

図25 飲水なし条件 (Control)、飲水あり条件 1 (Water1)、飲水あり条件 2 (Water2) でのA室 (気温25℃相対湿度50%) 滞在前 (pre) およびB室 (気温33℃相対湿度50%) 滞在后 (post) の血中ヘモグロビン濃度。値は平均値±標準誤差。*Preと比較して有意 (p < 0.05) に異なる。

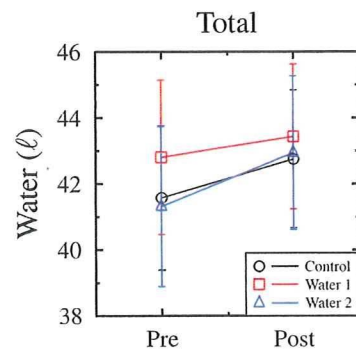


図27 飲水なし条件 (Control)、飲水あり条件 1 (Water1)、飲水あり条件 2 (Water2) でのA室 (気温25℃相対湿度50%) 滞在前 (pre) およびB室 (気温33℃相対湿度50%) 滞在后 (post) の体内総水分量。値は平均値±標準誤差。

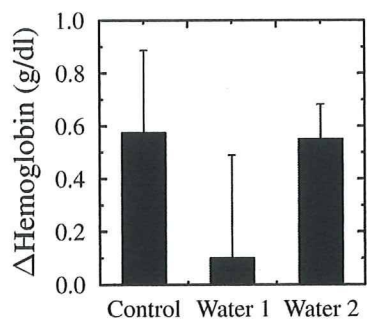


図26 飲水なし条件 (Control)、飲水あり条件 1 (Water1)、飲水あり条件 2 (Water2) でのA室 (気温25℃相対湿度50%) 滞在前からのB室 (気温33℃相対湿度50%) 滞在后の血中ヘモグロビン濃度変化量。値は平均値±標準誤差。

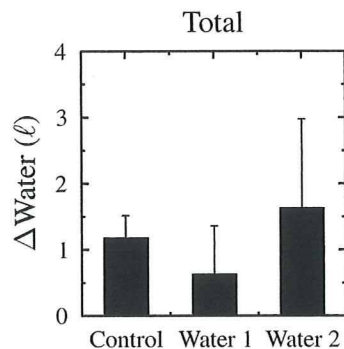


図28 飲水なし条件 (Control)、飲水あり条件 1 (Water1)、飲水あり条件 2 (Water2) でのA室 (気温25℃相対湿度50%) 滞在前からのB室 (気温33℃相対湿度50%) 滞在后の体内総水分量変化量。値は平均値±標準誤差。

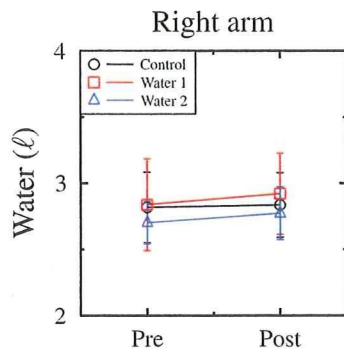


図29 飲水なし条件 (Control)、飲水あり条件 1 (Water1)、飲水あり条件 2 (Water2) でのA室 (気温25℃相対湿度50%) 滞在前 (pre) およびB室 (気温33℃相対湿度50%) 滞在後 (post) の右腕内水分量。値は平均値±標準誤差。

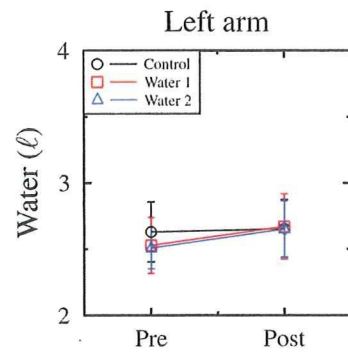


図31 飲水なし条件 (Control)、飲水あり条件 1 (Water1)、飲水あり条件 2 (Water2) でのA室 (気温25℃相対湿度50%) 滞在前 (pre) およびB室 (気温33℃相対湿度50%) 滞在後 (post) の左腕内水分量。値は平均値±標準誤差。

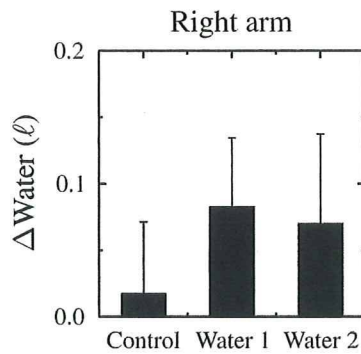


図30 飲水なし条件 (Control)、飲水あり条件 1 (Water1)、飲水あり条件 2 (Water2) でのA室 (気温25℃相対湿度50%) 滞在前からのB室 (気温33℃相対湿度50%) 滞在後の右腕内水分量変化量。値は平均値±標準誤差。

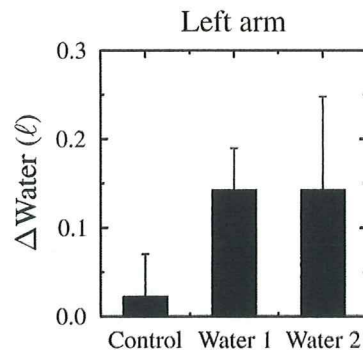


図32 飲水なし条件 (Control)、飲水あり条件 1 (Water1)、飲水あり条件 2 (Water2) でのA室 (気温25℃相対湿度50%) 滞在前からのB室 (気温33℃相対湿度50%) 滞在後の左腕内水分量変化量。値は平均値±標準誤差。

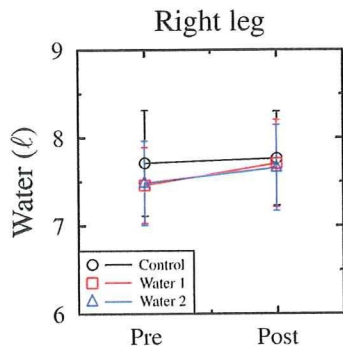


図33 飲水なし条件 (Control)、飲水あり条件 1 (Water1)、飲水あり条件 2 (Water2) でのA室 (気温25℃相対湿度50%) 滞在前 (pre) およびB室 (気温33℃相対湿度50%) 滞在后 (post) の右脚内水分量。値は平均値±標準誤差。

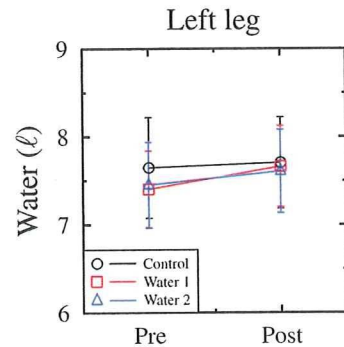


図35 飲水なし条件 (Control)、飲水あり条件 1 (Water1)、飲水あり条件 2 (Water2) でのA室 (気温25℃相対湿度50%) 滞在前 (pre) およびB室 (気温33℃相対湿度50%) 滞在后 (post) の左脚内水分量。値は平均値±標準誤差。

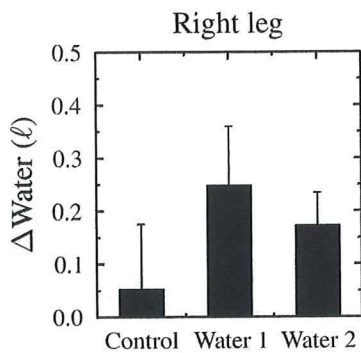


図34 飲水なし条件 (Control)、飲水あり条件 1 (Water1)、飲水あり条件 2 (Water2) でのA室 (気温25℃相対湿度50%) 滞在前からのB室 (気温33℃相対湿度50%) 滞在后の右脚内水分量変化量。値は平均値±標準誤差。

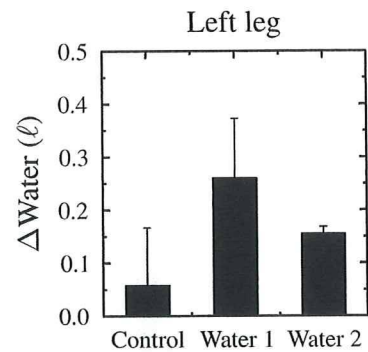


図36 飲水なし条件 (Control)、飲水あり条件 1 (Water1)、飲水あり条件 2 (Water2) でのA室 (気温25℃相対湿度50%) 滞在前からのB室 (気温33℃相対湿度50%) 滞在后の左脚内水分量変化量。値は平均値±標準誤差。

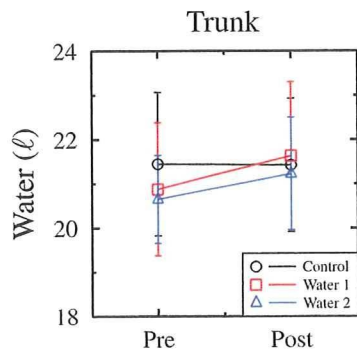


図37 飲水なし条件 (Control)、飲水あり条件 1 (Water1)、飲水あり条件 2 (Water2) でのA室 (気温25℃相対湿度50%) 滞在前 (pre) およびB室 (気温33℃相対湿度50%) 滞在后 (post) の体幹内水分量。値は平均値±標準誤差。

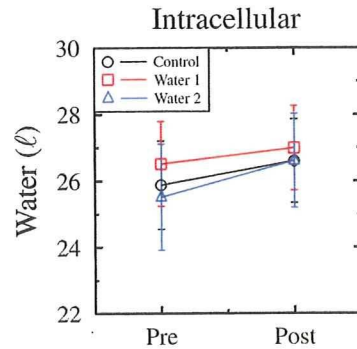


図39 飲水なし条件 (Control)、飲水あり条件 1 (Water1)、飲水あり条件 2 (Water2) でのA室 (気温25℃相対湿度50%) 滞在前 (pre) およびB室 (気温33℃相対湿度50%) 滞在后 (post) の細胞内総水分量。値は平均値±標準誤差。

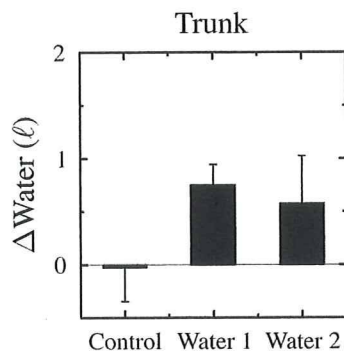


図38 飲水なし条件 (Control)、飲水あり条件 1 (Water1)、飲水あり条件 2 (Water2) でのA室 (気温25℃相対湿度50%) 滞在前からのB室 (気温33℃相対湿度50%) 滞在后の体幹内水分量変化量。値は平均値±標準誤差。

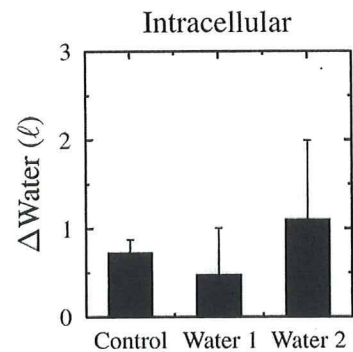


図40 飲水なし条件 (Control)、飲水あり条件 1 (Water1)、飲水あり条件 2 (Water2) でのA室 (気温25℃相対湿度50%) 滞在前からのB室 (気温33℃相対湿度50%) 滞在后の細胞内総水分量変化量。値は平均値±標準誤差。

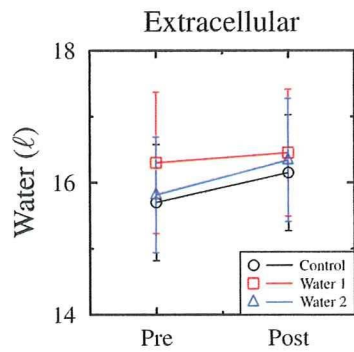


図41 飲水なし条件 (Control)、飲水あり条件 1 (Water1)、飲水あり条件 2 (Water2) でのA室 (気温25℃相対湿度50%) 滞在前 (pre) およびB室 (気温33℃相対湿度50%) 滞在后 (post) の細胞外総水分量。値は平均値±標準誤差。

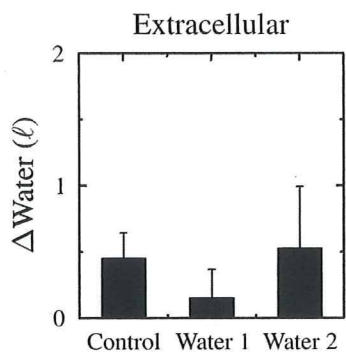


図42 飲水なし条件 (Control)、飲水あり条件 1 (Water1)、飲水あり条件 2 (Water2) でのA室 (気温25℃相対湿度50%) 滞在前からのB室 (気温33℃相対湿度50%) 滞在后の細胞外総水分量変化量。値は平均値±標準誤差。

厚生労働科学研究費補助金（労働安全衛生総合研究事業）
分担研究報告書

5. 人工環境室での被験者実験による必要水分補給量予測モデルとしてのPHSの
妥当性の検証：暑熱環境下歩行時のPHSモデルによる水分補給が
視覚反応時間（PVT）に及ぼす影響

（分担研究5）

主任研究者	澤田 晋一	労働安全衛生総合研究所	国際情報・研究振興センター長
研究協力者	安田 彰典	労働安全衛生総合研究所	主任研究員
分担研究者	榎本 ヒカル	労働安全衛生総合研究所	任期付研究員
	東郷 史治	労働安全衛生総合研究所	研究員
	上野 哲	労働安全衛生総合研究所	主任研究員
研究協力者	岡 龍雄	労働安全衛生総合研究所	主任研究員

研究要旨

暑熱環境における飲水の有無が人体生理・心理反応に及ぼす影響を明らかにすることを目的に、気温35℃相対湿度50%の人工気候室内に男性被験者8名を曝露する実験を行った。その結果、飲水がある場合はない場合に比べ視覚反応時間の成績が向上する傾向があることがわかった。

1. はじめに

熱中症は1968～2007の40年間で6,770件（男性4,063件、女性2,707件）報告されている。この間、死亡者は少ない年で26件（1982）、多い年では923件（2007）に達している。2006年における熱中症の発生は炎天下での発症が最も多く、その中でも若年層はスポーツ時に、30～50代では労働時に最も多く発症していた。職業性熱中症は、平成8年および平成17年に行政通達がなされ予防対策の徹底がはかられるようになったにもかかわらず、夏季屋外作業時を中心に熱中症の発生は多数みられる。この原因の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あげられている。

そこで、暑熱負担評価の現行国際規格であるISO7933をベースにして作成された、暑熱負担予測プログラム日本語版より算出された必要水分補給量と暑熱環境下での労働による生理的負担について2007年にアメリカ産業保健専門家会議（ACGIH）から出された従来型の水分の取り方に関するガイドラインを基にした水

分補給量の2種類の水分摂取条件の適不適と、水分補給が人体に与える影響について検証するため、人工気候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

実験は、東京都清瀬市にある、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、実験を行った。

人工気候室の設定条件は、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35℃相対湿度50%とした。どちらの室内も周囲壁面温度は気温と等しく、気流速度は0.2m/sの不感気流であった。

（2）被験者条件および設定飲水量について

被験者は、日本大学の男子学生8名を採用した。表1に被験者の特徴を示す。8名には、実験の趣旨および途中でいつでも取りやめることができる旨を十分説明した後、実験に参加して

もらった。

表1 被験者の特徴

被験者	身長(cm)	体重(kg)	年齢(歳)
A	174	57	22
B	172	58	20
C	178	78	23
D	162	57	22
E	167	65	21
F	174	55	23
G	170	57	22
H	169	63	22
平均	170.8±4.9	61.3±7.6	21.9±1.0

図1に実験スケジュールおよび測定項目を示す。実験室入室前に指先血中ヘモグロビン濃度の1回目の測定と、直腸温センサーの装着をおこなった。その後、あらかじめ準備した着衣を着用し、体重測定を1回目を行なった。以上を済ませた後、人工気候室A室に入室し、皮膚温および心電図を測定する準備を行なった。入室後30分経過後から皮膚温および心電図の測定を開始し、以後血圧、心拍数、主観的申告、視覚的反応時間(PVT)、自覚症しらべの測定を行った。30分後、被験者は暑熱環境の人工気候室B室に移動し、90分間滞在した。90分経過後はすみやかに皮膚温測定および心電図測定器

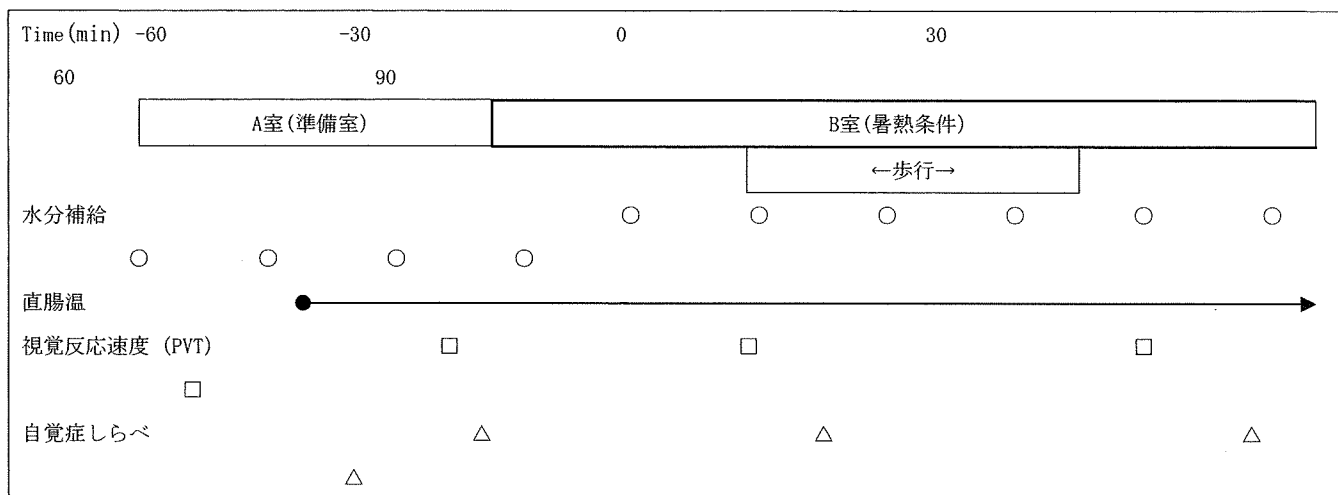


図1 実験スケジュールおよび測定項目

実験中の被験者には夏季建設現場作業員をモデルに、半袖Tシャツ・薄手作業服上下・靴下・安全靴・ヘルメット・軍手を着用してもらい、着衣による熱抵抗値は1cloとした。

水分補給条件については、全く水分摂取をしない場合（以下水0条件とする）と、前項に示したISO7933より算出した条件（水1）（座：487±30.41g、歩：655±43.09g）・ACGIH基準より算出した条件（水2）（座：740g、歩：1000g）の3条件とした。

(3) 実験スケジュール

具をはずし、2回目の体重測定を1回目と同じ着衣状態で行った。その後、指先血中ヘモグロビン濃度の2回目の測定を行った。

B室内では、座位条件と歩行条件の2条件の運動条件で実験を行った。座位条件では90分間座位、歩行条件では30分の座位の後、30分の歩行、その後30分の座位を実施した。実験結果は、運動条件2種と飲水条件3種の組み合わせで計6条件の比較を行った。

飲水は、15分おきにA室で1回、B室移動後9回の計10回行った。飲水量は算出された量を10分割し、主観的申告の回答が終わった段階で飲水した。水温はあらかじめ室温と同じにしていた。

また体表面の汗については、実験中は適宜自

由にぬぐってもらった。

一連の実験は、平成21年8～9月に実施した。

(4) 測定項目について

皮膚温および直腸温については、LT-8および付属センサー（ともにグラム社）を用い、皮膚温7点と直腸温を1分ごとに測定した。皮膚温7点よりHardy & DuBoisによる平均皮膚温を算出した。

体重測定は、ザルトリウス社製の体重計を用い、1g単位で測定した。

視覚的反応時間（PVT）を測定するために、米国AMI社製のPVT-192を使用し、5分間計測した。PVT-192はプラスチック製の21 x 11 x 6cm、658gの四角い箱で、上面のLEDに表示される数字を見た瞬間にプッシュボタンを押してその反応時間を測定するものである。PVT測定は座位条件ではB室入室-13分時から計4回、歩行条件時は歩行中を除き計3回測定を行った。また、同時に直腸温・皮膚温・耳内温は1分ごとに専用の器具を使用し1分ごとに計測した。

PVTの解析には、反応時間の平均値であるReaction Time (RT)、RTの最短値から10%の平均であるFastest10%RT (FRT)、RTの最長値から10%の平均であるSlowest10%RT (SRT)、error数、lapse（間違いやすさ指数）の5項目がある。実験ではRT・FRT・SRTのそれぞれの逆数をとったRRT・FRRT・SRRTとerror数、lapseの5項目を使用した。

lapseは次の式で求められる。

$$\text{lapse} = \sqrt{L} + \sqrt{L+1}$$

L：RTが500msec以上になった回数

主観的申告として、温冷感（9段階）、温熱的快不快感（4段階）、暑さに関する愁訴（吐き気、めまい、激しい疲労感、耐え難さ、のどのかわき）に関しては4段階を、また疲労の度合いに関して、自覚症しらべ（日本産業衛生学会産業疲労研究会提案）調査を-13分時から4

回、歩行条件時は歩行中を除いて3回、PVT測定の直前に行った。

3. 実験結果および考察

(1) PVT成績

(i) RRT

図2にRRTの成績を示す。グラフは被験者8人のPVT成績の平均を、前室Aでの-13分時の成績との比で示した。基準値より上側が、成績が良いことを示す。

RRTは歩行条件では水1が最も成績が良く、水0でも基準値であるA室の成績を下回ることにはなかったが、水2の成績はA室の成績を上回ることにはなかった。しかし、座位条件においては水2が最も成績が良く、次いで水0、水1の順に成績が良かったが、47分時の成績のみ水0の成績は下がっており、A室の成績を下回った。

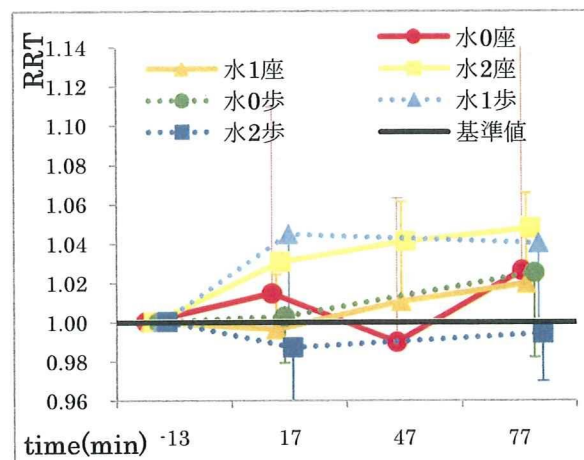


図2 各条件とRRT

(ii) FRRT

図3にFRRTの成績を示す。FRRTはRRTと成績傾向が似ており、歩行条件では水1が最も成績が良く、水0も水2も基準値であるA室の成績を下回ることにはなかった。また、水1と水2の成績は17分時が最も良かったのに対し、水0は77分時が最も成績が良かった。座位条件においては、これもRRTと同じく水2が最も成績が良かったが、FRRTでは水1では17分時に、水0では47分時

にどちらも1度だけ、基準値であるA室の成績を下回った。

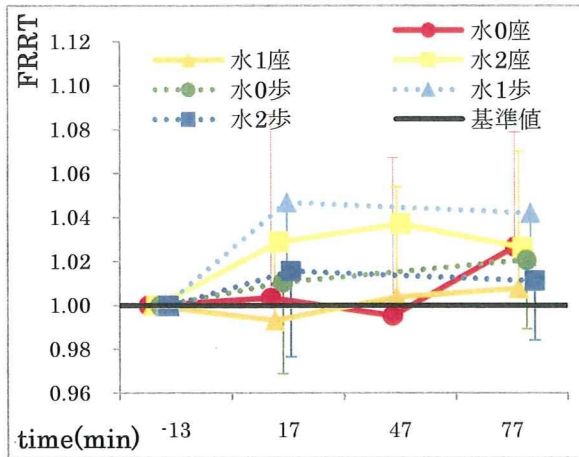


図3 各条件とFRRT

(iii) SRRT

図4にSRRTの成績を示す。SRRTの成績もRRTと似ており、歩行条件では水1が最も成績が良く、次いで水0、水2となっていた。RRTと同じく、水2の成績のみ基準値であるA室の成績を下回っていた。座位条件ではFRRTと同様に、水2が最も成績が良く、水1では17分時に、水0では47分時に、どちらも1度だけ基準値であるA室の成績を下回った。

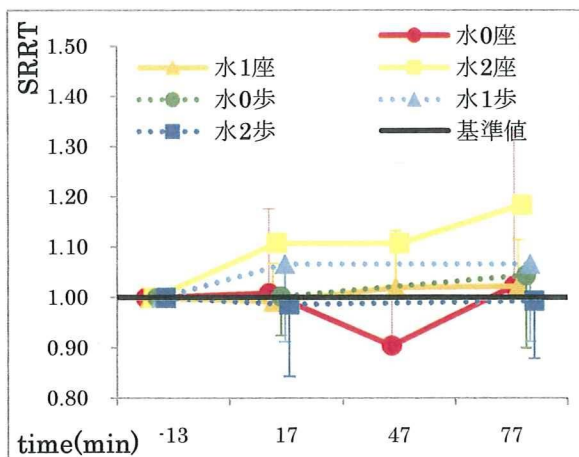


図4 各条件とSRRT

(iv) error数

図5にerror数の成績を示す。error数は、時間ごとにみると-13分時、17分時には座位条件水0が、47分時、77分時には座位条件水2、歩行条件水1の順で成績が良く、-13分時からの成績の上下で見るとここでもやはり歩行条件水1、座位条件水2の成績が良い傾向にあった。また、47分時の成績で、座位条件水2のみ成績が下がらなかった。

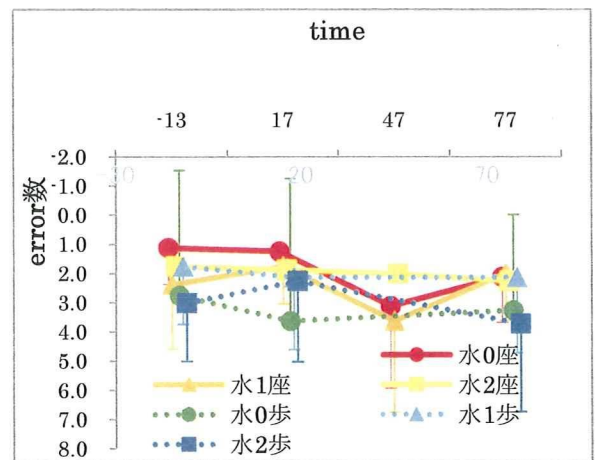


図5 各条件とerror数

(v) lapse

図6にlapse (間違いやすさ指数)の成績を示す。lapseでは、歩行条件では水0が最も良く、次いで水2、水1となった。座位条件では、lapseでも水2が最も成績が良く、次いで水1、水0となった。水0においては47分時の成績が特に悪かった。

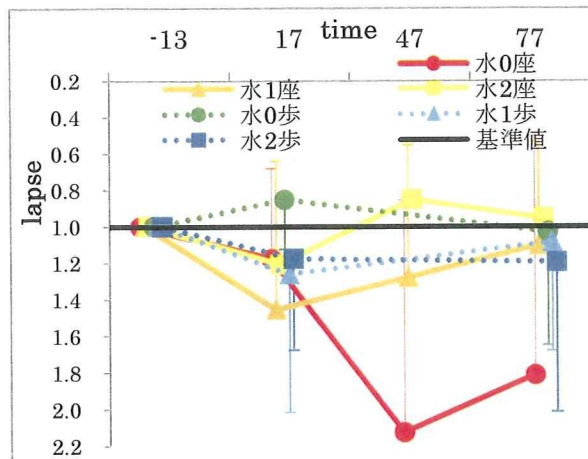


図6 各条件とlapse

(vi) error数・lapseの運動前後での比較

図7にerror数の運動前後である17分時と77分時の成績を比較したグラフを示す。error数は、歩行条件では水0で成績が良くなり、水2では成績が悪くなったが、水1では成績は悪くならなかった。座位条件では、すべての水条件で運動後の成績が悪くなったのに対し、歩行条件では水2以外では成績が悪くならなかった。

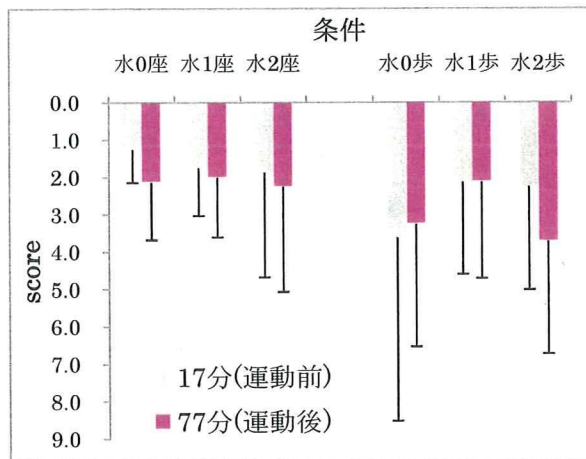


図7 各条件と運動前後のerror数

図8にlapseの運動前後である17分時と77分時の成績を比較したグラフを示す。lapseは、歩行条件では水0で運動後である77分時の成績が17分時の成績より悪くなるのに対し、水1、水2では成績は良くなること分かった。座位

条件でも同様に、水0では成績が悪くなったが、水1、水2では成績が良くなった。

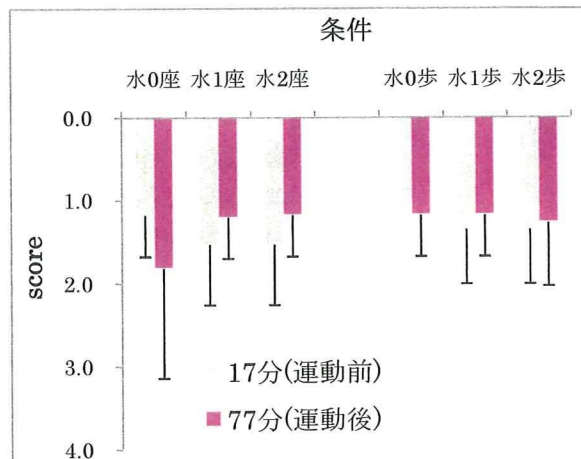


図8 各条件と運動前後のlapse

以上まとめると、RRT成績は座位条件での水2、歩行条件での水1の順に良かった。FRRTでは逆に、歩行条件での水1、座位条件での水2の順に成績が良かった。すなわち、座位条件には水2の水分摂取量が、歩行条件には水1の水分摂取量がそれぞれ反応時間に良い影響を与えていると考えられた。

error数とlapseの運動前後の成績を見ると、error数では運動後に成績が落ちる傾向が見られ、lapseでは成績が良くなる傾向が見られた。しかし、歩行条件水1ではerror数でも成績が落ちる傾向は見られなかった。つまり、歩行条件において水1の水分摂取量はPVT成績に良い影響を与えていると考えられた。

(2) ねむけ感とPVT

図9に歩行条件でのねむけ感をグラフに示す。グラフは、PVT成績のerror数・lapseを示すため縦軸の値が小さい方が、成績が良いことを示しており、ねむけ感も縦軸の値が小さい方がねむけ感が下がっていることを示している。

ねむけ感は、水1が最も多く下がっており、水0があまり下がっていなかった。

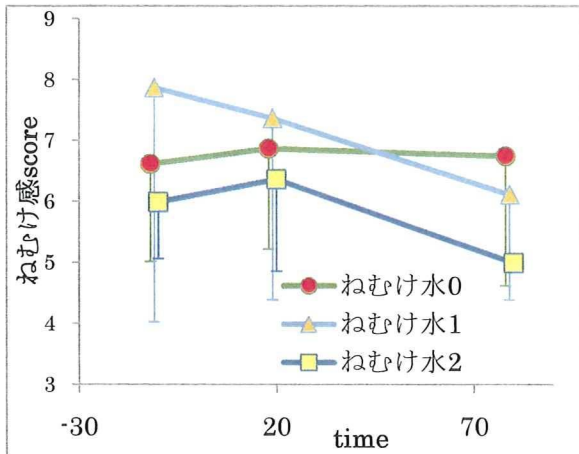


図9 ねむけ感 (歩行条件時)

図10に歩行条件水0のねむけ感とerror数を示す。-13分時から17分時にかけては、ねむけ感が上がる傾向にあるのと同様にerror数も上がる傾向にあり、17分時から77分時にかけてもねむけ感が下がる傾向にあるのと同様にerror数も少なくなる傾向にあった。

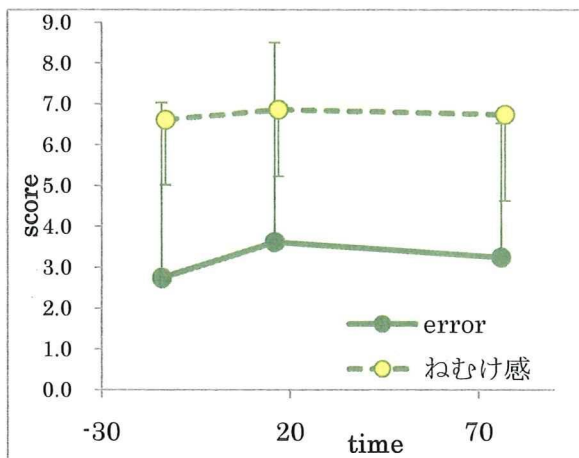


図10 error数とねむけ感 (歩行条件水0)

図11に歩行条件水1のねむけ感とerror数を示す。ねむけ感は-13分時から77分時にかけて下がることが分かるが、error数は-13分時と77分時を比較するとわずかに増えているが、運動前後である17分時と77分時のみを比較するとerror数は増えていなかった。

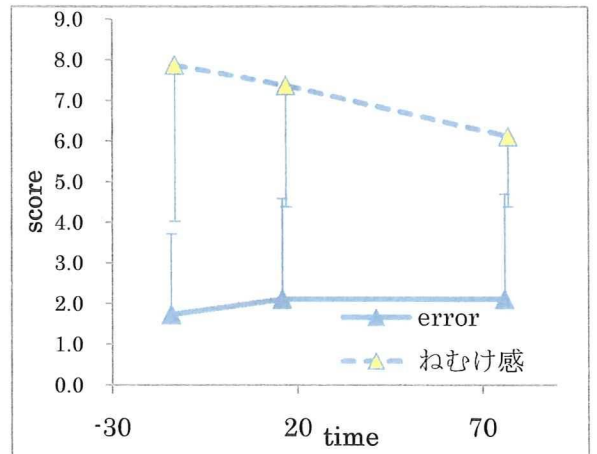


図11 error数とねむけ感 (歩行条件水1)

図12に歩行条件水2のねむけ感とerror数を示す。-13分時から17分時にかけては、ねむけ感は上がるが、逆にerror数は減った。17分時から77分時にかけてはねむけ感下がるが、逆にerror数は上がった。歩行条件水0とは逆に、水2ではねむけ感とerror数は逆相関している傾向がみられた。

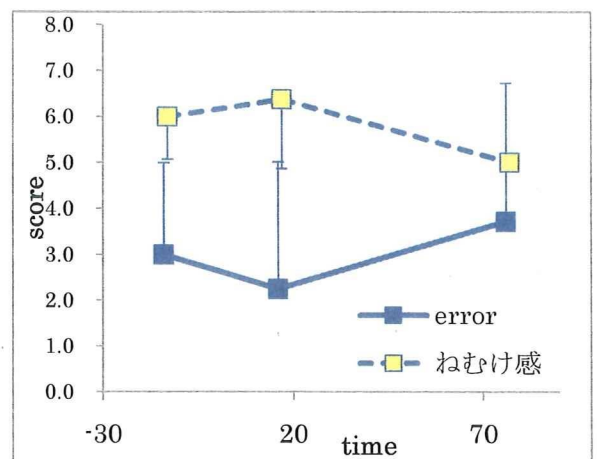


図12 error数とねむけ感 (歩行条件水2)

図13に歩行条件水0のねむけ感とlapseを示す。-13分時から17分時にねむけ感は上がるがlapseは下った。逆に、17分時から77分時にはねむけ感下がるが、lapseは上がった。

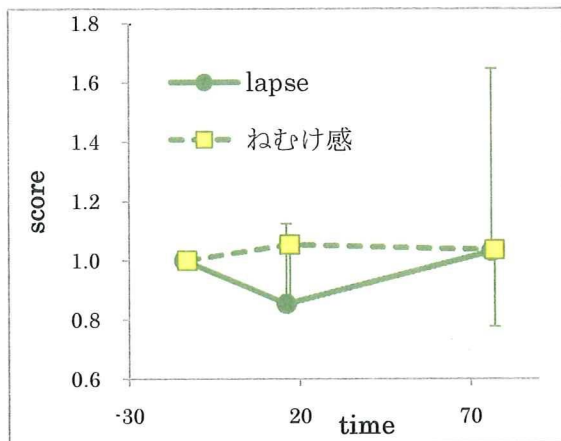


図13 lapseとねむけ感（歩行条件水0）

図14に歩行条件水1のねむけ感とlapseを示す。-13分時から17分にかけてはねむけ感はあるが、lapseは逆に下がった。しかし、運動前後である17分時から77分にかけてはねむけ感とlapseの両方ともに下がった。

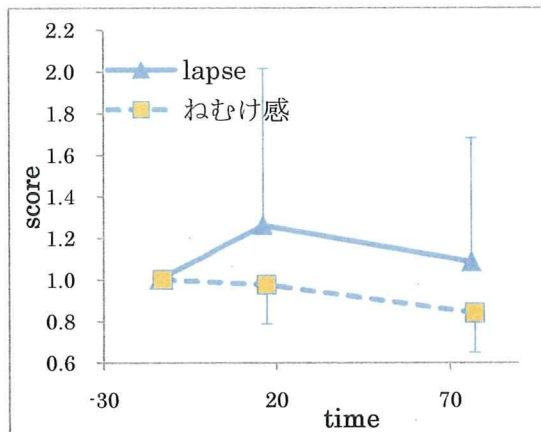


図14 lapseとねむけ感（歩行条件水1）

図15に歩行条件水2のねむけ感とlapseを示す。-13分時から17分にかけてはねむけ感と同様にlapseも上がるが、17分時から77分にかけてはねむけ感はあるが、逆にlapseは上がった。-13分時と77分時を比べると、ねむけ感はあるが逆にlapseは上がった。運動前後である17分時と77分時を比較してもねむけ感とlapseは逆に影響しているようにみえた。

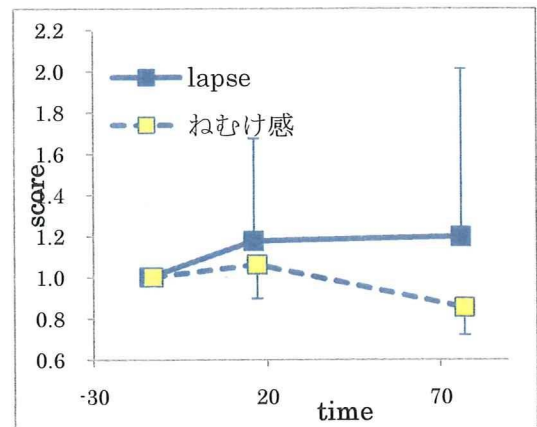


図15 lapseとねむけ感（歩行条件水2）

以上まとめると、水分摂取量が多くなるにつれて、ねむけ感はある傾向にあった。また、水0・水1条件では17分時から77分にかけてはねむけ感はある傾向にあり、error数も減る傾向にあった。しかし、水2条件では17分時から77分にかけてはねむけ感はある傾向にあるのに対しerror数が増える傾向にあった。また、水1・水2条件ではねむけ感もlapseもどちらも下がる傾向にあるが、水0条件ではねむけ感はある傾向にあるのに対し、lapseは上がる傾向にあった。これらからerror数・lapseはねむけ感に影響を受けるが、それだけではないことが示唆された。

(3) 直腸温とPVT

図16に歩行条件時の直腸温変化を示す。直腸温は測定結果の中からPVT測定時と同時間の-13分時、17分時、77分時の結果のみを使用している。グラフはPVT成績のグラフと同じように準備室A室での成績である-13分時の成績を基準とした比で示している。

B室入室後の17分時まではどの水分摂取条件でも直腸温は下がるが、そこから後では摂取水分量が少ないほど上昇度が大きかった。

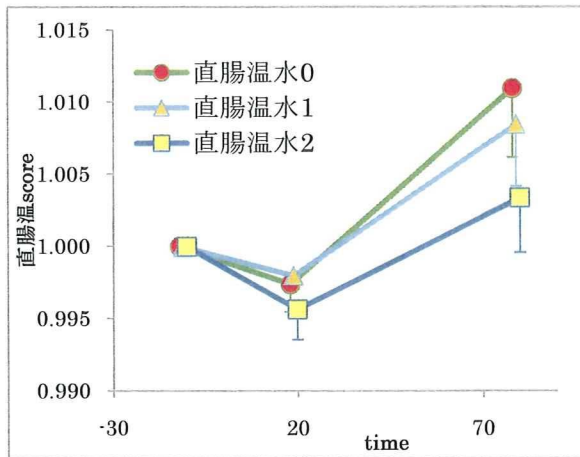


図16 直腸温 (歩行条件)

図17に歩行条件水0の直腸温とRRT成績を示す。-13分時から17分にかけては、直腸温は下がっているのに対し、RRT成績は上がった。しかし、運動前後である17分時から77分にかけては、直腸温が上がっているのと同様にRRT成績も上がった。

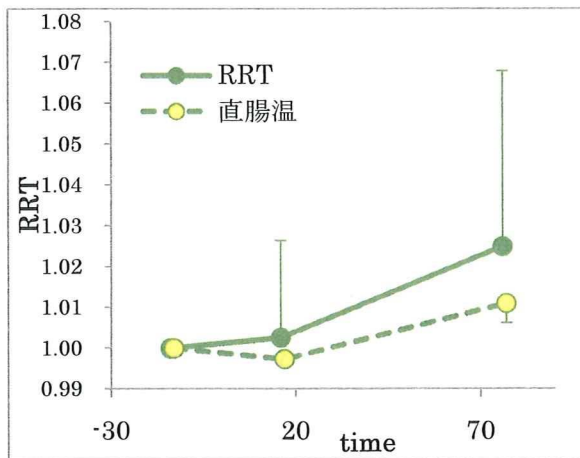


図17 RRTと直腸温 (歩行条件水0)

図18に歩行条件水1の直腸温とRRT成績を示す。-13分時から17分にかけて直腸温は下がっているのに対し、RRT成績は逆に上がった。17分時から77分にかけては、直腸温は上がっているのに対し、RRT成績は逆に下がった。

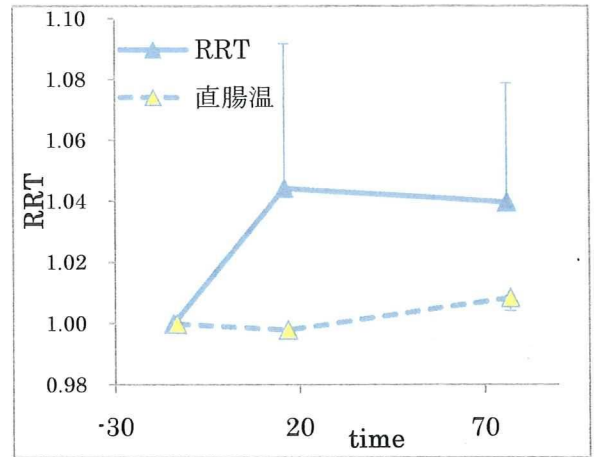


図18 RRTと直腸温 (歩行条件水1)

図19に歩行条件水2の直腸温とRRT成績を示す。-13分時から17分にかけて直腸温は下がっており、RRT成績も同様に下がった。17分時から77分にかけては、直腸温は上がりRRT成績も同様に上がった。

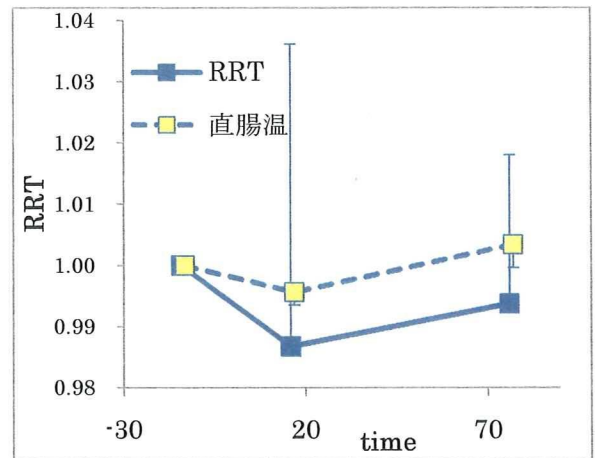


図19 RRTと直腸温 (歩行条件水2)

図20に縦軸にRRT成績、横軸に直腸温をとってRRT成績と直腸温の相関図を示す。-13分時、17分時、77分時とどの時間を見ても、37℃前後で成績が良くなった。逆に、37℃前後より下がりすぎても上がりすぎてもRRT成績が悪くなる傾向にあることが分かった。

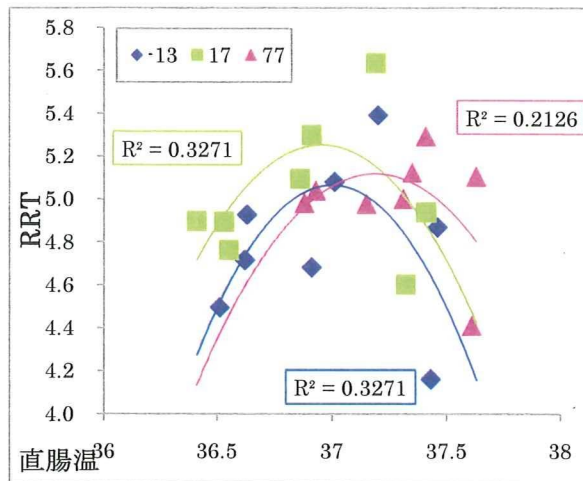


図20 RRT-直腸温（歩行条件）

以上まとめると、直腸温は時間経過とともに上がるが、摂取水分量が多い条件ほど上昇度合いは少なくなることが分かった。RRT成績との比較を見てみると、水0・水2条件で運動前後である17分時から77分にかけて直腸温が上がるとRRT成績も良くなる傾向にあることが分かった。しかし、水1条件では直腸温は上がっているがPVT成績は悪くなる傾向にあった。RRTと直腸温の相関から直腸温37℃前後でのRRT成績は良い傾向にあるがそれより高すぎても低すぎてもRRT成績が悪くなる傾向にあることが分かった。

4. まとめ

暑熱環境における飲水の有無が人体生理・心理反応に及ぼす影響を明らかにすることを目的に、気温35℃相対湿度50%の人工気候室内に男性被験者8名を曝露する実験を行った。

その結果、今回の実験条件下ではISO7933より算出した水1条件、ACGIH基準の水2条件ともに水0条件よりPVT成績に良い影響を与えていると考えられた。

しかし、運動条件によりそれぞれの飲水条件がPVT成績におよぼす効果は異なり、座位条件ではちょうど良いと思われるACGIH基準だったが、歩行条件においてはACGIH基準では多すぎ

ると考えられた。また、その影響はPVT成績と直腸温、ねむけ感においてもそれぞれ異なり、どちらの摂取量がより良いということは言い切れないと考えられた。

III. 研究成果の刊行に関する一覧表

報告書

発表者氏名	報告書名	巻号	出版地	出版年	ページ
澤田晋一 上野 哲 東郷史治 榎本ヒカル	暑熱作業時の必要水分補給量に関する研究 厚生労働省科学研究費補助金 労働安全衛生総合研究事業 総括・分担研究報告書	平成20年度	川崎	2009年	1-22
澤田晋一 上野 哲 東郷史治 榎本ヒカル 安田彰典	暑熱作業時の必要水分補給量に関する研究 厚生労働省科学研究費補助金 労働安全衛生総合研究事業 総括・分担研究報告書 (本冊子)	平成21年度	川崎	2010年	1-146
澤田晋一 上野 哲 榎本ヒカル 東郷史治 安田彰典 岡 龍雄 呂 健	熱中予防対策の最新動向ー暑熱作業時の必要水分補給量に関する研究ー 平成21年度労働安全衛生総合研究講演会 配付資料集 主催 中央労働災害防止協会	平成21年度	東京	2010年	71-133

書籍

著者氏名	論文タイトル名	書籍全体の編集者名	書籍名	出版社名	出版地	出版年	ページ
Satoru Ueno, Shin-ichi Sawada, Thomas E. Bernard	Modification to predicted heat strain (PHS) (ISO7933).	John W. Castellani, Thomas L. Endrusick	Proceedings of the 13th International Conference on Environmental Ergonomics, 2009, Boston, USA CD-ROM	Environmental Ergonomics XII	Boston	2009	1-5
Satoru Ueno, Ronald Long, Skai W. Schwartz, Candi D. Ashley, Shin-ichi Sawada, Thomas E. Bernard	UTILITY OF PREDICTED HEAT STRAIN TO LIMIT SHORT-TERM HEAT STRESS EXPOSURES	John W. Castellani, Thomas L. Endrusick	Proceedings of the 13th International Conference on Environmental Ergonomics, 2009, Boston, USA CD-ROM	Environmental Ergonomics XII	Boston	2009	6-10
澤田晋一	温熱環境の人間工学ー暑熱負担予測指標の計算による暑熱ストレスの解析	日本人間工学会ISO/TC159 (人間工学) 国内対策委員会編	人間工学ISO/JIS 規格便覧2009	日本人間工学会	東京	2009	55-56

澤田晋一	作業温熱条件	日本作業環境測定協会	労働衛生工学とリスク管理	日本作業環境測定協会	東京	2009	54-77
澤田晋一 榎本ヒカル	体温調節と温熱条件	紀田文樹編	新版建築物の環境衛生管理, 上巻	(財)ビル管理教育センター	東京	2009	263-269
澤田晋一	職業性暑熱障害と暑熱許容基準	澤田晋一ほか編	からだと温度の事典	朝倉書店	東京	2010	424-426
澤田晋一	作業温熱条件の労働衛生管理対策	澤田晋一ほか編	からだと温度の事典	朝倉書店	東京	2010	446-448
澤田晋一	作業温熱ストレスの評価	澤田晋一ほか編	からだと温度の事典	朝倉書店	東京	2010	455-458
澤田晋一	作業温熱ストレスの評価	澤田晋一ほか編	からだと温度の事典	朝倉書店	東京	2010	459-461
澤田晋一	屋外作業温熱条件	澤田晋一ほか編	からだと温度の事典	朝倉書店	東京	2010	465-468

雑誌

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
Togo, F.and M. Takahashi.	Heart rate variability in occupational health – a systematic	Industrial Health	47	589-602	2009
澤田晋一	わが国の職業性熱中症の発生状況と予防対策の最新動向	医学のあゆみ	230(12)	1080-1082	2009
澤田晋一	職場における熱中症予防対策の基礎と実践	労働基準広報	6	24-30	2009
上野 哲 澤田晋一	ISO7933を用いた夏季気象データに基づく暑熱負担予測	日本生気象学会雑誌	46(3)	S46	2009
上野 哲、岡 龍雄、榎本ヒカル、榎原 洋子、澤田晋一、久永 直見	真夏の建設業労働者の環境・生理学的測定値を用いたISO7933による暑熱ストレス予測	産業衛生学雑誌	51巻臨時増刊号	340	2009
榎本ヒカル、澤田晋一、上野哲、岡龍雄	屋外暑熱環境における保冷剤入りベスト着用効果について	産業衛生学雑誌	51巻臨時増刊号	255	2009
上野 哲、岡 龍雄、榎本ヒカル、榎原 洋子、澤田晋一、久永 直見	真夏の建設業労働者の環境・生理学的測定値を用いたISO7933 による暑熱ストレス予測	産業衛生学雑誌	51巻臨時増刊号	340	2009
榎本ヒカル、澤田晋一、東郷史治、安田彰典、岡龍雄、呂健、上野哲	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	14特別号(1)	126-127	2009
榎本ヒカル、澤田晋一、上野哲、岡龍雄、安田彰典	建設作業現場向け保冷剤入りベストの着用効果について	第33回人間-生活環境系シンポジウム報告集		145-146	2009

藤井隆介, 榎本ヒカル, 安田彰典, 岡 龍雄, 上野 哲, 澤田晋一, 池田耕一	暑熱環境下での水分補給の違いが人体反応に及ぼす影響—その1 生理的反応について—	日本生理人類学会第3回研究奨励発表会梗概集			4	2009
桂 正志, 榎本ヒカル, 安田彰典, 岡 龍雄, 上野 哲, 澤田晋一, 池田耕一	暑熱環境下での水分補給の違いが人体反応に及ぼす影響—その2 心理的反応について—	日本生理人類学会第3回研究奨励発表会梗概集			5	2009
中里暢尋, 安田彰典, 榎本ヒカル, 岡 龍雄, 上野 哲, 澤田晋一, 池田耕一	暑熱環境下での水分補給の違いが視覚反応時間に及ぼす影響	日本生理人類学会第3回研究奨励発表会梗概集			11	2009
高橋志生, 榎本ヒカル, 安田彰典, 岡 龍雄, 東郷史治, 上野 哲, 澤田晋一, 佐々木司, 小松泰	高温環境下での歩行時の水分補給が体液性状および循環機能に及ぼす影響	日本生理人類学会第3回研究奨励発表会梗概集			12	2009
澤田晋一	産業看護に求められる工学的視点 温熱環境の改善と対策	産業看護	2(1)		64-70	2010
澤田晋一	熱中症を防ぐ工夫は? 特集—Q & A 肥満	肥満と糖尿病	9(2)		255-227.	2010
澤田晋一	建設現場の事例に学ぶ暑熱リスクと熱中症予防対策	建設労務安全	22(5)		2-11	2010
澤田晋一, 岡龍雄, 安田彰典, 榎本ヒカル, 上野哲, 東郷史治, 小林廉毅	種々の暑熱ストレス条件下での生理的暑熱ストレインと自発的水分補給量の検討	産業衛生学雑誌	52巻臨時増刊号		474	2010
上野哲, 澤田晋一, 岡龍雄, 山口さち子, 大谷勝己, 榎原洋子, 久永直見	夏季の建物耐震工事従事者の脱水状態に関する調査	産業衛生学雑誌	52巻臨時増刊号		475	2010
山口さち子, 上野哲, 澤田晋一, 岡龍雄, 大谷勝己, 榎原洋子, 久永直見	夏季の耐震補強工事作業者の労働と健康に関する聞き取り調査	産業衛生学雑誌	52巻臨時増刊号		520	2010
榎本ヒカル, 澤田晋一, 安田彰典, 岡龍雄, 東郷史治, 上野哲, 池田耕一	PHSモデルによる水分補給が暑熱環境における人体に及ぼす影響	日本生理人類学会誌	15特別号(1)		92-93	2010
榎本ヒカル, 澤田晋一, 安田彰典, 岡龍雄, 東郷史治, 上野哲	暑熱作業環境下での水分補給が人体生理反応に及ぼす影響について	産業衛生学雑誌	52臨時増刊号		474	2010
澤田晋一, 岡龍雄, 安田彰典, 榎本ヒカル, 上野哲, 東郷史治, 小林廉毅	種々の暑熱ストレス条件下での生理的暑熱ストレインと自発的水分補給量の検討	産業衛生学雑誌	52臨時増刊号		474	2010
安田彰典, 澤田晋一, 榎本ヒカル, 岡龍雄, 東郷史治, 上野哲	暑熱作業環境下での水分補給が視覚反応時間(PVT)に及ぼす影響について	産業衛生学雑誌	52臨時増刊号		523	2010
岡龍雄, 榎本ヒカル, 澤田晋一, 安田彰典, 東郷史治, 上野哲	暑熱作業環境下での水分補給が人体心理反応に及ぼす影響について	産業衛生学雑誌	52臨時増刊号		523	2010

IV. 研究成果の刊行物・別刷

MODIFICATIONS TO PREDICTED HEAT STRAIN (PHS) (ISO7933)

Satoru Ueno¹, Shin-ichi Sawada¹, Thomas E. Bernard²

¹Japan National Institute of Occupational Safety and Health, Kiyose, Tokyo, Japan

²University of South Florida, Tampa FL, USA

Contact person: uenos@h.jniosh.go.jp

INTRODUCTION

The Predicted Heat Strain (PHS) is a rational model for heat stress exposure assessment. It was proposed by Malchaire et al. (2001) and was adopted by the International Organization for Standardization (ISO) as ISO7933 in 2004. The key predictions of the PHS are rectal temperature (T_{re}) and sweat rate. These predictions were validated for laboratory and field trials as part of the BIOMED II project (Malchaire et al 2002). A time limit for an exposure is provided based on T_{re} reaching 38 °C or a cumulative sweat loss limit that is based on acclimation state and percent of population.

Important factors in the determination of the time limit include environmental conditions, metabolic demands, and clothing. Since the publication of PHS and ISO7933, the ISO has published a standard for clothing that includes adjustments for insulation and evaporative resistance based on wind speed, walking speed, and walking direction (ISO9920-2007). These adjustments differ from those used in ISO7933. One purpose of the effort reported in this paper was to include the clothing adjustments (called resultant insulation and evaporative resistance in ISO9920) in the PHS model.

A further change in the model was added to better account for recovery. Specifically, there were conditions under which T_{re} would not return to an appropriate baseline. That is, it would remain elevated above the metabolically-driven equilibrium temperature when the environment would allow it to return to the expected baseline. In addition, there were some circumstances in which the T_{re} would find a level below the metabolic equilibrium temperature.

This paper describes two major and one minor modifications to the PHS model and discusses some of the implications of the changes.

METHODS

The first step was to change the PHS methods for estimating the dynamic insulation and evaporative resistance, called resultant values in ISO9920. The methods differed in the way a correction factor was computed to adjust the static value to a dynamic (resultant) value. In ISO7933, the correction factor for evaporative resistance (CF_{re}) was calculated by using the correction factor for total insulation (CF_i) divided by the correction factor for clothing permeability index. In ISO9920, the CF_{re} is based on either the CF_i or a function of wind and walking speeds. For this paper, the CF_{re} was based on CF_i .