冷却は液体摂取よりもさ

らに脳温の上昇抑制に有効に働くことが分かった。その上、前頭部冷却は液体摂取よりも熱的快適性を向上させることも明らかになった。

しかしながら、高温下の運動時の体温調節反応、液性調節反応および熱的快適性に関する主観的評価が無飲水、液体摂取および頭部冷却によってどのような違いがあるのかを検討した研究は少ない。

そこで本研究では、高温下の運動時の無飲水群、液体摂取群および頭部冷却群における皮膚温や深部体温、心拍数などの生理反応に加えて主観的評価の各変化について3実験群間の比較検討を行った。

1. 実験方法

実験は夏の季節に順化していると思われる8月上旬から9月上旬の間の日中に実施した。各被験者には実験協力に際し、事前に実験内容や実験中、実験後に伴う危険、その回避等について説明し、同意を得た。また被験者には実験前1週間の薬物服用、炎天下での運動を避けさせ、実験当日の喫煙、飲酒、カフェイン含有飲料の摂取を禁止し、実験前3時間は絶飲食とした。実験は概日リズムの影響を考慮し、同一被験者の各実験を異なった日の同一時刻に実施した。また暑熱順化の影響を考慮して1週間の間隔を空けて行った。

1. 1 被験者

年齢22～24歳の5名の健常者（表1）は被験者として本実験に参加した。なお、表中の体表面積（ $=0.008833 \times W^{0.444} \times H^{0.663}$ ：W=体重，H=身長）は藤本薫喜ら（1968）の式²²⁾により算出した。

表1 被験者プロフィール (mean ± S.D.)

平均年齢	22.6 ± 0.9 歳
平均身長	172.4 ± 5.8 cm
平均体重	63.0 ± 7.2 kg
平均体表面積	1.70 ± 0.11 m ²
平均体脂肪率	16.5 ± 3.9 %

1. 2 実験プロトコール

1. 2. 1 実験条件

各被験者は表2に示す5項目の実験を体験した。

各被験者は全実験において高温暴露を受ける30分前に表3に示す天然水250 mlを摂取した。また実験名「スポ水7℃」の実験では、各被験者

表2 実験条件

実験名	温度・湿度	飲水の有無	実験群
C37℃		無	コントロール群
スポ水7℃		有(スポーツ飲料)	飲水群
前頭部冷却	37℃・60%	無	前頭部冷却群
頭頂部冷却		無	頭頂部冷却群
スポ水頭冷		有(スポーツ飲料)	併用群

表3 スポーツ飲料と天然水の栄養成分等

栄養成分	天然水	スポーツ飲料
エネルギー (kcal)	0	27
タンパク質(g)	0	0
脂質(g)	0	0
糖質(g)	0	6.7
ナトリウム(mg)	0.49	49
カルシウム(mg)	0.97	2
カリウム(mg)	0.28	20
マグネシウム(mg)	0.14	0.6
硬度(mg/l)	約30	約74

100 ml 当たり

は高温暴露開始から30分後に、水温7℃に冷却された栄養成分のスポーツ飲料（表3）250 mlを摂取した。今回の頭部冷却の実験で採用した冷却部位は、Cabanac M.ら^{16, 17, 23)}の選択的脳冷却で重要な3部位のうち、両眼周囲を含む前額部（図1）、頭頂部とその周辺（図2）の2箇所である。実験名「スポ水頭冷」の併用群の実験では、各被験者は前頭部冷却を行いながら、飲水群と同様にスポーツ飲料250mlを高温暴露30分後に摂取した。

1. 2. 2 頭部冷却装置

前頭部冷却群、頭頂部冷却群および併用群の実験で用いた頭部冷却装置は、低温恒温装置、循環ポンプ、水流量計、チューブ、2個の分岐用マニホールドおよび前頭部冷却ユニットまたは頭頂部冷却ユニットから構成されており、このとき循環

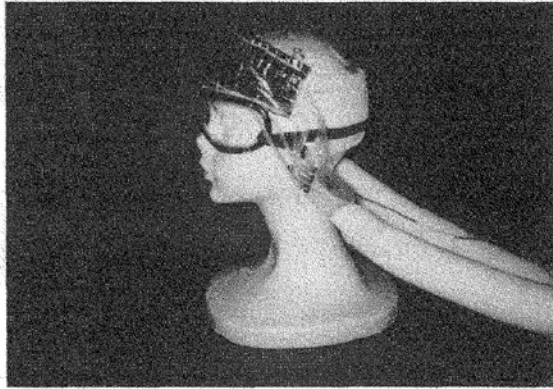


図1 前頭部冷却ユニット

水の流量が1.8 l/minになるように水流量計の指示値を見ながら循環ポンプにより調節した。

1. 2. 3 実験手順

高温暴露実験に先立って、各被験者の高温暴露時の運動負荷強度を最大酸素摂取量の50%に設定するため、最大酸素摂取時の運動負荷量を求めた。

1. 2. 3. 1 運動強度の設定

被験者はTシャツと短パンに着衣後、25℃、50%R.H.の人工気候室内で自転車エルゴメータ(Lode社製, Corival400型)を用いて最大酸素摂取量の測定を行った。測定法は3分間のウォームアップに続いて、毎分20wattsの漸増負荷試験法による60rpmのペダリング運動とした。最大酸素摂取量は運動中、exhaustion到達のlevel off時の酸素摂取量とした。酸素摂取量は代謝量測定装置(SensorMedics社製, MMC Horizon System4400tc)を用い、breath-by-breath法により15秒毎に行った。

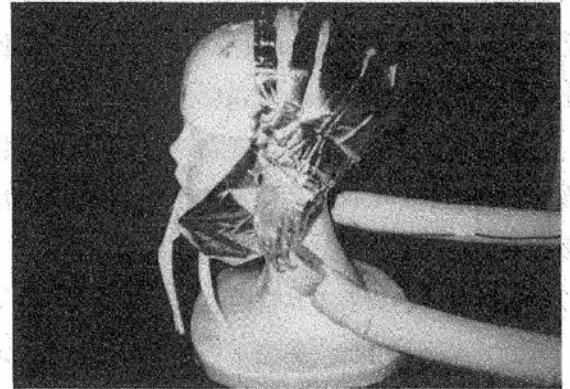


図2 頭頂部冷却ユニット

その結果、5名の被験者の最大酸素摂取時における平均負荷強度は、 200.6 ± 17.0 watts (mean $\pm$ S.D.)であった。

1. 2. 3. 2 高温暴露実験

実験プロトコルを図3に示した。各被験者は綿100%のTシャツ、短パン、ソックスおよび運動靴に着衣後、実験準備室に30分間座位安静を保った。次に被験者は気温37℃、相対湿度60%の人工気候室に移って60分間の高温暴露を受けた。被験者は人工気候室に入室後、10分間の安静に続いて、20分間の自転車エルゴメータによる下肢運動を行うものを1セットとし、合計で2セットを行った。

頭部冷却実験では被験者は、60分の高温暴露を受けている間、図1および図2に示す冷却ユニットを装着した。

体温測定は温度データコレクタ(安立計器社製 AM-7001)を用いて前胸部、前腕前部、大腿前部

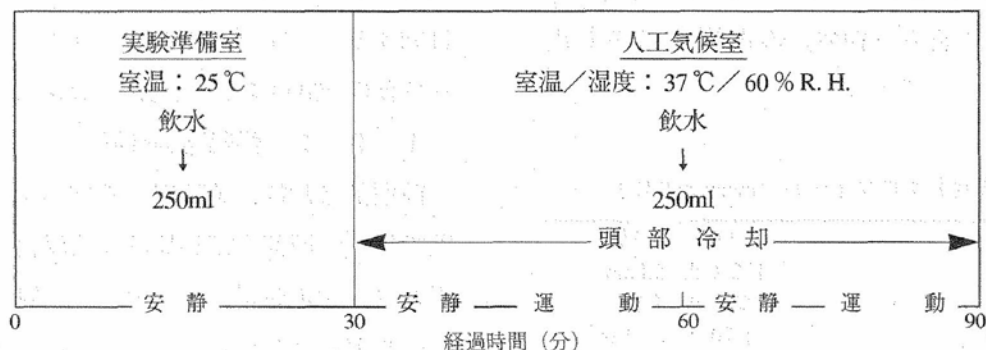


図3 実験プロトコル

および下腿前部の4部位の皮膚温と直腸温を1分毎に行い、平均皮膚温 ($=0.34t_1 + 0.33t_2 + 0.18t_3 + 0.15t_4$: t_1 = 前胸部, t_2 = 大腿前部, t_3 = 下腿前部, t_4 = 前腕前部) は、Newburgh and Spealman の式²⁴⁾ から算出した。鼓膜温は非接触型の瞬時温度計 (ブラウン社製 PRO-1) を用い、10分毎に測定した。また心拍数は心電計 (日本電気三栄 (株) PROPAQ104EL-1) を用いて1分毎に測定を行い、発汗量は高温暴露の直前と直後の体重を体重計 (ザルトリウス (株) FD150IGG-S, 150kg) により測定してその差とした。

主観的評価については、ASHRAE Standard 55²⁵⁾ に基づいて作成した温度感覚および温熱快感、さらに試行的に作成した口渴感を10分毎に行った。

1. 2. 4 人工気候室の環境測定

人工気候室内の WBGT 指数は、暑熱指標計 (京都電子工業 (株) WBGT-01) を用いて1分毎に測定した。その結果、全実験を通じて WBGT 指数は 33.9 ~ 34.1 °C に制御された。

2. 実験結果

2. 1 主観的評価の調査結果

被験者が5実験条件下で60分間の高温暴露を受けたときの温度感覚、温熱快感および口渴感の経時変化を5名の平均値で、それぞれ図4、図5および図6に示す。

2. 1. 1 温度感覚

温度感覚 (図4) は全実験群で暴露30分まで悪化し、その後の休憩、飲水および頭部冷却によりわずかに改善され、後半の運動により再び悪くなった。コントロール群と頭部冷却群の温度感覚

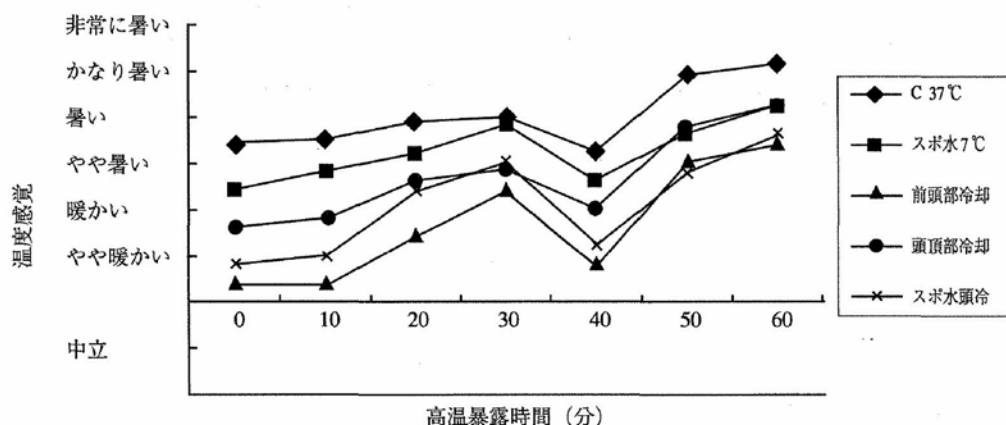


図4 温度感覚の変化

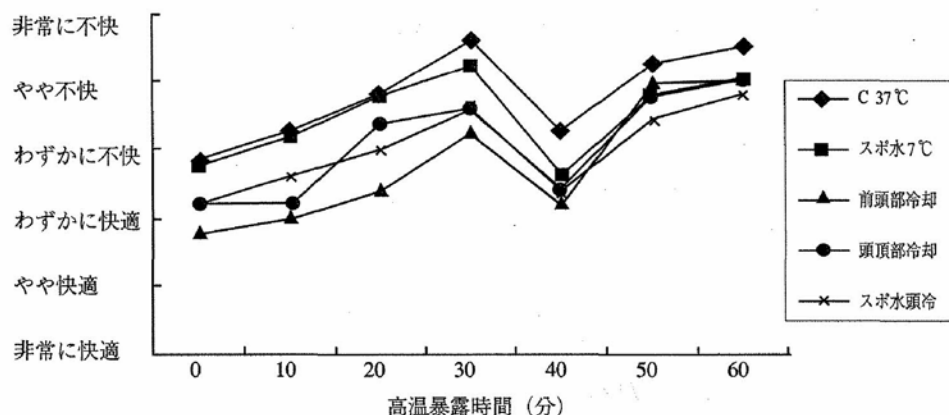


図5 温熱快適の変化

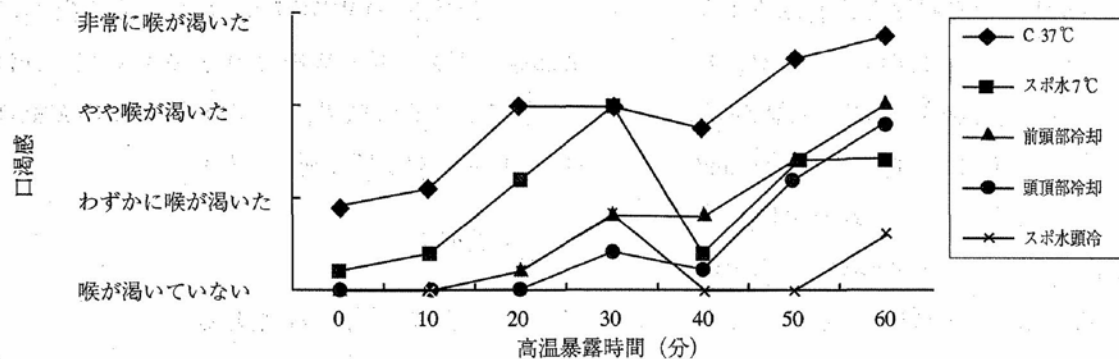


図6 口渇感の変化

は50分（後半の運動開始から10分）経過後に、前半の運動終了時の温度感覚を越えて暑さ感が増した。一方、飲水群と併用群の場合は、高温暴露終了時に前半の運動終了時の温度感覚よりも暑さ感が増した。開始時で大きかった実験群間の温度感覚の差は、経時的に縮まった。50分経過後では、コントロール群の温度感覚は「かなり暑い」の状態に達し、飲水群と頭頂部冷却群の温度感覚は「暑い」の状態に達した。一方、前頭部冷却群と併用群では、温熱感覚は高温暴露終了時に「暑い」と「やや暑い」の間にあり、温度感覚に差異が認められた。

2. 1. 2 温熱快感

開始時に全実験群で「わずかに不快」の状態を下回っていた温熱快感（図5）は、高温暴露30分でこのレベルを越え、その後の休憩、飲水および頭部冷却によりわずかに快適性が改善された。しかし後半の運動により温熱快感は全実験群で「やや不快」の域を超え、快適性は再び悪化した。飲水群および併用群では、高温暴露終了時の温熱快感を前半の運動終了時の温熱快感の状態以下に維持できた。高温暴露終了時では、各実験群間で温熱快感の違いは認められたが、少なかった。

2. 1. 3 口渇感

コントロール群の口渇感（図6）は、高温暴露終了時で「非常に喉が渇いた」という訴えがあり、飲水群および頭部冷却群では、「やや喉が渇いた」という状態に近づいた。一方、高温暴露終了時の

併用群の口渇感は、「わずかに喉が渇いた」という状態を下回った。40分後の口渇感で見られるように、飲水は10分間の休息や頭部冷却以上に口渇感が改善された。

2. 2 生理反応等の測定結果

被験者が5実験条件下で60分間の高温暴露を受けたときの平均皮膚温、体温、心拍数、発汗量のそれぞれの変化を被験者5名の平均値で図7～図11に示す。

2. 2. 1 平均皮膚温

60分の高温暴露で平均皮膚温（図7）は、コントロール群で2.4℃、飲水群で1.4℃、前頭部冷却群で2.2℃、頭頂部冷却群で3.2℃および併用群で2.6℃まで上昇した。また前半の運動終了時から高温暴露終了時までの温度上昇は、コントロール群で0.4℃、飲水群で0.1℃、前頭部冷却群で0.2℃、頭頂部冷却群で0.6℃まで上昇した。一方、併用群での温度上昇は認められず、高温暴露終了時の平均皮膚温は前半の運動終了時の36.5℃であった。

2. 2. 2 深部体温（直腸温と鼓膜温）

(1) 直腸温

全実験群の直腸温（図8）の変化は、飲水や頭部冷却の有無に関係なく徐々に大きくなった。また飲水や後半の休息により、高温暴露40分後の全実験群の直腸温は、わずかに上昇するか、変化しなかった。

(2) 鼓膜温

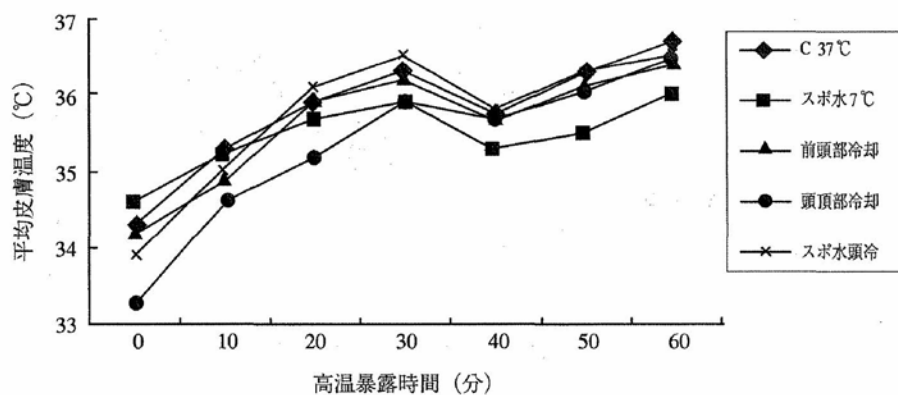


図7 平均皮膚温の変化

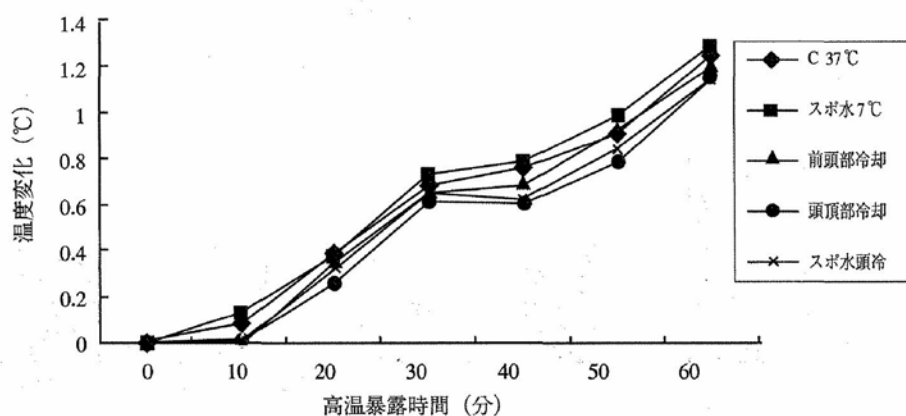


図8 直腸温の変化

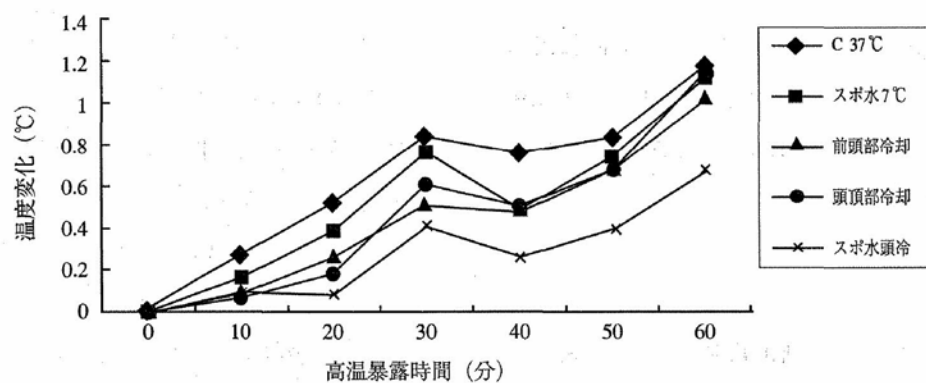


図9 鼓膜温の変化

鼓膜温の経時変化を図9に示す。

コントロール群において、実験終了時に1.2℃の上昇を示し、全実験では最高値であった。また飲水群および頭部冷却群では、実験終了時で1.0～1.1℃の範囲であり、コントロール群に比べて差異はなかった。一方、併用群の鼓膜温の上昇は他の実験群に比べて少なく、実験終了時で0.7℃の上昇を示した。

2. 2. 3 心拍数

心拍数(図10)はコントロール群を除く他の実験群において経時的に著しい差異はなく、前半の運動開始から増加し、高温暴露終了時に158±2拍/分の範囲にあった。コントロール群の心拍数は高温暴露終了時に最高値を示し、170.5±5.9拍/分(mean±S.E.)であった。

2. 2. 4 発汗量

コントロール群の発汗量(図11)は600.6±65.4g/m²/h(mean±S.E.)と多く、次に飲水群で

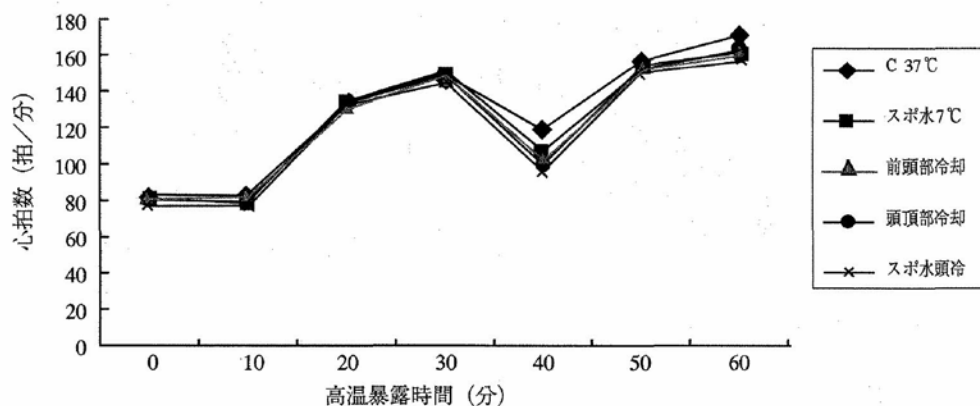


図10 心拍数の変化

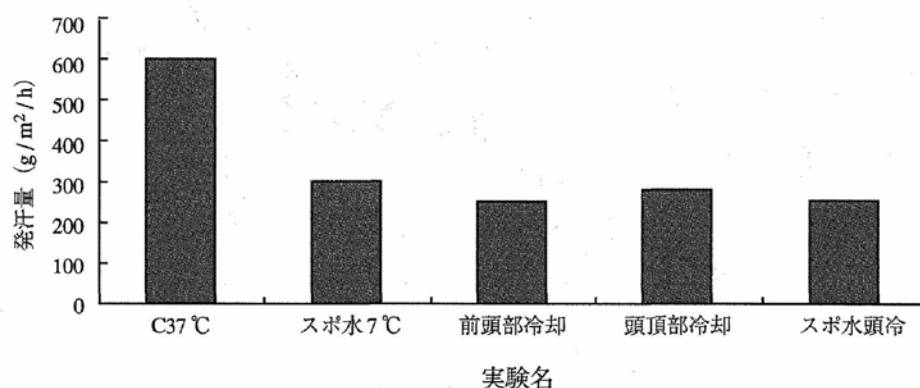


図11 発汗量の比較

は $301.0 \pm 24.4 \text{ g/m}^2/\text{h}$ (mean $\pm$ S.E.), 頭頂部冷却群では $279.6 \pm 19.1 \text{ g/m}^2/\text{h}$ (mean $\pm$ S.E.), 前頭部冷却群と併用群では約 $250 \text{ g/m}^2/\text{h}$ であり, 実験群間の差異が認められた。

3. 考 察

本実験の温度感覚の主観的評価では, 従来から用いられてきた「暑い」のカテゴリースケールを「やや暑い」, 「暑い」, 「かなり暑い」そして「非常に暑い」の4段階に分けたものを試行した。これにより同じ「暑い」という心理的状态でもその違いをより細かく, また暑さ感の程度を知ることができた。

本実験によって高温環境下での運動時における無飲水時, 飲水時および頭部冷却時の主観的調査結果および体温調節の生理反応の違いが見出された。以下に実験条件毎に実験結果の特徴とそれらの違いについて述べる。

3. 1 無飲水群 (コントロール群) の反応等
ACGIH⁵⁾ および (社) 日本産業衛生学会²⁶⁾ は, 高温熱環境での作業強度 (RMR) 毎に許容温度条件として WBGT 指数を定めている。本実験では人工気候室内の WBGT 指数は $34.0 \pm 0.1^\circ\text{C}$ に制御された。この値は高温の許容基準である RMR1 以下 (極軽作業) のとき, WBGT 32.5°C (ただし, ACGIH では WBGT 指数 32.2°C を採用している。) をわずかに超えるものであった。日本の夏の炎天下でのスポーツ競技では, この WBGT 指数を超える場合が多いことが予想される。

高温暴露 60 分での被験者の主観的評価の平均は, 暑さ感はかなり暑く感じられ, 快適性はやや不快であったが, 非常に喉が渇くという感想であった。このような心理的状态では, 持続的な運動パフォーマンスの維持は望めないであろう。作業時の中性 (主観的に涼しくもなく暖かくもない) の温冷感 は平均皮膚温が 31°C で得られ, 安静時

の温度よりも低い²⁷⁾。暴露開始時では平均皮膚温の平均は34.3℃であり、主観的に暑さ感を強くは感じていなかった。しかし、60分間の高温暴露で平均皮膚温は36.7℃で、このときの直腸温は38.4℃(平均値)となり、最高値として38.7℃が記録された。また直腸温と鼓膜温の温度上昇は同じで、60分の高温暴露で約1.2℃の温度上昇が認められ、心拍数は最大酸素摂取時の92.6%に当たる170.5±5.9拍/分(mean±S.E.)まで増加した。発汗量は1時間の温熱暴露で1025.0±104.5g(mean±S.E.)の水分喪失量が認められた。この喪失量は体重の1.6%に当たり、脱水症状に陥っていないが、以上の実験結果から熱ストレスはきついものであったと推量できる。

3. 2 飲水群の反応等

飲水の効果については、高温暴露30分後に7℃のスポーツ飲料250 mlを飲むことで、主観的評価の結果から温度感覚を無飲水時の60分暴露時の「かなり暑い」を「暑い」の状態に改善できた。また同様に温熱快感については、「非常に不快」に近かった状態を「やや不快」に軽減できたことや、「非常に喉が渴いた」という訴えを「わずかに喉が渴いた」というレベルまで口渴感を向上することができた。

平均皮膚温については、60分の高温暴露で1.5±0.3℃(mean±S.E.)の上昇が認められ、無飲水群や他の実験群に比べて温度変化が少なかった。また60分後の平均皮膚温は他の実験群に比べて約0.5℃低いことも確認した。

体温調節反応では飲水時は無飲水時よりも直腸温や鼓膜温の上昇を抑制すると考える。Gisolfi & Copping (1974)²⁸⁾は、運動時の冷たい液体摂取は直腸温の上昇を抑える上で効果的であると述べている。本実験結果のように無飲水群の直腸温の変化と比べても差はなく、下降効果は認められなかった。下降効果を期待するためには、かなりの

量を短いインターバルで摂取する必要があると思われる。スポーツの競技種目によってはその対応が難しいものもあるであろう。

鼓膜温の変化は無飲水時の10分間(高温暴露時間30～40分)の休息で約0.1℃下降したのに対し、約0.3℃の下降があった。しかし飲水してから約20分が経過すると、飲水時の温度レベルに戻ってしまった。

次に発汗量は無飲水時の約半分の量(301.0±24.4g/m²/h(mean±S.E.))であり、頭部冷却群や併用群よりも多かった。

3. 3 頭部冷却群の反応等

頭部冷却時の高温暴露60分後の温熱感覚は、前頭部冷却群では「暑い」と「やや暑い」の間であったのに対し、頭頂部冷却群では飲水群と同じ「暑い」の状態に位置した。温熱快感では無飲水群を除けば、他の実験群間の差異は認められなかった。口渴感は頭部冷却群間では差異はなく、高温暴露60分後でやや喉が渴いた程度であった。平均皮膚温においては飲水群を除いた他の実験群間では差異は認められなかった。また直腸温および心拍数の各変化においては他の実験群間では差異は認められなかった。一方、著者らが先に確認した前頭部冷却時の座位安静状態の鼓膜温の上昇抑制効果²¹⁾は、本実験の飲水群の効果と同じであり、あまり期待できないことが分かった。

3. 4 併用群の反応等

併用群の主観的評価結果は、温度感覚と温熱快感については前頭部冷却群の訴えと変わらなかった。ただし、口渴感については「喉が渴いていない」という状態が維持できた。

平均皮膚温、直腸温および心拍数の各変化は頭部冷却時とは差異がなかった。しかしながら、鼓膜温の変化は、他の実験群と異なり、鼓膜温の上昇の抑制効果が見られた。

3. 5 まとめ

無飲水群は他の実験群よりも熱ストレスが厳しい実験条件であった。高温暴露途中の10分間の休息により主観的評価が向上することや、さらに飲水することで体温、心拍数等の生理反応に及ぼす影響以上に、実験結果から主観的な評価への効果が大きいことが窺える。またその効果も心理的なものほど長く持続できるものと考えられる。しかしながら、高温暴露10分間の休息や頭部冷却により、鼓膜温、平均皮膚温および心拍数のように一度は休息直前（高温暴露時間30分経過時）までの体温調節反応を維持できるものもあるが、直腸温については全実験群においてその温度上昇の抑制効果が弱いことが分かった。また座位安静時と運動時では同じ実験条件でも体温調節反応や主観的評価に違いが見られることも分かった。最後に併用群は鼓膜温の上昇を他の実験群よりも有効に抑制できるが直腸温の上昇を抑制することができないので、その予防対策を考える必要がある。

4. 結 論

高温環境下でのヒトの無飲水時、液体摂取時、頭部冷却時および飲水と頭部冷却の併用時における体温調節反応および主観的評価の違いを比較検討するため、人工気候室内で安静と自転車下肢運動を組み合わせた高温暴露実験を実施した。

併用群は飲水群や頭部冷却群よりも熱ストレスによる鼓膜温の上昇を抑制することを確認した。

前頭部冷却群と頭頂部冷却群の間の生理反応結果では差異は認められないが、主観的評価の結果ではわずかに前頭部冷却群は、頭頂部冷却群に比べて心理的に運動パフォーマンスの向上が期待できることが分かった。

今後は直腸温の上昇抑制効果が期待できるヒトにとってやさしい体温調節法や液性調節法を探索する必要がある。

謝 辞

稿を終えるに当たり、本研究に対して研究助成を賜りました財団法人・石本記念デサントスポーツ科学振興財団に深謝いたします。

また本研究を実施するに当たり、終始、ご指導を賜った日本大学大学院理工学研究科医療・福祉工学専攻の青木和夫教授に感謝の意を表します。

さらに海上自衛隊潜水医学実験隊の橋本昭夫氏には実験のご指導、ご協力および論文のご推敲までいろいろとお世話になりました。最後に日本大学大学院理工学研究科医療・福祉工学専攻の有田清子さんをはじめ、5名の被験者および航空自衛隊航空医学実験隊の飯島昭二氏等多くの方々のご指導、ご協力およびご助言によって実験を無事終了し、成果を得ることができました。ここに関係各位に深く謝意を表します。

文 献

- 1) 伊藤真次, 増井市郎, 服部知己, 奥田宣, 鈴木利三; 夏日無飲食長途歩行実験 (第1回報告), 101-107 (1941)
- 2) Adolph, E. F. and Associates; *Physiology of man in the desert*, Hafner Pub. Co., New York (1947)
- 3) 久野寧; 汗の話, 光生館, (1963)
- 4) Åstrand, P-O. and Rodahl, K.; *Textbook of Work Physiology*, McGraw-Hill Book Co., New York (1970)
- 5) American Conference of Governmental Industrial Hygienists; *Heat Stress, Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents*, 82-89 (1993)
- 6) 川原貴, 森本武利; スポーツ活動時の熱中症予防ガイドブック, 日本体育協会, 東京 (1994)
- 7) Pitts, G., Johnson, R. and Consolazio, F.; *Work in the heat as effected by intake of water, salt and glucose*, *Am. J. Physiol.*, 142, 253-259 (1944)
- 8) 森本武利, 三木健寿, 能勢博, 山田誠二, 平川和文, 松原周信; 発汗時の水分塩分摂取と体液組成の変化, *日生氣誌*, 18, 31-39 (1981)
- 9) 山田誠二, 松原周信, 能勢博, 三木健寿, 伊藤俊

- 之, 瀬尾芳輝, 平川和文, 森本武利; 発汗時補給水分の体温冷却効果, 日生氣誌, 19, 45-51 (1982)
- 10) Morimoto, T.; Thermoregulation and body fluids: Role of blood volume and central venous pressure, *Jpn. J. Physiol.*, 40, 165-179 (1990)
- 11) 寄本明, 中井誠一, 芳田哲也, 森本武利; 屋外における暑熱下運動行動と体温変動の関係, 体力科学, 44, 357-364 (1995)
- 12) Maughan, R. J. and Noakes, T. D.; Fluid re-placement and exercise stress, *Sports Med.*, 12, 16-31 (1991)
- 13) Colye, E. F. and Montain, S. J.; Benefits of replacement with carbohydrate during exercise, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 24, Supplement, 324-330 (1992)
- 14) Gisolfi, C. V. and Duchman, S. M.; Guidelines for optimal replacement beverages for different athletic events, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 24, 679-687 (1992)
- 15) Millard-Stafford, M.; Fluid replacement during exercise in the heat: review and recommendations, *Sports Med.*, 13, 223-233 (1992)
- 16) Cabanac, M.; Keeping a cooling head, *News In Physiol. Sci.*, 1, 41-44 (1986)
- 17) Cabanac, M.; *Human Selective Brain Cooling*, Neuroscience Intelligence Unit, Springer-Verlag, Heidelberg, Germany (1995)
- 18) Brown, G. A., G. M. Williams; The effect of head cooling on deep body temperature and thermal comfort in man, *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 53 (6), 583-586 (1982)
- 19) Katsuura, T., Ise, N., Onoda, H., Okada, A., Kikuchi, Y.; Effect of head cooling on man at rest and during exercise under heat stress, *Appl. Human Sci. J. Physiol. Anthropol.*, 8 (1), 49-50 (1989)
- 20) Katsuura, T., Tomioka, K., Iwanaga, H., Kikuchi, Y.; Effect of cooling portions of the head on human thermoregulation response, *Appl. Human Sci. J. Physiol. Anthropol.*, 15 (2), 67-74 (1996)
- 21) 川島祥三, 青木和夫, 横井郁子, 小川亘, 尾崎博和; 高温環境下の飲水と頭部冷却による体温調節反応に及ぼす効果, 日本人間工学会第39回大会講演集, 34, Supplement, 336-337 (1998)
- 22) 日本人間工学用語研究会; 人間工学事典, 日刊工業新聞社, 284-286 (1983)
- 23) Cabanac, M. and Caputa, M.; Natural selective cooling of the human brain: evidence or its occurrence and magnitude, *J. Physiol.*, 286, 255-264 (1979)
- 24) Ramanathan, N. L.; A new weighting system for mean surface temperature of the man body, *J. Appl. Physiol.*, 19 (3), 531-533 (1964)
- 25) Oseland, N. A. and Humphreys, M. A.; *Thermal comfort: past, present and future*, Building Research Establishment, Garston (1994)
- 26) (社) 日本産業衛生学会; 高温の許容基準, 産業医学, 32, 394-396 (1990)
- 27) 小川庄吉, 長田泰公, 栃原裕, 大中忠勝, 山田信也, 大池東茂子, 吉田敬一, 浅見雅子; 軽作業時の温冷感に関する研究, 公衆院研報, 26, 142-151 (1977)
- 28) Gisolfi, C. V. and Copping, J. R.; Thermal effects of prolonged treadmill exercise in the heat, *Med. Sci. Sports*, 6, 108-113 (1974)