

暑熱作業環境下での水分摂取量の違いが人体に及ぼす影響について

榎本 ヒカル¹⁾、澤田 晋一¹⁾、安田 彰典¹⁾、岡 龍雄¹⁾、
東郷 史治¹⁾、上野 哲¹⁾、池田 耕一²⁾

1) 独立行政法人労働安全衛生総合研究所、2) 日本大学理工学部

Effects of Differences of Water Intake on Human Responses in the Hot Working Environment

Hikaru ENOMOTO¹⁾, Shin-ichi SAWADA¹⁾, Akinori YASUDA¹⁾, Tatsuo OKA¹⁾,
Fumiharu TOGO¹⁾, Satoru UENO¹⁾, and Koichi IKEDA²⁾

1) National Institute of Occupational Safety and Health, Japan

2) College of Science and Technology, Nihon University

Abstract: In order to investigate the effectiveness of water intake and difference of the amount of water during working in the hot climate, we conducted subjective experiments. Eight healthy young men stayed in the hot climate chamber, and were measured body internal temperatures, skin temperatures, body weight loss, thermal sensations, ECG, and Scores of Psychomotor Vigilance Task. We found some positive results of water intake and effectiveness of PHS model (ISO7933) as a guideline of water intake during hot climate.

Key Words: Heat Stroke, Amount of Water Intake, PHS Model, Body Temperature, HRV analysis

要旨：熱中症予防のためには水分摂取が重要であることが指摘されているが、その水分補給量の目安は明確に定められてはいない。そこで、ISO7933 に採用されている PHS モデルに着目し、暑熱環境における水分補給量の違いが人体に与える影響と、PHS モデルから算出された水分補給量の妥当性を検証するため、人工気象室を用いた被験者実験を行った。その結果、暑熱環境での作業時には多く飲水するほうが体温や心拍数が上昇しにくく、生理的暑熱負担が軽減されることが示唆された。また PHS モデルは作業時の水分補給の目安の一つになりうるということが明らかになった。

キーワード：熱中症、摂取水分量、PHS モデル、体温、心拍変動解析

1. はじめに

職業性熱中症は夏期屋外作業時を中心に毎年多数発生しており、年間平均 20 件程度の死亡事故が報告されている。職業性熱中症対策としてここ 5 年の間に政府は 3 回の行政通達を出し予防の徹底をはかっているが、発生件数に目立った減少傾向は認められず、平成 22 年夏においては前年比 3 倍以上の死亡者が発生し、また職業性以外にも一般家庭や学校等でも多数の熱中症罹患者・死亡者が報告され、非常に大きな社会問題となった。

職業性熱中症が減少しにくい原因の 1 つに暑熱作業時の水分補給量の目安が明確でないことが指摘されている。著者ら(榎本ほか、2009)は水分補給の有無により人体影響が異なることを報告したが、その結果を受け、今回は ISO7933 にもなっている PHS (Predicted Heat Strain) モデルによって算出される水分補給量に着目した実験を計画した。PHS モデルからは人体熱収

支をベースに必要な発汗量や予測体温が算出される。この PHS モデルの妥当性および暑熱環境における水分補給量の違いが人体に与える影響について検証するため、人工気象室を用いた被験者実験を行った。

2. 実験方法

(1) 実験室および設定温湿度条件

実験は労働安全衛生総合研究所内の人工気候室にて行った。独立して制御可能な連続した 2 室を用い、設定条件は前室にあたる A 室を気温 25℃相対湿度 50%、暑熱条件として設定した B 室を気温 33℃相対湿度 50% (WBGT27.6℃相当) とした。

(2) 被験者条件および設定飲水量

被験者は健康で標準的な体格の男子大学生 8 名で、実験中は夏季の建設作業現場服一式、安全靴、ヘルメットを着用し、着衣による熱抵抗値は 1.0clo 程度であった。

水分補給条件については、PHS モデルより被験者個々の体格に合わせて算出した本実験条件下における予測体重減少量と同量の水分を摂取する「水1」条件、米国政府産業衛生専門家会議（ACGIH）から出された水分摂取に関するガイドラインに基づいた水分量を摂取する「水2」条件、無飲水の「水0」条件の3条件それぞれにおいて、座位または30分間のトレッドミル歩行を行い、計6条件とした。表1に実際に摂取した水分量を被験者の体格とともに示す。飲水は10分おきにA室で1回、B室移動後9回の計10回行った。毎回の飲水量は表1の量を10分割した量であった。水は国産の軟水ミネラルウォーターを使用し、水温は室温と同じにした。なお実験中の体表面の汗については適宜自由にぬぐってもらった。

表1 被験者の体格および摂取水分量

被験者	身長(cm)	体重(kg)	水0座(g)	水1座(g)	水2座(g)	水0歩(g)	水1歩(g)	水2歩(g)
A	174	57	0	475	740	0	640	1000
B	172	58		474			633	
C	178	78		557			754	
D	162	57		456			613	
E	167	65		476			640	
F	174	55		490			662	
G	170	57		475			635	
H	169	63		492			662	
平均	170.8	61.3	0	486.9	740	0	654.9	1000
SD	4.9	7.6	0	30.4	0	0	43.1	0

(3) 実験スケジュールおよび測定項目

図1に実験スケジュールおよび測定項目を示す。実験室入室前に直腸温センサーの装着を行い、その後準備したトランクスを着用し体重測定を1回目を行った。以上を済ませた後A室に入室し、指先血中ヘモグロビン濃度の1回目の測定と皮膚温および心電図測定準備を行い、30分経過後から体温、皮膚温および心電図の測定を開始し、以後血圧、脈拍数、主観的申告、視覚反応時間（PVT）等を図示したタイミングで行った。30分後、被験者は暑熱環境のB室に移動し90分間滞在した。歩行条件時には30分経過後から30分間トレッドミル歩行（時速4.5km）を行った。B室移動90分経過後、すみやかに2回目の指先血中ヘモグロビン濃度測定と体重測定を1回目と同じ着衣状態でいった。

一連の実験は、平成21年8月から10月に行い、各被験者とも6条件を別の日の同じ時刻に行った。

3. 結果

(1) 直腸温

図2に歩行条件時のB室入室時点を基準とした直腸温変化量の被験者8名の平均値と標準偏差を経時変動で示す。直腸温はB室入室後最初の30分間程度は、水0、水1条件に比べ水2条件ではより低下した。歩行開始後の30分以降の直腸温は0.4~0.5℃程度上昇したが、水0条件が最も上昇した。歩行停止後の90分以降は低下したが、低下幅は水1、水2に比べ水0は小さかった。実験終了時の直腸温は水2<水1<水0となった。座位条件では水量による差は歩行時ほど大きくみられなかった。

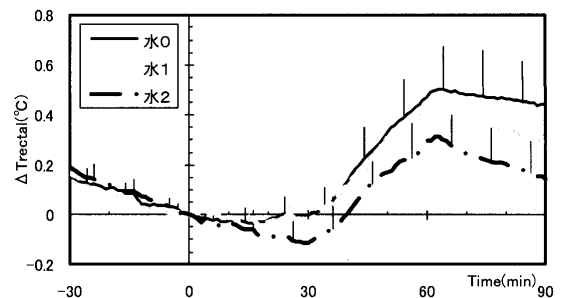


図2 歩行条件時の直腸温変化量の経時変動（平均値+S.D.）

(2) 耳内温

図3に歩行条件時のB室入室時点を基準とした耳内温変化量の被験者8名の平均値と標準偏差を経時変動で示す。耳内温は直腸温と同様の傾向を示し、B室入室後10分後程度から水2<水1<水0となり、歩行時、その後の安静時も差は縮小しなかった。直腸温にくらべると変化は小さかった。座位条件でも同様の傾向を示し、耳内温は水2<水1<水0の順に高くなったが、歩行時に比べその差は小さかった。

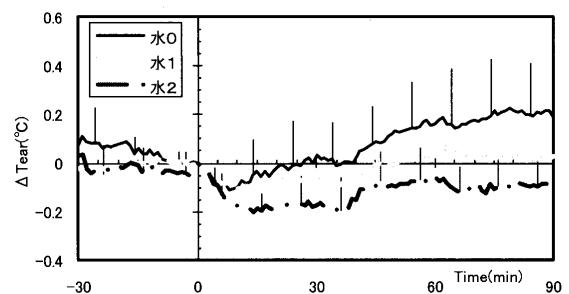


図3 歩行条件時の耳内温変化量の経時変動（平均値+S.D.）

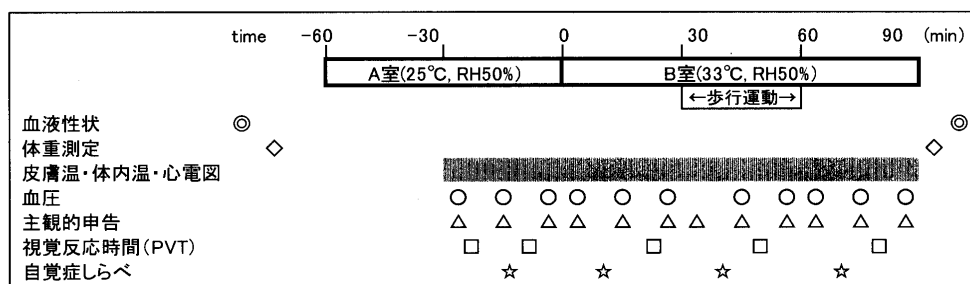


図1 実験スケジュールおよび測定項目

(3) 平均皮膚温

図 4 に歩行条件時の平均皮膚温 (Hardy-DuBois7 点法) の被験者 8 名の平均値と標準偏差を経時変動で示す。平均皮膚温は実験中を通して 34~35℃程度で推移した。暑熱室に移動後は 1℃程度上昇したが、その後は発汗および歩行の影響で約 0.4℃下降した。水条件による平均皮膚温への大きな影響は認められなかった。座位条件でも同様の傾向を示したが、歩行条件時より皮膚温低下は小さかった。

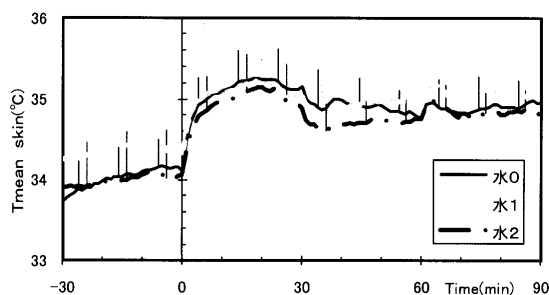


図 4 歩行条件時の平均皮膚温の経時変動 (平均値+S. D.)

(4) 体重減少量

図 5 に被験者 8 名の体表面積当たりの体重減少量 (実験後の体重から実験前の体重と摂取した水分量を引いたもの) の平均値と標準偏差を実験条件別に示す。座位条件では 3 条件とも約 140g/m²、歩行条件では水 0 は 234 g/m²、水 1 と水 2 条件は 250~260 g/m²であった。二元配置分散分析の結果、運動の有無には有意差が認められた(p<0.01)が飲水条件には有意差は認められなかった。

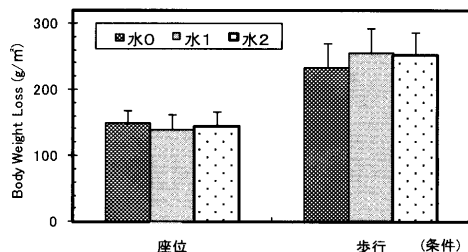


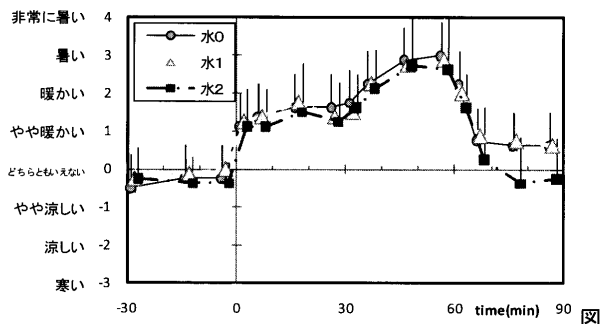
図 5 単位体表面積当たりの体重減少量 (平均値+S. D.)

(5) 主観的申告

図 6 に、歩行条件時の 9 段階温冷感申告 (-4:非常に寒い~+4:非常に暑い) の被験者 8 名の平均値と標準偏差を経時変動で示す。温冷感は A 室では「±0:どちらともいえない」であったのが B 室入室後は「+2:暖かい」に変わり、歩行中は「+3:暑い」となった。歩行後の安静時には温冷感は「涼しい」側に移行したが水 0 や水 1 条件に比べ水 2 条件では 1 段階以上大きく変化した。座位条件では水量による温冷感への差は認められなかった。

図 7 に、歩行条件時の「のどの渇き」感の被験者 8 名の平均値と標準偏差を経時変動で示す。水を飲み始めた直後 (-3 分) から水 0 条件と水 1、水 2 条件に

は差がみられはじめ、歩行を開始した後はその差がさらに大きくなり、歩行終了後は 1 段階以上水 0 条件の方が「渇いた」側の申告になった。水 1 条件と水 2 条件の間には差は認められなかった。座位条件時にも同様の傾向がみとめられたが、水量による差は歩行条件時ほどは大きくなかった。



6 歩行条件時の温冷感申告の経時変動 (平均値+S. D.)

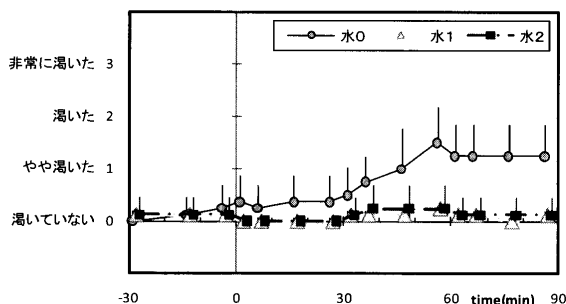


図 7 歩行条件時の「のどの渇き」感の経時変動 (平均値+S. D.)

(6) 視覚反応時間

図 8 に、歩行条件時の視覚反応時間 (PVT) 評価項目のひとつである反応時間の逆数成績 (RRT) を、対前室値比の被験者 8 名の平均値と標準偏差を経時変動で示す。RRT は A 室で行った 1 回目 (17 分) 3 回目 (77 分) の方が水 0、水 1 条件では成績がよくなる傾向がみられたのに対して、水 2 条件では成績はむしろ悪くなる傾向が認められた。座位条件時には水量による差はあまりみられず、時間が経つほど反応時間が短くなり、PVT 成績はよくなった。

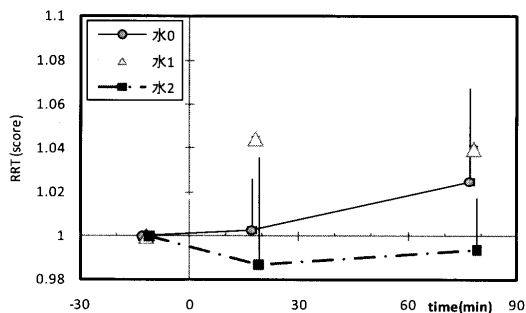


図 8 歩行条件時の PVT 成績の経時変動 (平均値+S. D.)

(7) 心拍変動係数

図 9 に、歩行条件時の心電図 R-R 間隔の被験者 4 名

の平均値と標準偏差を 10 分毎の平均値で示す。R-R 間隔は水を飲み始めた後より少しずつ条件差が拡大し、歩行中には水 0<水 1<水 2 の順になった。歩行後は歩行前の値近くに回復してくるが、その戻り幅は水 0<水 1<水 2 の順に大きくなった。飲水によって循環血液量が保持されることによって、心拍回復機能の低下が抑制されたものと考えられる。

図 10 に歩行条件時の心電図 HRV 解析による交感神経活動指標 (SNS: LF 成分/HF 成分) の被験者 4 名の平均値と標準偏差を 30 分毎の値で示す。歩行中 (30-60 分) には水 2 条件で交感神経系活動が亢進されていることがうかがわれるが、それ以外の時間帯には水条件による差はあまりみられなかった。

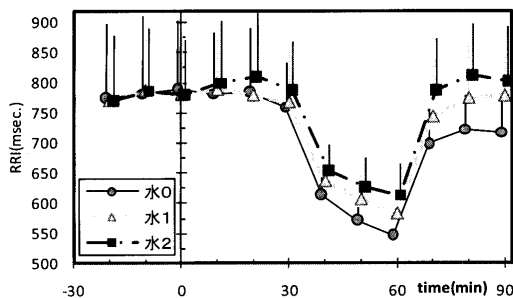


図 9 歩行条件時の心電図 R-R 間隔の経時変動 (平均値 +S. D.)

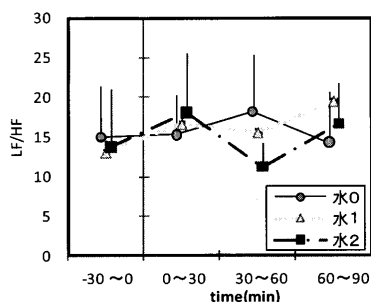


図 10 歩行条件時の SNS の経時変動 (平均値+S. D.)

4. PMV モデルによる予測値と実測値の比較および検討

図 11 に PMV モデルより算出される体内温の予測値と水 1 歩行条件時の実測値 (直腸温、耳内温) の平均値と標準偏差を時間別に示す。直腸温はどの時間においても予測値より低くなったが、歩行終了時の 60 分では、直腸温実測値が予測値以上に上昇傾向にあった。その後、予測値より直腸温は低くなった。耳内温は 0 分時および 30 分時には予測値とほぼ同じ値となったが、その後は予測値より低い値となった。

図 12 に PMV モデルより算出される歩行時の体重減少量予測値と実測値の関係を相関図で示す。8 例すべてで予測値より実測値の方が値が小さかった。図 11 の体内温の結果とも合わせて考えると、PHS モデルに

よる水分摂取には体温上昇の抑制効果があると考えられる。

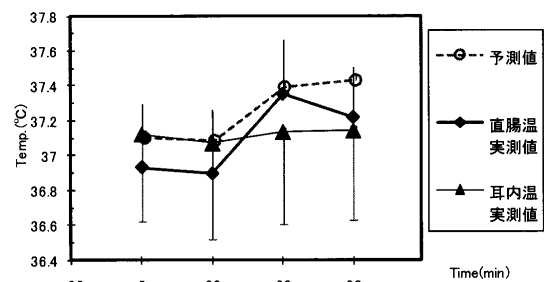


図 11 直腸温予測値と実測値 (平均値+S. D.)

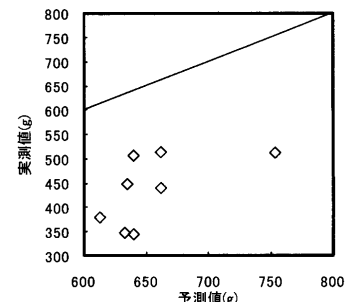


図 12 体重減少量予測値と実測値 (平均値+S. D.)

5. おわりに

気温 33℃相対湿度 50%の人工気候室内に青年男性被験者 8 名をばく露し、暑熱環境における飲水量の違いが人体生理・心理反応に及ぼす影響を検討した。その結果、無飲水条件に比べ飲水条件では体内温が低下し、申告結果や PVT 成績が改善した。また、PHS モデルより算出された予測値と実測値を比較した結果、体内温は予測値より実測値が低く、体重減少量も予測値より実測値が全ての例で少なかった。

以上の結果より、暑熱環境下において PHS モデルは水分補給の目安となりうることが示唆された。

謝辞 本研究を遂行するにあたり、厚生労働科学研究費補助金 (暑熱作業時の必要水分補給量に関する研究、研究代表者: 澤田晋一) の補助を受けました。記して謝意を表します。

6. 文献

- 榎本ヒカルほか、2009: 急性暑熱ばく露時の体重減少と必要水分補給量に関するパイロットスタディ、日本生理人類学会誌、Vol.14 特別号(1)、126-127
- ISO 7933, 2004: Standard Title Ergonomics of the thermal environment, Analytical determination and interpretation of heat stress using calculation of the predicted heat strain.

<連絡先>

著者名: 榎本 ヒカル
住 所: 〒214-8585 川崎市多摩区長尾 6-21-1
所 属: 独立行政法人労働安全衛生総合研究所
E-mail アドレス: enomoto@h.jniosh.go.jp