

熱中症予防のための補給水温に関する研究

The study of water temperature in drinking for the heat stroke prevention.

田中 英登、佐藤 栄嗣、張 曼、張 炎（教育人間科学部教育学研究科）

HIDETO Tanaka, EIJI Satoh, ZHANG Man, ZHANG Yan

キーワード：熱中症、水分補給温度、身体機能

<諸言>

熱中症死亡者数の推移から1980年代中ごろを起点として熱中症死亡者数の増加が見られるようになった。この増加要因として、第1にWHOによる死亡分類が変更されたことによること、第2に地球温暖化や都市部ヒートアイランド現象による気温の上昇、第3に人口の高齢化による影響、第4に現代生活スタイルの変化に基づく耐暑能力の低下などが挙げられている⁽¹⁾。これらの要因が複合的に重なり、2011年には1700名余りの熱中症死亡者数となり、その後も毎年1000名近くの死者を出している（総務省報告）。これらの熱中症障害の発生を少しでも抑制できるよう、環境省、日本体育協会、日本生気象学会などが予防ガイドブックなどを作成し^(2, 3, 4)、熱中症予防の啓蒙活動が行なわれている。

一般的な熱中症の予防としては、気温をはじめとする温熱環境に対応した生活行動（労働、スポーツ活動なども含む）、暑さに慣れるための生活習慣、水分の補給などが重視されている。水分補給に関しては、補給方法（こまめに、少量づつ）や補給水成分（塩分・糖分を含んだ水分を）などが指摘されている。スポーツ活動時などにおいては特に多量の発汗を伴うため、この水分補給については熱中症はもとより身体のコンディショニングの面においても重視されるべき因子とされている。水分補給の歴史はまだ浅く、1960年代まではほとんどスポーツ活動中の水分摂取は考えられていなかった。その後スポーツ科学の発展により、水分補給の重要性について徐々に浸透し、1972年に持久的スポーツの代表でもあるマラソン競技における「無飲水ルール(no-fluid rule)」が廃止となった⁽⁵⁾。その後、アメリカスポーツ医学会のガイドライン(position stand)に水分補給の重要性が示されるようになり、世界的にスポーツ活動時の水分補給の考えが広まるようになった⁽⁶⁾。日本においては、欧米以上に過去スポーツ活動時の水分摂取については「飲んではいけない」という考えが一般的であり、やはりACSMガイドライン発表によりスポーツ科学をいち早く取り入れる競技スポーツから徐々に浸透していった⁽⁷⁾。著者らの先行研究においても、高校生や大学生の夏季クラブ活動における水分補給や補給水成分に関する意識度は依然として未だに低いものであった⁽⁸⁾。水分補給に関して、前述の補給方法や成分のほか、補給水の温度も考慮することが重要と考えられ、実際にACSMガイドラインにおいても、5～15℃

の水分を補給することが望ましいとし、さらにその後 1993 年に作成されている日本体育協会が示す熱中症予防のためのガイドラインにおいても 5℃～15℃の水温を推奨している記載が示されていた。一方、2007 年に示された ACSM ガイドラインにおいては⁽⁹⁾、飲料水の嗜好性を高める要素として、味の良さを示し、味の良さは温度、ナトリウム含有量、香料が影響し、温度としては 15～21℃が嗜好性を高くするという記述がされている。以上より、実際に暑熱環境下における熱中症予防としての補給水の温度は何度が良いのであろうか不明瞭であり、この 5～15℃あるいは 15℃～21℃の水温が好ましいとする科学的根拠は明確に示されていない。そこで本研究では、スポーツ活動時の熱中症予防のための補給水の温度について、特に日本体育協会熱中症予防運動指針ガイド⁽³⁾で示されている 5℃から 15℃が望ましいという根拠を明らかにすることを目的として実験調査を行った。

＜実験方法＞

研究は 2 つの実験調査からなる。1 つ目は、暑熱環境下における運動時における補給水温の生理、心理的影響を探ることを目的として実施し、2 つ目は暑熱環境下における安静時の水分補給時の温度の嗜好調査を実施した。

（1）運動時の補給水温の影響

実験には健康な男子大学生 5 名を用いた。各被験者には、事前に実験の主旨及び内容を説明した後、実験参加・協力の同意を得た。実験時の飲水条件として、2℃、10℃、22℃の補給水を異なった日に飲ませることとし、この 3 水温条件の比較を行った。また、気温を 31℃のマイルドな高温環境および 35℃のハードな高温環境の 2 条件を実施し、その影響についても検討した。

実験プロトコルは以下の様である。実験開始 40 分前に実験室前室（気温 25℃、湿度 50%）に被験者は入り、排便、排尿を済ませたのち、脱水状態にならないよう約 150ml のスポーツ飲料水を補給し、下着の状態にて体重計測（ザリトリウス社製 1g 感度）を実施した。その後下着、半そで、ハーフパンツのみ着用させ、安静状態を維持させた。安静中、心拍数測定用電極、直腸温測定用プローベを装着し、心拍数（POLAR R4000）、直腸温（グラム社製 LT8-A）を測定した。安静状態維持 30 分後に運動パフォーマンステストとして、数字記憶テスト（5 ケタ、7 ケタ、9 ケタ）を各 30 秒実施し、その後気温 31℃又は 35℃、湿度 50%に設定した人工気象室内に移動し、人工気象室内に設置した自転車エルゴメーター上に座らせ、運動プログラムを実施した。

運動プログラムは、Vo2max60%に運動負荷強度を設定した自転車エルゴメーター運動（モナーク社製）を、15 分運動、3 分休憩を 1 セットとし、計 4 セット実施した。水分の補給は、この 3 分間の休憩時に行わせ、あらかじめ用意した補給水（大塚製薬ポカリスエット；2℃、10℃、22℃の何れか）を保温ボトル（サーモス 10 ボトル）に入れ、休憩時間中は好きなだけ飲料させた。なお、使用したボトルにより水温は少なくとも 2 時間以上は設定温度が維持された。

実験中の測定項目は、生理指標[心拍数（連続測定）、直腸温（連続測定）、飲水量（補給用ボトルの重量変動より算出）、発汗量（体重測定および飲水量結果より算出）]、心理指標[温度感覚（5段階評価）、温熱的快適感覚（4段階評価）、自覚的運動強度（RPE）、のどの渇き感（4段階評価）、何れも各運動開始前、各運動終了後測定]であった。

運動プログラム終了後、すぐに人工気象室外の前室に移り、運動開始前に実施した数字記憶テストの実施、さらには瞬発力テストとしてインターミッテントテスト（コンビ社パワーマックスV）を行った。インターミッテントテスト終了後、排尿を行った後、半そでTシャツ、ハーフパンツを脱ぎ、心電図用電極、直腸温プローブなども取り外し後、体重測定を実施し、この日の実験は終了した。異なった日に、補給水温及び運動環境気温を変えた条件で実験を実施した。被験者1人当たりの実験回数は計6回であった。

（2）安静時の補給水温の嗜好調査

安静時における高温環境下における水分摂取時の温度嗜好について調査を行うために、健康な大学生計19名（男子11名、女子8名）を用いた。調査実施前に、各被験者には実験の主旨及び内容を説明し、同意・協力を得た。

実験は、気温35℃、湿度50%に設定した人工気象室内にて行った。また、被験者は実験開始前に排尿、排便を必ず済ませてから実施した。人工気象室入室後、15分目、30分目、45分目に0℃、10℃、20℃、及び30℃（30℃は45分時のみ）の水分を各20ml程度順不同で飲水させた。この時の、心理的指標[飲みやすさ感（4段階評価）、胃腸への負担感（4段階評価）、温度感覚（5段階評価）、総合評価（順位付け）]を評価させた。

実験（1）（2）とも、条件間の比較検定を分散分析法（Excellソフト使用）により行い、 $p < 0.05$ を有意な差があるとした。

<結果>

（1）運動時の水分補給実験

1）生理的变化

補給水温（3条件）及び気温条件（2条件）の計6条件を各被験者は日を変えて実施した。各条件における運動前安静時心拍数及び最終セット終了時の心拍数を図1に示した。各条件とも運動開始前の安静時の平均心拍数は、70～90拍/分であり、条件間の差は認められなかった。運動開始直後より心拍数は上昇し、セット毎にその値は増加傾向を示した。気温31℃に比して35℃時には同じ飲水条件でも有意に高い値を示した。また、両環境条件において、補給水温22℃時において他の水温条件よりもその増加傾向は顕著であった（ $p < 0.05$ ）。

運動時の飲水量を図2に示す。飲水量は事前に準備したボトル重量の変化量（1g感度）を飲水量とした。飲水量は2℃及び10℃の飲水時に比べ、22℃は少ない傾向を示した（気温31℃時のみ $p < 0.05$ ）。また、2℃の飲水時に被験者間の飲水量の個人差が見られ、2℃を多く飲む被験者および飲まない被験者がおり、その結果標準偏差値が大きい値を示した。

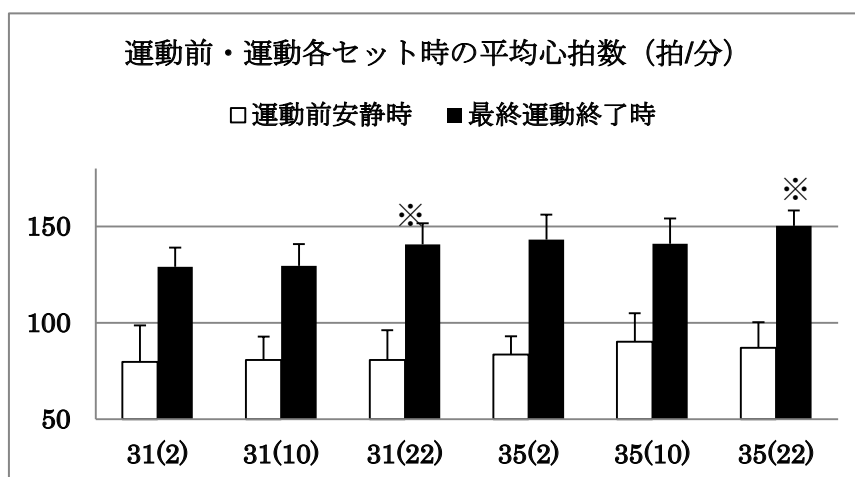


図1 各条件における運動開始前安静時及び最終運動終了時心拍数

注1) 32 (2) は気温 31℃で 2℃の水分補給条件を示す。

注2) ※は同気温条件における他の補給水温条件との有意差 ($p < 0.05$)。

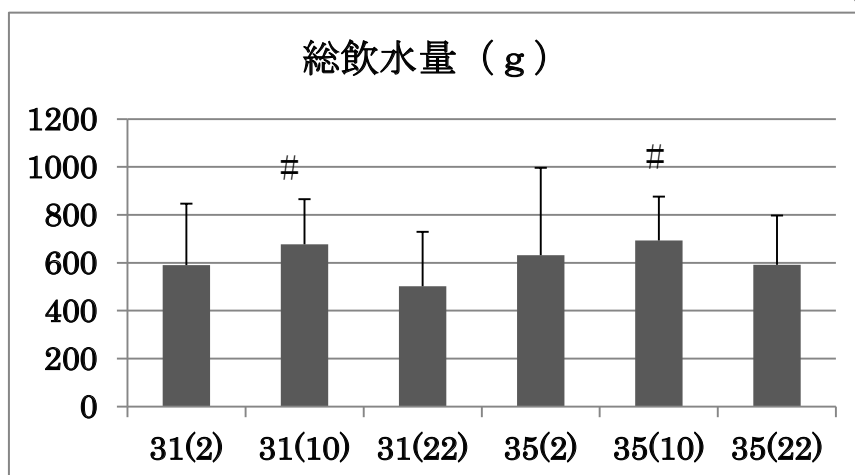


図2 各条件における総飲水量

注) #は同気温条件における 22℃補給水温条件との有意差 ($p < 0.05$)。

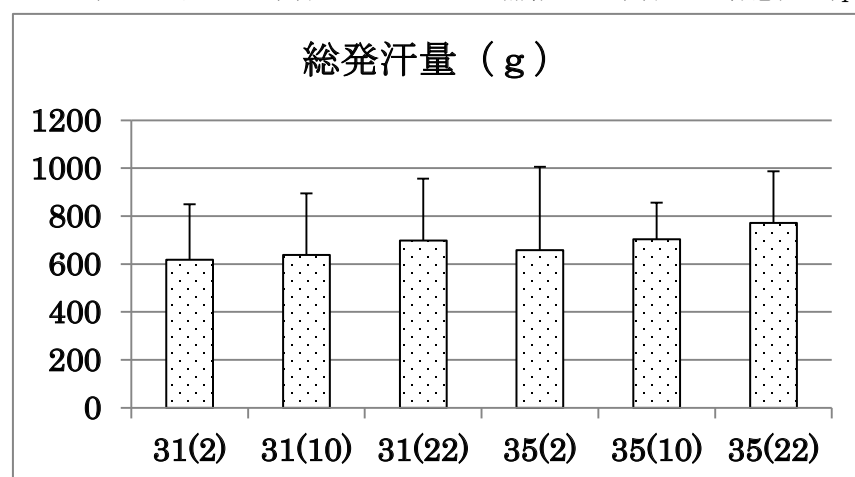


図3 各条件における総発汗量

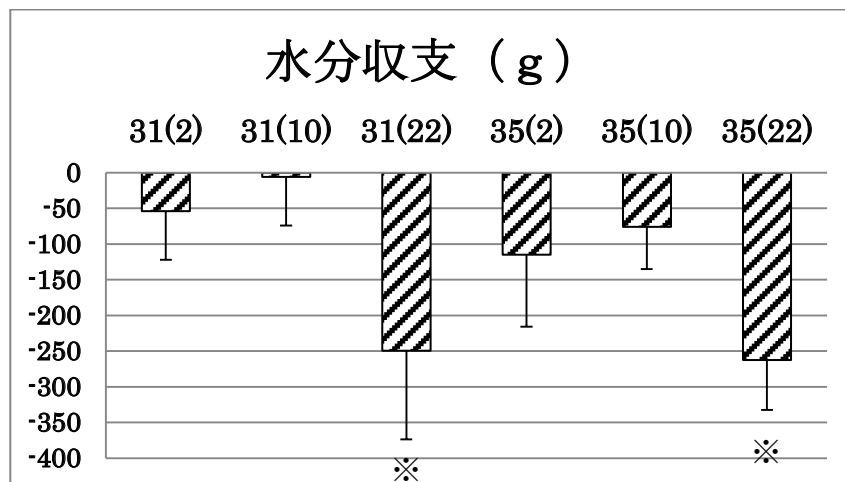


図4 各条件における水分収支

注) ※は同気温条件における他の補給水温条件との有意差 ($p < 0.05$)。

運動時の総発汗量を図3に示した。総発汗量は、次の式から算出した。総発汗量 = [(実験前体重 - 実験後体重) + 飲水量]。総発汗量は条件間で統計的に有意な差は認められなかったが、22℃の飲水時に多くなる傾向であった。なお、実験後の排尿量においては、35℃の気温条件における2℃飲水時に排尿量が多くなること、10℃の飲水時に少なくなる傾向が認められ、10℃の飲水時にもっとも腸における水分吸収が効率的になされていることが推測された。図4には体重変動からみた水分収支を示した。両気温条件とも、22℃の補給水温時に最も大きな負の収支結果を示し、脱水がもっとも進んでいることが示された ($p < 0.05$)。

2) 心理的变化

心理的指標として測定した温度感覚、温熱的快適感、のどの渇き感、自覚的運動強度の結果を各指標とも最終セット運動終了直後および最終セット飲水後の値を図5A～Dに示した。最終セット運動終了時の温度感覚は各飲水条件において差は認められなかったが、終了後の水分補給による温度感覚は、2℃、10℃に比して22℃の飲水時において改善度（暑いから中立方向への変化）は小さかった ($p < 0.05$)。温熱的快適感においても同様の傾向が示された。また、のどの渇き感は、気温31℃の条件では差は認められなかったが、35℃の気温において、22℃摂取時の渇き感が強く示された ($p < 0.05$)。また、自覚的運動強度においても同様の結果で、気温35℃、22℃飲水条件において最も高い運動負荷を感じた。

3) パフォーマンステスト

パフォーマンステストは数字記憶力テストと瞬発力テストを実施した。数字記憶は、インターネット上に公開されている数字記憶テストを利用し (http://www.mfi.or.jp/kaji/jsgame/quiz/quiz_numeric_kioku.html)、4桁、6桁、8桁の数字を1秒間提示し、回答させる方法で、各30秒間の正答数で評価した。その結果を図6に示した。両環境条件において22℃の飲水時に回答数が低下する傾向が示されたが、有意な差ではなかった。一方、も

う一つのパフォーマンステストとして実施したパワーマックス V を用いたインターミッテントテストの結果は、何れの条件においても差は認められなかった。

(2) 安静時の補給水分の嗜好テスト

各補給水温に対する飲みやすさ感は、何れの測定時間帯においても $10^{\circ}\text{C} > 0^{\circ}\text{C} > 20^{\circ}\text{C} > 30^{\circ}\text{C}$ であった。温度感覚（熱いー温かいーどちらでもないー冷たいーとても冷たい）は補給水温度を正確に被験者は示した。胃腸への負担度（あまりなさそうーありそうーとてもありそう）は、補給水温が高いほど胃腸への負担度感が小さく、 0°C の補給水の摂取時に最も負担度がありそうとの回答が示された。嗜好評価の総合評価（順位付け）度数分布を図 7 に示した。最も飲みたいと評価した水温は 10°C が最も多く、次いで 0°C であった。また、調査開始後 30 分目にのみ条件として入れた 30°C の補給水は最も飲みたいくないという評価が示された（ $p < 0.05$ ）。

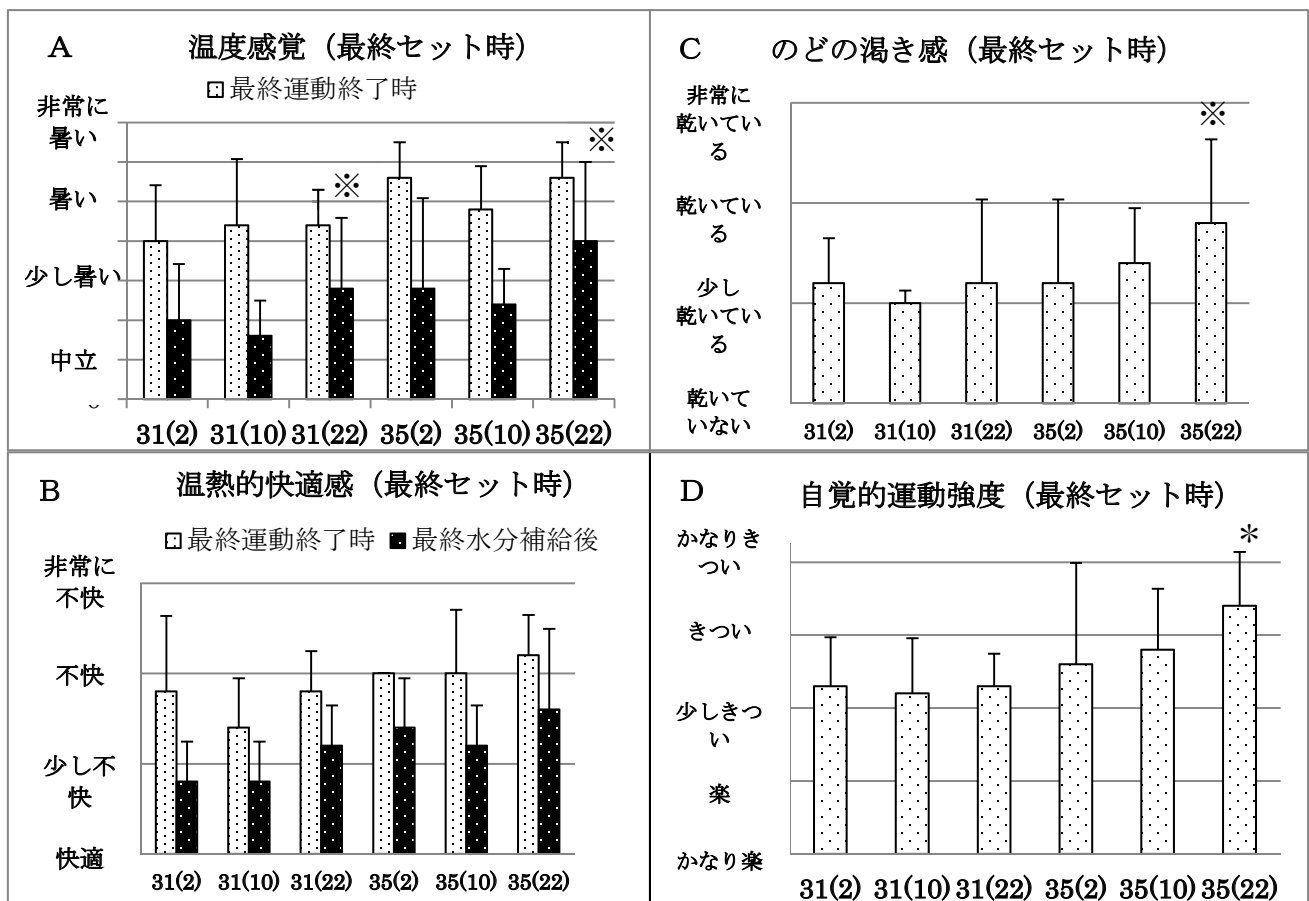


図 5 A-D 各条件における最終運動時の心理的指標（A：温度感覚、B：温熱的快適感、C：のどの渇き感、D：自覚的運動強度）

注）※は同気温条件における他の補給水温との有意差（ $p < 0.05$ ）。

*は同気温条件における 10°C 補給水温条件との有意差（ $p < 0.05$ ）。

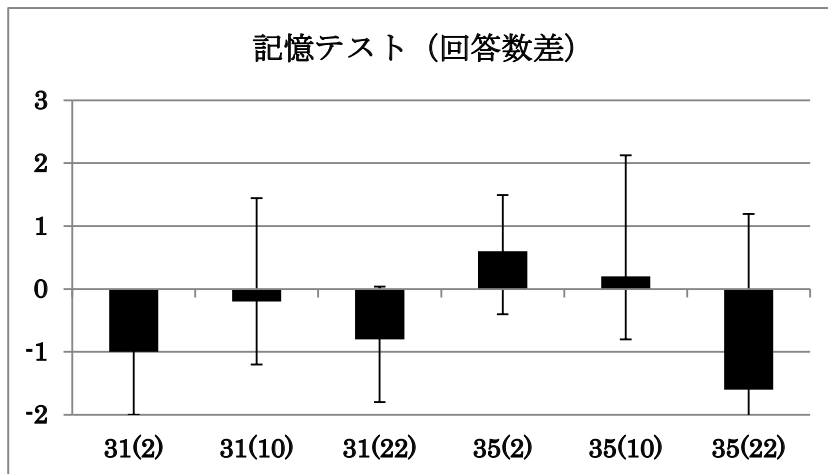


図6 各条件における運動前と運動後の記憶テスト（回答数差）

<考察>

運動時の水分補給の重要性は日本においては1990年頃から一般的になってきたが、補給水温度に関しての知見や研究報告はあまり見られない。その中で、次のような関係資料がある。運動時体温調節反応に及ぼす補給水温の影響について、丹羽ら⁽¹⁰⁾は暑熱環境にお

ける運動時の補給水温として1℃、13℃、37℃を摂取させたときの体熱平衡を検討し、1時間運動時の体温上昇度は水温に関係なく同じであったが、熱放散経路が水温によって異なり、1℃では補給水による体冷却効果が最も大きく、発汗量が少なくて済み、一方37℃では発汗量を最も増やして調節していることが示されている。このことは、暑熱環境下における熱中症予防の観点から、あるいは運動パフォーマンス持続の観点から高温の水を補給することは不利になることを示唆している。この研究から、補給水温はなるべく低いほうが有利と考えられるが、摂取された水分が実際に体に吸収される、すなわち胃腸における水分吸収率や補給水による胃への負担感の面からも実際の脱水にならないためには検討が必要である。一般的に胃腸における水分吸収率は、低温であるほど吸収率は高く、一方胃への負担感、水温が低いほど高くなると言われており、特に0℃に近い水分摂取時には胃の収縮をもたらすことも示されている。以上の観点及び飲みやすさが脱水にならないために必要条件となり、これらを考慮して日本体育協会・科学研究報告⁽¹¹⁾において、「摂取する水としては、5～15℃に冷やした水を用いる」との報告がなされ、その後の日本体育協会「熱中症予防のための運動指針」⁽³⁾の中でも5～15℃が望ましいとしている。

今回の運動時の水分補給実験（実験1）の結果では、運動時の生体負担度を示す心拍数（生理指標）や自覚的運動強度（心理指標）の両面から22℃の補給時に最も高い負荷が示された。この生体負担度は、発汗による体水分及びNaなどの電解質の損失により生じる⁽¹²⁾。また、総発汗量は統計的な差は認められなかったが22℃補給時に多くなる傾向を示され、

飲水量が 10℃、5℃に比して 22℃は少ないため、最終的に実験前後の水分出納は、22℃摂取時に最も大きな負の値（約-250 g）を示すことになった。今回の実験における最大脱水率としても 1%程度であり、熱中症発症のリスクが高まる脱水率 2%⁽¹⁾には至っていないが、より長時間の活動により熱中症のリスクが高まることは否定できない。脱水が進行すれば体温も上昇することが知られているが、今回の結果も脱水水準に一致した体温上昇が示されており、このことも熱中症リスクを高めることにつながっていると言える。また、のどの渇き感は気温 35℃の条件における 22℃水分摂取時に最も高い渇き感が得られているが、渇き感が強いにも関わらず飲水量が少ない点について、飲みやすさが大きく影響しているものと推察できる。一方、運動パフォーマンスの評価として、これまでも脱水により集中力・注意力などの認知機能低下^(13~15)や瞬発力、持久力などの身体運動パフォーマンス機能低下^(16~18)等は既に報告されていたが、今回実施した数字記憶（集中力）、インターミッテント（瞬発力）の両テストでは補給水温による差は認められなかった。運動パフォーマンスの低下も脱水 2%が一つの臨界点とされており、実際のスポーツ現場において、より脱水が進む長時間の運動状況になるとこれらのパフォーマンスの低下が特に 22℃の補給水時に起こり易いことが考えられる。

今回の実験 1 の結果は、温度が高い 22℃の水分の補給は、飲水量が少なく、結果として生理的、心理的負担度が大きくなることが示された。他方、2℃と 10℃の差はほとんどの測定項目においてみることが出来なかったが、平均値には差は認められないものの個々のばらつき度（標準偏差）は 2℃の飲水時において大きい傾向であった。すなわち、2℃の冷水摂取は、個人による温度嗜好にばらつきがあることを示すものである。このことを明らかにするために、実験 2 として安静時の暑熱下での水分補給を行わせ、その嗜好調査を行った。その結果、水分補給水としての総合評価で 10℃の水温は最も飲みやすい（1 位評価）及び 2 番目に飲みやすいで全体の 89%を、3 位、4 位（最も飲みにくい）は 10%であったのに対し、冷水の 0℃では 1 位、2 位が全体の 63%、3 位、4 位は 37%も占めていた。このことは、先の実験 1 で示された 5℃以下の冷水の個人差を改めて示すもので、暑熱環境下における熱中症予防のための補給水の温度として、5℃から 15℃が一般的に推奨する温度であると言える。ただし、個人の嗜好としてさらに低い冷水を補給できる（胃腸への負担度感もない）場合は、体冷却効果や水分吸収率の面で 0~5℃の冷水を飲水してもよいのではと考える。

※本研究は（株）ベクトルによる寄付金（2011 年）によりサポートされた。

<参考文献>

- (1) 田中英登 知って防ごう熱中症 少年写真新聞社 2011.
- (2) 桜井治彦ほか 熱中症環境保健マニュアル 環境省 2011.
- (3) 川原貴ほか 熱中症予防のための運動指針 日本体育協会 2013.
- (4) 稲葉裕ほか 防ごう熱中症—日常生活での暑さ対策のススメー 日本生気象学会

2013.

- (5) Gina K ULTIMATE FITNESS. Picador, New York, pp164-165, 2004.
- (6) American College of Sports Medicine, Convertino VA, et al. American College of Sports Medicine position stand: Exercise and fluid replacement. Med.Sci.Sports Exerc. 28: i-vii, 1996.
- (7) 坂本ゆかり 運動時の水分摂取をめぐる史的背景 J.J.Sports.Science 2:452-458, 1983.
- (8) 田中英登ほか スポーツ競技者の季節・環境に対する意識に関する研究—高校および大学野球選手を中心に— 横浜国立大学教育人間科学部紀要 I (教育科学) 8: 159-168, 2006.
- (9) American College of Sports Medicine, Sawka MN, et al. Exercise and fluid replacement. Med.Sci.Sports Exerc. 39:377-390, 2007.
- (10) 丹羽健市ら 運動時の体温調節反応に及ぼす水分補給の効果 山形大学紀要 (教育科学) 9:97-106, 1987.
- (11) 森本武利 暑熱順化と熱中症 平成 5 年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告 No.VIII スポーツ活動時における熱中症事故予防に関する研究 6-12, 1993.
- (12) 田中英登 野球における水分補給 トレーニング科学 24:123-126, 2012.
- (13) Grandjean AC Dehydration and Cognitive Performance. J.Am.Coll.Nutr. 26: 549S-554S, 2007.
- (14) Liberman HR Hydration and Cognition: A Critical Review and Recommendations for Future Research. J.Am.Coll.Nutr. 26: 555S-561S, 2007.
- (15) 安松幹展ほか サッカーの試合をシミュレートした運動における水分補給の効果 体力科学 47:879, 1998.
- (16) Cheuvront SN, et al. Fluid balance and endurance exercise performance. Cur.Sports Med.Rep. 2: 202-208, 2003.
- (17) MacGregor SJ, et al. The influence of intermittent high-intensity shuttle running and fluid ingestion on the performance of a soccer skill. J.Sports Sci. 17:895-903, 1999.
- (18) Galloway SD and Maughan RJ Effects of ambient temperature on the capacity to perform prolonged cycle exercise in man. Med.Sci.Sports Exerc. 29:1240-1249, 1997.