高温作業現場での水分補給効果

山 田 誠 二*

REPLACEMENT OF FLUID LOST DUE TO SWEATING
IN A HOT WORKING-ENVIRONMENT

Seiji YAMADA*

Replacement of fluid lost due to sweating in a hot working-environment was determined by measuring the body weight of 14 workers (53.6 ± 7.1 years old) 5 times during a working day. They were engaged in repairing and/or maintaining blast furnaces in an environment of $27.9-42.6^\circ\text{C}$ in WBGT. The amount of fluid consumption from a free intake of either green tea and tap water or green tea, tap water and glucose-electrolyte solution (Pocari, Otsuka Pharmaceutical Co., referred to as G-E solution) was compared. The body weight loss during work was 1.70 ± 0.70 kg when free intake of fluids plus G-E solution was allowed, while it was 1.60 ± 0.65 kg when G-E solution was not allowed. Fluid intake with G-E solution was 1.03 ± 0.35 l, and they could rehydrate 61%. Without the G-E solution fluid, was 0.75 ± 0.37 l (47% rehydration). Fluid intake with G-E solution was significantly ($p < 0.05$) larger than that without it. The body weight difference between pre- and post-work was significant ($p < 0.001$), i.e., it was 0.26 ± 0.52 kg while drinking G-E solution and 0.52 ± 0.53 kg without it. These results suggest that restoration of body fluid after thermal dehydration takes place much faster when consuming G-E solution.

Key words: water balance; fluid intake; thermal dehydration; voluntary dehydration; glucose-electrolyte solution

I. 緒 言

高温作業現場の従業員では、体温調節のために大量の発汗が生じ、水分喪失による体重減少がみられる。高温作業現場では大量発汗による脱水のため熱中症などの障害が多く報告されてきた¹⁾。このような高温職場では発汗による水分や塩分を含む体液の喪失に対して、水分塩分補給の必要性が強調されている²⁾。ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) では、高温の許容基準を論じる際に、水分や塩分補給についても言及し、夏期や高温職場においては水分喪失による脱水を予防するために、少量の水分 (約 150 ml) を頻回 (15~20 分ごとに) 飲むことを推奨し、暑熱順化のできていない労働者には、0.1% 程度の薄い食塩水を冷やして飲むことを推奨している。

しかし、日本では、現在でも高温職場において食塩をつまんで水を飲んだり、梅干し、塩コブなどが事業所から供与され、食塩喪失が補われることが多く、ビタミン剤なども事業所から供与されているところもみられる³⁾。新版の『産業医の職務 Q & A』⁴⁾ では、糖電解質溶液であるスポーツドリンクを高温職場での水分補給に推奨している。

一方、同じような脱水現象を呈し、熱中症が問題になっている高温環境下での運動に対する水分補給については、この 10 年間研究が進展した。多量の体液喪失による脱水時の水分補給液の種類や脱水からの回復過程などについての研究がなされ⁵⁻⁷⁾、運動時に水分を補給すれば体温上昇が抑えられること⁸⁾や運動による水分喪失量の回復には、塩分を含んだ水分補給液が望ましく、水のみ摂取では体液の希釈による口渴の消失および希釈性利尿により体液量が回復しないことが報告されている^{5, 9)}。

これらの運動における補給水分についての理論的な背景から、糖電解質溶液が高温職場での水分補給に有利であることを類推することができるが、実際の現場における調査報告はみられない。そこで、炉修理等の高温作

* 産業医科大学産業生態科学研究所応用生理学教室
平成 3 年 5 月 9 日受付

* Department of Systems Physiology, Institute of Industrial Ecological Sciences, University of Occupational and Environmental Health
Received for publication, August 27, 1991

業に従事する労働者を対象として水分喪失に対する補給水分効果について調査するとともに水分喪失量の回復過程について検討したので報告する。

II. 調査方法

調査対象者は 36 歳から 62 歳までの男子従業員（年齢：53.6±7.1 歳，身長：163.1±6.4cm，体重：63.3±7.0 kg，経験年数：33.2±7.2 年；mean±SE）14 名であった。作業は綿の上下の作業服に，防塵マスク，防塵ゴーグルを身に付けて行った。

1990 年 4 月～5 月までの 2 か月の間，水分補給液として，従来のお茶，水のほかに糖電解質溶液（ポカリスエット，大塚製薬，主要成分は Na⁺：23 mEq/l，Cl⁻：18 mEq/l，K⁺：5 mEq/l，クエン酸：10 mEq/l，糖 6 g/100 ml，比重：1.027）を供給した条件と供給しなかった条件をそれぞれ 1 か月設け，各水分補給条件開始後 10 日目から 20 日目の中間の 10 日間の調査結果を抽出して，高温環境下での水分喪失に対する水分補給効果を比較検討した。

従業員の作業は，高温環境下での粉塵作業であった。作業環境温度は炭化室補修では湿球黒球温度指標（WBGT）で 27.9～33.4℃，炉上作業では WBGT で 35.8～42.6℃，中段作業では WBGT で 31.1～38.9℃であり，休憩室の室温は WBGT で 22.5～24.0℃であった。作業内容はレンガ積替，溶射補修，上昇管補修，ホーム台補修等であった。これらの作業は，日本産業衛生学会許容濃度等の勧告¹⁰⁾による作業強度の推定表を用いて作業強度を推定すると，エネルギー代謝率（RMR）で 5.5～8.0 に相当するものであった。従業員は 10～30 分の連続作業の後 10 分の休息をとった。休憩室は外気温に等しい部屋であった。労働時間は 8：00～17：00 で，途中 1 時間の昼休みが設けられていた。

水分喪失量は体重変化から計算した。体重測定は，電子体重計（石田 MT-150T，最小表示 50 g）にて，就業前時（①），午前就業後昼食前時（②），昼食後就業前時（③），午後就業後（④），終業時（⑤）の 5 回行った。体重測定は，上半身裸体で汗をよく拭き取り行った。午前中の労働による体重変化（①～②）と午後の労働による体重変化（③～④）の総和に，飲水の際に測定した労働中の補給水分量を加えて 1 日の総水分喪失量とした。糖電解質溶液については補給量を比重で補正して水分量で比較検討した。体重測定に影響を及ぼす尿量については，尿採取についての同意は得られなかったため，排尿の回数と量（多，並，少）の 3 段階評価を依頼して検討したところ，午前と午後の作業中に各 1 回少量の排尿を

行っており，排尿の回数，量ともに 2 条件で大きな変化がなかったため，排尿による体重変化は考慮に入れなかった。

労働時間中の体重変化，すなわち水負債量は，就業前時体重と終業時体重の変化量（①～⑤）から計算した。また，水負債率は，{水負債量（①～⑤）/就業前時体重（①）}×100% より求めた。

水分補給は，各従業員が供給された水分補給液を自由に選択し，好きな量を飲水ができるものとし，水分補給液の種類，飲水量を各人が個人票に記入した。

検定は，2 条件についての分散分析を行い，有意水準を危険率 5%（ $p<0.05$ ）とした。

III. 結果

Table 1 に結果をまとめた。体重変化から計算した総水分喪失量は，糖電解質溶液供給時 1.70±0.70 kg，供給のないとき 1.60±0.65 kg で，2 条件で有意差はみられなかった。昼食による体重増加（③～④－昼食時の飲水量）は 0.1～0.5 kg で各人で一定しており，本調査の 2 条件では有意差はなかった。また，この間の 1 日の食事量についても，特に大きな変化はなかった。

水分補給量は，糖電解質溶液供給時には 1.03±0.35 l であり，供給のないときには 0.75±0.37 l で，供給時に有意に（ $p<0.001$ ）多く飲水された。

水分補給液の種類としては，糖電解質溶液供給時には，お茶 0.41±0.18 l，水 0.18±0.19 l，糖電解質溶液 0.44±0.20 l であり，糖電解質溶液の供給がない条件では，お茶 0.47±0.19 l，水 0.29±0.32 l であった。お茶の飲水量は，比較する 2 条件で有意差はなかった。すなわち，糖電解質溶液の有無に関係なく，おもに昼食時にはば一定量のお茶が飲まれていた。お茶を除いた他の補給水分量を 2 条件で比較すると，糖電解質溶液の供給時に有意に（ $p<0.05$ ）多く（約 2 倍）水分補給がなされていた。

終業時の水負債量は，糖電解質溶液供給時には 0.26±0.52 kg で，供給のないときには 0.52±0.53 kg と有意の（ $p<0.001$ ）差が認められた。水負債率は，糖電解質溶液供給時は 0.40±0.82%，供給のないとき 0.83±0.83% で，糖電解質溶液供給時では有意（ $p<0.001$ ）に少なかった。

IV. 考 察

高温作業従業員の水分補給の結果は高温環境下での運動による脱水の際にみられる水分補給の結果と同じであった。すなわち，同じ脱水量に対する労働時間内での水

Table 1. Water balance in a hot working-environment with free intake of either green tea and tap water (G-E(-)), or green tea, tap water and glucose-electrolyte solution (Pocari, Otsuka Pharmaceutical Co., referred to as G-E soln) (G-E(+)). Values are means $\pm$ SE of 14 subjects.

	Glucose-electrolyte solution (G-E soln)		Significance
	+	-	
Total water loss (kg)	1.70 $\pm$ 0.70	1.60 $\pm$ 0.65	n.s.
Water intake (l)	1.03 $\pm$ 0.35	0.75 $\pm$ 0.37	$p < 0.001$
Fluid replacement (l)			
Green tea	0.41 $\pm$ 0.18	0.47 $\pm$ 0.19	n.s.
Tap water	0.18 $\pm$ 0.19	0.29 $\pm$ 0.32	$p < 0.05$
G-E soln	0.44 $\pm$ 0.20	—	
Water debt at the end of work (kg)	0.26 $\pm$ 0.52	0.52 $\pm$ 0.53	$p < 0.001$
% water debt at the end of work	0.40 $\pm$ 0.82	0.83 $\pm$ 0.83	$p < 0.001$

分補給量は、糖電解質溶液供給時に有意に多く、脱水水分量も体重変化から類推して、有意に早く回復された。森本⁵⁾は、脱水による水分量の減少は、血漿、間質液、細胞外液からそれぞれ 25%, 45%, 30% あり、水分補給の有無にかかわらず、まず循環血液量が確保され、ついで、水分補給とともに、細胞内液、細胞外液が回復してくることを報告している。おそらく、今回の体重測定からみたデータも同じような水分量の減少が各体液区分から起こり、水分補給によって同じような回復過程が起こっているものと思われる。

高温作業現場では、体温調節はもっぱら発汗による熱放散により行われているので、脱水量が大きくなれば体温は上昇する。脱水時の体温上昇に対する補給水分について検討したわれわれの研究⁹⁾では、水分補給液の種類、温度にかかわらず水分補給がなされれば体温の上昇が抑えられることが明らかとなったので、高温作業現場では、いかに多くの水分を補給し、水負債を小さく抑えるかが重要な問題である。

発汗によって生じた脱水量は飲水行動によって補われる。ラクダや犬では、脱水量は即座の飲水行動によって補われる (early drinker) が、人では、飲水行動による完全な補償がすぐに行えない (late drinker)。この現象は自発的脱水 voluntary dehydration とよばれている^{11,12)}。Nose ら⁷⁾は、人と同じ late drinker のラットに暑熱曝露を加えて脱水状態をつくり、脱水からの回復過程における水分および塩分のバランスを検討した。脱水からの回復過程の水分補給を水で行った群では、水分補給が十分になされない水負債の状態での飲水行動が止まり、自発的脱水が認められたが、補給水分に電解質が入

っている群では、水負債が回復することを報告し、自発的脱水が、食塩水摂取により抑えることができることを証明した。今回の高温作業時の水分補給効果も、同じ脱水量に対して、水のみを与え糖電解質溶液を与えなかった場合よりも、糖電解質溶液を与えた場合 2 倍の飲水量を得ることができ、高温作業による水負債を少なく抑えることができた。

以上より、暑熱環境労働現場での脱水に対する水分補給効果は、糖電解質溶液の供給時のほうが、糖電解質溶液の供給のないときより有意に補給水分量が多く、脱水水分量も有意に早く回復することが認められた。

この研究の一部は文部省科学研究費 (C-026670073) によった。

文 献

- 1) 三浦豊彦. 夏と暑さと健康—気候と健康(下)一. 東京: 労働科学研究所出版部, 1985: 35-68.
- 2) ACGIH. 1990-1991 Threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices. Cincinnati: ACGIH, 1990: 87-94.
- 3) 三浦豊彦. 夏と暑さと健康—気候と健康(下)一. 東京: 労働科学研究所出版部, 1985: 140-141.
- 4) 労働省労働衛生課監修. 新版・産業医の職務 Q & A. 東京: 産業医学振興財団, 1988: 338-340.
- 5) 森本武利, 三木健寿, 能勢 博, 山田誠二, 平川和大, 松原周信. 発汗時の水分塩分摂取と体液組成の変化. 日本生気象学会雑誌 1981; 18:31-39.
- 6) 森本武利, 山田誠二. 運動時の体温と体液の調節. *Jpn J Sports Sci* 1983; 2: 426-431.
- 7) Nose H, Yawata T, Morimoto T. Osmotic factors in restitution from thermal dehydration in rats. *Am J Physiol* 1985; 249: R166-171.

- 8) 山田誠二, 松原周信, 能勢 博, ほか. 発汗時補給水分の体温冷却効果. 日本生気象学会雑誌1982; 19: 45-51.
- 9) Morimoto T. Restitution of body fluid after thermal dehydration. In: Hales JRS, Richards DAB, eds. Heat stress: physical exertion and environment. Amsterdam: Elsevier, 1987: 149-160.
- 10) 日本産業衛生学会許容濃度に関する委員会. 許容濃度等の勧告 (1991) V. 高温の許容基準. 産業医学 1991; 33: 291-293.
- 11) Adolph FE, Associates. Physiology of man in the desert. New York: Hafner Pub, 1947: 110.
- 12) 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. 日本生理学会雑誌 1942; 7: 101-107.

著者への通信先: 山田誠二, 〒571 門真市殿島町 7-6 松下産業衛生科学センター *Reprint requests to Matsushita Science Center of Industrial Hygiene, Kadoma, 571 Japan (S. Yamada)*