

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 13 日現在

機関番号：44426

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500769

研究課題名(和文) 摂取水分の温度と量が体温・循環調節反応に及ぼす影響

研究課題名(英文) Effects of temperature and volume of fluid intake on thermoregulatory and cardiovascular responses during prolonged exercise in the heat

研究代表者

小倉 幸雄 (OGURA, Yukio)

大阪国際大学短期大学部・その他部局等・教授

研究者番号：00300301

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円、(間接経費) 1,230,000円

研究成果の概要(和文)：高温下運動時における摂取水分の温度と量が体温・循環調節反応に及ぼす影響を、(1)摂取水温の相違、(2)夏季スポーツ活動時の飲水量と飲みやすさ、(3)摂取水温の相違と飲水量、から検討した。その結果、摂取水温の相違は、飲水量が等しい場合には低水温ほど運動の早期から物理的な冷却効果により直腸温を抑制し、自由飲水の場合には低水温の冷却効果と飲水量の調節による影響が推察された。さらに、実際のフィールド運動時においても5℃水温では物理的冷却効果による体温上昇の抑制、発汗量の抑制、脱水率の軽減を導くことが窺え、5℃程度の水分補給が生体負担度を軽減し、ひいては熱中症予防に有効であることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：The effects of fluid intake on thermoregulatory and cardiovascular responses during prolonged exercise in the heat were examined by measuring the effects on body temperature of: 1) fluid temperature of 5, 15, 25 or 35 degrees C with constant intake volume, 2) intake volume during sports activity in summer, and 3) fluid temperature and volume with intake ad libitum. The results suggest that intake fluid temperature significantly affected body temperature during prolonged exercise in a hot environment, even within the fluid temperature range of 5-15 degrees C, and that intake of fluid at a temperature of 5 degrees C can be recommended as a strategy for physically cooling the body in order to prevent heat disorders during exercise in the heat.

研究分野：健康・スポーツ科学

科研費の分科・細目：スポーツ科学

キーワード：飲水温 水分摂取量 直腸温 体温調節 自由飲水 発汗量 脱水 熱中症

## 1. 研究開始当初の背景

高温環境下における運動パフォーマンスの低下および熱中症予防策の一つとして、脱水を抑制するための水分摂取の重要性が唱えられている。脱水が進行すると、同一体温あたりの発汗量や皮膚血流量が減少するため、深部体温も上昇する。その結果、運動パフォーマンスが低下し、熱中症の危険性も増大することが明らかにされている。

近年、高温環境下の運動時における水分補給に関して、摂取する水分の量や成分、摂取のタイミングなど様々な検討がなされており、多くのスポーツ現場において積極的な水分摂取が推奨されている。日本体育協会からの『熱中症ガイドブック』や環境省からの『熱中症予防保健指導マニュアル』では、発汗量の60~80%に相当する水分(0.1~0.2%の食塩と糖分を含む)をこまめに補給することが推奨されている。そして、摂取水分の水温は5~15℃が望ましいと記述されているが、摂取水分による体温冷却効果や水分の吸収速度を考え合わせると、その科学的根拠は乏しく、不明な点が多い。

つまり、水分を補給する時、摂取水分がいかに早く生体内へ吸収されるかという水分を胃から腸へ送り出す速さ(GER)が重要となる。そのことに関して Costill ら(1974)は低温の液体の方が体温と同じ温度の液体よりも高いGERにつながると報告している。また、Boulze ら(1983)は、水分摂取量と飲みやすさおよび水温について、被験者が自分の好みに合わせて水温の調節を許可された場合  $14.9 \pm 1.0$  の水温を選択すること、また運動中に自由飲水を許可された際の最大摂取量は水温15℃の時であることを報告しており、人が最も好み、多くの水分摂取を行うことができる水温は約15℃の時であると報告している。

これらのことから、摂取量は15℃が多く、生体内への水分吸収速度は低温ほど優れていることから、奨励された水温でも発汗量や脱水率が異なる可能性がある。

## 2. 研究の目的

本研究では、(1)異なる水温で無飲水時の発汗量の80%の水分を均等に摂取した場合、その水温の相違が運動時の体温・循環調節反応にどのような影響を及ぼすのか検討する。また、(2)実際の夏季のフィールド運動時において、摂取水温と飲みやすさや飲水量との関連性を、自由飲水にて検討する。さらに、(3)自由飲水により水分を摂取した場合の高温下長時間運動時の摂取水分温度が飲水量および体温・循環調節反応に及ぼす影響を検討する。これらのことが明らかになれば、夏季のスポーツ活動時の熱中症予防や運動パフォーマンス維持にとって飲水量のみならず水温の重要性を科学的に裏付ける有意義な知見が得られる。

## 3. 研究の方法

本研究では、以下(1)~(3)の3実験を実施した。なお、これらの実験内容は、大阪国際大学研究倫理委員会で倫理面の審査を受け承認されている。

### 実験(1): 高温下長時間運動時における摂取水温の相違が体温・循環調節反応に及ぼす影響

被験者は陸上競技部に所属する男子学生( $21.7 \pm 0.2$ 歳)とした。各被験者は、気温32℃・相対湿度60%に設定した環境制御室内で5分間の休息と15分間の運動を4セット(総計80分間)、異なる日に5回実施した。なお、運動強度は各被験者の50% $\dot{V}O_2\max$ に設定した。いずれの被験者においても1回目の実験としては水分摂取を行わないcontrol条件を実施させ、この際に測定した総発汗量の80%に相当する水分量を決定した。次に、control条件と同一のプロトコールで異なる水温の水分を摂取する2回目・3回目・4回目・5回目の実験(水温5℃(以下、5条件)、15℃(15条件)、25℃(25条件)、35℃(35条件))を実施した。なお、水温の異なる4条件はランダムとし、1回目の実験で決定した水分摂取量は4セットの休息で均等に摂取させた。

いずれの実験中も、直腸温( $T_{re}$ )、前額・胸・背・前腕・大腿の局所皮膚温( $T_{sk}$ )、胸・前腕の局所発汗量( $m_{sw}$ )、前腕の皮膚血流量(LDF)、心拍数(HR)、酸素摂取量( $\dot{V}O_2$ )を測定した。さらに、5部位の $T_{sk}$ から平均皮膚温( $T_{sk}$ )、 $T_{re}$ と $T_{sk}$ から平均体温( $T_b$ )を算出した。また、主観的運動強度(RPE)、口渇感、全身温冷感、飲水物の飲みやすさを申告させた。

### 実験(2): 夏季スポーツ活動時における摂取水温が飲水量や飲みやすさに及ぼす影響

陸上競技部に所属する男女学生を被験者とし、夏季グラウンドでの2時間半の陸上競技練習時において、異なる日に異なる水温に設定した水分の自由摂取を要求した。なお、水温は5℃・15℃・25℃・35℃の4条件(以下、5条件・15条件・25条件・35条件と略す)に規定した。5条件は4日、15℃・25条件は3日、35条件は1日のみ実施し、それぞれ延べ123名・81名・84名・27名が参加した。各被験者には練習時の水分を個人用のボトルから摂取することを要求した。グラウンドの環境条件はいずれの調査日においても、気温、相対湿度、黒球温度、WBGTを練習開始から30分ごとに熱中症指数モニターで測定し、平均値をその日の環境温度とした。

被験者には練習開始直前と練習終了直後に体重と舌下温(椅座位)の計測、飲水直前の口渇感をスケール尺度で記録させ、さらに飲水直後に飲みやすさをスケール尺度で記録させた。また、練習中に排尿した者について

てはその尿量も計測させた。練習時の運動量を万歩計で約 30 名の対象者に、その内の 10 名には練習中の心拍数を HR モニターでそれぞれ連続的に計測した。練習前後の体重および尿量から体重減少量を求め、それと水分補給量に基づき総発汗量 (= 体重減少量 + 水分補給量)、発汗率 (= 総発汗量 / 体表面積 / 練習時間)、また脱水率 (= 体重減少量 / 練習前体重 × 100) を推定し、水分補給量と総発汗量から水分補給率も算出した (水分補給率 (%) = 水分補給量 / 総発汗量 × 100)。さらに、実験と異なる日に身体計測 (身長・体重・体脂肪率・全身 7 部位の皮下脂肪厚) を実施した。

### 実験(3)：高温下長時間運動時における摂取水温の相違が飲水量および体温・循環調節反応に及ぼす影響

大学陸上競技部に所属する男子学生を被験者とした。各被験者には、運動開始 30 分前に 24 のミネラルウォーター 500 ml を摂取させ、気温 32 ・ 相対湿度 60% に設定した環境制御室内で 15 分間の運動と 5 分間の休息を 5 セット (総計 100 分間) 連続的に負荷した。各被験者には運動終了後の各休息時に実験日ごとに設定された同一水温 (5 , 15 , 25 ) のミネラルウォーターを自由飲水させ、その飲水量を各休息終了時に測定した。なお、15 分間運動は、1・3・5 回目がトレッドミル走、2・4 回目を自転車運動とし、各被験者は短パンのみ着用して実験に参加した。

実験中、直腸温 (Tre), 3 部位 (胸・上腕・大腿) の皮膚温 (Tsk), 心拍数 (HR) を連続的に測定し、休息時にのみ口渇感、全身温冷感、水の飲みやすさを申告させた。さらに、運動前後の体重と飲水量から、総発汗量 (= 体重減少量 + 総飲水量)、飲水率 (= 総飲水量 / 総発汗量 × 100)、脱水率 (= 体重減少量 / 運動前体重 × 100) を算出した。また、Tsk から平均皮膚温 ( $T_{sk} = 0.43 \text{ 胸} + 0.25 \text{ 上腕} + 0.32 \text{ 大腿}$ )、Tre と Tsk データから平均体温 ( $T_b = 0.8Tre + 0.2T_{sk}$ ) をそれぞれ算出した。実験開始直前および終了直後には尿を採取し、尿比重を測定した。トレッドミル走・自転車運動の運動負荷強度は、異なる日に事前に最大下負荷漸増法 (4 ~ 5 段階の 5 分間運動) で、それぞれの HR - 負荷強度の関係式を求め、HR がトレッドミル走で 140 拍/分、自転車運動で 130 拍/分に相当する運動強度とした。

## 4. 研究成果

**実験(1)：**Tre のベースライン値は、control 条件 ( $37.18 \pm 0.13$  (SEM) )・5 条件・15 条件・25 条件・35 条件の 5 条件間で有意な差は認められなかった。Tre (ベースラインからの変化度) では、control 条件に比べ、5 条件で 1 セット目の運動 (E1) から、15 条件で 2 セット目の運動 (E2) から、25 条件で 3 セット目の運動 (E3) から、35 条件で 4 セット目の運動から有意に小さいまたは

その傾向がみられた (図 1)。さらに、5 条件の Tre は、15 とは有意な差はみられなかったが、35 条件より E1 から有意に小さかった。Tb における飲水およびその水温の影響は、Tre 反応にほぼ類似した。胸・前腕の msw は 35 条件が control 条件および他の水温条件より有意に高かった。%LDF (ベースラインからの変化度) には飲水およびその水温の影響は認められなかった。Tre, msw, %LDF の結果を考え合わせると、同一 Tre あたりの msw および %LDF は control 条件より飲水条件の方が高い値を示すことが推察される。 $VO_2$  は 5 ・ 15 条件が control 条件より、5 が 25 条件より有意に低いまたはその傾向がみられた HR は 15 条件および 35 条件が control 条件より 3 セット目の休息から有意に低いまたはその傾向がみられたが、水温の影響は認められなかった。RPE は control 条件に比べ飲水時に E2 もしくは E3 から有意に低いまたはその傾向がみられたが、水温の影響は認められなかった。口渇感 は control 条件に比べいずれの水温条件でも 1 セット目の休息から有意に低い値がみられたが、水温の影響は認められなかった。全身温冷感では control 条件よりいずれの水温でも有意に低い値 (中立側) がみられ、さらに水温の影響も認められ、5 条件が 25 条件・35 条件より有意に低いまたはその傾向がみられた。なお、水分摂取時において 15 条件が 35 条件より有意に飲みやすいと申告していた。

以上の結果、一定の量を飲水した場合、低水温の飲水ほど運動の早期から体温上昇の抑制がみられたことから、5 の水温の水分摂取が推奨される。高温環境下のスポーツ活動時では、水分摂取とともに、その水温にも配慮する必要性が示唆された。

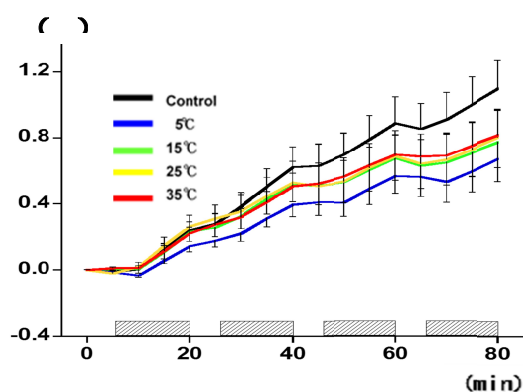


図 1. Tre の経時的変化

**実験(2)：**練習時における WBGT (5 条件 vs. 15 条件 vs. 25 条件 vs. 35 条件 :  $30.3 \pm 0.9$  (SEM) vs.  $31.3 \pm 1.0$  vs.  $30.3 \pm 0.2$  vs.  $30.3 \pm 0.6$  ), 平均 HR ( $117 \pm 2$  vs.  $121 \pm 2$  vs.  $122 \pm 2$  vs.  $112 \pm 5$  拍/分), 最大 HR ( $178 \pm 2$  vs.  $181 \pm 3$  vs.  $180 \pm 2$  vs.  $175 \pm 5$  拍/分), 歩数 ( $8102 \pm 344$  vs.  $8239 \pm 323$  vs.

9159 ± 426 vs. 7971 ± 380 steps/2.5h) には有意な水温条件差はみられなかった。この結果は、内的・外的温熱刺激が摂取水温条件間でほぼ同等であったことを示唆する。練習前後の舌下温変化度では、5 条件が他の水温条件より有意に低かった (0.16 ± 0.03 vs. 0.27 ± 0.03 vs. 0.34 ± 0.03 vs. 0.32 ± 0.05)。体重当たりの水分補給量では 15 条件が他の摂取水温条件よりも有意に多かったが (14.0 ± 0.5 vs. 18.1 ± 0.8 vs. 14.8 ± 0.7 vs. 12.0 ± 1.2 ml/kg), 水分補給率では 15 条件が 25・35 条件より有意に高く、5 条件が 35 条件より有意に高かったが、5 条件と 15 条件はほぼ同等だった (63.5 ± 2.0 vs. 66.2 ± 2.1 vs. 57.4 ± 2.3 vs. 49.2 ± 3.8%)。総発汗量では 5 条件が 15 条件や 25 条件よりも有意に低く (1.24 ± 0.03 vs. 1.49 ± 0.05 vs. 1.46 ± 0.05 vs. 1.36 ± 0.08 kg), 発汗率でも 5 条件は 15・25 条件より有意に低かった (321 ± 8 vs. 386 ± 11 vs. 381 ± 11 vs. 349 ± 19 g/m<sup>2</sup>/h)。脱水率では 5 条件が 25・35 条件より有意に低かった (0.88 ± 0.06 vs. 0.96 ± 0.06 vs. 1.20 ± 0.08 vs. 1.27 ± 0.11%) (図 2)。飲水直前における口渇感には有意な摂取水温条件差は認められなかった。「飲みやすさ」は、5・15 条件が 25・35 条件より、25 条件が 35 より、いずれも優っていた。

以上の結果、飲みやすさと水分補給率・脱水率からみると 5~15 の摂取水温が 25 以上より優れていたが、5 水温ではさらに物理的冷却効果による体温上昇の抑制が加わり、それが発汗量の抑制を導き、ひいては脱水率の軽減を導くことが窺えた。そのため、夏季スポーツ活動時の飲水時には 5 程度の水分補給が生体負担度を軽減し、ひいては熱中症予防に有効であることが示唆された。

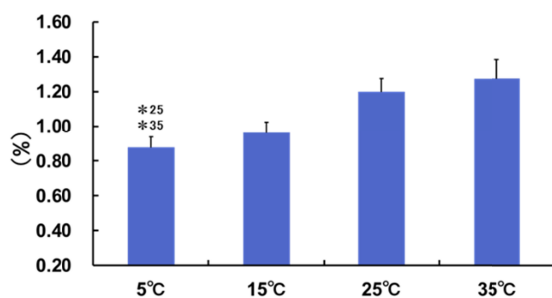


図 2 . 摂取水温条件別の脱水率 . \*25, \*35 は 25, 35 水温から有意な差 (p<0.005) あり

**実験(3)** : HR は、運動 15 分間で徐々に増加し、その後の休息で低下する変化パターンを繰り返しながら、そのレベルを順次増加した(5 セット目の運動終了時: 5 飲水; 160 ± 4 (SEM) 拍/分, 15 飲水; 165 ± 3 拍/分, 25 飲水; 165 ± 2 拍/分)。しかし、HR には 3 種の摂取水温条件間に有意な差はみられなかつ

た。実験中の Tre は運動開始直前(5 飲水; 36.96 ± 0.09, 15 飲水; 37.04 ± 0.10, 25 飲水; 37.00 ± 0.10) から 5 セット終了時までほぼ直線的に増加した (38.36 ± 0.09, 38.32 ± 0.10, 38.41 ± 0.11)。Tb も Tre とほぼ類似の経時変化を示し、5 セット終了時のベースラインからの増加度は 5・15・25 摂取時それぞれ 1.23 ± 0.18, 1.13 ± 0.12, 1.24 ± 0.12 であった。Tsk は 40 分目まで上昇したが、その後 2 回目および 3 回目のトレッドミル走時にはベースラインとほぼ同等の値を保った。休息時における全身温冷感には、いずれの摂取水温時にも有意な経時変化は認められなかった。Tre, Tb, Tsk, 全身温冷感には摂取水温の影響は認められなかった。なお、総発汗量は、5, 15, 25 飲水時にそれぞれ 1515 ± 81 g, 1568 ± 56 g, 1581 ± 103 g であり、有意な摂取水温差はみられなかった。飲水直前の口渇感にはいずれのセットにおいても摂取水温差はみられなかった。しかし、飲水量は 4 セット終了時まで水温の影響はみられなかったものの、5 セット終了時までの累積値では 5, 15, 25 飲水時でそれぞれ 648 ± 63 g, 702 ± 66 g, 799 ± 49 g であり、25 が 5 より有意に多かった。(図 3) 飲水率でも 5, 15, 25 がそれぞれ 43.9 ± 5.0%, 44.9 ± 3.9%, 52.3 ± 4.0% であり、25 条件が 15 条件より高い傾向だった。なお、水の飲みやすさ尺度では、4・5 回目の休息時に 25 が 15 飲水より飲みにくい傾向を申告した。しかし、脱水率には有意な摂取水温差はみられず、5, 15, 25 でそれぞれ 1.09 ± 0.15%, 1.08 ± 0.10%, 0.93 ± 0.17% だった。尿比重は、運動前後および水温の影響はみられなかった。

以上の結果、自由飲水させた場合、摂取水分温度の相違は高温下長時間運動時における体温調節・循環調節反応には影響しなかった。これは、25 摂取が 15 や 5 摂取より飲水量を増加して低水温の物理的冷却効果に対抗したためと推察された。

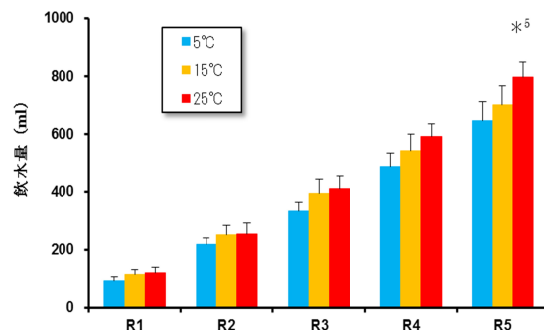


図 3 . 飲水量 (累積値) の経時変化 . \*5 は 5 水温から有意な差 (p<0.05) あり

実験(1) ~ (3) より、高温下運動時における摂取水温の相違は、一定の量を飲水した場合には低水温ほど運動の早期から物理的な冷

却効果により直腸温の上昇を抑制し、自由飲水の場合には低水温の物理的冷却効果と飲水量の調節による影響が推察された。さらに、実際のフィールド運動時では、5 水温の摂取において、物理的冷却効果による体温上昇の抑制が発汗量の抑制を導き、ひいては脱水率の軽減を導くことが窺えた。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

### 〔雑誌論文〕(計 1 件)

勝俣康之、下石真由、小倉幸雄、久保田豊司、安松秀、井上芳光、屋内・屋外におけるスポーツ活動現場の温熱的環境、国際研究論叢、査読無、Vol.27、No.3、2014、pp.51-60、

### 〔学会発表〕(計 2 件)

小倉幸雄、近藤徳彦、井上芳光、摂取水温が夏季フィールド運動時における水分補給量と発汗量に及ぼす影響、第 68 回日本体力医学会、2013 年 9 月、日本教育会館  
井上芳光、大木淑恵、安岡沙紀、一之瀬智子、小倉幸雄、上田博之、高齢者における汗腺機能の季節変化、日本生理人類学会第 65 回、2011 年 11 月、関西大学

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

小倉 幸雄 (OGURA, Yukio)  
大阪国際大学短期大学部・幼児保育学科・教授  
研究者番号：00300301

### (2)研究分担者

井上 芳光 (INOUE, Yoshimitsu)  
大阪国際大学・人間科学部・教授  
研究者番号：70144566

近藤 徳彦 (KONDO, Narihiko)  
神戸大学・人間発達環境学研究科・教授  
研究者番号：70215458