

労災疾病臨床研究事業費補助金

熱中症予防等に資する一般定期健康診断を通じた効果的な
健康管理に関する研究

(14020201-01)

平成28年度 総括研究報告書

研究代表者 堀江 正知

平成 29(2017)年 3 月

目 次

I. 総括研究報告

1. 定期健康診断結果に基づく熱中症リスクに関する症例対照研究
権守直紀、田中友一朗、田中貴浩、川波祥子、堀江正知
----- 1
2. 暑熱作業現場における労働者の脱水及び体温上昇リスクの個人差に関する研究
田中友一朗、権守直紀、井上仁郎、川波祥子、堀江正知
----- 16
3. 発汗サーマルマネキンを用いた耐糖能異常者の核心温上昇モデルの構築に関する研究
田中友一朗、権守直紀、井上仁郎、川波祥子、堀江正知
----- 25
4. 汗のNa⁺、K⁺濃度と発汗速度に関する研究
権守直紀、田中友一朗、井上仁郎、川波祥子、堀江正知
----- 33
5. 熱中症対策製品の装着が暑熱環境における運動中の核心温及び脈拍の上昇を抑制する効果に関する研究
田中貴浩、田渕翔大、井上仁郎、川波祥子、堀江正知
----- 39
6. 定期健康診断結果に基づく個人差を考慮した熱中症予防ガイドラインの作成

堀江正知、川波祥子、権守直紀、田中友一朗、田中貴浩、田渕翔大、井上仁郎
----- 61

II. 研究成果の刊行に関する一覧表	-----	96
III. 研究成果の刊行物・別刷	-----	97

定期健康診断結果に基づく熱中症リスクに関する症例対照研究

研究代表者 堀江正知

産業医科大学 産業生態科学研究所 産業保健管理学

研究協力者 權守直紀、田中友一朗、田中貴浩、川波祥子

産業医科大学 産業生態科学研究所 産業保健管理学

研究要旨

熱中症を発症しやすい健康面の特徴を明らかにすることを目的に、製造業、建設業、交通警備業、消防局の就業者を対象に、熱中症の症例対照研究を行った。熱中症の発生率は0.065% (114/176,094人)であった。症例と同じ職場で就業する同性で最も年齢の近い労働者を対照とし、双方の定期健康診断結果を把握できた102組204人を比較した結果、耐糖能異常、筋量の少なさ、精神疾患の既往が熱中症のリスクと考えられた。

A. 研究目的

熱中症は、毎年約20人の死亡災害を認めており、その防止は第12次労働災害防止計画で重点施策とされている。そこで、本研究は熱中症を発生させるリスクとなる労働者の健康状態の特徴を明らかにすることを目的とした。

B. 研究方法

まず、平成27と28年にかけて産業医科大学医学部卒業生のうち主に産業医が登録しているメーリングリスト（産業医約500人を含む）に呼びかけ、暑熱な環境で作業に従事する労働者のいる事業場のうち研究への協力が得られた26事業場を対象とした。産業医が熱中症を発症したと診断した労働者を「症例」とし、症例と同一の職場で就業する同性で最も年齢の近い労働者を「対照」とした。症例及び対照のうち同意が得られた者について、

直近の健康診断結果を収集した。また、熱中症を発症した日時、作業の経験年数、暑熱な作業への従事日数に関する情報を収集するとともに、発症時の症状、熱中症に関する知識、生活習慣を尋ねる調査票（別紙1、別紙2）への記入を求めて、その結果を収集した。これらの情報の収集に際して、産業医側では個人が識別可能な対応表を残し、研究者側では個人を特定できないように符号を付して匿名化した。

また、平成28年には、産業医とは別に、熱中症の症例が多い建設業、交通警備業、消防局にも調査を依頼した。建設業は福岡建設労務安全研究会に、交通警備業は全国警備業協会に、消防局は北九州市に協力を依頼した。これらの事業場に調査票（別紙3）を配布し、熱中症を疑った症例とその対照の健康診断結果を収集した。

直近の健康診断結果に基づいて、肥満：BMI $\geq$ 25、高血圧：収縮期 $\geq$ 140 mmHg

又は拡張期 ≥ 90 mmHg、脂質異常：LDL ≥ 140 mg/dL、HDL < 40 mg/dL 又は中性脂肪 ≥ 150 mg/dL、耐糖能異常：HbA1c $\geq 6.5\%$ 、随時血糖 ≥ 200 mg/dL 又は空腹時血糖 ≥ 126 mg/dL を判定した。

症例と対照の比較は Cochran-Mantel-Haenszel 検定又は条件付きロジスティック回帰分析により行った。統計ソフトは JMP® Pro 13 を使用した。また、本研究は事前に産業医科大学倫理委員会の承認を得て実施した。

C. 研究結果

研究への協力が得られた専属産業医のいる 26 事業場は製造業の事業場であった。これらの事業場において平成 27・28 年度の健康管理の対象であった労働者の延人数 107,003 人のうち熱中症の発生は 83 人（発生率 0.078%）で、健康診断結果を取得できたのは 76 人であった。建設業は 18 社中 12 社から回答があり 53,384 人のうち発生は 16 人（同 0.030%）で、健康診断結果の取得は 23 人であった。交通警備業は 4,672 事業所中 114 事業所から回答があり 14,734 人のうち発生は 14 人（同 0.095%）で、健康診断結果の取得は 15 人（発生率の計算に含まれない事例あり）であった。消防局は 973 人のうち発生は 1 人（同 0.103%）で健康診断結果も取得した。全体での発生率は 0.065%（114/176,094人）で、115 人の健康診断結果を取得した。

症例の平均年齢は 36.6 ± 14.8 歳で（図 1）、男性 100 人、女性 15 人であった。

平成 28 年度の発症日は 8 月 1～10 日、時間帯は午後 2～3 時にピークを認めた

（図 2、3）。症例は、日勤者が多く（図 4）、作業経験年数は 0～5 年と短い者が多かった（図 5）。また、暑熱な作業に従事後 5 日以内に発症した者が多かった（図 6）。

次に、症例と同一の職場で就業する同性で年齢が一番近い対照の抽出が可能で両者の健康診断結果を取得できたのは 102 組（製造業 64 組、建設業 23 組、交通警備業 14 組、消防局 1 組）であった。

既往歴について症例と対照で比較すると精神疾患の既往があったのは症例のみであった（表 1）。内服薬の服用者数は有意差を認めなかったが、症例のほうが多い傾向を認めた（表 2）。また、健康診断結果について比較すると、症例は有意に HbA1c が高く Cr が低かった。ただし、腎機能や糖代謝に関連する BUN、eGFR、血糖には有意差を認めなかった（表 3、図 7～11）。健康診断結果に基づき判定した所見のうち耐糖能異常で有意差（OR: 6.00, 95%CI: 1.64-38.55）を認めた（表 4）。

発症時の症状では、倦怠感・虚脱感が最も多かった（図 12）。また、熱中症に関する生活習慣の調査結果については、「普段から水分だけでなく塩分も補給していますか？」の質問で「はい」を選んだ人が症例で有意に少なく（ $p=0.02$ ）、「普段から喉が乾く前に水分をとっていますか？」と「規則正しく食事をしていますか？」の質問で「はい」を選んだ人が症例で少ない傾向を示した（ $p=0.07$ ）（表 5）。

D. 考察

熱中症を発症した労働者の年代が 20～25 歳で最も多かった理由は、若年者ほど暑熱な労働現場で働く機会が多く、また

仕事にも慣れておらず順化できてないために発症したものと考えた。逆に、年代が上がるにつれ適応できない者が退職するなどして選択バイアスが生じている可能性があると考えた。また、55～65歳で再び増加しているのは、加齢による暑熱に順化する生理機能が低下していた可能性があると考えた。また、熱中症の発症日とその日の気温を比較すると、平均気温が上昇すると症例数も増える傾向や暑い日が続くと症例数が減少する傾向があることが知られており、これらは暑熱への順化による影響と考えられるが、本調査でも暑熱な作業を開始後 0～5 日に症例数が多く、暑熱への順化が不十分であった可能性があると考えた。

健康診断結果から耐糖能異常は熱中症のリスクを高めることが明らかになった。血糖で有意差が得られなかった理由は、本研究では症例と対象で空腹条件や食後時間を統一できなかったためと考えた。また、症例で Cr が有意に低かった理由としては、BUN や性・年齢を考慮した eGFR に有意差を認めなかったことから腎機能の差ではなく症例で筋量が少なかったことが影響していると考えた。筋は血液を貯蔵し循環させる機能があることから、筋が少ないと循環機能の予備能が低く、発汗による体温調節能が低く脱水も生じやすかった可能性があると考えた。症例では有意差はなかったものの BMI や腹囲が高値で肥満の傾向を認めたことも症例は筋量が少ないという所見と合致する。

健康診断結果に記載された既往歴のうち、精神疾患の既往は症例のみ認めたが、その内服歴では有意差を認めず、この理

由は不明である。糖尿病の既往を有していたのは 4 人で有意差を認めなかったが、耐糖能異常の 12 人のうち病院を受診しておらず未診断の糖尿病を有する症例が含まれていた可能性があると考えた。

生活習慣を比較した結果、症例では作業前からの水分摂取、意識的な塩分摂取と規則正しい食事が有意に少なかったことから、暑熱作業では予防的な水分と塩分の摂取を勧奨することが重要と考えた。

本研究では、健康状態を直近の定期健康診断結果だけから推定している。また、建設業、交通警備業、消防局の症例は医師の診断に基づいていないが、業種による差は認めなかった。

E. 結論

熱中症症例の健康診断結果から個人の健康状態が熱中症のリスクとなることが初めて明らかとなった。熱中症になりやすい者には、耐糖能異常があり、筋量が少なく、精神疾患の既往がある者が多いことが示唆された。また、夏期の食習慣として事前の水分摂取と意識的な塩分摂取も不足している可能性も示唆された。

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

堀江正知他：職場における熱中症発症者の症例対照研究. 第 90 回日本産業衛生学会、東京、2017 年 5 月（予定）

H. 知的財産権の出願・登録情報

なし

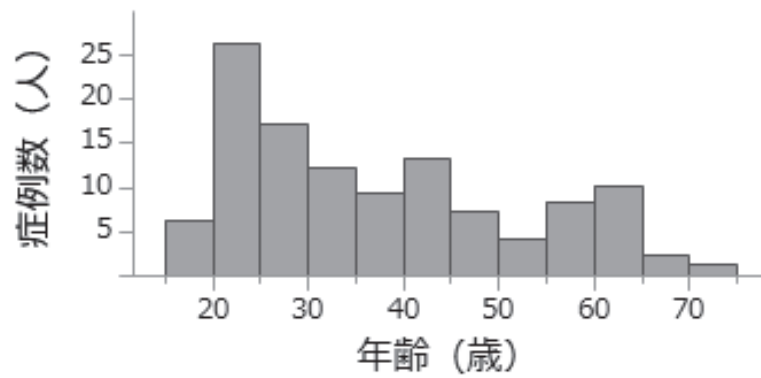


図 1 症例の年齢 (n=115)

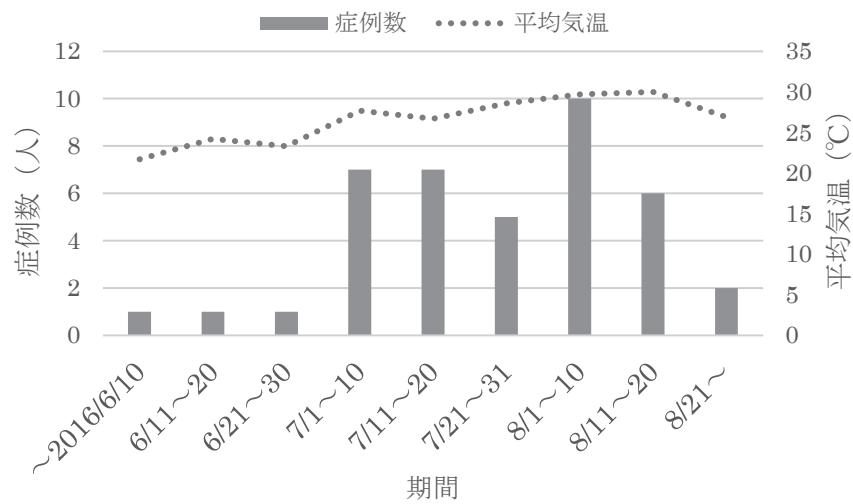


図 2 期間別症例数と平均気温 (n=40)

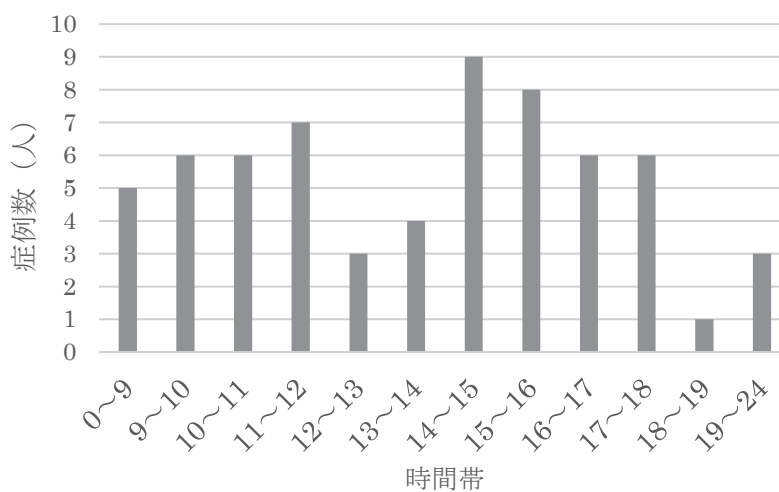


図 3 時間帯別症例数 (n=64)

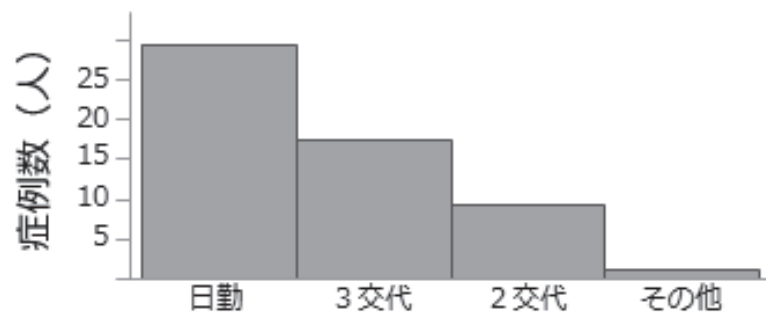


図 4 症例の勤務形態 (n=59)

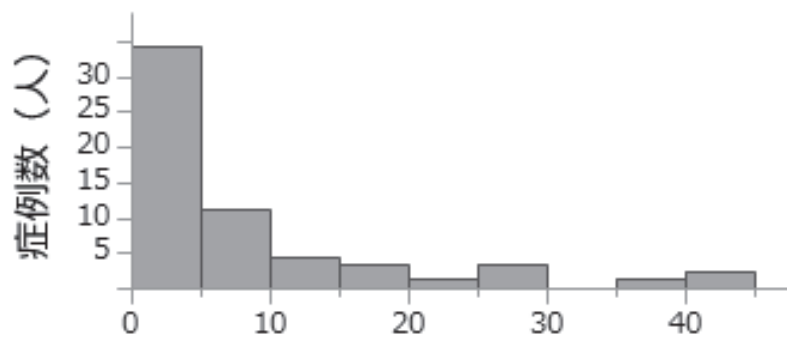


図 5 症例の作業経験年数 (n=59)

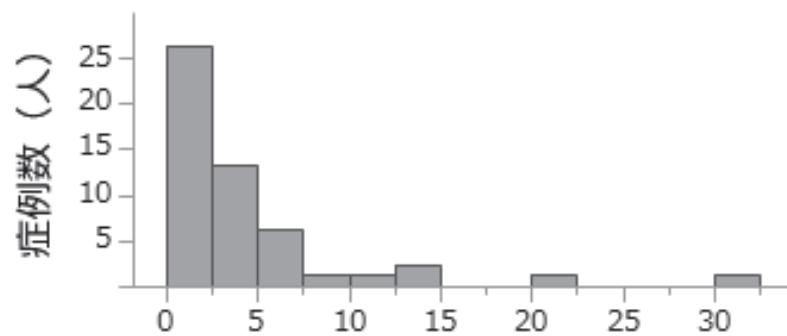


図 6 症例の暑熱作業開始から熱中症発生までの経過日数 (n=51)

表 1 症例と対照が有する既往歴 (n=204)

	症例(人)		対照(人)		p 値
	あり	なし	あり	なし	
高血圧	11	91	7	95	0.10
心疾患	4	98	1	101	0.18
糖尿病	4	98	2	100	0.32
脳血管疾患	0	102	0	102	1
神経疾患	1	101	0	102	0.32
精神疾患	5	97	0	102	<u>0.03</u>
腎疾患	1	101	1	101	1
呼吸器疾患	3	99	0	102	0.08

(Cochran-Mantel-Haenszel 検定)

表 2 症例と対照の内服薬 (n=204)

	症例(人)		対照(人)	
	あり	なし	あり	なし
降圧薬	10	92	6	96
利尿薬	0	102	0	102
糖尿病薬	3	99	2	100
抗精神薬	0	102	0	102
抗てんかん薬	0	102	0	102
パーキンソン病薬	0	102	1	101
片頭痛治療薬	0	102	0	102
抗コリン薬	0	102	0	102

(全ての項目で Cochran-Mantel-Haenszel 検定による有意差無)

表 3 症例と対照の直近の健康診断結果 (n=204)

	症例			対照			OR	下側95%CI	上側95%CI	p値
	平均値	SD	n	平均値	SD	n				
身長(cm)	167.9	6.5	102	168.3	6.7	102	0.99	0.94	1.04	0.6
体重(Kg)	67.5	13.3	102	64.5	11.0	102	1.02	0.99	1.05	0.07
BMI(Kg/m ²)	23.8	4.1	102	22.7	3.6	102	1.07	0.99	1.16	0.05
腹囲(cm)	82.4	11.0	80	79.0	9.6	83	1.03	0.99	1.06	0.1
収縮期血圧(mmHg)	123	16	102	122	16	102	1.01	0.98	1.03	0.59
拡張期血圧(mmHg)	73	12	102	71	13	102	1.02	0.99	1.05	0.22
Hb(g/dL)	14.8	1.5	91	14.9	1.2	80	1.02	0.8	1.31	0.86
AST(GOT) (IU/L)	25	10	91	23	13	93	1.02	0.99	1.05	0.17
ALT(GPT) (IU/L)	26	18	91	23	13	93	1.02	0.99	1.04	0.08
γ-GTP (IU/L)	41	36	91	37	41	93	1.00	0.99	1.01	0.36
中性脂肪 (mg/dL)	148	176	91	121	144	93	1.00	0.99	1	0.22
HDL-C (mg/dL)	60	15	90	61	18	92	0.99	0.97	1.01	0.62
LDL-C (mg/dL)	109	34	90	116	32	92	0.99	0.98	1	0.14
BUN (mg/dL)	13.5	3.5	33	13.9	2.4	31	0.85	0.65	1.09	0.2
Cr (mg/dL)	0.81	0.13	47	0.86	0.15	44	0.01	0	0.78	<u>0.04</u>
eGFR(ml/min/1.73m ²)	88.8	14.6	47	83.9	16.8	44	1.03	0.99	1.08	0.1
BS (mg/dL)	100	30	84	94	16	86	1.01	0.99	1.03	0.1
HbA1c(NGSP)(%)	5.6	0.8	53	5.4	0.3	52	3.66	1.32	15.39	<u>0.01</u>

(条件付きロジスティック回帰分析)

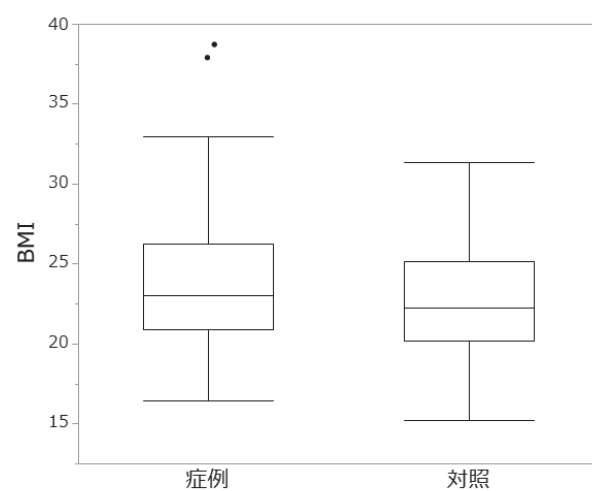


図 7 症例と対照の BMI

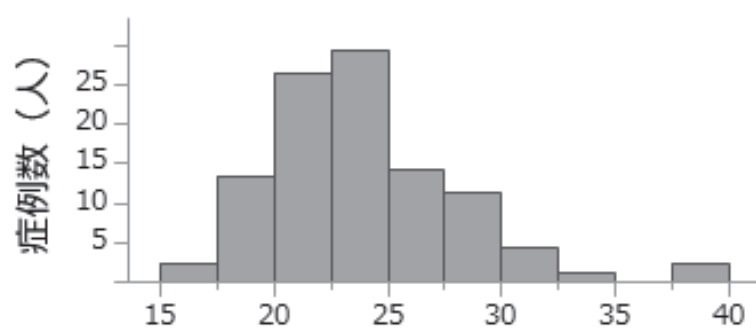


図 8 症例の BMI

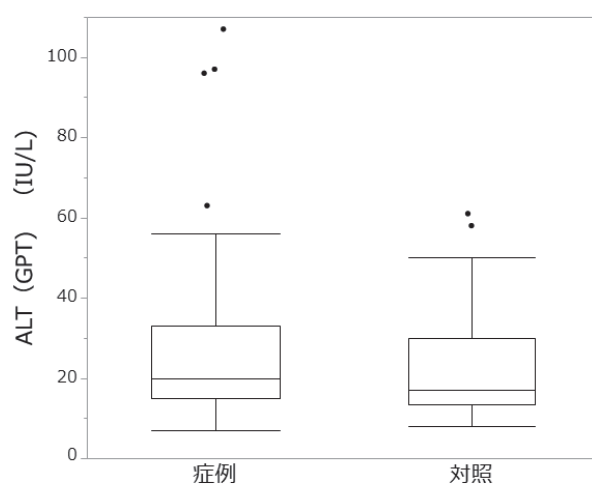


図 9 症例と対照の ALT (GPT)

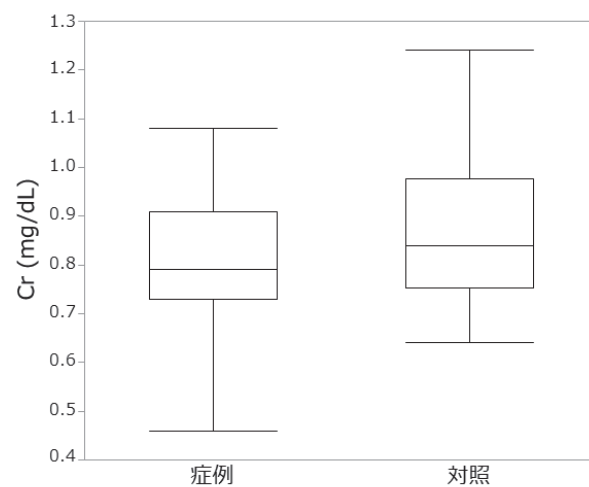


図 10 症例と対照のクレアチニン

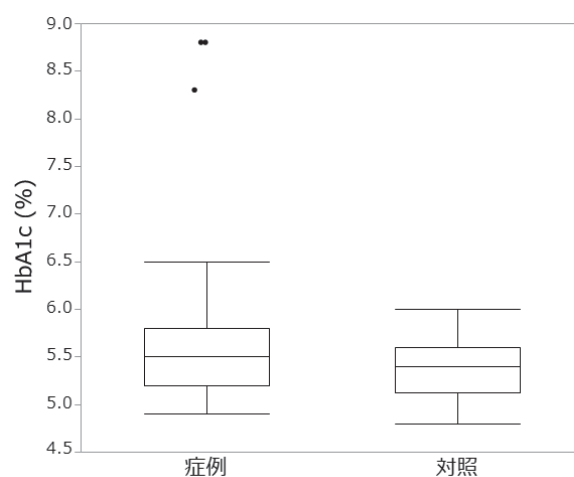


図 11 症例と対照の HbA1c

表 4、健康診断結果から判定したリスク要因

	症例(人)		対照(人)		OR	下側95%CI	上側95%CI	p値	調整OR*	下側95%CI	上側95%CI	p値
	あり	なし	あり	なし								
耐糖能異常	12	78	2	89	6.00	1.64	38.55	<u>≤0.01</u>	5.58	1.47	36.53	<u>≤0.01</u>
肥満	32	70	26	76	1.29	0.73	2.3	0.39	1.07	0.56	2.05	0.83
脂質異常	38	53	34	59	1.25	0.65	2.45	0.5	1.02	0.49	2.16	0.95
高血圧	20	82	18	80	1.20	0.52	2.84	0.67	1.03	0.41	2.62	0.94

*年齢、性別、耐糖能異常、肥満、脂質異常、高血圧で調整した。
(条件付き多重ロジスティック回帰分析)

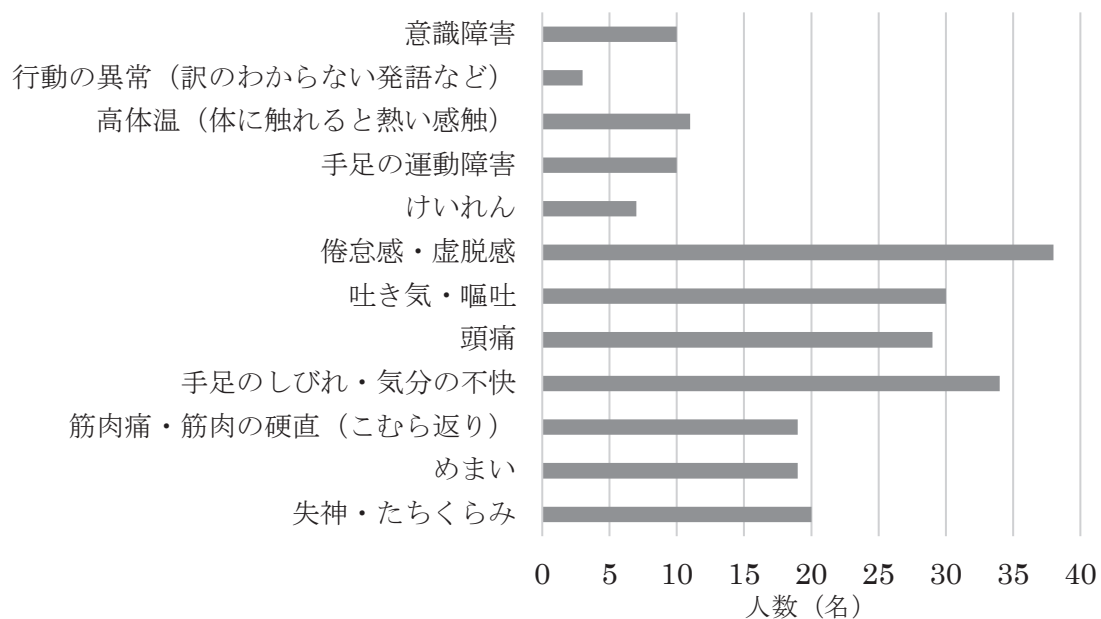


図 12 症例が熱中症を発症した時の症状（複数回答）（n=61）

表 5 症例と対照の熱中症に関するアンケート（n=74）

	症例(人)		対照(人)		p値
	はい	いいえ	はい	いいえ	
1、熱中症という言葉を知っていますか？	37	0	37	0	1
2、今年熱中症教育を受けましたか？	20	16	25	12	0.17
3、熱中症で死亡することがあることを知っていますか？	37	0	36	1	0.32
4、WBGT値を知っていますか？	13	24	14	23	0.65
5、喉が乾いていなくても水分を取るべきことを知っていますか？	37	0	35	2	0.16
6、水分だけでなく塩分も補給した方がいいことを知っていますか？	37	0	37	0	1
7、普段から喉が乾く前に水分をとっていますか？	23	14	30	7	0.07
8、普段から水分だけでなく塩分も補給していますか？	19	18	29	8	<u>0.02</u>
9、規則正しく食事をしていますか？	22	15	30	7	0.07
10、睡眠時間を確保していますか？	31	6	32	5	0.76
11、入浴後、就寝前、起床時に水分補給をしていますか？	27	10	32	5	0.2
12、アルコールを飲みすぎないようにしていますか？	31	5	34	3	0.48
13、アルコールを飲んだ後は十分に水分補給をしていますか？	21	15	28	9	0.2
14、適度な運動をしていますか？	15	22	21	16	0.2
15、朝食をとっていますか？	30	6	34	3	0.32
16、暑さになれることを意識して行動しましたか？	24	12	27	10	0.62
17、体調がよくないのに問題なしと申告したことがありますか？	13	24	12	25	0.82
18、体調がよくないのに無理して作業したことはありますか？	24	13	18	19	0.13

(Cochran-Mantel-Haenszel 検定)

☆症例者用☆

個人識別番号	
年齢	
性別	

発生日時		月		日		時		分
重症度								
気温								°C
相対湿度								%
WBGT								°C
作業内容								
勤務形態								
服装（保護具）								
作業経験年数								年
平均残業時間								時間/月

疾病の有無（無の場合は空欄でも構いません）

高血圧		(有・無)
心疾患		(有・無)
糖尿病		(有・無)
脳血管疾患		(有・無)
神経疾患		(有・無)
精神疾患		(有・無)
腎疾患		(有・無)
呼吸器疾患		(有・無)

内服の有無（無の場合は空欄でも構いません）

降圧薬		(有・無)
利尿薬		(有・無)
糖尿病薬		(有・無)
抗精神薬		(有・無)
抗てんかん薬		(有・無)
パーキンソン病薬		(有・無)
片頭痛治療薬		(有・無)
抗コリン薬		(有・無)

(インスリン含む)

健康診断の結果

身長		cm
体重		Kg
BMI		Kg/m ²
腹囲		cm
収縮期血圧		mmHg
拡張期血圧		mmHg
RBC		10 ⁶ /μ
Hb		g/dL
Hct		%
AST(GOT)		IU/L
ALT (GPT)		IU/L
γ-GTP		IU/L
中性脂肪		mg/dL
HDL-C		mg/dL
LDL-C		mg/dL
BUN		mg/dL
Cr		mg/dL
BS		mg/dL
HbA1c (NGSP)		%
尿蛋白		(-, ±, 1+, 2+, 3+, 4+)
尿糖		(-, ±, 1+, 2+, 3+, 5+)

(食後 時間)

体調不良時の状況（無の場合は空欄でも構いません）

失神・たちくらみ		（有・無）
めまい		（有・無）
筋肉痛・筋肉の硬直（こむら返り）		（有・無）
手足のしびれ・気分の不快		（有・無）
頭痛		（有・無）
吐き気・嘔吐		（有・無）
倦怠感・虚脱感		（有・無）
けいれん		（有・無）
手足の運動障害		（有・無）
高体温（体に触れると熱い感触）		（有・無）
行動の異常（訳のわからない発語など）		（有・無）
意識の状態		（正常・うとうと・刺激で開眼・開眼しない）

当日の状況（無の場合は空欄で構いません）

十分な水分と塩分補給		（有・無）
朝食の摂取		（有・無）
昼食の摂取		（有・無）
前日の飲酒		（有・無）
感冒		（有・無）
下痢		（有・無）
就業前の体調		（良好・不良）
起床時刻		時 分
暑熱作業開始後		日目

前日の状況（無の場合は空欄で構いません）

十分な水分と塩分補給		（有・無）
朝食の摂取		（有・無）
昼食の摂取		（有・無）
夕食の摂取		（有・無）
就業前の体調		（良好・不良）
就寝時刻		時 分
勤務時間		時間

その他

熱中症の既往		（有・無）
運動習慣		（ない・週1日・週2～3日・週4日以.）
飲酒頻度		（毎日飲む・週3日以上飲む・たまに・飲まない）
平均睡眠時間		時間
喫煙習慣		（吸う・以前吸っていた・吸わない）
喫煙本数		本/日 （0・11～20・21～30・31～）
		（はい・いいえ）

特記事項等（現病歴・既往歴・内服歴…）記入欄

熱中症についてのアンケート

個人識別番号： _____ (症例者 ・ 対照者)

以下の設問に対し、はい or いいえ、に○でお答えください。

1、熱中症という言葉を知っていますか？	(はい、いいえ)
2、今年熱中症教育を受けましたか？	(はい、いいえ)
3、熱中症で死亡することがあることを知っていますか？	(はい、いいえ)
4、WBGT 値を知っていますか？	(はい、いいえ)
5、喉が乾いていなくても水分を取るべきことを知っていますか？	(はい、いいえ)
6、水分だけでなく塩分も補給した方がいいことを知っていますか？	(はい、いいえ)
7、普段から喉が乾く前に水分を取っていますか？	(はい、いいえ)
8、普段から水分だけでなく塩分も補給していますか？	(はい、いいえ)
9、規則正しく食事をしていますか？	(はい、いいえ)
10、睡眠時間を確保していますか？	(はい、いいえ)
11、入浴後、就寝前、起床時に水分補給をしていますか？	(はい、いいえ)
12、アルコールを飲みすぎないようにしていますか？	(はい、いいえ)
13、アルコールを飲んだ後は十分に水分補給をしていますか？	(はい、いいえ)
14、適度な運動をしていますか？	(はい、いいえ)
15、朝食をとっていますか？	(はい、いいえ)
16、暑さになれることを意識して行動しましたか？	(はい、いいえ)
17、体調がよくないのに問題なしと申告したことがありますか？	(はい、いいえ)
18、体調がよくないのに無理して作業したことはありますか？	(はい、いいえ)

アンケートにご参加、ご回答いただき、ありがとうございました。

厚生労働省助成研究へのご協力をお願い

このたび、厚生労働省助成研究「熱中症発生の個人差に関する研究」として、「**健康診断結果**」から熱中症発症の個人差を分析する目的で本調査を行います。ご協力いただける場合は、今年の夏場に発生した

「**症例**」（熱中症を疑う労働者）と「**対照**」（同職場で年齢が近い労働者）の健康診断結果を FAX 等でお送りいただけますようお願い申し上げます。

～注意事項～

1) 「**症例**」（熱中症を疑う労働者）とは次のような人です。労災を申請していない事例、病院を受診していない事例、現場で回復した事例も含みます。

- ① 蒸し暑い環境で作業をしていた人
 - ② 熱中症を疑う症状（めまい、失神、たちくらみ、筋肉痛、筋肉のつり、こむら返り、手足のマヒ・しびれ、頭痛、はきけ、おうと、だるさ、けいれん、行動の異常、意識障害）が一つでもあった人
 - ③ かぜ、食中毒などほかの病気ではない人

2) 「**対照**」は、症例と同じ職場で、男女が同じで、年齢が近い人を、同じ人数選んでください。「**症例**」が 3 人であれば「**対照**」も 3 人を選んでください。

3) 「**健康診断結果**」は、年齢・性は残し、氏名等の個人情報は消して、空白に「**症例**」又は「**対照**」と必ずご記載ください。

※ ご不明な点がございましたら下記担当者までご連絡ください。



〒807-8555 北九州市八幡西区医生ヶ丘 1-1
産業医科大学 産業保健管理学 権守 直紀（ごんもり なおき）
電話 093-691-7407 Fax 093-601-6392
電子メール gommorinaoki@med.uoeh-u.ac.jp

平成28年度 熱中症発生状況 報告書

今年度の熱中症を疑う事例についてお答えください。

事業場の適用労働者数： _____ 人

「症例」（熱中症を疑う事例）の発生数： _____ 人

「症例」がない場合 →
(熱中症を疑う事例なし)

この報告書をFAXか電子メールでお送り下さい

報告書

「症例」がいる場合 →
(熱中症を疑う事例あり)

この報告書に「症例」及び「対照」の健康診断結果を添えてFAXか電子メールでお送りください

報告書

+

症例の
健康診断結果

+

対照の
健康診断結果

(上の図は症例が3名の場合です。)

「健康診断結果」は、年齢と性は残し、氏名等の個人情報は消して、空白に「症例」又は「対照」と必ずご記載ください。

ご協力いただきありがとうございます。

暑熱作業現場における労働者の脱水及び体温上昇リスクの個人差に関する研究

研究代表者 堀江正知

産業医科大学 産業生態科学研究所 産業保健管理学

研究協力者 田中友一朗、權守直紀、井上仁郎、川波祥子

産業医科大学 産業生態科学研究所 産業保健管理学

研究要旨

平成 27 年と平成 28 年の夏期に、製造業の 8 事業場において実際に暑熱な作業に従事している 70 人を対象に、核心温を推定可能な外耳道温と脈拍数を連続測定して、脈拍の変動に対する外耳道温の変動 ($\Delta BT/\Delta HR$) を求めるとともに体重や水分摂取量等から推定発汗量を求めた。熱中症を生じやすい個人要因として推定される高年齢、肥満、高血圧、耐糖能異常、喫煙習慣の有無を定期健康診断結果で確認して対象者を分類すると、肥満者は推定発汗量が有意に多く、それでも $\Delta BT/\Delta HR$ が有意に高値となった。また、耐糖能異常の者は、 $\Delta BT/\Delta HR$ が有意に高値となった。これらのことから、肥満は熱失神、熱疲労、熱射病のリスクとなり、耐糖能異常は熱射病のリスクとなることが示唆された。

A. 研究目的

暑熱な職場で実作業に従事する労働者の暑熱環境への耐性とその年代、体格、既往歴、健康リスクによって異なるかどうかについて、作業中の体温、脈拍数、体重等の生体指標の変化から検討することを目的とした。

B. 研究方法

本研究に協力する意思を示した産業医が担当する事業場において、加熱炉等の強い輻射熱の影響を受けない暑熱な作業に従事している労働者を対象とした。

対象者は、産業医に依頼して、20 歳代～60 歳代の労働者のうちから定期健康診断結果等に基づいて熱中症を生じやすい

個人要因を有する者を優先して抽出させ、研究への協力の同意が得られた者を対象者とした。氏名等の個人情報、産業医が個人を識別できる符号により匿名化した。

熱中症を生じやすい個人要因は、高年齢 (≥ 50 歳)、肥満 ($BMI \geq 25$)、高血圧 (収縮期血圧 ≥ 140 mmHg、拡張期血圧 ≥ 90 mmHg、高血圧治療中の申告のいずれか又は複数)、耐糖能異常 (空腹時血糖 ≥ 126 mg/dl、糖尿病治療中の申告、 $HbA1c \geq 5.6\%$ のいずれか又は複数)、喫煙 (喫煙中の申告) とした。

平成 27 年及び平成 28 年の 6 月から 9 月の原則として連続する 3 日間にわたり、対象者が通常の作業に従事していた 3 時間、生体指標の測定と記録を行った。

まず、実際の暑熱な作業に従事中に核心温を推定可能な外耳道温計（ミドリ電子）と脈拍計（SF-810B、エプソン）を装着させて、外耳道温と脈拍数を連続測定した。各測定値の変動量（作業中に測定された値のうち 75 パーセンタイル値と 25 パーセンタイル値との差）を求めて、体温の上がりやすさを示す指標として心拍数の変動量（ ΔHR ）に対する外耳道温の変動量（ ΔBT ）を取った $\Delta BT/\Delta HR$ という指標を作成して解析した。

また、作業前後に、体重を測定したほか、体組成計（BoCAx2、クラブクリエイト）で体水分量等を測定した。労働者に依頼して、作業の開始と終了の時刻、休憩の開始と終了の時刻、昼食摂取の有無、飲水量、排便の有無等を記録させたほか、トイレで尿量を自己測定させた。これらの結果から作業に従事した作業中の発汗量を推定した。

作業環境は、職場内の 2 地点で WBGT 計（HI-2000SD、CUSTOM）により 1 分毎に WBGT を自動測定して記録した。WBGT が測定できなかった事業場では、最寄りの気象官署が公表している当日のデータを使用して補完した。

さらに、生体指標を測定した職場で実際に使用されている作業着を借用し、産業医科大学人工気候室において核心温評価用発汗サーマルマネキン（NEWTON、Measurement Technology）に作業着上下、下着上下、ヘルメット、軍足、作業靴を着用させて、これらの組み合わせによる服装の保温力（clo 値）を測定した。

これらの結果を解析し、個人要因と作業中の外耳道温及び体水分量の変動との

関連について検討した。解析では、3 日間のデータのうち全ての項目を欠損なく測定できたデータのみを使用した。

統計解析には JMP Pro v13 を使用した。

なお、本研究は事前に産業医科大学倫理委員会の承認を得て実施した。

C. 研究結果

平成 27 年度は 3 事業場で 30 人、平成 28 年度は 5 事業所で 40 人の健康診断結果と作業中の生体情報を収集した（表 1）。一部の事業場では、熱中症を生じやすい個人要因を有する労働者が少ないところがあったため、その場合は暑熱な作業に従事する全ての労働者を対象に測定した。飲水量、尿量、体重、体水分量は予定通りにデータを収集できたが、一部の測定では外耳道温、脈拍数のデータの欠損を認めたため、欠損の多かった 14 人分の結果は解析から除外し、56 人のデータについて解析を行った。

全測定日の WBGT 値は $26.1 \pm 2.8^{\circ}\text{C}$ （平均 $\pm$ S.D.、以下同じ）であった。

対象者は、全員男性で、年齢は 38.1 ± 10.5 歳で、30 歳代が 39% で最も多く、40 代が 27%、20 歳代が 20% を占め、50 歳代以上は 14% であった（図 1）。

健康診断結果によれば、空腹時血糖は $112.0 \pm 42.1 \text{ mg/dl}$ 、HbA1c は $5.6 \pm 0.7\%$ 、血圧は $122.1 \pm 14.2 / 77.2 \pm 10.9 \text{ mmHg}$ 、体重は $69.9 \pm 12.1 \text{ kg}$ 、BMI は 24.1 ± 4.0 であった。

熱中症を生じやすい個人要因を有する者は、喫煙が最も多く 30 人（54%）で、BMI ≥ 25 が 22 人（39%）、耐糖能異常が 20 人（36%）、高血圧が 13 人

(23%) であった (図 2)。

作業中の外耳道温度は $37.3 \pm 0.4^{\circ}\text{C}$ 、脈拍数は 93.7 ± 12.7 回/分であった。各個人要因の有無で、外耳道温度の中央値には単変量解析を行ったが、有意差を認めなかった (図 3、表 2)。次に、 $\Delta \text{BT}/\Delta \text{HR}$ に単変量解析を行ったところ、耐糖能異常者で有意に高値 ($p=0.008$) に、肥満者でも有意に高値 ($p=0.008$) となった (図 4、表 3)。一方、高齢、高血圧、喫煙では有意差を認めなかった。

約 3 時間の作業が終了した時の体重減少量は、 $277.2 \pm 468.2\text{g}$ であった。作業中に摂取した飲水量は、 $529.0 \pm 500.0\text{ml}$ であった。作業中に排泄した尿量は、 $143.9 \pm 313.8\text{ml}$ であった。これらの値に排便等を考慮した結果、作業中の発汗量を $677.0 \pm 425.1\text{ml}$ と推定した。推定発汗量は、肥満があると有意に多かった ($p=0.037$) が、耐糖能異常、高齢、高血圧、喫煙では有意差を認めなかった (図 5、表 4)。

また、測定した作業着の clo 値は 0.97 ± 0.07 であった。

さらに、 $\Delta \text{BT}/\Delta \text{HR}$ を説明変数とし、各個人要因と推定発汗量を独立変数としてステップワイズ法による重回帰分析を行ったところ、肥満は $\Delta \text{BT}/\Delta \text{HR}$ を有意に上昇させやすく、推定発汗量は $\Delta \text{BT}/\Delta \text{HR}$ を有意に低下させやすい要因として抽出された (表 5)。

D. 考察

本研究は、産業医と労働者の協力によって暑熱な職場で実際の作業に従事している労働者の外耳道温を 70 人分も連続

測定できたという点で熱中症対策に関して過去に類をみない大規模なフィールド研究となった。

本研究は、熱中症を生じやすい個人要因として推定される高齢、肥満、高血圧、耐糖能異常、喫煙のいずれを有する者が脱水や体温上昇を生じやすいのかを明らかにすることを目的に、同一の暑熱な職場において、各個人要因を有する労働者と有しない労働者に同様な作業に従事させて比較することを予定したが、実際には、事業場で健康管理を担当する産業医による適正配置によって個人要因を有する労働者が十分には集まらなかった。特に、耐糖能異常に関しては糖尿病と判定可能な者が少なかったことから HgA1c 値を 6.5% 以上ではなく 5.6% 以上まで含めることとした。また、複数の個人要因を有する場合や治療による影響などもあり、個人要因を有する者の中でも末梢循環の状態、血管拡張や発汗といった生理的な反応、当日の作業量についての個人差は小さくなかった。さらに、測定日の気象条件や業務内容の変化なども発汗やうつ熱の状況に複雑な影響を与えたことが考えられた。

そこで、本研究では、外耳道温や推定発汗量を分析に使用したほか、 $\Delta \text{BT}/\Delta \text{HR}$ という独自の指標を提案して、この指標に対する個人要因の分析を行った。すなわち、身体活動が激しくなり体内での熱産生が増加した際にうつ熱を生じやすいかどうかについて評価することを試みた。この手法については、今後、実験室における研究によって熱中症を生じやすい指標としての妥当性を検証する必要があると

考える。

それでも、単変量解析で耐糖能異常者及び肥満者では有意に高い値を示した。このうち耐糖能異常については、発汗量は減少していなかったことから、高血糖の状態では末梢血管の動静脈吻合が拡張しにくく体表面の循環血液量が低下して体熱の放散が不十分となることでうつ熱が生じやすかったものと推定した。

また、肥満者では、皮下脂肪が厚い場合であって体温よりも外気温が低い場合には体表面からの対流や輻射による放熱が不十分となっていたとともに体表面からの汗の蒸発により皮膚温が低下しても核心温が下がりにくくなることでうつ熱が生じやすかったものと推定した。

また、推定発汗量は、肥満者では有意に多くなったことは、体熱の産生が多かったことに加えて、前述のように体表面での汗の蒸発による効果が核心温を下げにくかったことからうつ熱を生じやすく、生理的な反応として発汗が増えたことが推定される。肥満者については、発汗量が増加したにもかかわらず、うつ熱も生じやすかったことから、熱中症の病態のうち脱水に伴う熱失神や熱疲労を生じやすい上に、熱射病も生じやすいことを推定した。

さらに、多変量解析の結果から発汗量が多いほうが $\Delta BT/\Delta HR$ が有意に低くな

る傾向が認められたことから、本研究は、肥満を含め熱中症を生じやすい個人要因を有していたとしても発汗することにはうつ熱を予防する意義があることを実際の作業現場における測定結果として実証したものになったと推定した。

E. 結論

熱中症を生じやすい個人要因として推定される高年齢、肥満、高血圧、耐糖能異常、喫煙習慣のうち、肥満者は推定発汗量が有意に多く、それでも $\Delta BT/\Delta HR$ が有意に高値となり、また、耐糖能異常のある者は、 $\Delta BT/\Delta HR$ が有意に高値となった。これらのことから、肥満は熱失神、熱疲労、熱射病のリスクとなり、耐糖能異常は熱射病のリスクとなることが示唆された。

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

田中友一朗他：体温が上昇しやすい労働者の特徴に関する研究．第 34 回産業医科大学学会、北九州、2016 年 10 月

H. 知的財産権の出願・登録情報

なし

表 1 暑熱な作業に従事する者の体温等の測定実績

事業場	所在地	業種	測定年	測定期間	測定人数	平均WBGT	服装	clo値
A	愛知県	製鉄業	2015年	7月22日～24日	5	26.5	作業着	0.935
	愛知県	製鉄業	2015年	7月28日～30日	12	33.2	作業着	0.935
B	神奈川県	製鉄業	2015年	8月18日～20日	4	26.3	作業着	0.929
	神奈川県	製鉄業	2015年	8月24日～26日	6	24.2	作業着	0.929
C	茨城県	製造業	2015年	9月1日～3日	3	24.0	作業着	0.927
D	山口県	製造業	2016年	6月20日～22日	11	24.0	タイベック	1.137
E	福岡県	製造業	2016年	6月28日～30日	7	24.2	作業着	0.944
F	茨城県	製造業	2016年	7月4日～6日	7	23.7	作業着	0.927
G	岡山県	製造業	2016年	7月13日～15日	5	32.2	作業着	0.952
H	山口県	製鉄業	2016年	8月17日～19日	4	29.6	耐熱服	1.105
	山口県	製鉄業	2016年	9月13日～15日	6	29.6	耐熱服	1.105

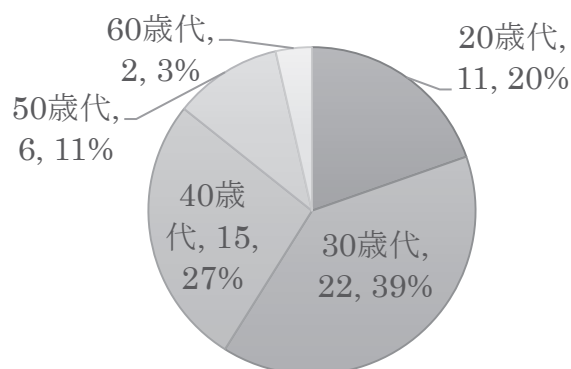


図 1 対象者数、年代別、(N=56)

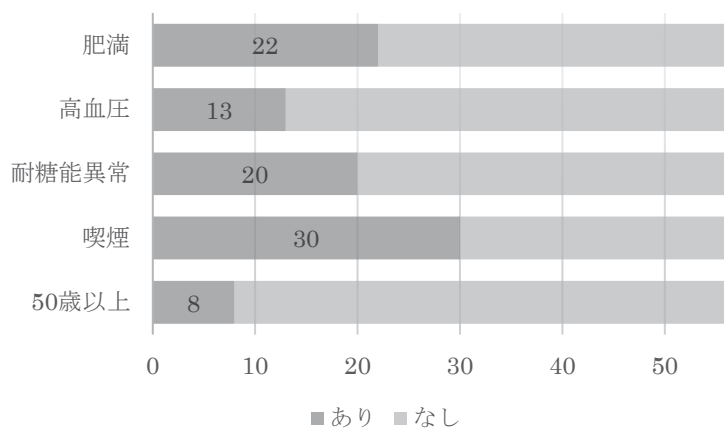


図 2 熱中症を生じやすい個人要因を有す人数 (N=56)

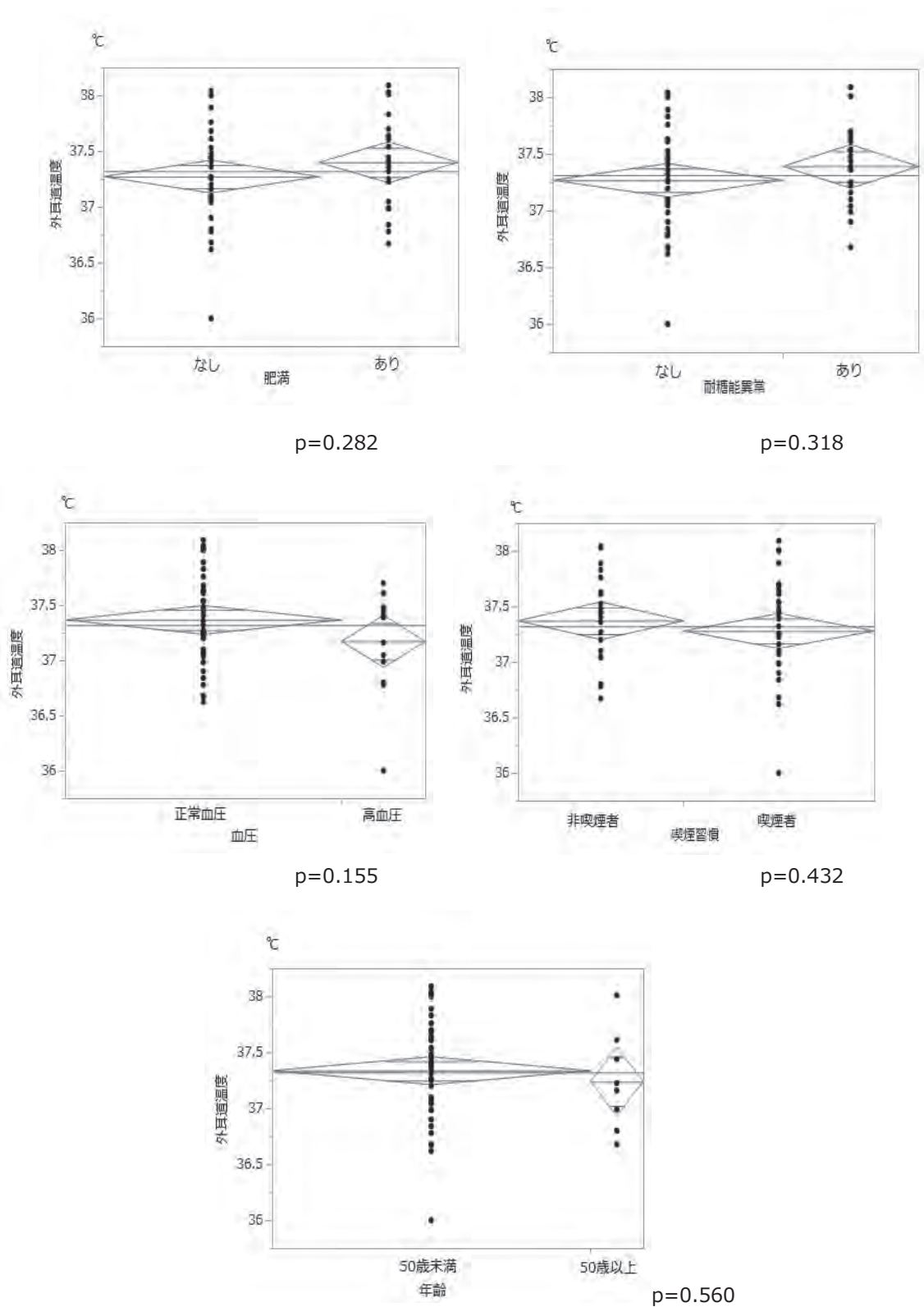


図 3 作業中の外耳道温度中央値、熱中症を生じやすい個人要因の有無別 (N=56)
(ウィルコクソン符号順位検定)

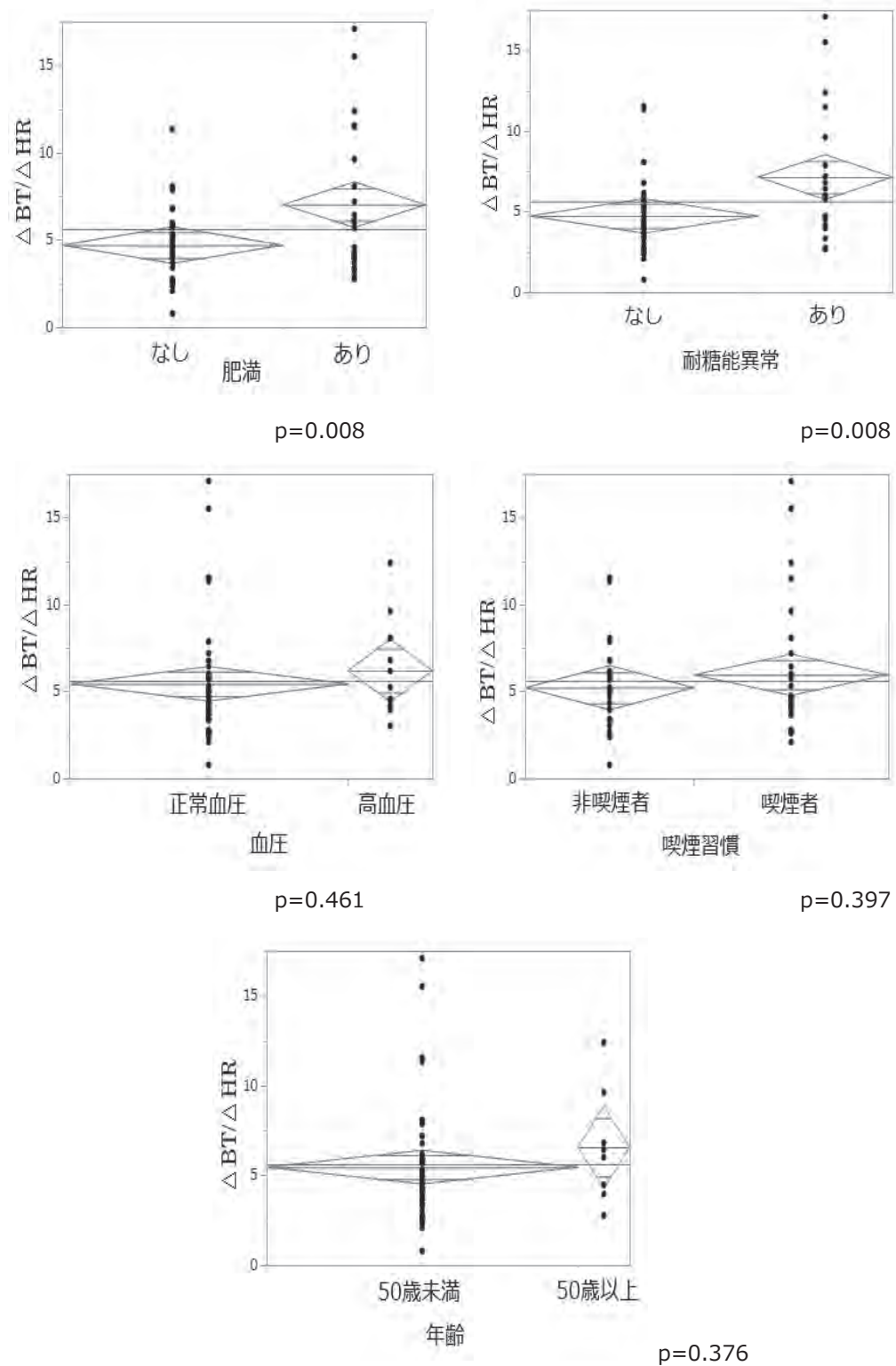


図4 $\Delta BT/\Delta HR$ の中央値、熱中症を生じやすい個人要因の有無別 (N=56)
(ウィルコクソン符号順位検定)

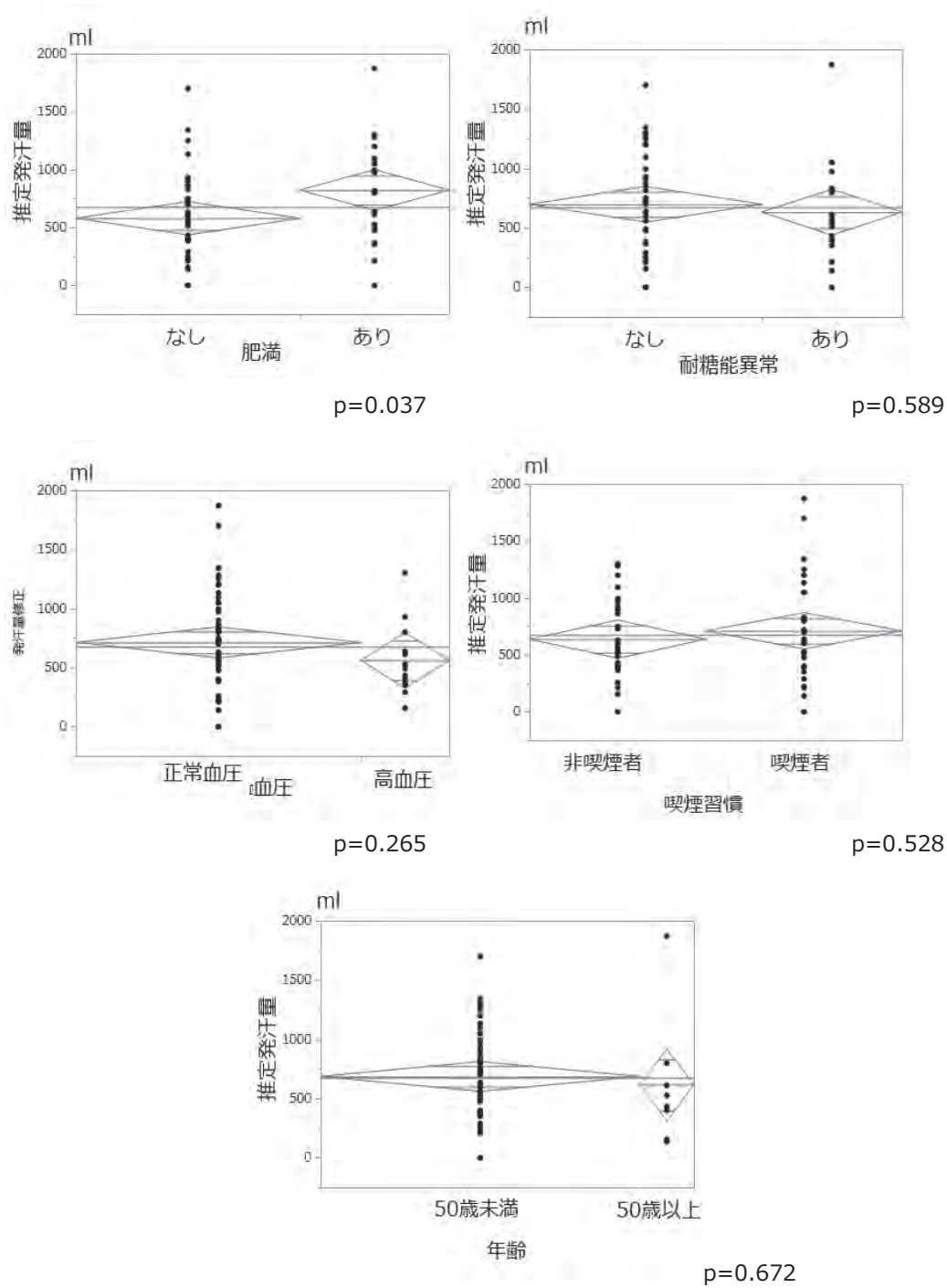


図 5 推定発汗量中央値、熱中症を生じやすい個人要因の有無別 (N=56)
(ウィルコクソン符号順位検定)

表 2 作業中の外耳道温度中央値 (°C)、個人要因別 (n=56)

個人要因	なし			あり		
	人数	平均値	標準偏差	人数	平均値	標準偏差
高年齢 (50歳以上)	48	37.34	0.43	8	37.24	0.44
肥満	34	37.27	0.44	22	37.40	0.41
高血圧	43	37.37	0.41	13	37.17	0.46
喫煙習慣	26	37.37	0.38	30	37.28	0.47
耐糖能異常	34	37.27	0.47	20	37.39	0.36

表 3 $\Delta BT/\Delta HR$ の中央値、個人要因別 (n=56)

個人要因	なし			あり		
	人数	平均値	標準偏差	人数	平均値	標準偏差
高年齢 (50歳以上)	48	5.46	3.25	8	6.57	3.14
肥満	34	4.71	2.03	22	7.03	4.18
高血圧	43	5.44	3.38	13	6.21	2.71
喫煙習慣	26	5.22	2.54	30	5.96	3.74
耐糖能異常	34	4.74	2.34	20	7.15	4.10

表 4 推定発汗量 (mL)、個人要因別 (n=56)

個人要因	なし			あり		
	人数	平均値	標準偏差	人数	平均値	標準偏差
高年齢 (50歳以上)	47	687.2	406.2	8	617.4	552.6
肥満	33	579.8	397.2	22	822.9	432.7
高血圧	42	712.9	453.1	13	561.2	304.8
喫煙習慣	26	638.4	374.1	29	711.7	470.1
耐糖能異常	33	698.6	441.3	20	632.5	409.6

表 5 平均外耳道温を推定する最適モデルの検討 (n=56)

(ステップワイズ法による重回帰分析)

パラメータ	推定値	F値	p値
切片	7.4806	-	-
推定発汗量	-0.0023	5.13	0.028
高年齢 (50歳以上)	-	0.28	0.600
肥満	1.4546	10.96	0.002
高血圧	-	0.20	0.657
喫煙習慣	-	0.36	0.551
耐糖能異常	-	3.97	0.052
clo値	-	1.70	0.199

発汗サーマルマネキンを用いた耐糖能異常者の核心温上昇モデルの構築に関する研究

研究代表者 堀江正知

産業医科大学 産業生態科学研究所 産業保健管理学

研究協力者 田中友一朗、權守直紀、井上仁郎、川波祥子

産業医科大学 産業生態科学研究所 産業保健管理学

研究要旨

核心温評価用発汗サーマルマネキンを使用し、耐糖能異常のある者の発汗量が少ないと想定して、このマネキンの発汗孔を約 10%塞ぎ、5 種類の負荷条件を設定して 3 時間にわたり熱産生を生じさせた。その結果、発汗量が少ないと通常の場合と比べて負荷が大きい条件では時間が経過するほど核心温の上昇幅が大きくなったことから、耐糖能異常を有する者は健常者と同じ作業に従事していてもより大きな作業負荷に相当する核心温の上昇を認める可能性があることが示唆された。

A. 研究目的

「定期健康診断結果に基づく熱中症リスクに関する症例対照研究」や「暑熱作業現場における労働者の脱水及び体温上昇リスクの個人差に関する研究」の結果から耐糖能異常は熱中症を生じやすい個人要因であることが推定されたことから、耐糖能異常のある者の核心温の変化について、サーマルマネキンを用いた体温上昇モデルを作成して、耐糖能異常者が暑熱作業に従事した際の負担が健常者と比べてどの程度の違いを生じるのかを検討することを目的とした。

B. 研究方法

産業医科大学の人工気候室（TBL-15FW5CPX 型、タバイエスベック）を温度 32℃で相対湿度 50%に維持し、核心温

評価用発汗サーマルマネキン（NEWTON、Measurement Technology NW）のうち東洋人男性体形のマネキン（身長 168.5 cm、体重 73.5 kg 相当、体表面積 1.7085m²、図 1、以下、マネキン）を用い、Fiala による人体温熱生理モデル（Fiala モデル）が推定する視床下部温を核心温として測定した。実際の作業現場を想定した負荷条件は 1.5Mets、2.0Mets、2.5Mets、3.0Mets、3.5Mets の 5 種類とし、半日の連続労働時間を想定して測定は連続 3 時間とした。

本研究の前に実施した「暑熱作業現場における労働者の脱水及び体温上昇リスクの個人差に関する研究」において、有意差はなかったものの耐糖能異常がある労働者の推定発汗量が健常者に比べ約 9 割（90.5%）に抑えられていたことが外耳

道温の上昇に影響していたと推定し、耐糖能異常のある者のモデルとしてマネキンの発汗孔（全身 149 箇所）の約 1 割を塞いで発汗量を約 9 割に抑えた耐糖能異常者のモデル（耐糖能異常モデル）を作成した。各負荷条件で通常モデル（通常モデル）と耐糖能異常モデルによる測定を繰り返して、核心温の推移を比較した。

C. 研究結果

人工気候室の WBGT 値を実測すると 26.1℃でほぼ一定であった。

耐糖能異常モデルの核心温は、3Mets の条件で実施した際に機器の不具合で 2 時間 50 分～3 時間の 10 分間は測定できなかったため、それ以前の測定値で 2 次回帰式を作成し、それにより推定した結果を入力した。また、同じ理由で 3.5Mets の条件では実施することを断念した。

Fiala モデルを使用して得られた通常モデルの核心温（図 2）と耐糖能異常モデルの核心温（図 3）に示す。どちらも、作業負荷条件が上昇するにつれて核心温が早く上昇した。3 時間の測定時間中に 38.0℃を超えたのは、通常モデルでは 3.0Mets 以上の条件で、耐糖能異常モデルでは 2.5Mets 以上の条件であった。同じ条件で通常モデルと耐糖能異常モデルを比較すると（図 4～7）、耐糖能異常モデルのほうがほとんどの場合に核心温が早く上昇した。しかし、通常モデルと耐糖能異常モデルとの核心温の推移を厳密に比較すると（図 8）、3Mets の条件では 15 分後から 1 時間 45 分後にかけて耐糖能異常モデルで核心温がわずかに低めとなり、その後は逆転して高くなった。

それぞれのモデルの測定開始から 1 時間後、1 時間 30 分後、2 時間後、2 時間 30 分後、3 時間後の直腸温をプロットしたものを図 9 に示す。このプロットを元に、耐糖能異常者の作業負荷が健常者の何 Mets に相当するかを、算術的に求めたものを表 1 に示す。3Mets の条件以外では、1 時間後、1 時間 30 分後で健常者よりも耐糖能異常者の Mets が低く出ているが、それ以外では、耐糖能異常者の作業負荷は健常者のもの上回っていた。

D. 考察

全ての結果で、測定初期には直腸温度が低下しているのは、Fiala モデルは人間が暑熱環境に曝された直後に体表面の動静脈吻合が開いて末梢血管が拡張し、皮膚表面で冷却された血流の還流によって一時的に深部体温が低下する人体の生理的反応が組み込まれていることを反映していると考ええる。

耐糖能異常を有する者では、体内の末梢循環機能に障害が生じることによって耐暑能が低下することが想定されるが、発汗サーマルマネキンにはこのような循環機能を模した機構は搭載されていない。そこで、本研究では耐糖能異常を有する者に認められる現象を模して発汗量を減らすことでモデル化したが、これが耐糖能異常を有する者のモデルとして妥当かどうかについての検証はできていない。

測定開始 3 時間時点では、全ての作業負荷条件で耐糖能異常モデルの直腸温の方が高い値をとった。これは、発汗量を減少させたことで蒸発性熱放散が抑えられ、体温上昇を十分抑制できなかったためと

考えられ、「暑熱作業現場における労働者の脱水及び体温上昇リスクの個人差に関する研究」の結果と同様の傾向を再現できたと考える。また、1.0～2.5Mets の範囲では負荷が大きくなるほど核心温の差が大きくなる傾向を認めた理由は、作業負荷が高くなるほど熱産生が増大するため、発汗量を増やして核心温を制御する必要があるところ、発汗能が劣る耐糖能異常を有する者は十分に制御できずに、負荷が大きい条件になると熱中症のリスクが高まることを示唆していると考えた。3Mets 条件で測定 of 初期に通常モデルの方が耐糖能異常モデルよりも早く体温が上昇した理由は不明であるが、その後、機器の不具合が生じたことなどから、このデータの信頼性には疑問がある。

通常モデルと耐糖能異常モデルとの核心温の推移を比較すると、耐糖能異常を有する者は健常者と比べて最大で約 0.25Mets (2.5Mets 条件で 3 時間作業時) ほど高い作業負荷の条件と同等に評価すべきであることとなった。この結果から、耐糖能異常を有する者が暑熱な作業に従事する際には負荷を約 10% 減らす対策を講じるなどして熱中症の予防に努める必要があると考えた。

今後、肥満その他の個人要因についても同様に発汗サーマルマネキンを用いてより妥当なモデルを作成することができれば、暑熱環境における作業負荷により個人要因を有する労働者の核心温が健常者と比べてどの程度上昇しやすいかを推測できる可能性があると考えた。

E. 結論

核心温評価用発汗サーマルマネキンを使用し、発汗孔の一部を塞ぐことで発汗量が少ない耐糖能異常のモデルを作成した。核心温の測定結果から、耐糖能異常を有する者には、同じ作業に従事していると健常者と比べて最大約 10% 高い作業負荷に相当する核心温の上昇が認められる可能性があることが示唆された。

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

なし

H. 知的財産権の出願・登録情報

なし



図 1 核心温評価用発汗サーマルマネキン（NEWTON、Measurement Technology NW）による実験風景

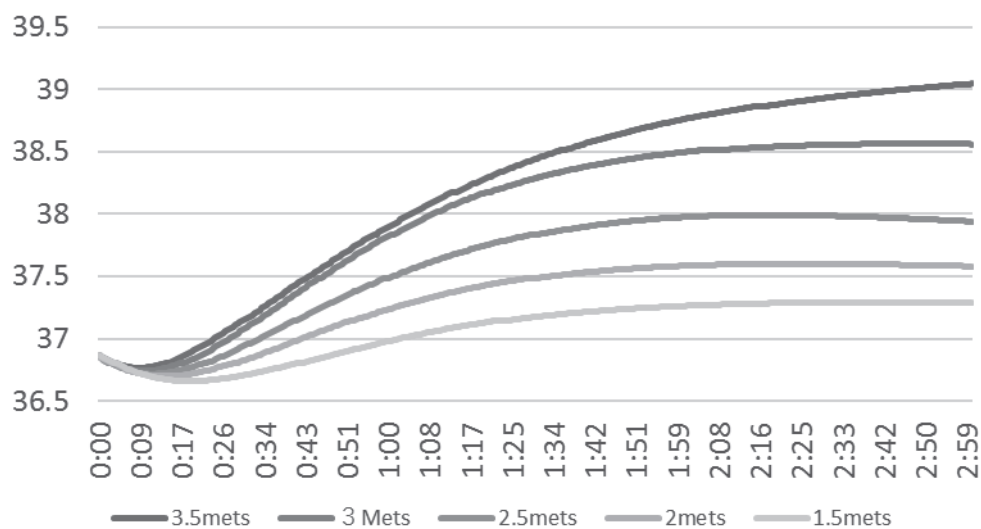


図2 作業負荷条件の違いによる通常モデルの推定核心温の推移
横軸：経過時間（時：分）、縦軸：推定核心温（℃）

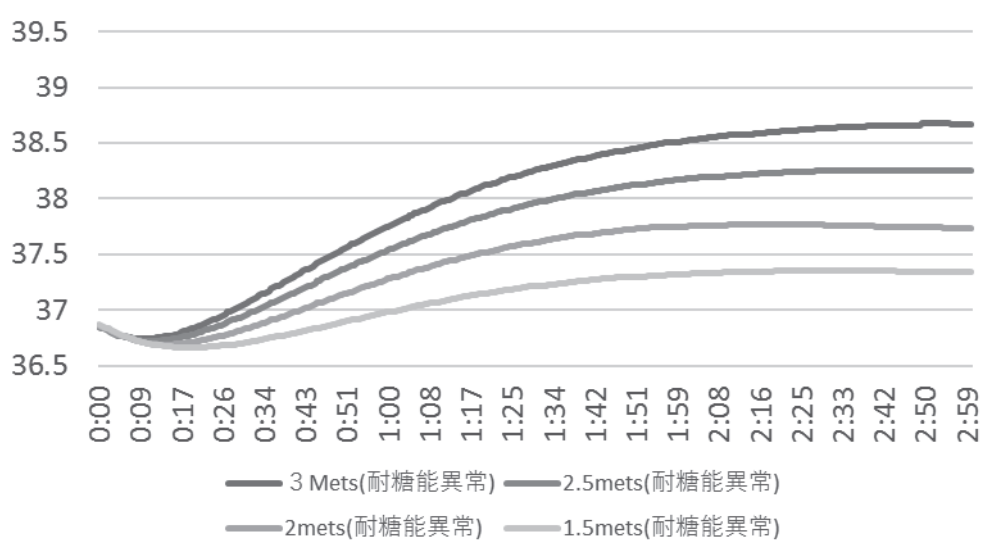


図3 作業負荷条件の違いによる耐糖能異常モデルの推定核心温の推移
横軸：経過時間（時：分）、縦軸：推定核心温（℃）

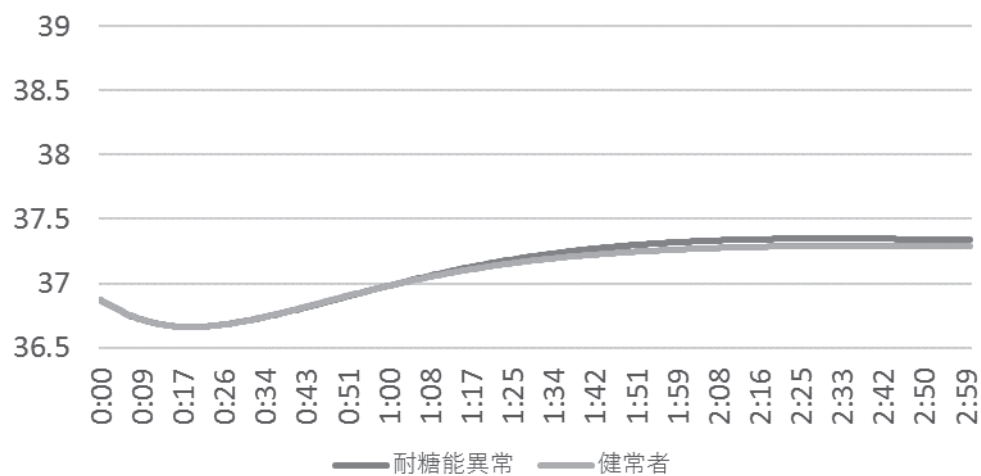


図 4 1.5Mets 条件での通常モデルと耐糖能異常モデルの推定核心温の推移
横軸：経過時間（時：分）、縦軸：推定核心温（℃）

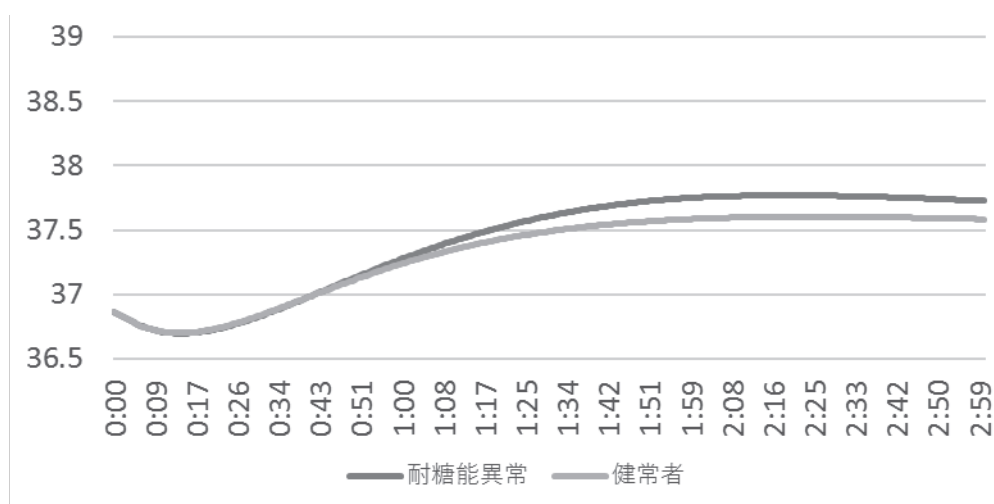


図 5 2.0Mets 条件での通常モデルと耐糖能異常モデルの推定核心温の推移
横軸：経過時間（時：分）、縦軸：推定核心温（℃）

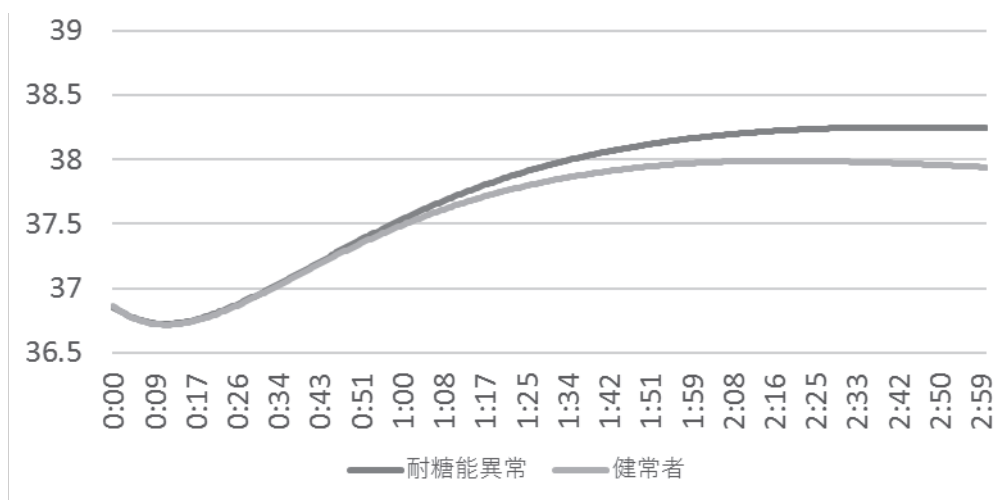


図 6 2.5Mets 条件での通常モデルと耐糖能異常モデルの推定核心温の推移
横軸単位：経過時間（時：分）、縦軸単位：℃

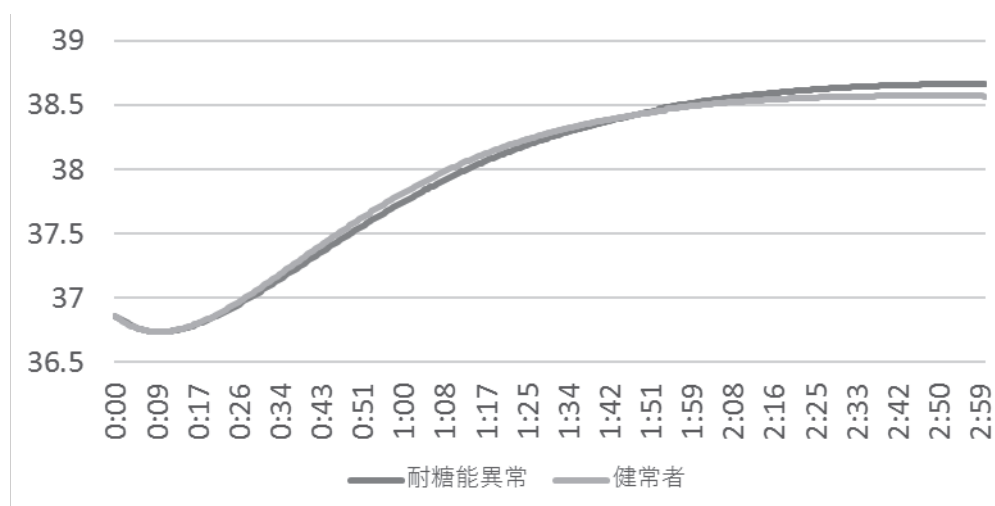


図 7 3.0Mets 条件での通常モデルと耐糖能異常モデルの推定核心温の推移
横軸：経過時間（時：分）、縦軸：推定核心温（℃）

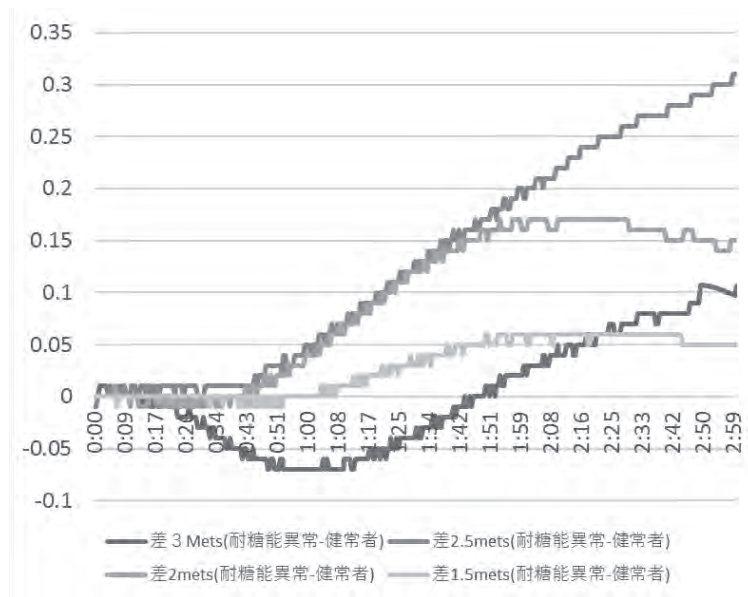


図8 通常モデルと耐糖能異常モデルの推定核心温の差の推移
横軸：経過時間（時：分）、縦軸：推定核心温（℃）

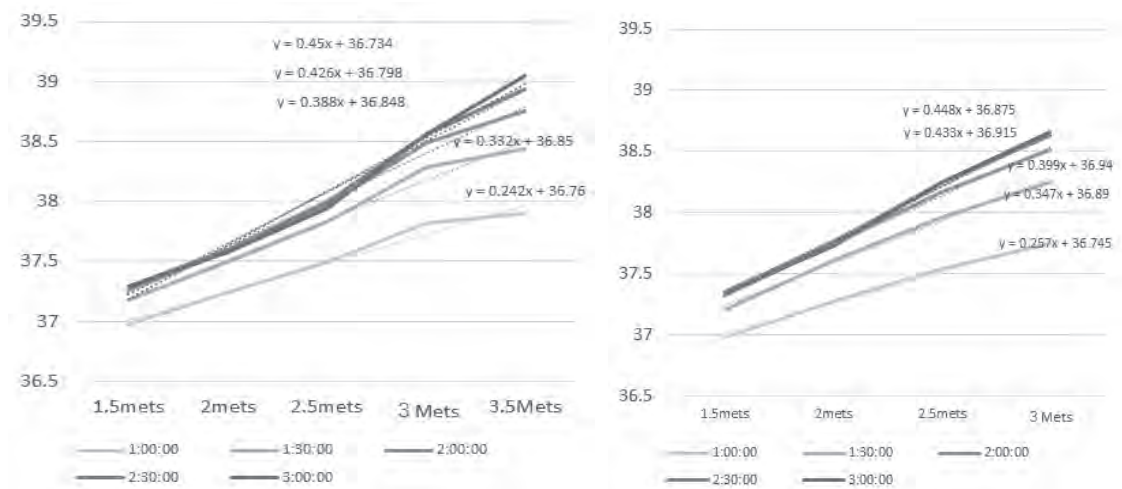


図9 作業負荷条件ごとの推定核心温（℃）、左：通常モデル 右：耐糖能異常モデル

表1 健常者の体温上昇に相当する耐糖能異常者の作業負荷強度（単位：Mets）

作業継続時間	1.5mets	2mets	2.5mets	3Mets
1.0時間	1.50	2.08	2.58	2.56
1.5時間	1.55	2.18	2.64	2.87
2.0時間	1.59	2.21	2.69	3.04
2.5時間	1.60	2.21	2.73	3.09
3.0時間	1.59	2.21	2.75	3.10

汗の Na⁺、K⁺濃度と発汗速度に関する研究

研究代表者 堀江正知

産業医科大学 産業生態科学研究所 産業保健管理学

研究協力者 權守直紀、田中友一朗、井上仁郎、川波祥子

産業医科大学 産業生態科学研究所 産業保健管理学

研究要旨

発汗速度と Na⁺濃度及び K⁺濃度との関係を明らかにすることによって塩分喪失速度を評価することを目的に、気温 35℃、湿度 50%に維持した人工気候室内で、健常な男性 13 人に運動負荷を与えて発汗させ、発汗速度と汗の Na⁺、K⁺濃度を測定した。塩分喪失速度を従属変数とし、Na⁺濃度、Na⁺/K⁺比を説明変数とし回帰分析を行うと R²=0.64、0.81 であった。Na⁺/K⁺比を使用することで、塩分喪失速度を Na⁺濃度よりも正確に評価することが可能となった。

A. 研究目的

暑熱環境下における身体活動で体熱が産生されると核心温が上昇傾向となるため体熱を放散させるために発汗するが、その代償として水分と塩分が喪失する。大量の発汗が継続すると脱水と塩分喪失が進行して熱失神、熱疲労等が生じやすくなる。職場においては作業中に過度の脱水や塩分喪失が進まないように体重、脈拍、尿量、尿色、汗の味を評価すべきであるが、実際の現場でこれらを測定して定量的な評価を行うことは困難である。そこで、本研究は、汗に含まれる電解質を測定することによって塩分喪失の速度を定量的に評価して熱中症予防に役立てることを目的とした。

B. 研究方法

2015 年 10 月及び 11 月に日本人の健常

な男性 13 人（年齢 24.5±3.9 歳）を被験者に、気温 35℃及び相対湿度 50%の環境に維持した人工気候室（TBL-15F5CPX 型、タバイエスベック）で実験を行った。

実験開始の 1 時間前に、軽作業用の服装を着用させ、スポーツドリンク 500ml（イオンウォーター®、大塚製薬）と栄養 400kcal（カロリーメイト®、大塚製薬）を被験者に摂取させた。

実験開始の直前に、スポーツドリンクを 100ml 摂取させ、両側前腕部を水道水で十分に洗浄し、さらに蒸留水で洗い流し、タオルで拭き取らせた。

人工気候室に入室後は、まず、発汗計（POS-02、SKINOS）の換気カプセルを両側前腕外側に装着させ、発汗速度は 10 秒ごとに記録した。また、汗を採取するための吸収紙（Y046、堀場製作所）を両側前腕外側に置き、汗の蒸発を防止するた

めにアルミ箔で密閉し、サージカルテープで固定した（図 1）。

準備ができたところで、人工気候室内で 15 分間の運動を行わせ、発汗させた。運動負荷強度は、安静のほか、自転車エルゴメータ（T. K. K. 3070、Takei）による 50W、75W、100W の 4 条件とし、その順序は被験者ごとにランダム化した。

電解質を測定するための汗は、各運動が終了後にただちに吸収紙を採取して、LAQUAtwin（B722、B731、堀場製作所）により Na^+ 濃度及び K^+ 濃度を測定した。

電解質の測定終了後に発汗計を取り外して人工気候室から退室させた。

発汗速度が定常状態に到達した運動負荷開始 10 分後から 5 分間の算術平均を解析に使用した（図 2）。発汗速度と汗の Na^+ 濃度及び K^+ 濃度は、測定者や換気カプセルごとの測定誤差を減らすために左右の算術平均を使用した。塩分喪失速度（ $\mu\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{min}$ ）は、発汗速度（ $\text{mg}/\text{cm}^2 \cdot \text{min}$ ） $\times \text{Na}^+$ 濃度（ mEq/L ）/17 で算出した。

塩分喪失速度を従属変数とし Na^+ 濃度、 K^+ 濃度、 Na^+/K^+ 比をそれぞれ説明変数として線形モデルの回帰分析を行った。統計解析は JMP® Pro 13 を使用した。

なお、本研究は事前に産業医科大学倫理委員会の承認を得て実施した。

C. 研究結果

発汗速度の推移を運動負荷強度別に図 2 に示す。安静条件では、暑熱な環境であったにもかかわらず、発汗速度は $0.2\text{--}0.3 \text{ mg}/\text{cm}^2/\text{min}$ 程度の低い値で推移した。一方、運動負荷強度が強くなるにつれ、発汗速度は上昇し、100W 条件では安静時の 5

倍以上の約 $1.5 \text{ mg}/\text{cm}^2/\text{min}$ まで上昇した。

発汗速度と Na^+ 濃度、 K^+ 濃度、 Na^+/K^+ 比の関係を図 3～5 に示す。ピアソンの相関係数は、それぞれ 0.35、-0.65、0.59 で、 K^+ 濃度が最も強い相関を示した。

次に、塩分喪失速度を従属変数とし、 Na^+ 濃度、 K^+ 濃度、 Na^+/K^+ 比を説明変数とし回帰分析を行った結果を図 6～8 に示す。決定係数（ R^2 ）は、それぞれ 0.64、0.28、0.81 であり、 Na^+/K^+ 比が最も高い相関を示した。

なお、安静条件では汗の量が少なく、電解質を測定できない者が生じた。

D. 考察

発汗速度が上昇すると Na^+ 濃度が上昇することは以前から知られており、今回の結果も既知の事実と一致した。このことから、実験方法や測定は適切に実施されていたと考えた。ただ、発汗速度と汗の Na^+ 濃度との相関係数は 0.34 と低かった。この理由として、汗の Na^+ 濃度は導管の再吸収能において個人差や個人内変動が大きいと、今回のように、多数の被験者に多種類の負荷強度で発汗させた場合の Na^+ 濃度は、個人差や運動負荷条件との交互作用が大きく、発汗速度との相関が強くなりにくかったことが原因と考えた。

一方、発汗速度と K^+ 濃度の関係は先行研究では一定の傾向を認めていなかったが、本研究では Na^+ 濃度とは反対に負の相関を示すことが明らかとなった。加えて、 K^+ 濃度の方が Na^+ 濃度に比べて発汗速度と相関が強かった。以上のことから、 K^+ の方が Na^+ よりも個人差が少ないと推察された。ここで、 Na^+ は汗腺の導管にお

いて再吸収されることが知られている。この作用には、管腔細胞の先端膜に上皮 Na チャネルが関与しており、上皮 Na チャネルの発現量により、個人差や個人内変動が認められると考えられる。一方、 K^+ については、先端膜に K チャネルが確認されていないことから K^+ は個人差や個人内変動が生じにくいと考えた。

そこで、 Na^+/K^+ 比を指標とすることで、 Na^+ 濃度よりも発汗速度と強い正の相関を示すことができた。すなわち、 Na^+/K^+ 比を用いることで Na^+ 濃度よりも発汗速度をより反映した評価をすることが可能であり、 Na^+ 濃度よりも塩分の喪失速度を正確に定量的に評価することが可能と考えた。熱中症の初期には脱水と塩分の喪失が生じることを考慮すると、 Na^+/K^+ 比を使用することで、熱中症を早期に発見することができるように考えた。

ただし、本研究は日本人の若年男性のみを対象としていることから、小児、高齢者、女性、他の気候帯に居住する者、持病を有する者への一般化は慎重にすべきである。また、本研究では、汗を測定しやすい前腕部で測定したが、体の部位によって Na^+ 濃度、 Cl^- 濃度、発汗速度に違いが認められることから、他の部位で汗を採取した場合にも同様の結果が得られるかどうかについては、さらなる検討が必要である。さらに、暑熱への曝露を継続することによって暑熱への順化が生じて発汗量や汗の塩分濃度も変化するが、本研究

は暑熱に順化については検討していない。

本研究には以上の限界はあるが、今回、採用した汗電解質の測定法は簡便であり、現場での実施も十分に可能なことから、その結果から Na^+/K^+ 比を算出して指標として用いれば、職場における熱中症の早期発見と予防に有用と考えた。

E. 結論

暑熱な環境において、発汗速度と K^+ 濃度の関係は負の相関を示すことが明らかとなった。発汗速度と Na^+ 濃度の関係は先行研究と同様に正の相関を示したが個人差が大きいことが示唆された。そこで、塩分の喪失速度を評価するには、発汗速度と個人差を組み合わせた汗の Na^+/K^+ 比を使用して評価することによって、 Na^+ 濃度だけで評価するよりも正確に評価することが可能なことが示唆された。

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

なし

H. 知的財産権の出願・登録情報

特許申請 1 件

「発汗状況評価システム及び発汗状況評価方法」(No. 117: 特願 2016-134067 平成 28 年 7 月 6 日出願)

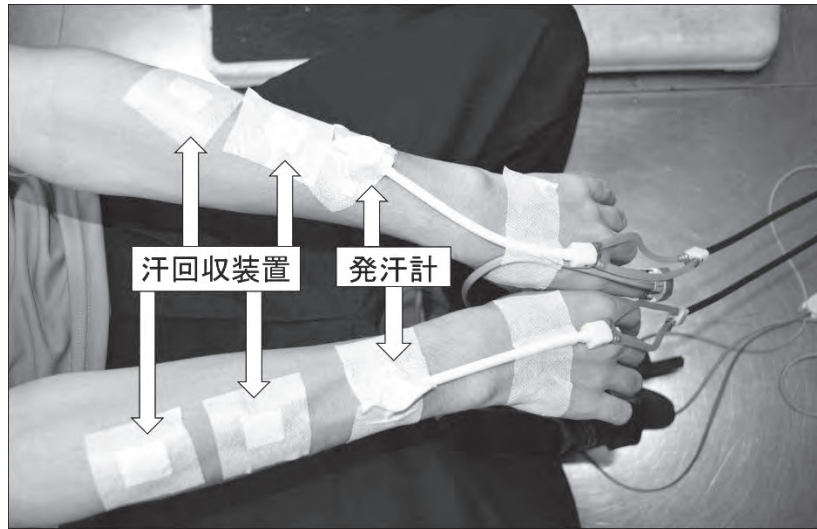


図1 両側前腕に装着した発汗計と汗回収装置（吸収紙をアルミ箔で覆い、サージカルテープで固定）

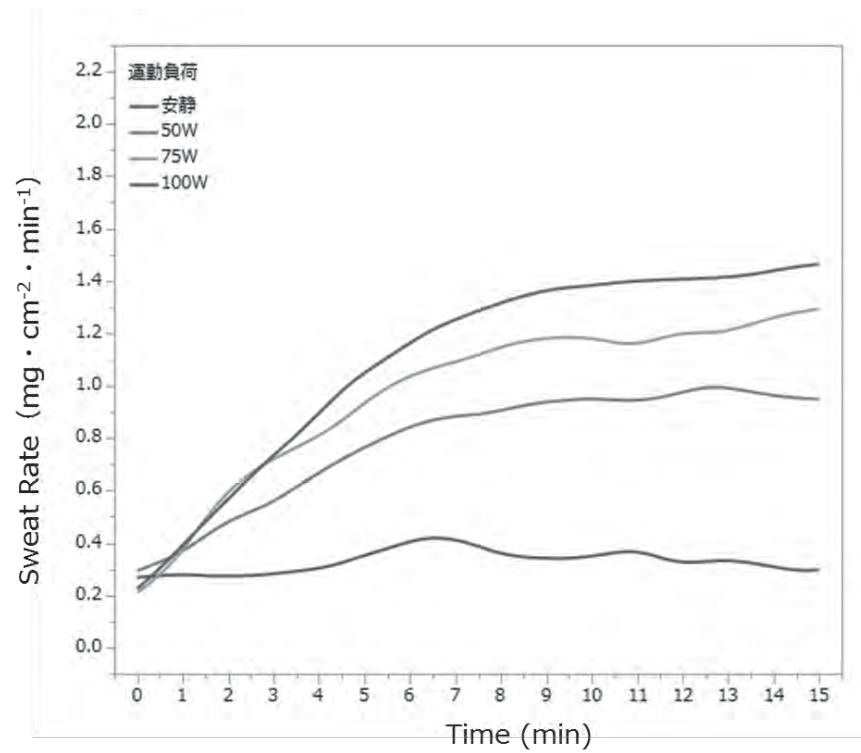


図2 運動負荷中の発汗速度の平滑線、運動負荷別（n=13）

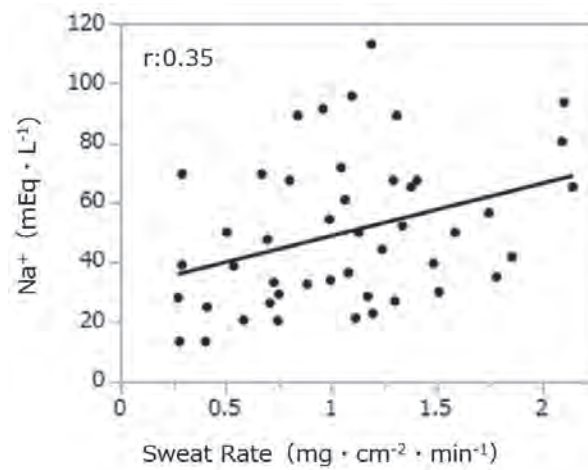


図3 発汗速度と Na^+ 濃度 ($n=13$)

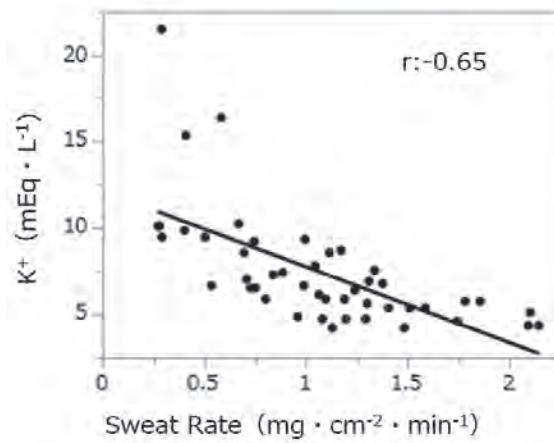


図4 発汗速度と K^+ 濃度 ($n=13$)

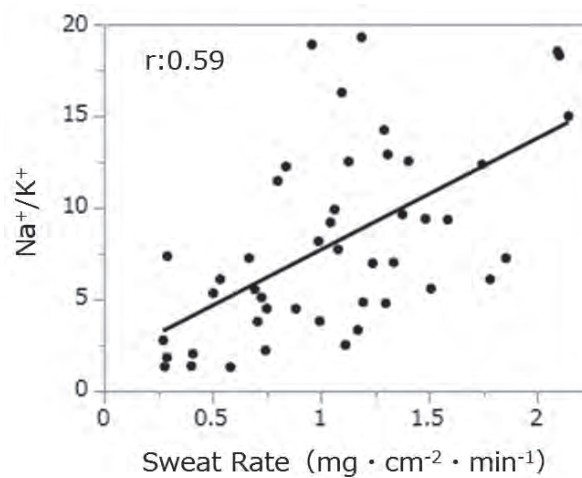


図5 発汗速度と Na^+/K^+ 比 ($n=13$)

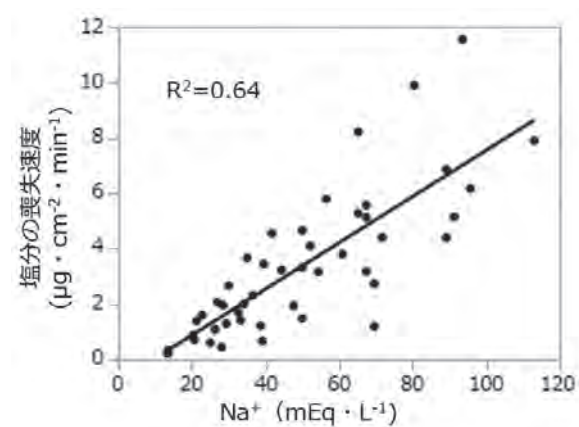


図6 Na^+ 濃度と塩分の喪失速度 (n=13)

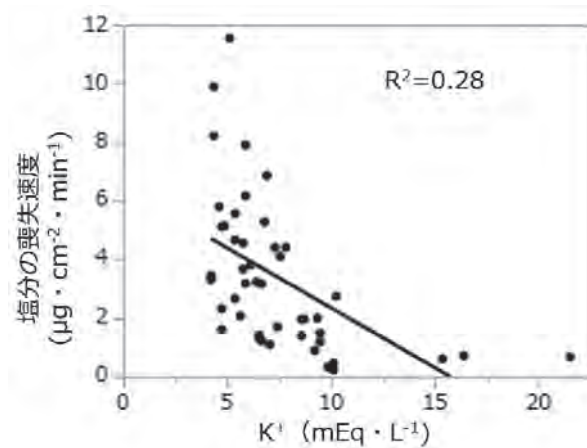


図7 K^+ 濃度と塩分の喪失速度 (n=13)

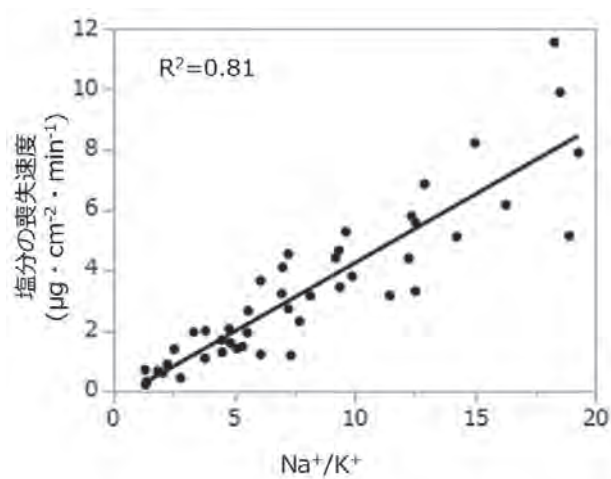


図8 Na^+/K^+ 比と塩分の喪失速度 (n=13)

熱中症対策製品の装着が暑熱環境における運動中の核心温及び脈拍の上昇を抑制する効果に関する研究

研究代表者 堀江正知

産業医科大学 産業生態科学研究所 産業保健管理学研究室

研究協力者 田中貴浩、田淵翔大、井上仁郎、川波祥子

産業医科大学 産業生態科学研究所 産業保健管理学研究室

研究要旨

熱中症対策製品が暑熱な環境における身体活動に対する効果を明らかにすることを目的に、運動習慣のある成人男子 8 人を対象に、室温 36 °C、相対湿度 50 %の環境において、80W で 40 分間の負荷を与え、外耳道温、脈拍、推定発汗量、推定無効発汗量を測定した。送風式のものは、運動中の核心温上昇の抑制、運動負荷の抑制、連続作業可能時間の延長、無効発汗量の抑制に効果があった。圧縮空気式のものは、運動後の核心温上昇の抑制に効果があった。自覚的な有用性と生理学的な測定結果は矛盾しなかった。

A. 研究目的

熱中症の予防を目的とした労働衛生保護具には様々な製品が上市されているが、暑熱な環境における体温上昇の抑制を評価したものは少ない。そこで、熱中症対策製品が暑熱な環境における身体活動において効果的に体温上昇を抑制できるかどうかを明らかにすることを目的とする。

B. 研究方法

運動習慣のある成人男子 8 人 (23.0 ± 1.0 歳) を対象に、室温 36 °C、相対湿度 50 %に設定した産業医科大学人工気候室 (TBL-15FW5CPX 型、タバイエスペック) 内で、作業着のみ (以下、コントロール*) と熱中症対策製品 4 種 (水気化式**、送風式***、水冷式****、圧縮空気式*****) の計 5 回ずつ実験を行った。この環境条件は、WBGT 値に換算すると 31 °C であり、日本生気象学会が提唱する「日常生活における熱中症予防指針」において

“危険” “嚴重警戒” と分類される温度基準の境界である。被験者は作業着を着用して (送風式では上半身は肌着のみ) 人工気候室に入室し 20 分間の安静の後、製品を装着させ、自転車エルゴメータを 80W の負荷で 40 分間こがせた。運動終了後は製品を装着させたまま 15 分間安静にした (図 1)。外耳道温 (ミドリ電子) ・脈拍 ・推定発汗量 (実験前後の体重変化より推定。不感蒸泄含む) ・推定無効発汗量 (気化せず作業着に残留した汗。実験前後の被服重量変化より推定。) を測定し、JMP Pro 13.0 を使用して統計解析を行った。

全ての実験が終了した段階で、被験者に効果があったと自覚した順番を評価させた (別紙 1)。

また、核心温評価用発汗サーマルマネキン (NEWTON、Measurement Technology Northwest 社) を用いて、今回の実験結果を再現可能か検討した。室

温33.0℃（相対湿度は未調整）に設定した人工気候室前室において、人体生理学モデル（Fialaモデル）を作動させ核心温37.0℃に平衡させた。運動量を1Metに設定し人工気候室に作業服と製品を着用させたマネキンを入室させ、20分後に運動量を4.5 Metsに設定を変更、60分後に運動量を1mtesに変更し、75分後まで作動させ核心温の変化を記録した。熱中症対策製品の着用タイミングは、被験者と同タイミングとした。

*：夏季用の長袖長ズボンの作業着、上下肌着を着用させた。

**：INUTEQ社製ATANEQ

COOLING VEST（図2）。精製水を気化させることで気化熱によりベストを冷却し身体を冷却する製品。作業着の中に着用させた。

***：㈱空調服製BPN500N（図3）。ベスト背面に小型ファンが2個ついており、外気をベスト内に送風することで身体を冷却する製品。肌着の上に着用させ、作業着の上着は着用させなかった。

****：㈱鎌倉製作所製COOLEX・1

（図4）。外部冷却器を用いて冷却した水道水をベスト内に循環させ、身体を冷却する製品。作業着の中に着用させた。

*****：㈱重松製作所製VT-7KⅡ・CS-7（図5）。圧縮空気をベスト内に通風させ、ベストを冷却しかつベストから排出された冷風で身体を冷却する製品。作業着の中に着用させた。

C. 研究結果

被験者の外耳道温度・脈拍の時系列データを被服条件毎に比較した（図 6-21）。外耳道温計は運動中に耳から脱落し急激に温度が変化した箇所があったため、該当する箇所の外耳道温は欠損値として削除した。

被験者 8 人の外耳道温度・脈拍の被服条件毎の平均値の時系列データを比較した（図 22, 23）。送風式、水冷式、圧縮空気式の 3 種類は、運動開始後 5-15 分のあたりで外耳道温が上昇し、運動後半 20 分は全条件ともに直線的に推移することが観察された。

運動後半 20 分間の外耳道温・脈拍が直線的に近似できると仮定し、近似直線の傾きを被服条件毎に比較した（図 24, 25）ところ、いずれも分散分析で有意差があった。多重比較（Dunnett 検定）を行ったところ、いずれも送風式がコントロールと比較し有意に傾きが小さいことが分かった。同様に、運動終了直後 5 分間の外耳道温・脈拍も直線的に近似できると仮定し、近似直線の傾きを被服条件毎に比較すると（図 26, 27）、分散分析で外耳道温のみ有意差があった。多重比較（Dunnett 検定）を行ったところ、圧縮空気式がコントロールと比較し有意に傾きが小さいことが分かった。

米国産業衛生専門家会議（ACGIH）が提言する高温の許容基準に基づき、外耳道温が 38.5℃に達するまでの運動時間（以下、連続作業可能時間）を先述の運動後半の近似直線から推計し被服条件毎に比較した（図 28）。分散分析で有意差があり、多重比較（Dunnett 検定）にて、送風式がコントロールと比較して有意に連続作業可能時間が長いことが分かった。

推定発汗量および推定無効発汗量を被服条件毎に比較した（図 29, 30）。推定発汗量は分散分析で有意差があったが、多重比較（Dunnett 検定）で有意な結果は得られなかった。推定無効発汗量は分散分析で有意差があり、多重比較（Dunnett 検定）で送風式がコントロールと比較し有意に推定無効発汗量が少ないことが分かった。

熱中症対策製品の効果自覚順位を被服条件毎に比較した（図 31）。Kruskal-Wallis 検定で有意差があり、多重比較（Steel 検定）でコントロールと比較し全ての被服条件で有意差があった。水気化式はコントロールよりも悪化し、送風式・水冷式・圧縮空気式は改善を認めた。

発汗サーマルマネキンの各測定温度と被験者の外耳道温平均値時系列データを比較した（図 32-34）。

D. 考察

自転車エルゴメータ負荷を 80W に設定したが、運動強度に換算すると約 4.5METs であり、10kg 程度の物を運搬する強度と同等である。これは、一般的な現場作業者の作業負荷の評価として妥当と考える。

外耳道温は日間変動、個人差が強く、比較検討が容易ではなかったため、近似直線の傾きを比較し検討を行った。送風式、水冷式、圧縮空気式が運動開始後 5-15 分で外耳道温度が上昇傾向にあったが、身体を冷却する効果が強く、保温のため生理反応として産熱傾向になったためと考えられる。事実、被験者の中には寒さを訴える者もいたが、実験条件を同一にするため、いずれも最大性能で冷却するように調整を行ったことが影響したと考えた。その後、運動後半の 20 分間は熱中症対策製品の冷却効果よりも運動負荷による産熱が上回ったため、他条件と同じく線形に近似したと考え、運動後半 20 分間の近似直線について比較検討を行った。運動終了後は、終了直後の 5 分間が最も変化量が大きいため、同様に近似直線の比較を行った。脈拍も外耳道温と同様に比較を行うこととした。

運動後半の外耳道温・脈拍共に送風式の傾きが有意に小さく、連続作業可能時

間も有意に長いことから、送風式はコントロールと比較して、運動中の体温上昇・身体負荷の抑制に効果があったと考えられた。送風式は他の製品と比較し、推定無効発汗量が有意に少ないことから、発汗を有効に活用することで、効率的な身体冷却が行われたと考えられた。ただし、送風式は作業着上着を着用せず肌着の上に直接着用したため、被服枚数が 1 枚少ないことが影響したことも考慮しなければならない。

また、運動終了後の外耳道温が圧縮空気式の傾きが有意に小さいことから、圧縮空気式は運動後の身体冷却に効果があったと考えられた。

その他項目について有意差は出なかったが、水気化式は悪化する傾向にあった。これは、本来作業着の中に着用することを目的とした製品ではなく、作業着内の高湿度状態では十分に気化し冷却能を発揮することができず、着用枚数もコントロールより 1 枚増えたことで断熱性が高まり、コントロールよりも悪化したと考えられる。

被験者による製品着用効果の順位付けについても、今回の各結果と矛盾しない結果となった。熱中症対策製品を選択する場合に、作業者の自覚症状を参考に検討することは有効と考えられる。

発汗サーマルマネキンと被験者外耳道温との比較については、平均視床下部温度が最も動きが近かった。しかし、発汗サーマルマネキンは運動前安静時に温度が低下していること、運動中の温度上昇が急激であり容易に 38.5℃に到達していることから、運動負荷の活動量設定や入室前の定常状態にする方法等に問題があったと考えられ、今後の検討課題である。

今回の実験では、温湿度環境は 1 条件でしか測定を行えておらず、製品の全体

的な評価を行うことはできない。

E. 結論

室温36.0℃、相対湿度50%の人工気候室における80Wの運動負荷時に、脱水と体温上昇を予防することを目的に販売されている熱中症予防対策製品を比較すると、送風式のものは、運動中の体温上昇・運動負荷の抑制、連続作業可能時間の延長、推定無効発汗量の抑制に効果があった。また、圧縮空気式のものは、運動後の身体冷却に効果があった。被験者による製品着用による自覚的な有用性の順位は生理学的な測定結果とは矛盾しておらず、製品を評価する上では産業現場の作業者

が感じる自覚症状を確認することは有用なことが示唆された。一方、今回の実験条件では、実際の人間による測定結果と発汗サーマルマネキンを使用して得られた結果には一致しない部分があった。

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

なし

H. 知的財産権の出願・登録状況

なし

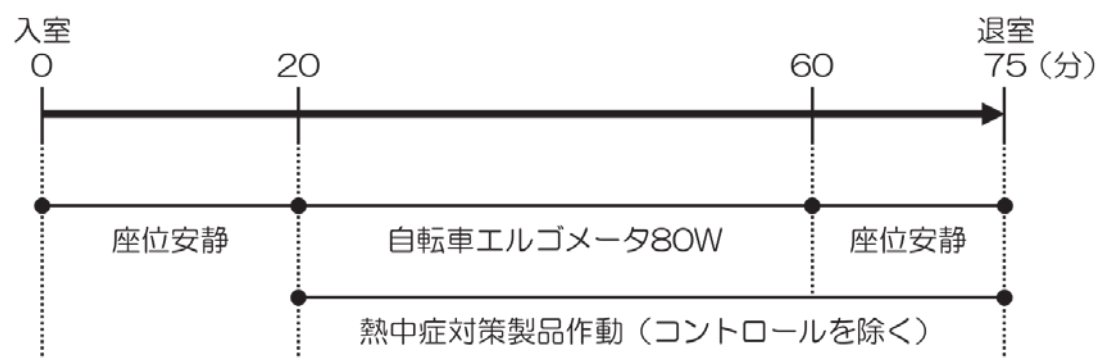


図 1 実験の流れ



<http://www.inuteq.com/product/ataneq/>から引用

図 2 INUTEQ 社製 ATANEQ COOLING VEST



<http://item.rakuten.co.jp/pc2b/10000536/>から引用

図 3 ㈱空調服製 BPN500N



<http://coolex.jp/product/>から引用

図 4 (株)鎌倉製作所製 COOLEX・1



http://www.sts-japan.com/products/soki_mask/detail/vt_7k2.htmlから引用

図 5 (株)重松製作所製 VT-7KⅡ・CS-7

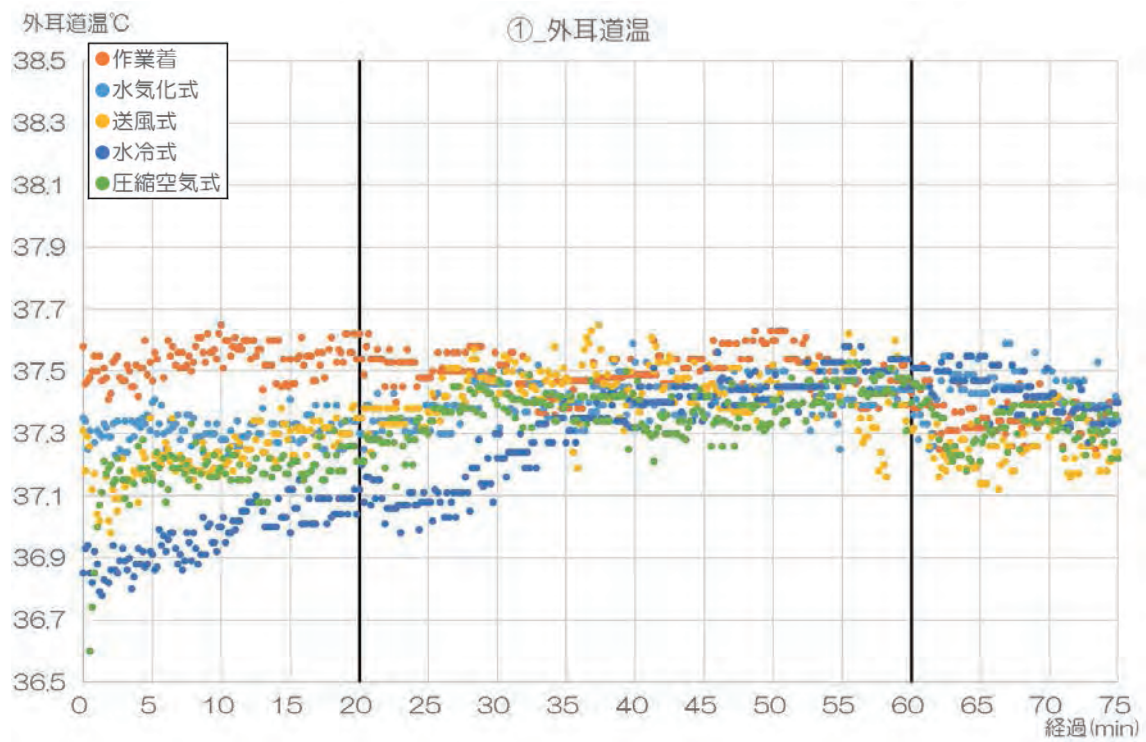


図 6 被験者①外耳道温時系列グラフ

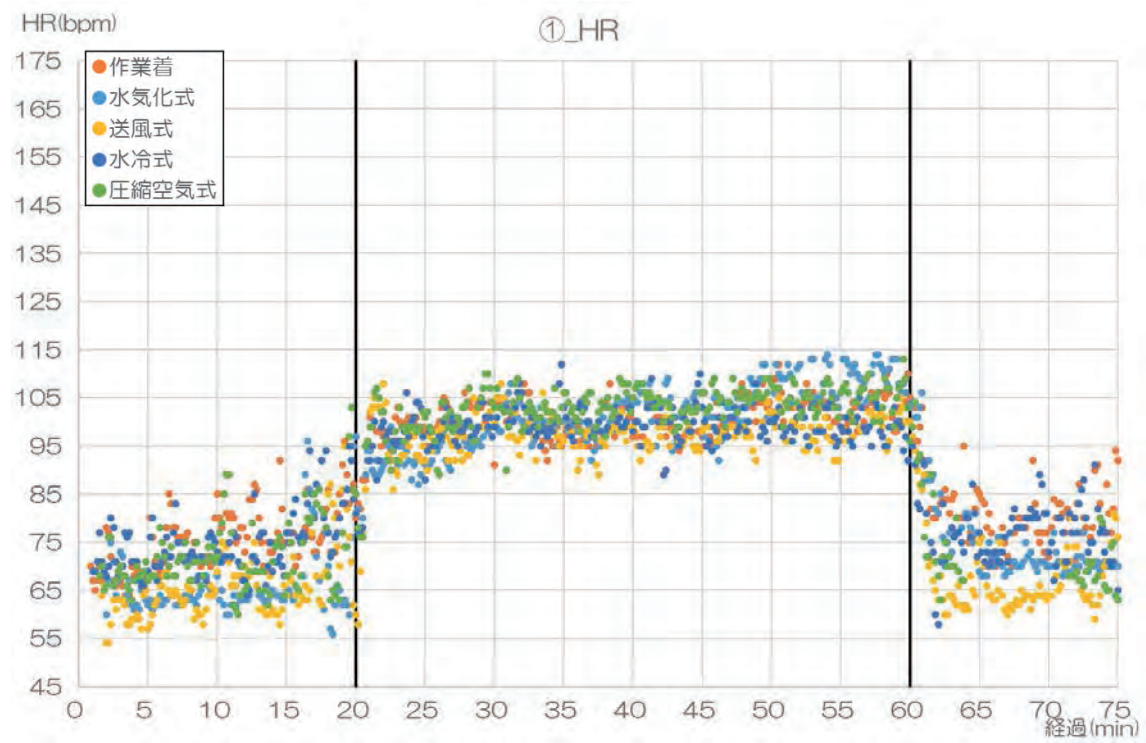


図 7 被験者①脈拍時系列グラフ

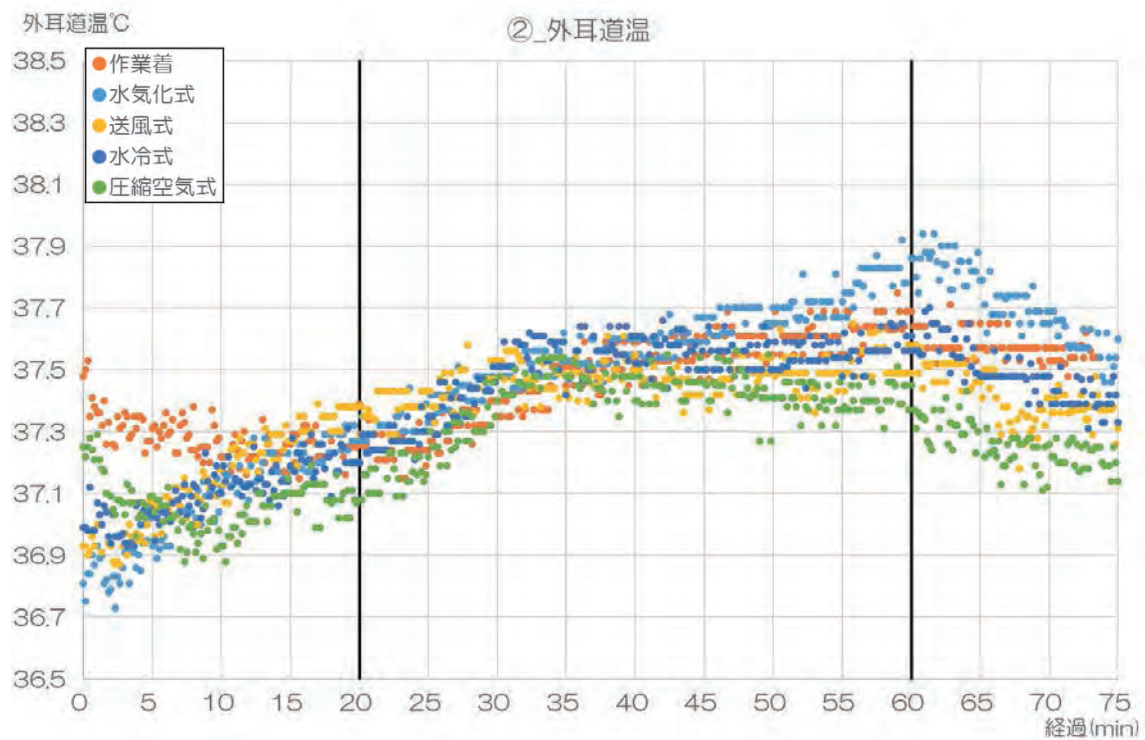


図 8 被験者②外耳道温時系列グラフ

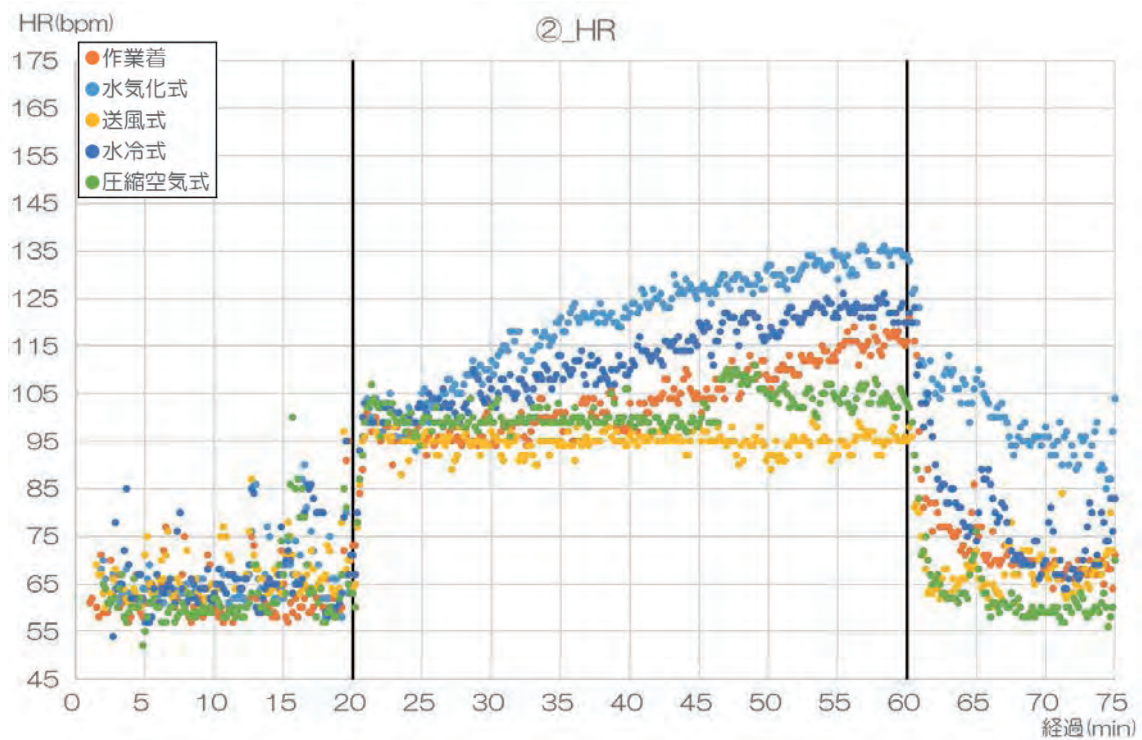


図 9 被験者②脈拍時系列グラフ

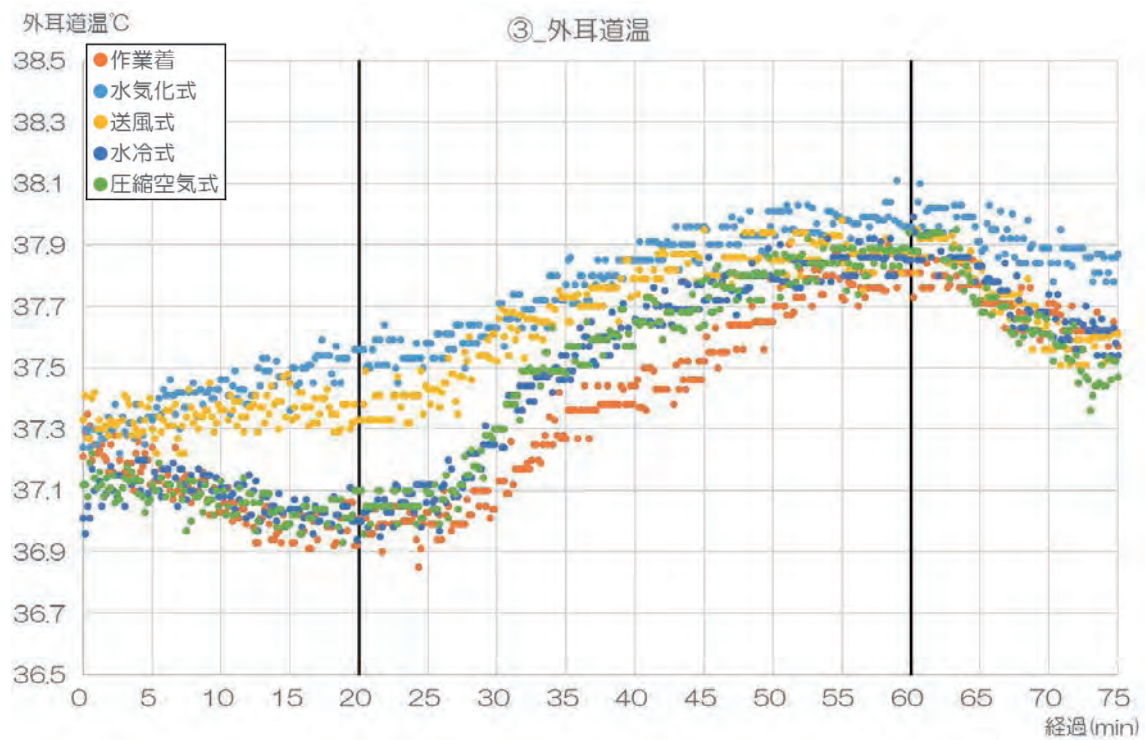


図 10 被験者③外耳道温時系列グラフ

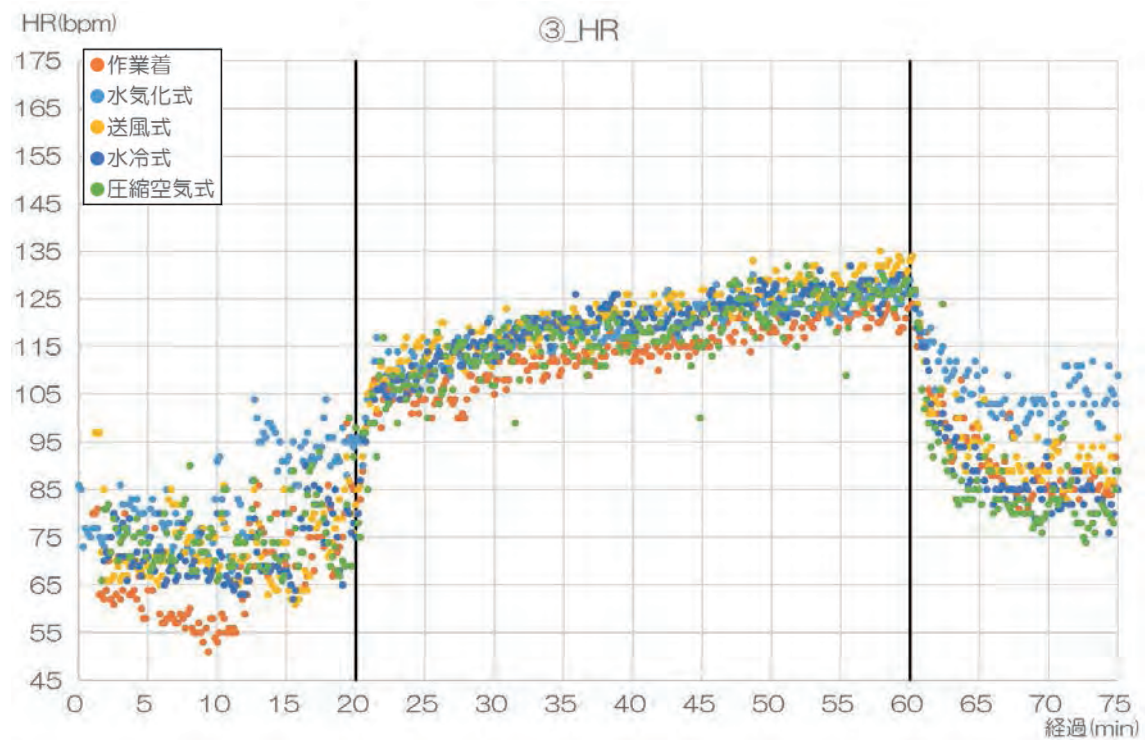


図 11 被験者③脈拍時系列グラフ

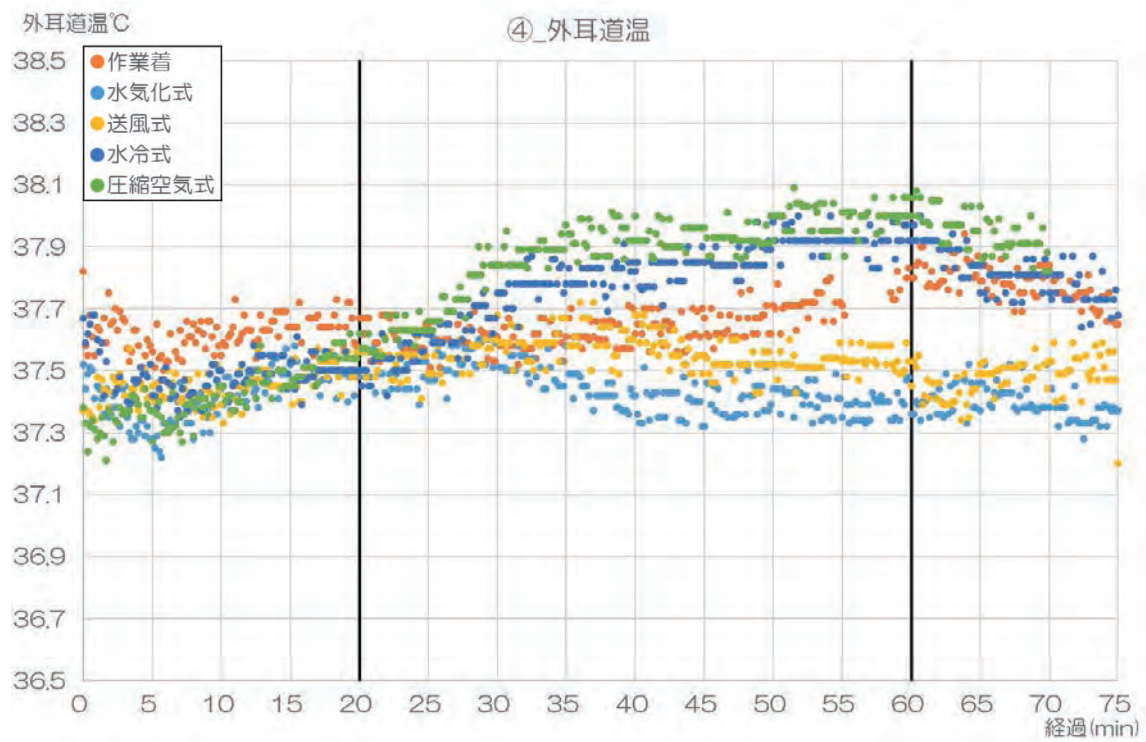


図 12 被験者④外耳道温時系列グラフ

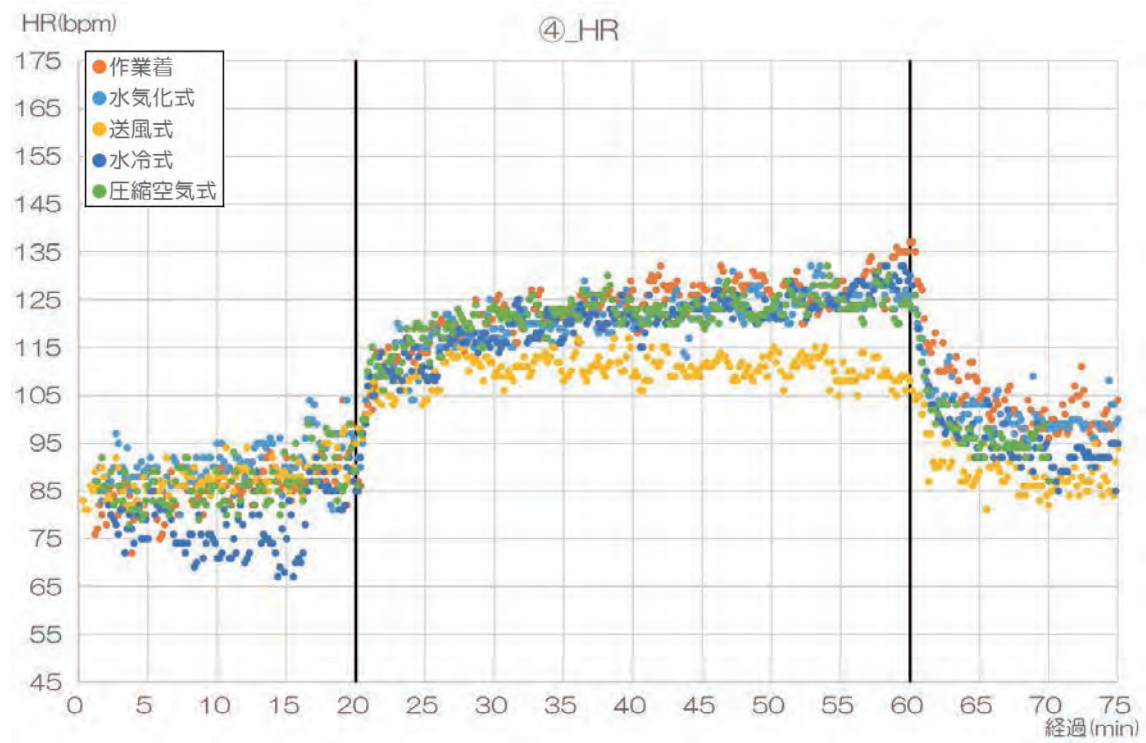


図 13 被験者④脈拍時系列グラフ

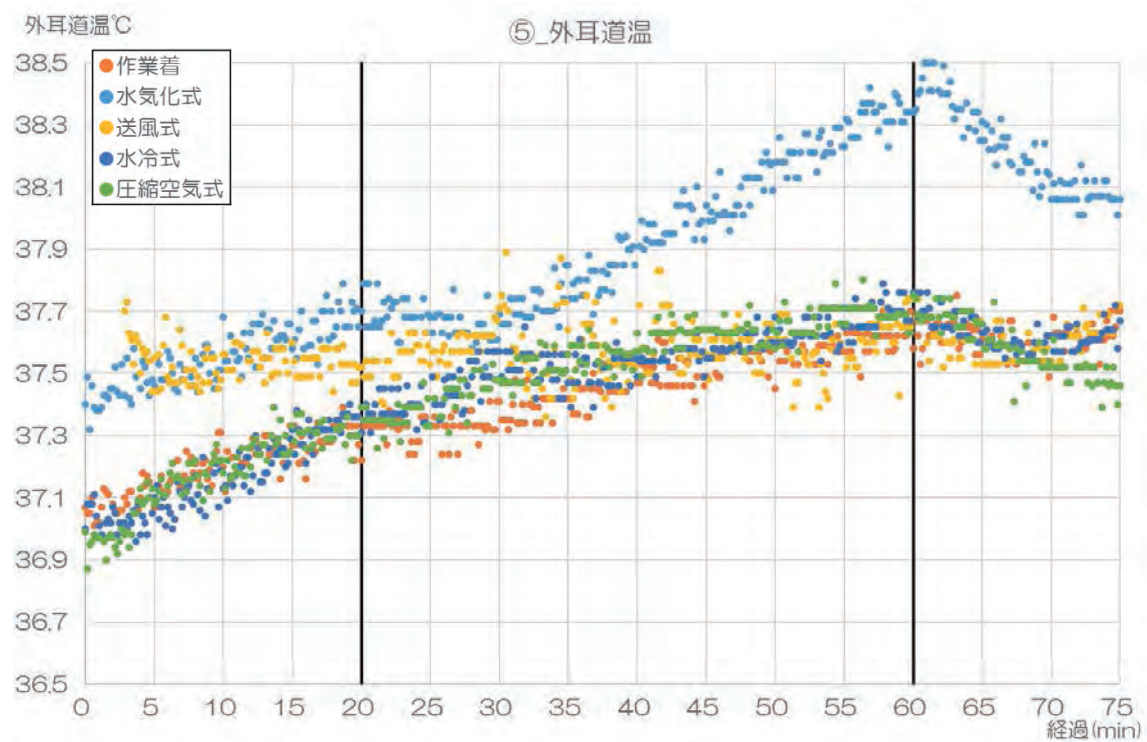


図 14 被験者⑤外耳道温時系列グラフ

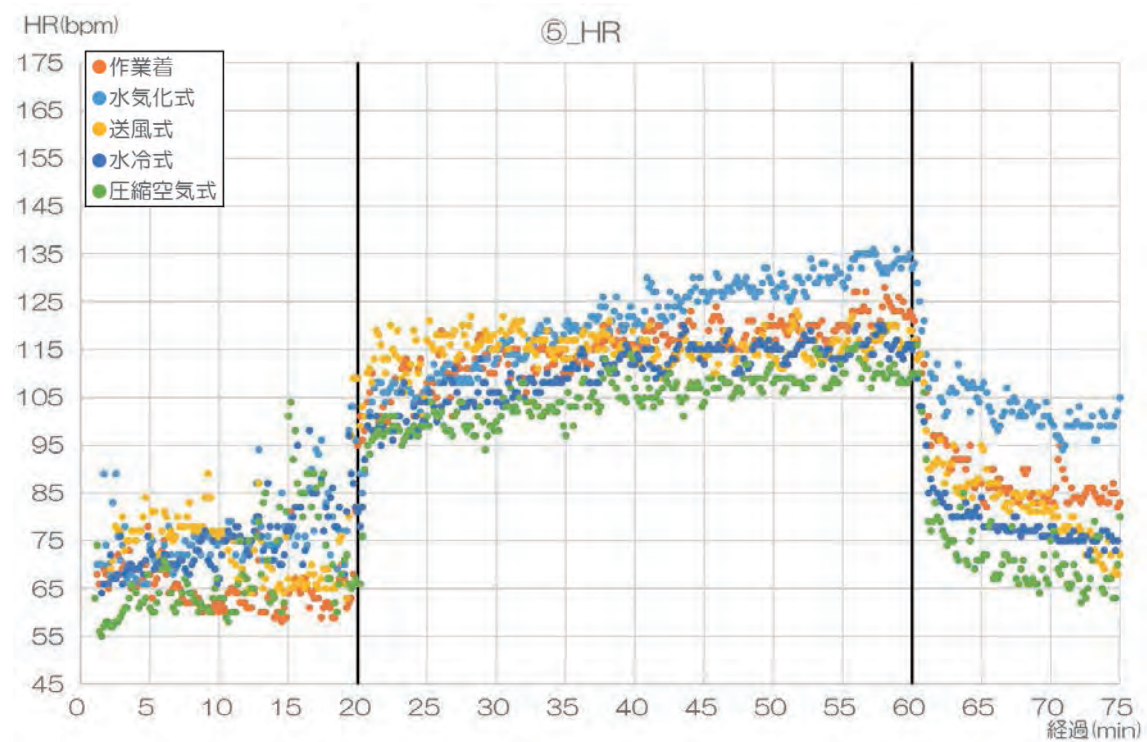


図 15 被験者⑤脈拍時系列グラフ

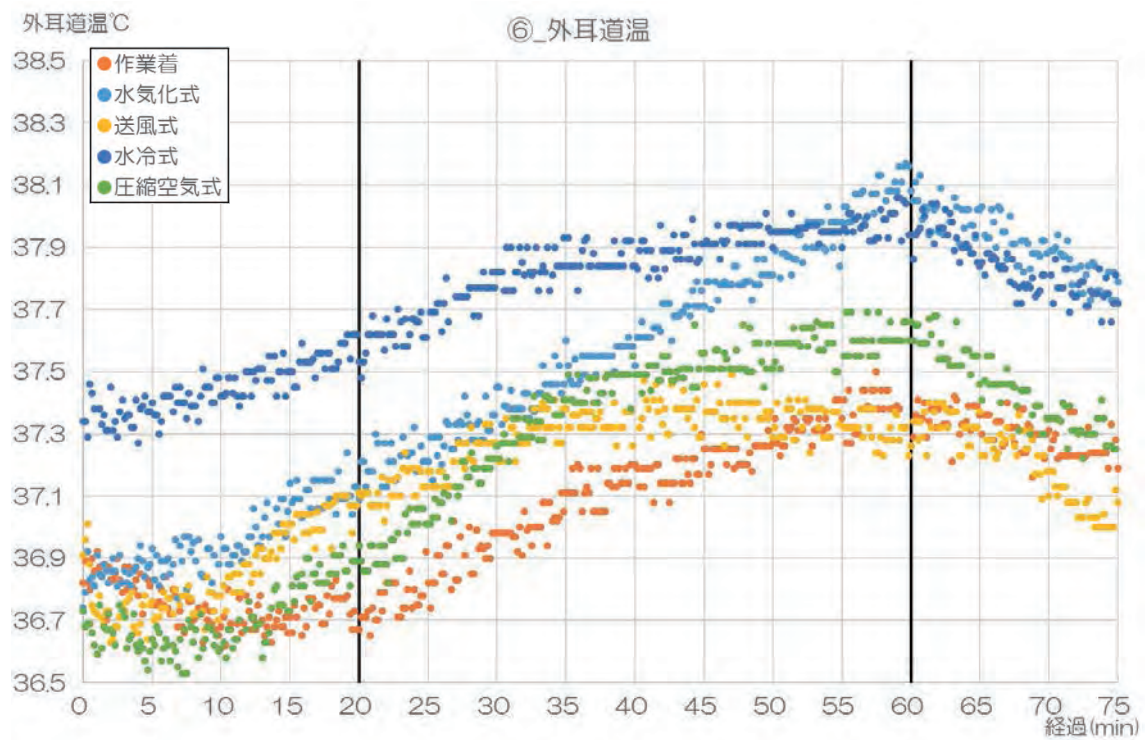


図 16 被験者⑥外耳道温時系列グラフ

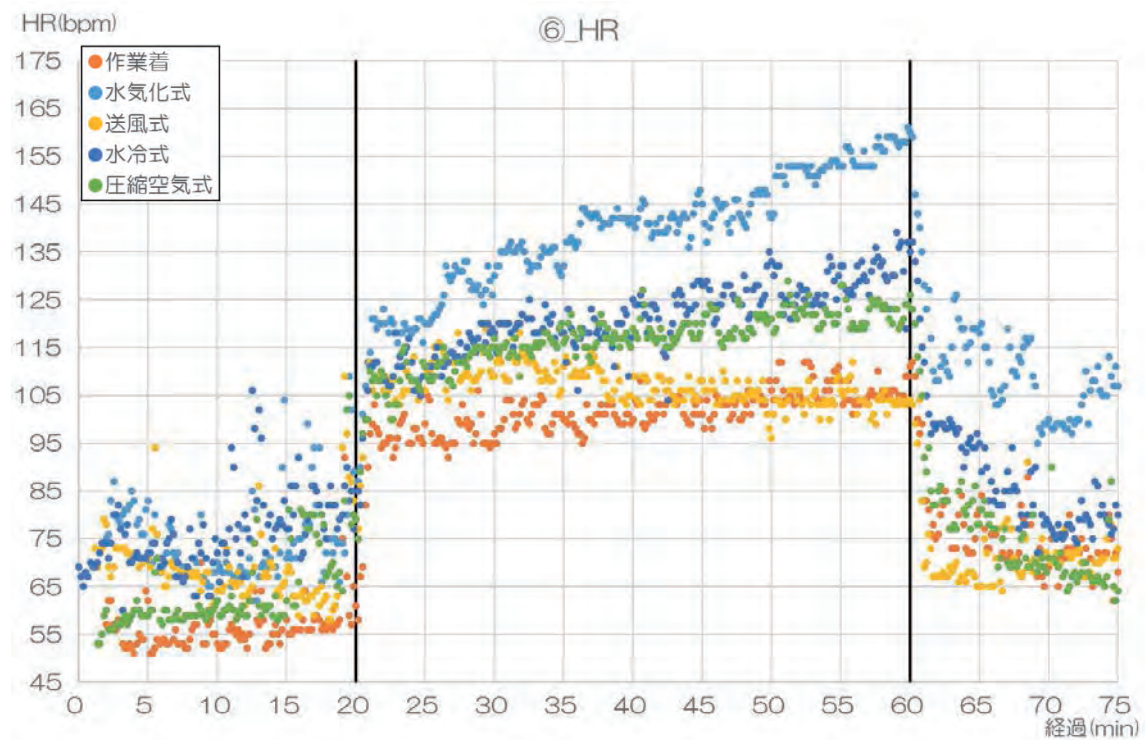


図 17 被験者⑥脈拍時系列グラフ

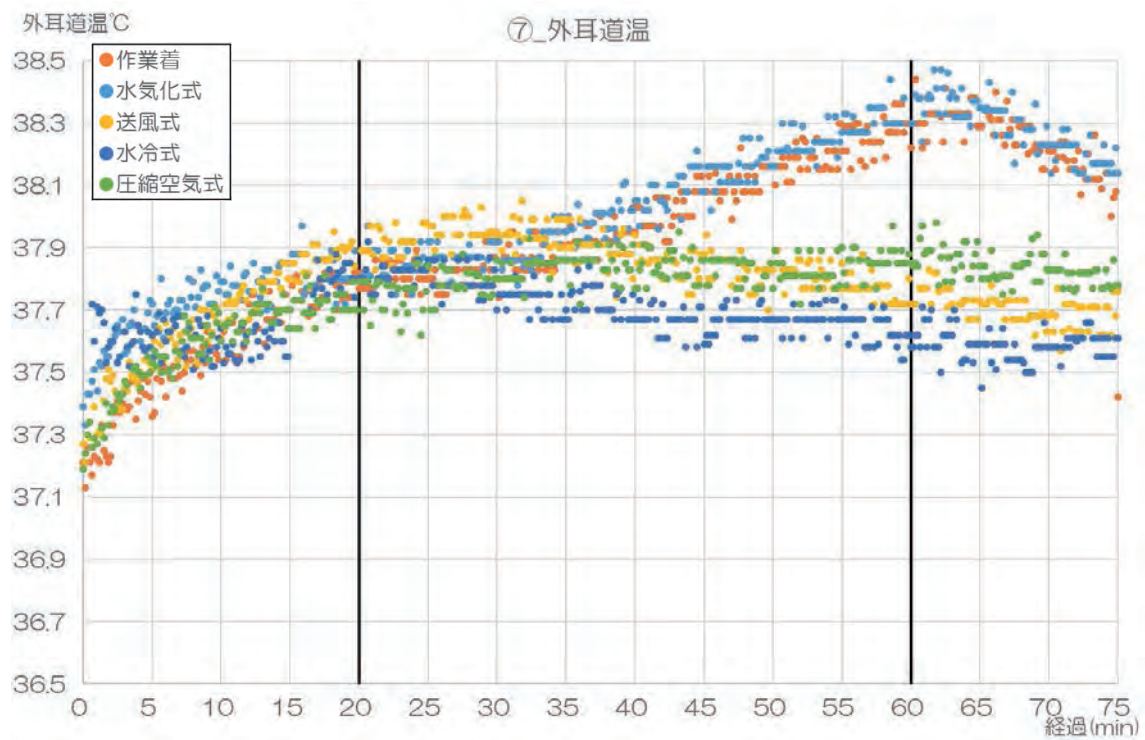


図 18 被験者⑦外耳道温時系列グラフ

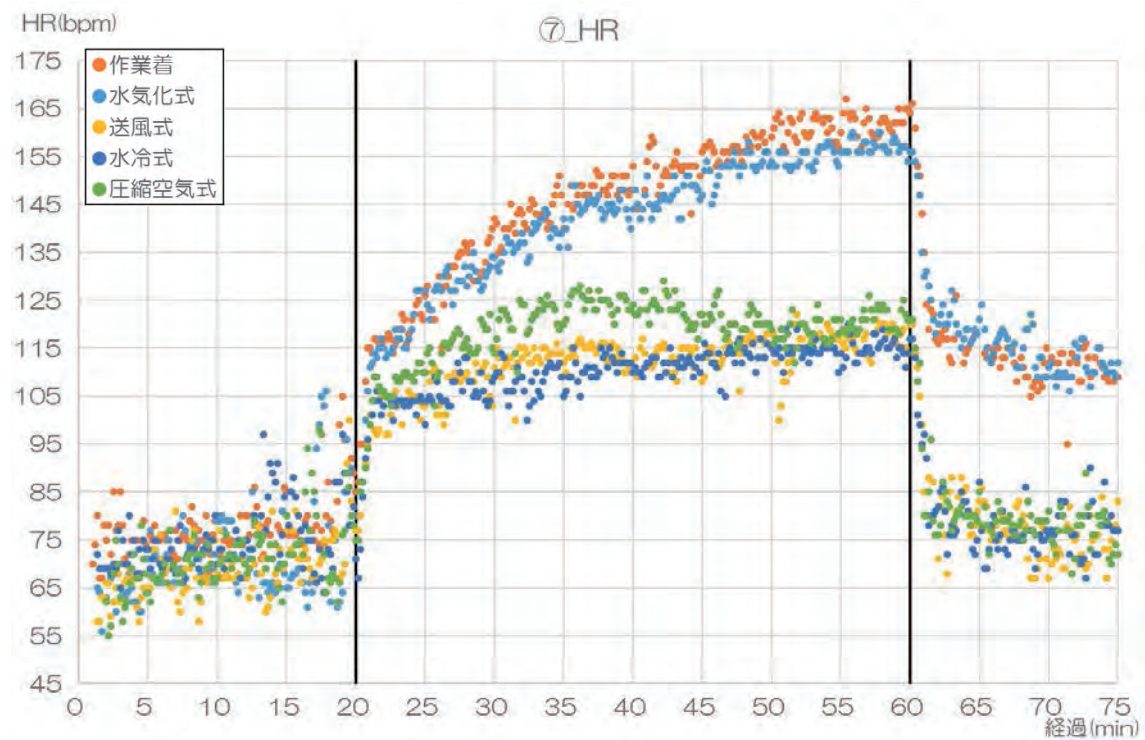


図 19 被験者⑦脈拍時系列グラフ

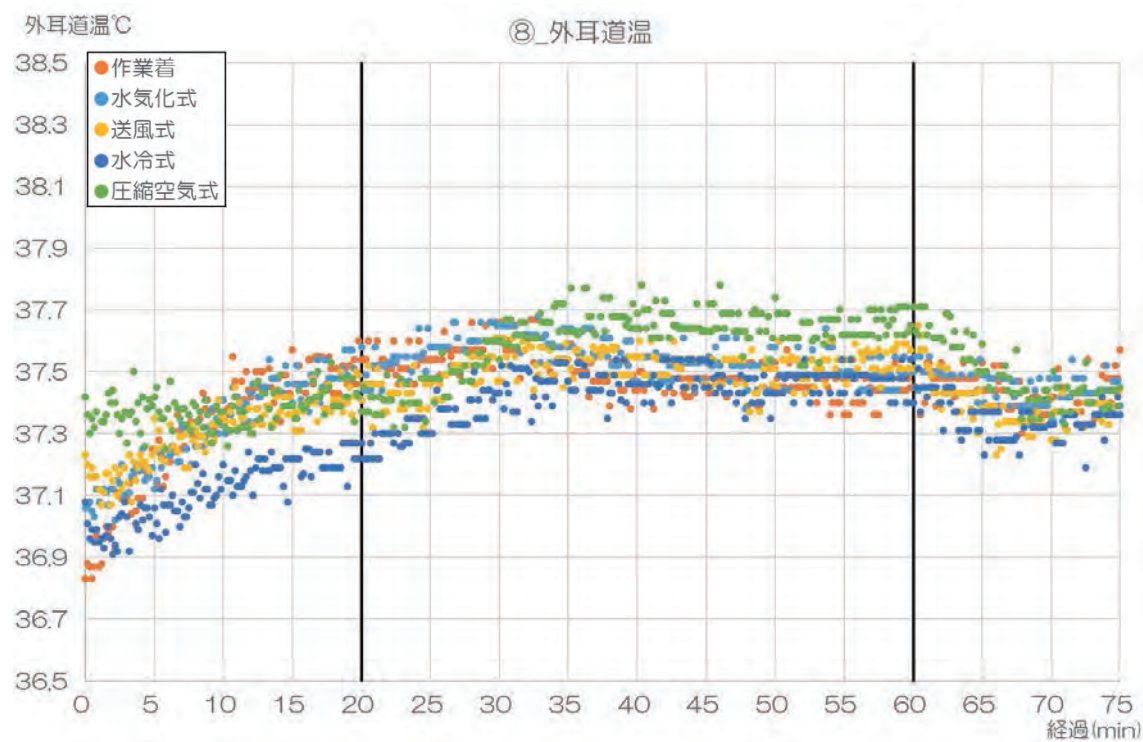


図 20 被験者⑧外耳道温時系列グラフ

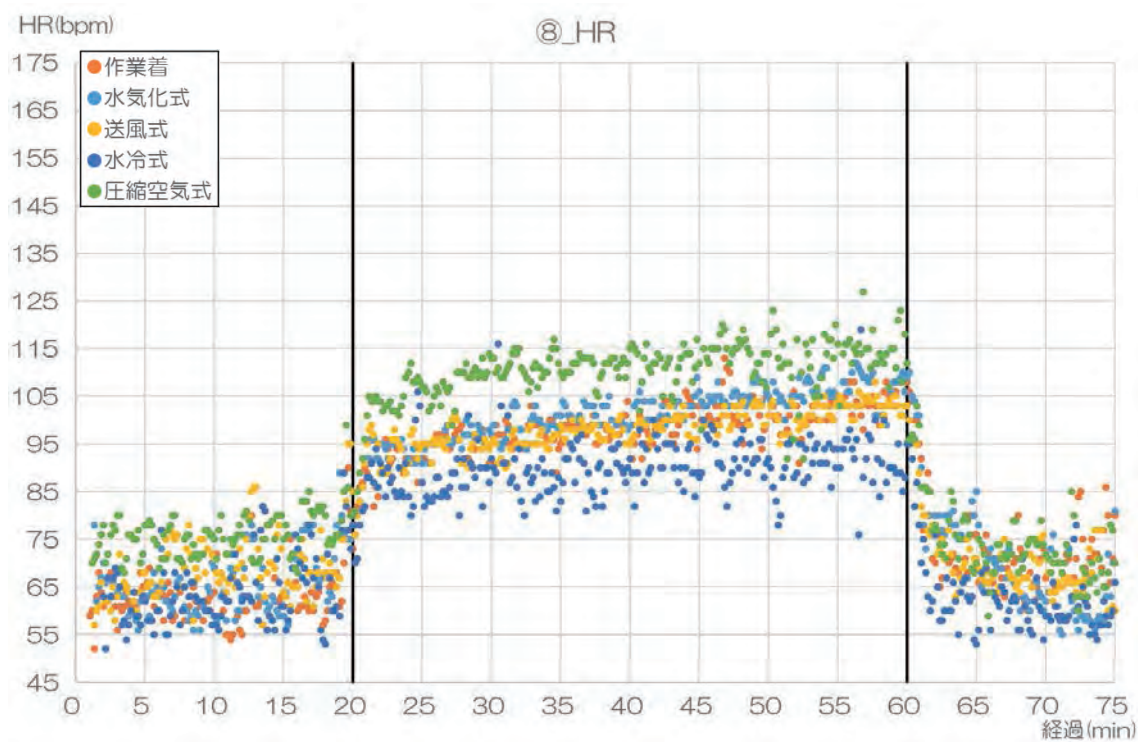


図 21 被験者⑧脈拍時系列グラフ

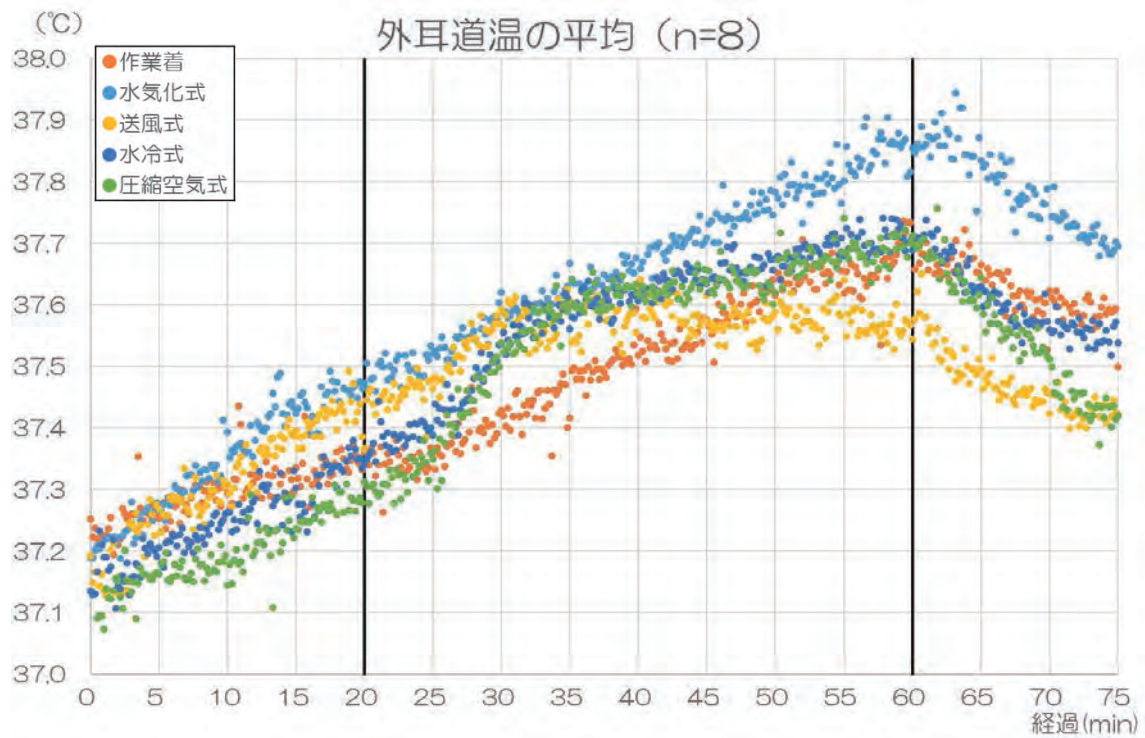


図 22 被験者平均外耳道温の時系列グラフ (n=8)

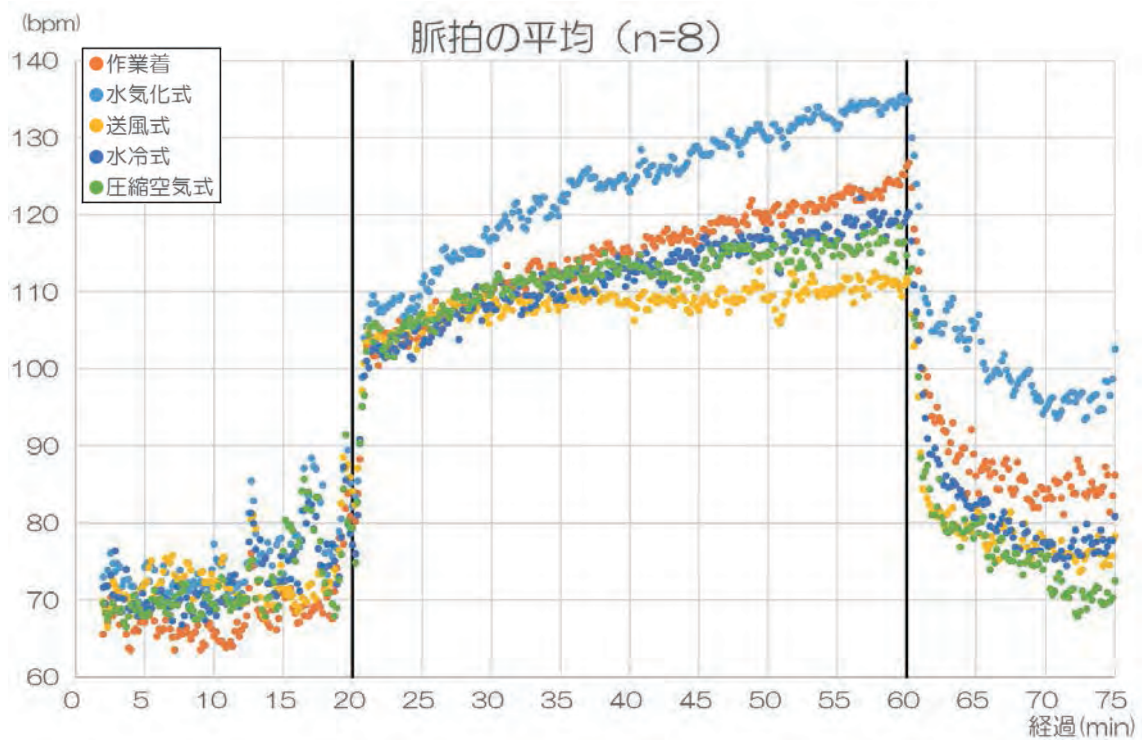


図 23 被験者平均脈拍の時系列グラフ (n=8)

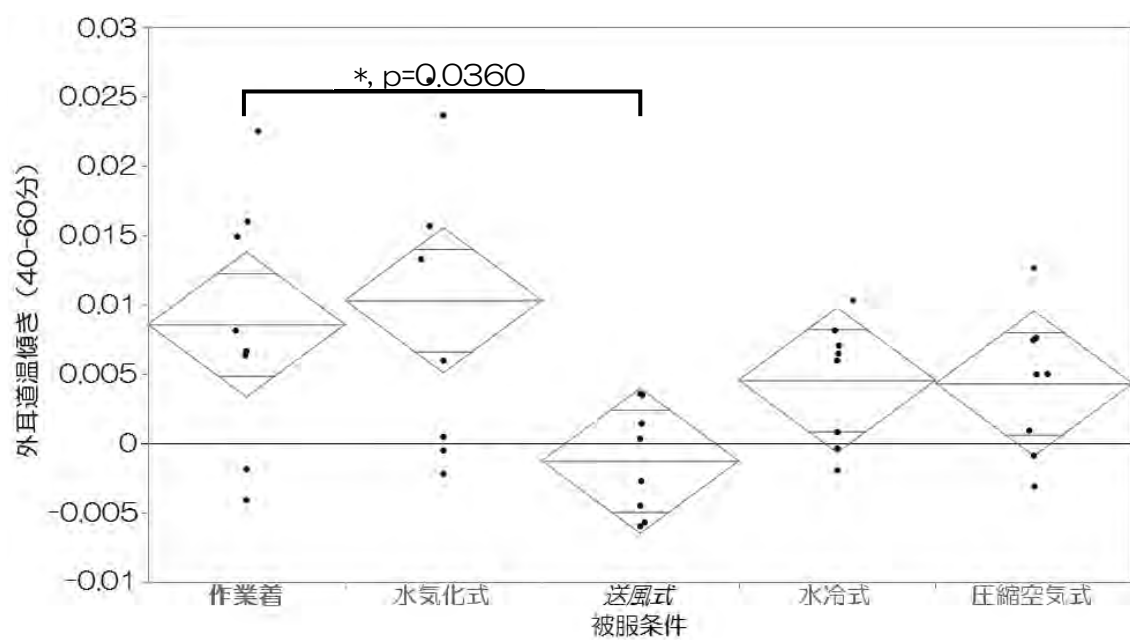


図 24 運動後半の外耳道温近似直線傾きと被服条件の比較（分散分析、 $p=0.0302$ ）

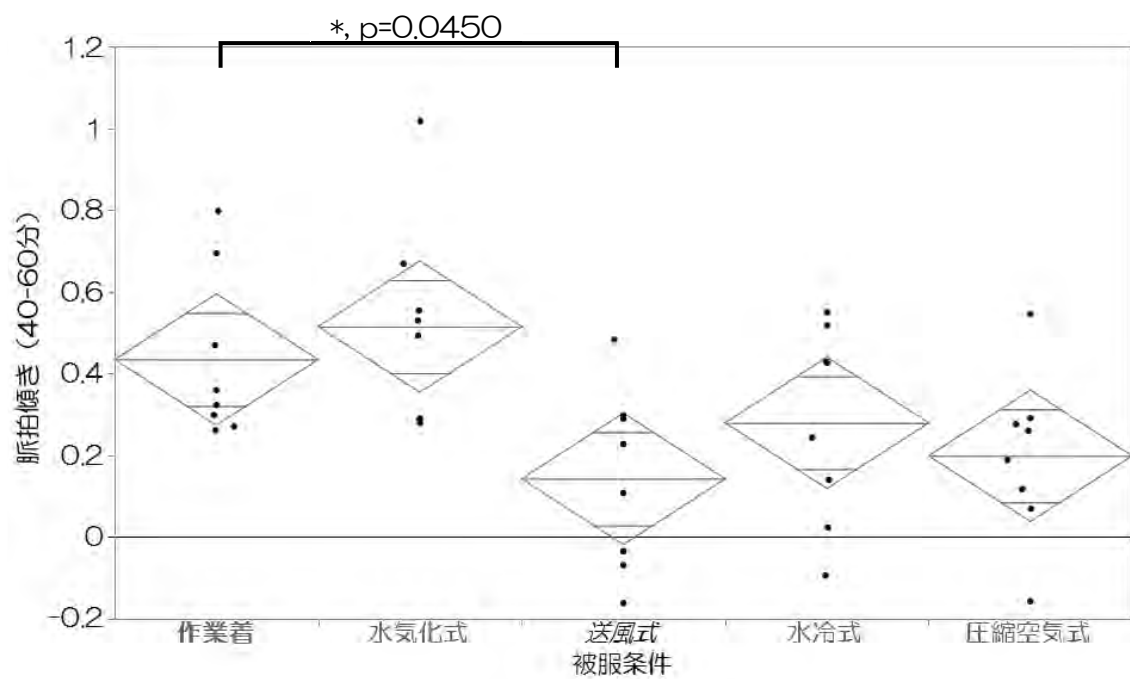


図 25 運動後半の脈拍近似直線傾きと被服条件の比較（分散分析、 $p=0.0097$ ）

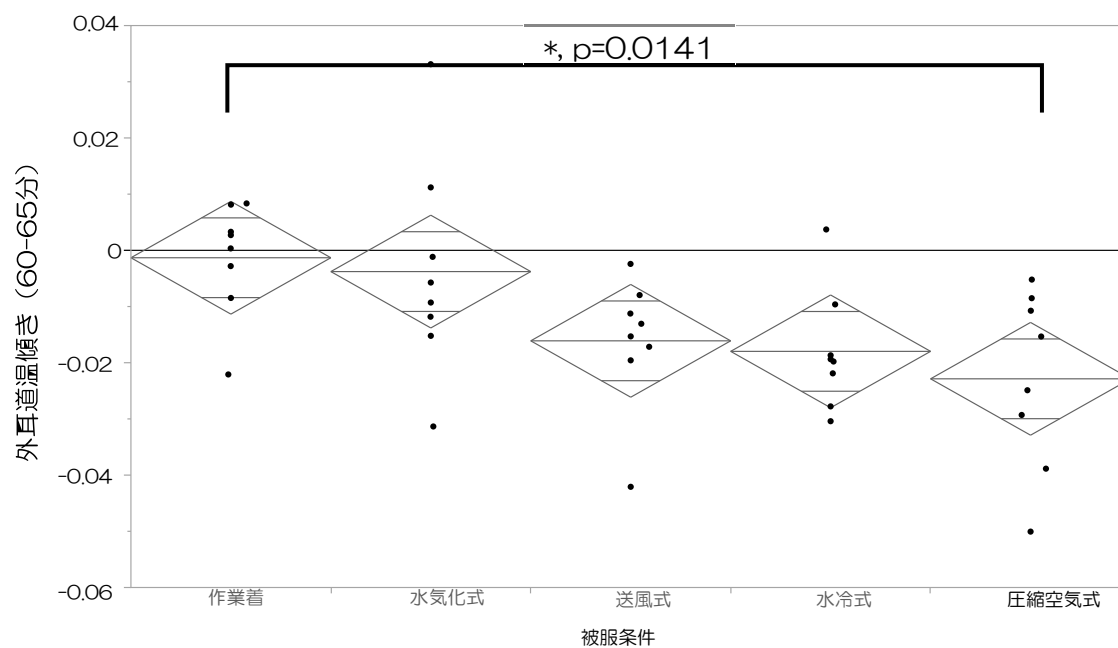


図 26 運動終了直後の外耳道温近似直線傾きと被服条件の比較（分散分析、 $p=0.0147$ ）

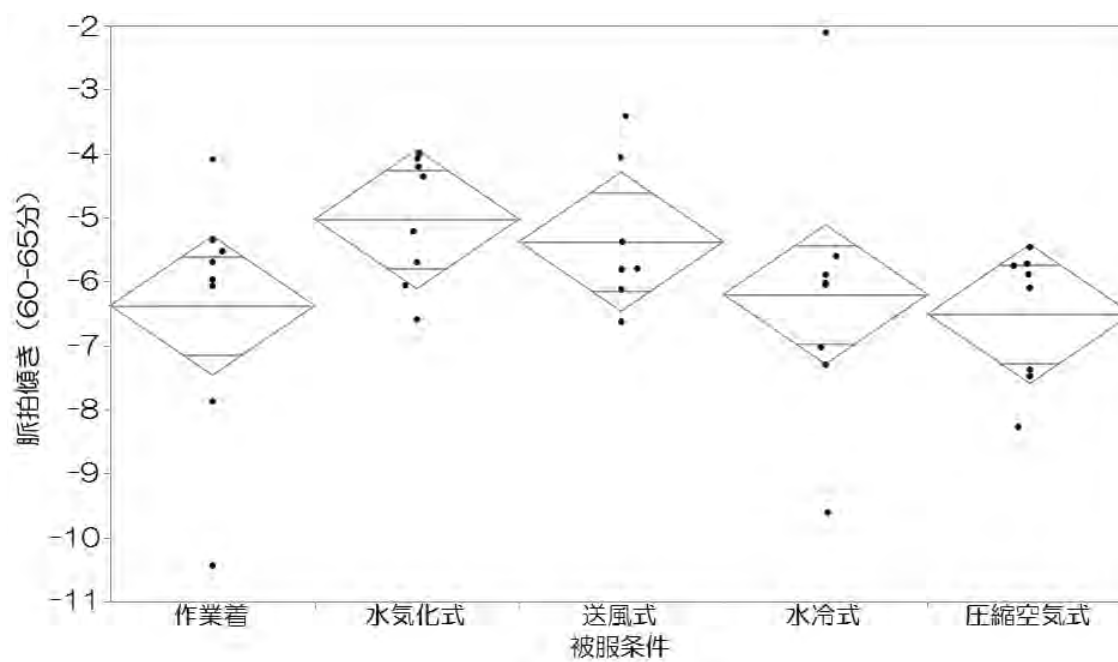


図 27 運動終了直後の脈拍近似直線傾きと被服条件の比較（分散分析、 $p=0.2224$ ）

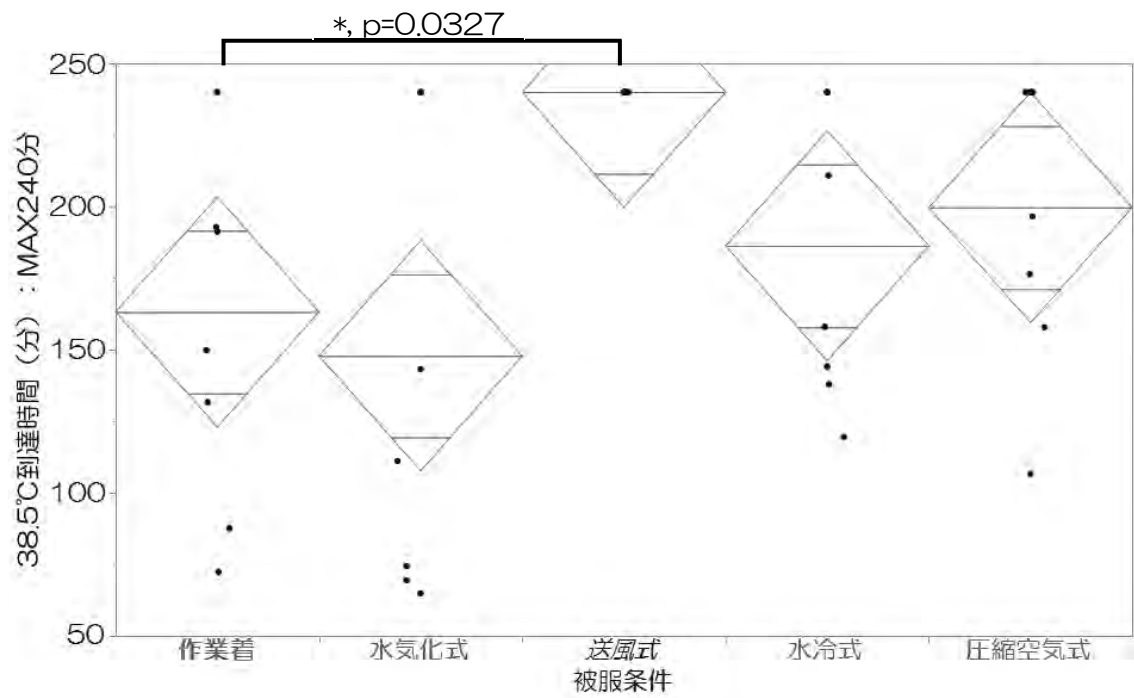


図 28 外耳道温度が 38.5℃に達する連続作業可能時間と被服条件の比較
(分散分析、 $p=0.0236$)

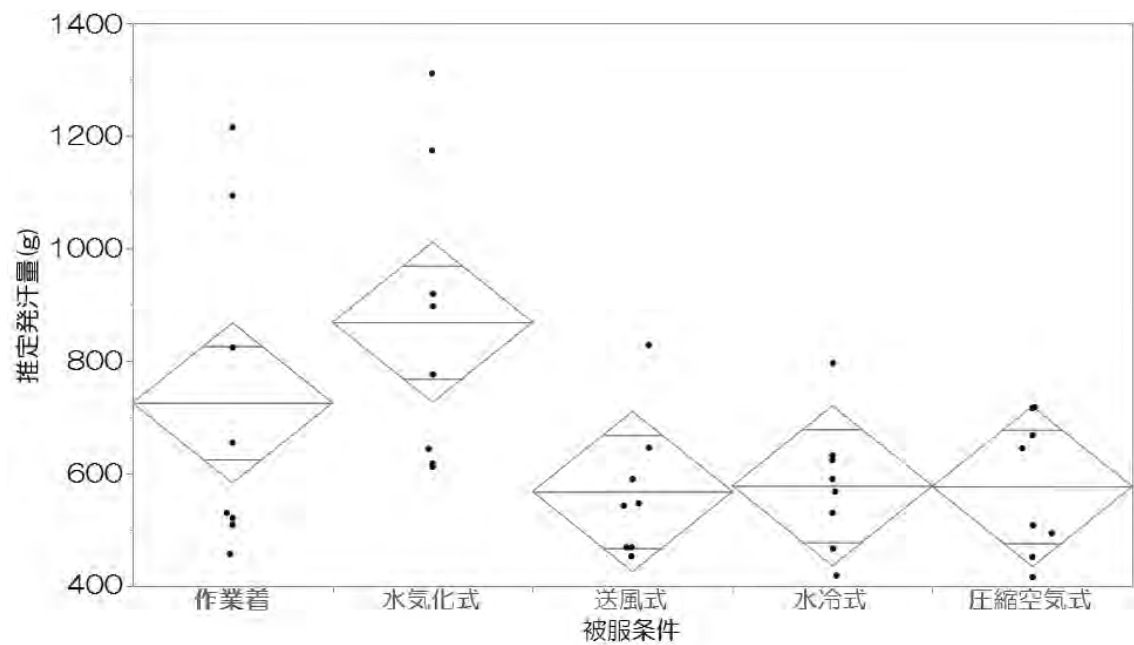


図 29 推定発汗量と被服条件の比較 (分散分析、 $p=0.0155$)

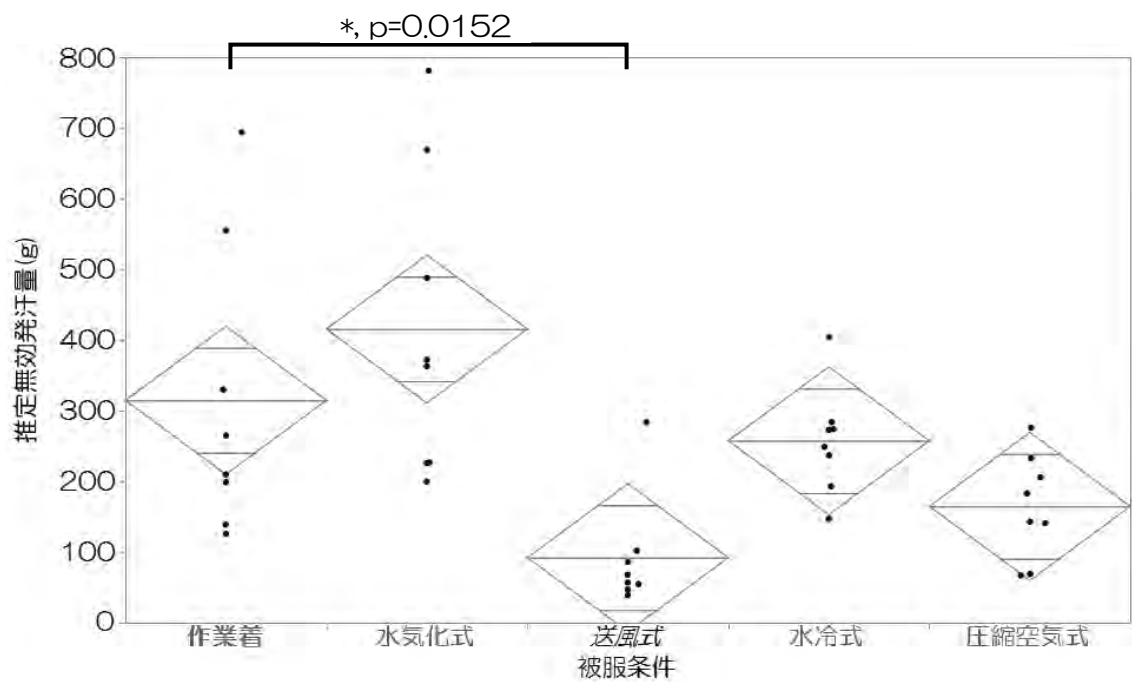


図 30 推定無効発汗量と被服条件の比較（分散分析、 $p=0.0155$ ）

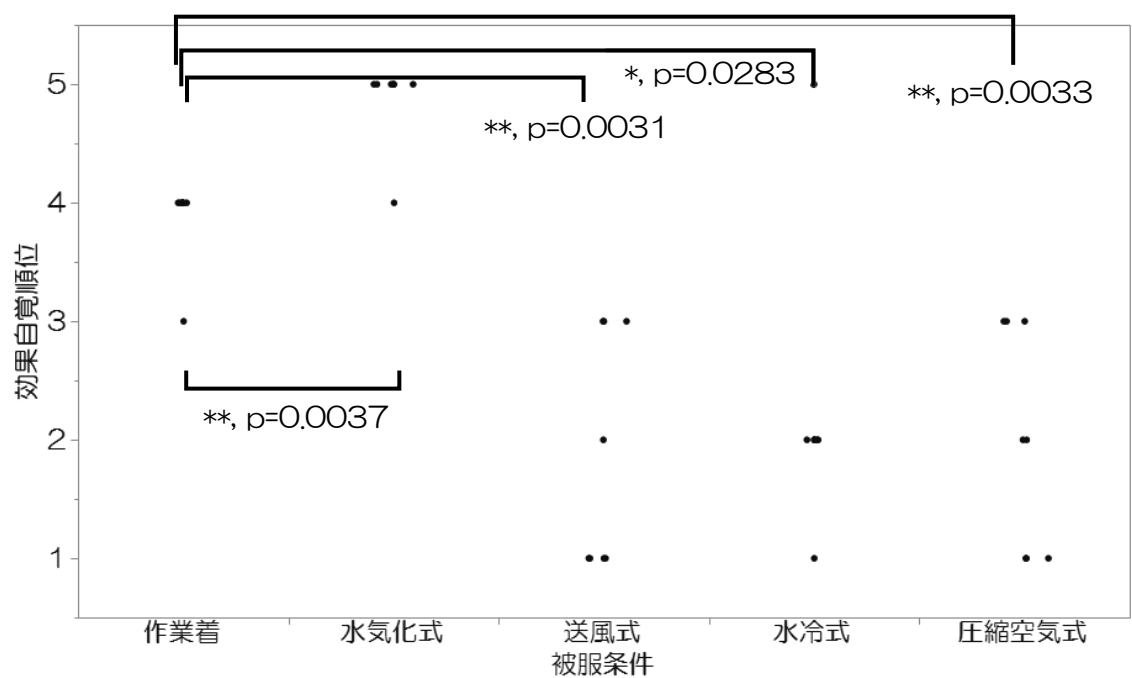


図 31 主観的な製品着用効果の順位と被服条件の比較（Kruskal-Wallis 検定、 $p<0.001$ ）

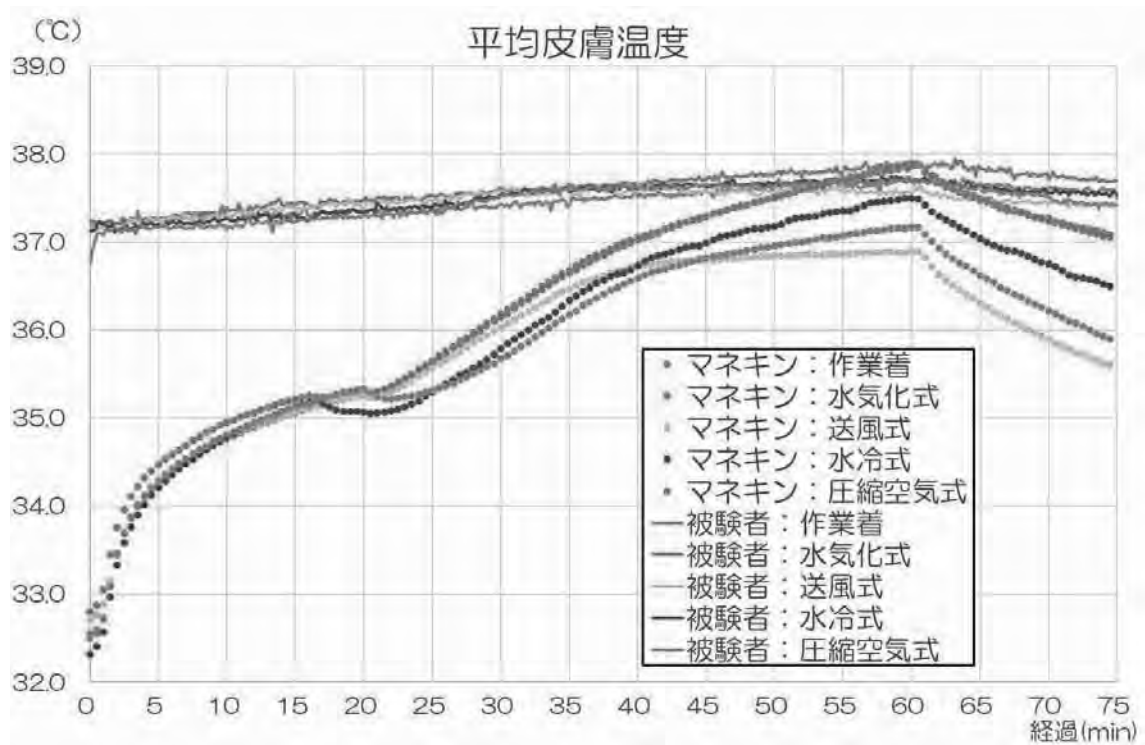


図 32 被験者外耳道温平均と発汗サーマルマネキン平均皮膚温度の時系列グラフ

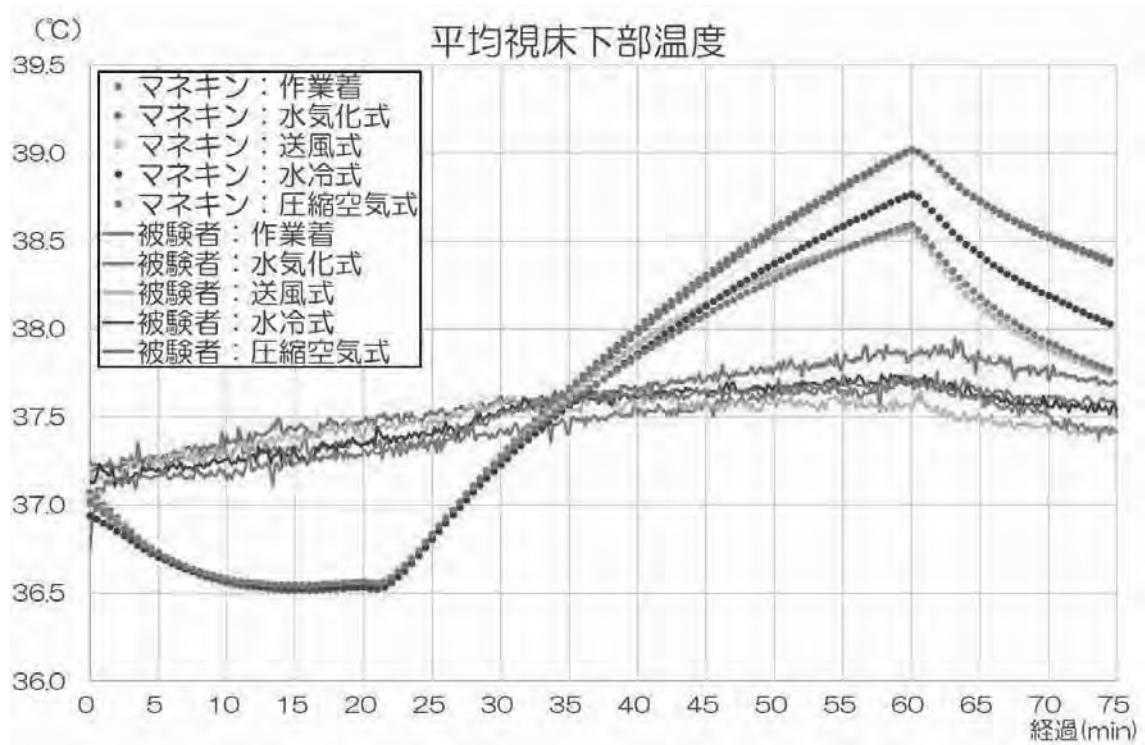


図 33 被験者外耳道温平均と発汗サーマルマネキン平均視床下部温度の時系列グラフ

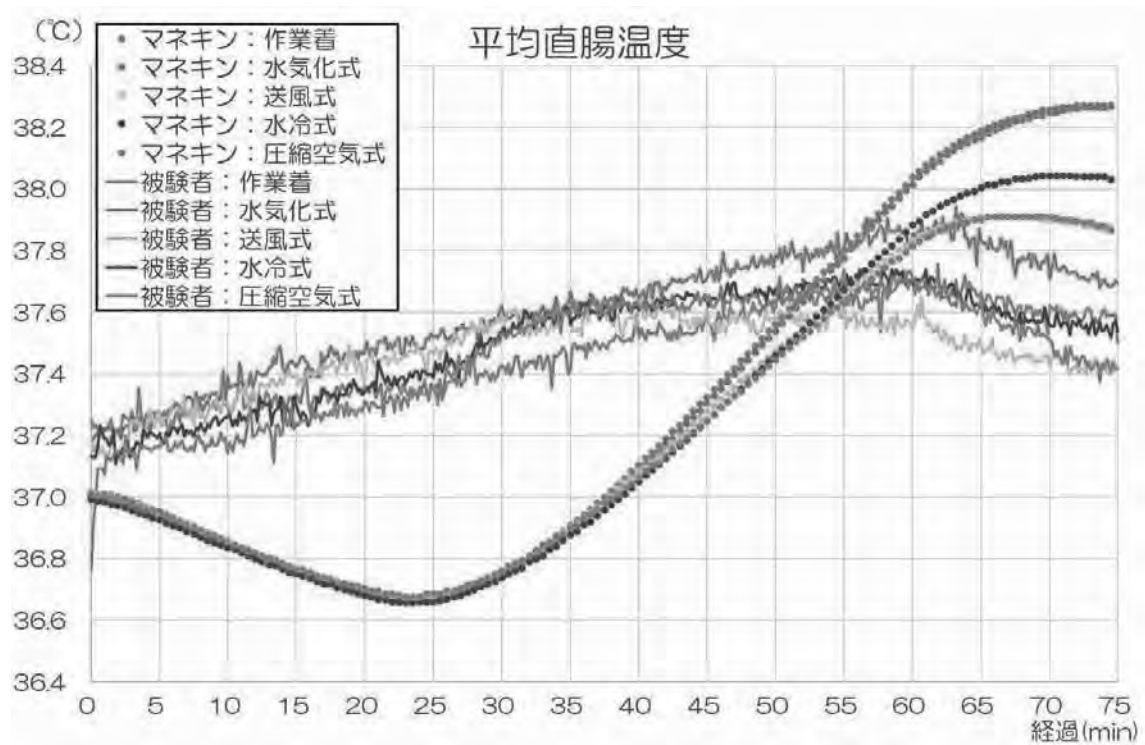


図 34 被験者外耳道温平均と発汗サーマルマネキン平均直腸温度の時系列グラフ

名前 _____

とても悪化した

① 作業着のみ

とても効果があった

- ・ ① 作業着
- ・ ② 水気化式
- ・ ③ 送風式
- ・ ④ 水冷式
- ・ ⑤ 圧縮空気式

定期健康診断結果に基づく個人差を考慮した熱中症予防ガイドラインの作成

研究代表者 堀江正知

産業医科大学 産業生態科学研究所 産業保健管理学

研究協力者 川波祥子、權守直紀、田中友一朗、田中貴浩、田渕翔大、井上仁郎

産業医科大学 産業生態科学研究所 産業保健管理学

研究要旨

当研究班の研究結果で熱中症を発症しやすい個人要因としての可能性が指摘された耐糖能異常、肥満、筋量の少なさ、精神疾患の既往といった特徴に言及した熱中症予防のためのガイドラインをとりまとめ、ウェブページに公開した。

A. 研究目的

厚生労働省労働基準局が公表している平成 27 年度の熱中症による労災死亡事例の詳細によれば、死亡事例 29 人のうち 13 人に「健康診断が行われていなかった」とされ、6 人については「健康診断結果に基づく対応が不十分」と指摘されている。また、「職場における熱中症の予防について」（平成 21 年 6 月 19 日付け基発第 0619001 号）によれば、糖尿病、高血圧症、心疾患、腎不全、精神・神経関係の疾患、広範囲の皮膚疾患等は「熱中症の発症に影響を与えるおそれがある」としており、その際、「事業者は、高温多湿作業場における作業の可否、当該作業を行う場合の留意事項等について産業医、主治医等の意見を勘案して、必要に応じて、就業場所の変更、作業の転換等の適切な措置を講ずること」を指導している。そこで、これらの健康障害等が熱中症を生じやすい生理学的な機序や具体的な対策について、本研究班の成果を収載した熱中症予防のためのガイドラインをとりまとめることを目的とした。

B. 研究方法

熱中症を生じやすい個人要因について本研究班で得られた成果のまとめを作成し、これらの個人要因に職場で具体的に対処するための対策を検討した。熱中症予防のために勧奨されている対策にこれらの事項を加えて収載したガイドライン

をとりまとめた（別紙）。その内容をウェブページに公開した。

C. 研究結果

まず、本研究班で得られた成果は次のようにまとめられた。

「定期健康診断結果に基づく熱中症リスクに関する症例対照研究」で 102 組 204 人の健康診断結果を比較した結果、熱中症を発症した労働者には、耐糖能異常、筋量の少なさ、精神疾患の既往が多かった。

「暑熱作業現場における労働者の脱水及び体温上昇リスクの個人差に関する研究」で実作業に従事していた 56 人の水分出納や核心温の観察から、肥満者は推定発汗量が有意に多く、身体活動の強さに対して核心温が高くなりやすかった。また、耐糖能異常を有する者も、身体活動の強さに対して核心温が高くなりやすかった。したがって、肥満は熱失神、熱疲労、熱射病のリスクとなり、耐糖能異常は熱射病のリスクとなることが示唆された。

「熱中症高リスク者モデルの構築に関する研究」で発汗サーマルマネキンの発汗量を減らして核心温を調節させようとすると負荷強度が大きい条件では時間が経過するほど核心温が高くなりやすかったことから、耐糖能異常を有する者など十分に発汗できない者は熱射病のリスクとなることが示唆された。

「汗の Na⁺、K⁺濃度と発汗速度に関する研究」では Na⁺/K⁺比を使用することで、

個人間の差や個人内の変動が大きい塩分喪失速度を Na⁺濃度よりも正確に評価することが可能となった。

「熱中症対策製品比較研究」では、熱中症予防対策用として上市されている製品には脱水や核心温上昇を抑制する効果が認められた製品は装着者の自覚症状も改善することがわかった。

これらの研究成果から、糖尿病や耐糖能異常、肥満、筋量の少なさは熱中症になりやすい個人要因であると考え、個別の対処法に言及することにした。一方、精神疾患の既往については症例対照研究で有意差があったものの、その病態には多彩な原疾患や服薬の種類が関係するとともに職場で機微な情報を把握して対処することは困難であると考え個別の対処法に言及しないことにした。これらに基づいて、暑熱職場における熱中症を生じやすい個人要因への対処法をまとめた(表 1)。

また、本研究班の成果では明らかではなかった個人要因についても熱中症を生じやすい可能性が指摘されている事項については、その機序を検討してとりまとめた(表 2)。

これらの事項を収載した「職場における熱中症予防対策のガイドライン」をとりまとめ、ウェブサイト公表した。

D. 考察

高血圧やその内服は熱中症を発症しやすい個人要因として有意差を認めた研究成果は得られなかった。当初は、末梢循環機能が低下していたり内服によって交感神経の働きに影響が生じたりしているこ

とが想定されたが、定期健康診断に基づく判定と動脈硬化の程度や自律神経の反応とは必ずしも一致していなかった可能性がある。また、腎不全、神経疾患、広範な皮膚疾患については熱中症の症例数が少なく、統計的な検出力が不十分であった可能性がある。そして、循環機構は発汗サーマルマネキンの機能には装備されておらずモデル化することは困難であった。

一方、耐糖能異常、肥満、筋量の少なさについては、一つ以上の研究で有意に熱中症を生じやすいことが示されたため、それぞれが脱水の発生や核心温の上昇のリスクになる機序とその対処法を生理学的に検討して熱中症予防対策のためのガイドラインに収載することにした。

E. 結論

当研究班の成果から熱中症を起こしやすい個人要因と考えられた耐糖能異常、肥満、筋量の少なさがそれぞれ熱中症を生じやすい機序を検討して対処法を収載したウェブサイトを開設した。

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

ウェブサイト公開

H. 知的財産権の出願・登録情報

なし

表 1 暑熱職場における熱中症を生じやすい個人要因への対処法

耐糖能異常等の熱中症を生じやすい個人要因のある者に共通の事項
暑熱作業中の身体負荷を 1～2 割減らすこと
暑熱作業中の休憩頻度を増やすこと
休憩時間中に腋下温を測定すること
腋下温が 38℃を超えている間は暑熱作業に従事しないこと
冷却服や冷却器具は実作業での自覚的な有用性を確かめてから使用すること
個人要因ごとに特有の事項
耐糖能異常のある者
休憩時間中に尿糖を測定すること
尿糖が陽性の間は暑熱作業に従事しないこと
適切な食事や内服により高血糖とならないよう確実な通院加療を指導する
筋量が少ない者
暑熱作業に従事する前にタンパク質摂取後の運動により筋量を増やすこと
肥満である者
暑熱作業中に飲水と塩分補給ができるようにすること
休憩時間中に体重と脈拍を測定すること
体重減少量が普段と比べて 500g 以内になるまで水分と塩分を補給すること
脈拍が普段の安静時と同等になるまで水分と塩分を補給すること

表 2 暑熱職場における熱中症を生じやすい個人要因と予想される機序

1) 小児

思春期前の小児は、体表面の断熱作用が弱く汗腺も未発達なため、環境温の影響を受けやすいと考えられる。また、身長が低いので、太陽光で暖められたアスファルトの路面に近いところで大人よりも暑熱な環境に曝されていることが多いことも懸念される。

2) 高齢者

高齢者は、感覚神経・運動神経・自律神経の機能低下、循環血液量の減少、末梢血管の動脈硬化などのため、体温の調節機能が全般的に低下している。暑さを感じるのが遅く、暑さを改善したり避けたりするための行動を始めるのが遅く、汗もかきにくいので、体内の熱を放散させる機能が不十分になりやすく、核心温が高くなりやすいと考えられる。

3) 糖尿病や耐糖能異常のある者

糖尿病や耐糖能異常がある者は、血糖値が高いほど末梢の血管拡張が障害されやすいので、体表面からの熱の放散が不十分になりやすく汗もかきにくくなることから、核心温が高くなりやすいと考えられる。また、糖尿病が重症になると尿に糖が漏れ出すことにより尿量が増えるので、脱水を生じやすいことから熱失神や熱疲労を生じやすいと考えられる。

4) 肥満者

肥満者は、核心温が体表面に伝わりにくく体内の熱を放散しにくいことから、核心温が高くなりやすいと考えられる。また、このことから体内の熱を放散するために大量の汗をかくことになりやすく、脱水にもなりやすいことから熱失神や熱疲労を生じやすいと考えられる。

5) 筋量が少ない者

筋量が少ない者は、循環血液量が少なく、大量に汗をかいたときに脱水になりやすく、熱失神や熱疲労を生じやすいと考えられる。

6) 自律神経に作用する薬剤を内服している者

高血圧や精神疾患等で自律神経に作用する薬剤を内服している者は、内服薬が汗をかく交感神経に影響を与える可能性があり、体内の熱を放散しにくいことから、核心温が高くなりやすい可能性があることが懸念される。

7) 順化していない者

暑いところで汗をかくような生活を数日から数週間にわたり続けていると、体内に熱がたまりはじめるとすぐに汗をかき始められるようになり、汗をかける汗腺が多くなって効果的に蒸発熱が奪われて体内の熱が放散されるようになり、さらに、汗で失われるナトリウム量が減ることによって、核心温が上がりにくいというえに脱水になりにくく、飲水後も熱けいれんが生じにくくなる。したがって、暑さに順化していない者は、熱けいれん、熱疲労、熱射病を生じやすいと考えられる。

8) その他の高リスク者

飲酒後などで脱水状態である者、食事を抜くなどして水分や血液中のナトリウムが不足している者、喫煙習慣のある者、強い動脈硬化のある者、広範な皮膚疾患のある者は、皮膚血流の減少、血管拡張能の低下、血管内の脱水などが生じやすく、体内の熱を放散しにくく汗もかきにくいと考えられる。心臓や腎臓の障害がある者も循環機能の障害から体内の熱放散が不十分になりやすく、感染症に罹患している者や甲状腺機能亢進症のある者は体内の熱産生が多くなりやすく、認知症のある者は暑さを避けたり環境温を調節したりする行動を起こしにくく、それぞれ熱中症を生じやすいと考えられる。

職場における熱中症予防対策のガイドライン

1 熱中症を知る

1) 熱中症とは？

(1) 熱中症の定義

熱中症とは、英語では“heat-related illness”と呼ばれる高温な環境を主因とする多彩な症状の総称です。

熱中症は、病気の成り立ちが脱水と高体温の2つに大きく分かれ、①脱水に伴う症状（めまい、頭痛、吐き気、失神（熱失神、heat collapse）、筋けいれん（熱けいれん、heat cramp）、食欲低下、全身倦怠感（熱疲労、heat exhaustion）等）と②うつ熱による体温上昇に伴う臓器不全（熱射病、heat stroke）の両者を含みます（表1）。

また、熱中症は、重症度によって3段階に分けられていて、日本救急医学会による分類では、水分の自力摂取で症状が回復する状態をⅠ度、血管内への補液が必要な状態をⅡ度、臓器障害（肝臓、腎臓、脳等の障害、DIC）が生じて集中治療を要する状態をⅢ度と呼んでいます（表1）。

表1 熱中症の分類

1) 病態による分類

「熱けいれん」：大量発汗時に水だけを摂取して、ナトリウムの濃度が低下して生じる筋けいれん

「熱虚脱」「熱失神」：血圧低下や脱水により脳の血流が低下して生じる一過性の意識消失

「熱疲労」「熱疲憊」「熱疲弊」：慢性的な脱水による筋力や消化機能等の低下

「熱射病」：体温上昇で体温中枢が障害されて生じる発汗停止、内臓障害、意識障害

2) 重症度による分類

「Ⅰ度」：水分や塩分を自力で摂取できて短時間で回復する状態（軽い熱けいれんや熱失神等）

「Ⅱ度」：自力では脱水を解消できず、点滴する必要のある状態（入院する必要のある熱疲労等）

「Ⅲ度」：深部体温が 39℃以上で、脳、肝、腎等の臓器障害か DIC のいずれかを生じた病態（熱射病）

(2) 労働災害としての熱中症

仕事が原因で発生した熱中症は、被災者の申請により、労働災害（疾病の場合は業務上疾病と呼ぶ）と認定されることがあります。

業務上疾病とは、使用者の指揮下で業務に従事していて（業務遂行性）、その業務に内在する危険有害要因が相対的に有力な原因となった（業務起因性）疾病のことです。業務上疾病には、労働基準法により事業主が療養費と休業補償費（給付基礎日額の60%）等を負担しなければならない補償義務が規定されています。したがって、熱中症が労働災害と認定されるには、業務遂行性と業務起因性があることが条件となります。

同法の省令である労働基準法施行規則は、別表1の2として対象疾病を列举していて、その第2号「物理的因子による疾病」の8に「暑熱な場所における業務による熱中症」が記されています。「暑熱な場所」と認められるには、職場が生活環境よりも暑かったことや身体負荷が高かったことなどにより、業務に従事したために体温が上昇して熱中症になりやすかったと推定されることが要件になります。「暑熱な場所」であっても、脱水によって狭心症、脳梗塞、腎不全等で持病が増悪した病態は、現時点では、業務上疾病とはしての熱中症とは認定されません。

労働行政は国家公務員が担当していて、全国で同一の基準が適用されます。業務上疾病のうち業務起因性の判断に疑義が生じやすい疾病については、厚生労働省労働基準局長の通達により認定基準が示されているものもありますが、熱中症では示されていません。

ここで、労働者災害補償保険（労災保険）は、政府が保険者となり使用者が強制加入する保険制度で、被災者の請求に基づいて、療養費、休業4日目からの休業補償費等が給付されます。労災保険の給付を受けた範囲は使用者による補償の義務が免除されます。労災保険は、使用者や労働者のいずれの過失が大きかったかは問いませんので（無過失責任制度）、速やかに補償が行われます。

また、労働安全衛生法の省令である労働安全衛生規則第97条は、労働災害が発生した場合は労働基準監督署に労働者死傷病報告を提出する義務を規定しています。その中で、休業4日以上労働災害は遅滞なく報告する義務がありますが、それ未満は四半期ごとの報告でよく、疾病別の統計は休業4日以上のものしか公表されていません。

最後に、厚生労働省は5年ごとに労働災害を防止するための労働災害防止計画を取りまとめています。第12次労働災害防止計画（平成25～29年度）からは、労災防止に関して重点的な対策を講じるべき疾病の一つに熱中症を取り上げていて、屋外作業での措置の強化や熱中症対策製品の評価等を検討しています。

2) 熱中症が起こる環境条件とは？

(1) WBGT

からだで感じる暑さには、気温のほか相対湿度、風速、輻射熱（放射熱）が関与しています。相対湿度とは、その気温で空気中に存在できる飽和水蒸気に対する割合です。輻射熱と

は、物体から放射される遠赤外線によって伝わる熱のことで、太陽やパネルヒーターから受ける熱がこれに当たります。したがって、気温が高く、相対湿度が高く、風速が弱く（皮膚温を大きく超える熱風の場合は強く）、輻射熱が強いときに、暑く感じ、熱中症が起こりやすくなります。

これら 4 つの指標を総合した指標として WBGT (wet bulb globe temperature : 湿球黒球温度、暑さ指数 (通称)) が、スポーツや職場における熱中症の予防のために国際的に広く使用されています。WBGT は、次式で表されます。

屋外での算出式 (晴れの日)

$$\text{WBGT}(\text{°C}) = 0.7 \times \text{湿球温度} + 0.2 \times \text{黒球温度} + 0.1 \times \text{乾球温度}$$

屋内での算出式

$$\text{WBGT}(\text{°C}) = 0.7 \times \text{湿球温度} + 0.3 \times \text{黒球温度}$$

WBGT は、1954 年にアメリカ海兵隊を対象とした研究で Yaglou CP と Minard D によって提唱されたもので、1982 年に ISO7243 (JIS Z8504) として規格化され、単位は気温と同じ「°C」です。

ここで、この式の自然湿球温度とは、球部を濡れたガーゼで巻いた温度計を自然環境において測定したもので、芝生上の百葉箱で測定したものとは異なります。気温が 30°C 台ならば、体表面から汗が蒸発するときの皮膚温を近似すると考えられます。また、黒球温とは、直径 6 インチ (15.24cm) で銅製の中空の黒色球の中心に温度計を入れて測定したもので、遠赤外線を吸収して輻射熱と気温を足した温度を示します。

WBGT の値は、輻射熱がよほど強くなければ、気温よりもやや低めの値を示します。WBGT 値が 28°C を超えると熱中症が増加する傾向があります。

(2) 熱中症予防情報

環境省は、熱中症予防情報 (<http://www.wbgt.env.go.jp/>) により全国の主な気象観測所における WBGT の速報値と翌日までの予報値を発信しています。このウェブサイトを利用するには、最寄りの気象観測所がどこかを確認しておくとう便利です。ただし、職場での実測値は、最寄りの気象観測所における測定値とは異なります。したがって、職場で WBGT を実測できればよいのですが、そのためには計測器が必要です。そこで、職場で暑いと感じる日に、何日かは実際に測定してみて気象観測所との較差を把握しておけば、職場での WBGT 値を推定するのに役立ちます。

(3) WBGT 基準値

① 日本体育協会

日本体育協会は、「熱中症予防運動指針」を公表し、WBGT が 28°C 以上では「激しい運

動の中止」、31℃以上では「運動の原則中止」を勧告しています（表 2）。

表 2 WBGT と熱中症予防運動指針（日本体育協会）

WBGT 31℃以上	運動は原則中止 皮膚温より気温の方が高くなる。特別の場合以外は運動を中止する。
WBGT 28～31℃	嚴重警戒（激しい運動は中止） 熱中症の危険が高いので激しい運動や持久走など熱負担の大きい運動は避ける。運動する場合には積極的に休憩をとり水分補給を行う。体力低い者、暑さに馴れていない者は運動を中止する。
WBGT 25～28℃	警戒（積極的に休息） 熱中症の危険が増すので積極的に休憩をとり水分を補給する。激しい運動では 30 分おきくらいに休憩をとる。
WBGT 21～25℃	注意（積極的に水分補給） 熱中症による死亡事故が発生する可能性がある。熱中症の兆候に注意するとともに運動の合間に積極的に水を飲むようにする。
WBGT 21℃未満	ほぼ安全（適宜水分補給） 通常は熱中症の危険性は小さいが、適宜水分の補給は必要である。市民マラソンなどではこの条件でも熱中症が発生するので注意。

②日本生気象学会

日本生気象学会は、「日常生活における熱中症予防指針」を公表し、室内で過ごす高齢者に対して同 28℃以上では「炎天下への外出の回避」、31℃以上では「涼しい屋内への移動」を勧告しています（表 3）。同指針では屋内における気温と相対湿度から WBGT を推定する換算表を示しています（図 1）。ただし、この表は、炎天下や加熱物のある産業現場では WBGT を過小評価する可能性がありますので、そのような場所では WBGT を実測すべきです。

表3 日常生活における熱中症予防指針

温度基準 WBGT	注意すべき 生活活動の目安	注意事項
危険 31℃以上	すべての生活活動でおこる 危険性	高齢者においては安静状態でも発生する危険性が高い。外出はなるべく避け、涼しい室内に移動する。
嚴重警戒 28～31℃		外出時は炎天下を避け、室内では室温の上昇に注意する。

警戒 25～28℃	中等度以上の生活活動でおこる危険性	運動や激しい作業をする際は定期的に十分に休息を取り入れる。
注意 25℃未満	強い生活活動でおこる危険性	一般に危険性は少ないが激しい運動や重労働時には発生する危険性がある。

↓気温（℃） 相対湿度（％）→

	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
40	29	30	31	32	33	34	35	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44
39	28	29	30	31	32	33	34	35	35	36	37	38	39	40	41	42	43
38	28	28	29	30	31	32	33	34	35	35	36	37	38	39	40	41	42
37	27	28	29	29	30	31	32	33	35	35	35	36	37	38	39	40	41
36	26	27	28	29	29	30	31	32	33	34	34	35	36	37	38	39	39
35	25	26	27	28	29	29	30	31	32	33	33	34	35	36	37	38	38
34	25	25	26	27	28	29	29	30	31	32	33	33	34	35	36	37	37
33	24	25	25	26	27	28	28	29	30	31	32	32	33	34	35	35	36
32	23	24	25	25	26	27	28	28	29	30	31	31	32	33	34	34	35
31	22	23	24	24	25	26	27	27	28	29	30	30	31	32	33	33	34
30	21	22	23	24	24	25	26	27	27	28	29	29	30	31	32	32	33
29	21	21	22	23	24	24	25	26	26	27	28	29	29	30	31	31	32
28	20	21	21	22	23	23	24	25	25	26	27	28	28	29	30	30	31
27	19	20	21	21	22	23	23	24	25	25	26	27	27	28	29	29	30
26	18	19	20	20	21	22	22	23	24	24	25	26	26	27	28	28	29
25	18	18	19	20	20	21	22	22	23	23	24	25	25	26	27	27	28
24	17	18	18	19	19	20	21	21	22	22	23	24	24	25	26	26	27
23	16	17	18	18	19	19	20	20	21	22	22	23	23	24	25	25	26
22	15	16	17	17	18	18	19	19	20	21	21	22	22	23	24	24	25
21	15	15	16	16	17	17	18	19	19	20	20	21	21	22	23	23	24

注：この表は、屋内で日常生活を送っている高齢者を想定したものであり、屋外や発熱体のある職場では使用するのは適当ではない。

図1 室内における WBGT の推定値(日本生気象学会「日常生活における熱中症予防指針」)

③日本産業衛生学会

日本産業衛生学会は、「高温の許容基準」を公表し、高温環境に適応した男性が連続1時間又は断続2時間の作業ができる許容基準を作業強度ごとにWBGT値で示しており、最も身体

負荷の強い作業では26.5℃以下にするよう勧告しています（表4）。国内外の学術団体は、熱中症を予防するためにいずれもWBGTを指標として採用し、28℃を超える環境では全身負荷のある作業を概ね1時間以内に制限するよう勧奨しています。

表 4 日本産業衛生学会の高温の許容基準

作業の強さ	代謝エネルギー (kcal/時)	WBGT
RMR 1 以下（極軽作業）	<130	32.5℃
RMR 2 以下（軽作業）	<190	30.5℃
RMR 3 以下（中等度作業）	<250	29.0℃
RMR 4 以下（中等度作業）	<310	27.5℃
RMR 5 以下（重作業）	<370	26.5℃

RMR (Relative Metabolic Rate) = [(労作時代謝量) - (安静時代謝量)] ÷ (基礎代謝量)

METs (Metabolic Equivalents) = (労作時代謝量) ÷ (安静時代謝量)

安静時代謝量 = 1.2 x 基礎代謝量と近似した場合

METs = RMR ÷ 1.2 + 1、RMR = (METs - 1) x 1.2

参考：METs 表 (http://www0.nih.go.jp/eiken/programs/pdf/mets_n.pdf)

④アメリカ産業衛生専門家会議（ACGIH）

アメリカ産業衛生専門家会議（ACGIH）は、「高温ストレスの TLVs®とアクションリミット」を公表し、作業強度及び作業と休憩の割合ごとに作業環境の許容限界値（TLVs®）と職場改善の検討を始めるべき値（Action Limit）を WBGT 値で示しています（表 5）。また、化学防護服等の通気性や透湿性の悪い服装の一部については補正值を示しています。この補正值は、厚生労働省労働基準局の熱中症予防通達（平成 21 年 6 月 19 日付け基発第 0619001 号）で引用されています（表 6）。また、この値を超えて作業に従事した場合、作業者を厳重に観察し次のような状態になった場合には作業を中止させるよう勧告しています。

- ①体温を測定した結果、外耳道温や舌下温で 38.0℃、腋下温で 37.5℃を超える場合
- ②体重を測定した結果、作業開始前より、1.5%を超えて体重が減少している場合
- ③脈拍を測定した結果、1 分間の心拍数が、数分間継続して、180 から年齢を引いた値を超える場合

表 5 ACGIH の TLV とアクションリミット (2016 年)

作業 と休憩 の割合	WBGT							
	TLV®				Action Limit			
	作業強度				作業強度			
	軽度	中等度	重度	最重度	軽度	中等度	重度	最重度
75%－100%	31.0	28.0	—	—	28.0	25.0	—	—
50%－75%	31.0	29.0	27.5	—	28.5	26.0	24.0	—
25%－50%	32.0	30.0	29.0	28.0	29.5	27.0	25.5	24.5
0%－25%	32.5	31.5	30.5	30.0	30.0	29.0	28.0	27.0

作業強度（体重 70kg の者の代謝量）と作業例

軽 度 （180W）座位で軽度の手・上肢の作業、運転、立位で軽度の手作業と時々の歩行
 中等度（300W）継続した中等度の上肢作業、中等度の手と下肢・体幹の作業、通常の歩行
 重 度 （415W）強度の手と体幹の作業、運搬、掘る、のこ引き、速いペースでの歩行
 最重度（520W）最大ペースでの非常に強い活動

表 6 労働基準局通達が示す「衣類の組合せにより WBGT 値に加えるべき補正值」

衣類の種類	WBGT値に加えるべき補正值（℃）
作業服（長袖シャツとズボン）	0
布（織物）製つなぎ服	0
二層の布（織物）製服	3
SMSポリプロピレン製つなぎ服	0.5
ポリオレフィン布製つなぎ服	1
限定用途の蒸気不浸透性つなぎ服	11

注 補正值は、一般にレベル A と呼ばれる完全な不浸透性防護服に使用してはならない。
 また、重ね着の場合に、個々の補正值を加えて全体の補正值とすることはできない。

⑤国際規格協会（ISO）

国際規格協会（ISO）は、ISO7243（JIS Z8504）で、熱に順化した者の上腕作業は 30℃
 で、全身作業は 28℃が限界と勧告しています。これらの値は、厚生労働省労働基準局の熱
 中症予防通達（平成 21 年 6 月 19 日付け基発第 0619001 号）で引用されています（表 7）。
 その他、ISO は、熱中症を予防するためのさまざまな指標を規格化しています（表 8）。

表 7 労働基準局通達に引用された ISO の「身体作業強度等に応じた WBGT 基準値」

区分	身体作業強度（代謝率レベル）の例	WBGT基準値			
		熱に順化している人（℃）		熱に順化していない人（℃）	
0 安静	安静	33		32	
1 低代謝率	楽な座位；軽い手作業（書く、タイピング、描く、縫う、簿記）；手及び腕の作業（小さいペンチツール、点検、組立てや軽い材料の区分け）；腕と脚の作業（普通の状態での乗り物の運転、足のスイッチやペダルの操作）。 立位；ドリル（小さい部分）；フライス盤（小さい部分）；コイル巻き；小さい電気子巻き；小さい力の道具の機械；ちょっとした歩き（速さ3.5 km/h）	30		29	
2 中程度代謝率	継続した頭と腕の作業（くぎ打ち、盛土）；腕と脚の作業（トラックのオフロード操縦、トラクター及び建設車両）；腕と胴体の作業（空気ハンマーの作業、トラクター組立て、しっくい塗り、中くらいの重さの材料を断続的に持つ作業、草むしり、草掘り、果物や野菜を摘む）；軽量の荷車や手押し車を押したり引いたりする；3.5～5.5 km/hの速さで歩く；鍛造	28		26	
3 高代謝率	強度の腕と胴体の作業；重い材料を運ぶ；シャベルを使う；大ハンマー作業；のこぎりをひく；硬い木に坎なをかけたりのみで彫る；草刈り；掘る；5.5～7 km/hの速さで歩く。重い荷物の荷車や手押し車を押したり引いたりする；鋳物を削る；	気流を感じないとき 25	気流を感じる とき 26	気流を感じないとき 22	気流を感じる とき 23

	コンクリートブロックを積む。				
4 極高代謝率	最大速度の速さでとても激しい活動；おのを振るう；激しくシャベルを使ったり掘ったりする；階段を登る、走る、7km/hより速く歩く。	23	25	18	20

注 1 日本工業規格 Z8504（人間工学—WBGT（湿球黒球温度）指数に基づく作業者の熱ストレスの評価—暑熱環境）附属書 A「WBGT 熱ストレス指数の基準値表」を基に、同表に示す代謝率レベルを具体的な例に置き換えて作成したもの。

注 2 熱に順化していない人とは、「作業する前の週に毎日熱にばく露されていなかった人」をいう。

表 8 暑熱環境に関連する ISO 規格

ISO 7243 : 1989 Hot environments-Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT-index (wet bulb globe temperature)、暑熱環境—WBGT（湿球黒球温度）指数に基づく作業者の熱ストレス評価

ISO 7726 : 1998 Ergonomics of the thermal environment-Instruments for measuring physical quantities、温熱環境の人間工学—熱環境物理量測定のための機器と方法

ISO 7730 : 1994 Moderate thermal environment - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort、中等度温熱環境—PMV と PMV 指標の算出と快適温熱環境の仕様

ISO 7933 : 1989 Hot environments - Analytical determination and interpretation of thermal stress using calculation of required sweat rate、暑熱環境—必要発汗率の計算による熱ストレス解析

ISO 8996 : 1995 Ergonomics - Determination of metabolic heat production、人間工学—産熱量の算定法

ISO 9886 : 1992 Evaluation of thermal strain by physiological measurements、生理的測定に基づく温熱負荷の評価

ISO 9920 : 1995 Ergonomics of the thermal environments- Estimation of the thermal insulation and evaporative resistance of a clothing ensemble、温熱環境の人間工学—着衣の断熱性と透湿抵抗の評価

(4) 都市部の暑熱環境

近年、都市部では、自動車や空調設備等の人工排熱、舗装道路やコンクリート構造物の蓄熱、大気汚染による温室効果、高層ビルによる海風の遮断によるヒートアイランド現象も加わり、職場の気温は最寄りの気象官署の測定値より高いことが多くなっています。特に、炎天下、炉前、熱風があると、赤外線が体表面に輻射熱を伝えやすく、それに加えて風を感じにくい環境では、皮膚表面の空気が入れ替わらず発汗の効果が得られにくくなり、熱中症が生じやすくなります。

3) 熱中症を発生しやすい個人要因は？

(1) 小児

思春期前の小児は、体表面の断熱作用が弱く汗腺も未発達なため、環境温の影響を受けやすいと考えられます。また、身長が低いので、太陽光で暖められたアスファルトの路面に近いところで大人よりも暑熱な環境に曝されていることが多いことも懸念されます。

(2) 高齢者

高齢者は、感覚神経・運動神経・自律神経の機能低下、循環血液量の減少、末梢血管の動脈硬化などのため、体温の調節機能が全般的に低下しています。暑さを感じるのが遅く、暑さを改善したり避けたりするための行動を始めるのが遅く、汗もかきにくいので、体内の熱を放散させる機能が不十分になりやすく、核心温が高くなりやすいと考えられます。

(3) 糖尿病や耐糖能異常のある者

糖尿病や耐糖能異常がある者は、血糖値が高いほど末梢の血管拡張が障害されやすいので、体表面からの熱の放散が不十分になりやすく汗もかきにくくなることから、核心温が高くなりやすいと考えられます。また、糖尿病が重症になると尿に糖が漏れ出すことにより尿量が増えるので、脱水を生じやすいことから熱失神や熱疲労を生じやすいと考えられます。

(4) 肥満者

肥満者は、核心温が体表面に伝わりにくく体内の熱を放散しにくいことから、核心温が高くなりやすいと考えられます。また、このことから体内の熱を放散するために大量の汗をかくことになりやすく、脱水にもなりやすいことから熱失神や熱疲労を生じやすいと考えられます。

(5) 筋量が少ない者

筋量が少ない者は、循環血液量が少なく、大量に汗をかいたときに脱水になりやすく、熱失神や熱疲労を生じやすいと考えられます。

(6) 自律神経に作用する薬剤を内服している者

高血圧や精神疾患等で自律神経に作用する薬剤を内服している者は、内服薬が汗をかく交感神経に影響を与える可能性があり、体内の熱を放散しにくいことから、核心温が高くなりやすい可能性があることが懸念されます。

(7) 順化していない者

暑さに馴れて順化するという事は、汗を上手にかけるようになるということです。具体的には、暑いところで汗をかくような生活を数日から数週間にわたり続けていると、体内に熱がたまりはじめるとすぐに汗をかき始められるようになり、汗をかける汗腺が多くなって効果的に蒸発熱が奪われて体内の熱が放散されるようになり、さらに、汗で失われるナトリウム量が減ることによって、核心温が上がりにくいうえに脱水になりにくく、飲水後も熱けいれんが生じにくくなります。したがって、順化していない者は、熱けいれん、熱疲労、熱射病を生じやすいと考えられます。

(8) その他の高リスク者

飲酒後などで脱水状態である者、食事を抜くなどして水分や血液中のナトリウムが不足している者、喫煙習慣のある者、強い動脈硬化のある者、広範な皮膚疾患のある者は、皮膚血流の減少、血管拡張能の低下、血管内の脱水などが生じやすく、体内の熱を放散しにくく汗もかきにくいと考えられます。心臓や腎臓の障害がある者も循環機能の障害から体内の熱放散が不十分になりやすく、感染症に罹患している者や甲状腺機能亢進症のある者は体内の熱産生が多くなりやすく、認知症のある者は暑さを避けたり環境温を調節したりする行動を起こしにくく、それぞれ熱中症を生じやすいと考えられます。

4) 熱中症が発生するメカニズムは？

(1) 体温調節のメカニズム

人体の細胞は、約 37℃で最も効率的に機能を発揮します。一方、42℃以上の温度にさらされるとタンパク質が変性し、細胞死に陥ります。そのような細胞が増えた臓器は機能不全に陥ります。これを防ぐために、人体は皮膚等の温度受容器が受けた刺激を脊髄や橋を経て視床下部の体温中枢（正中視索前核（MnPO））に伝え、ここからの指令により体温（核心温）を約 37℃に維持しようとしています。

食事や運動等で発生した体内の熱は、体表面からの赤外線輻射（放射）、物体や空気等への伝導と対流、汗の蒸発といった物理的な仕組みで体外に放散されて体の中心部分における体温（核心温）は約 37℃に維持されます。暑さを感じるセンサーとして、皮膚、腹部内臓、腹腔壁、大血管壁等には 35℃付近で興奮が最大になる神経の自由終末（温受容器）があります。これらのセンサーは、視床に情報を伝え、そこから頭頂葉感覚野に至る伝導路と橋から視床下部の体温調節中枢に至る伝導路があります（図 2）。体温が上昇しはじめると、まず、橋から視床下部の体温調節中枢に刺激が伝わると延髄網様体を刺激して交感神経系の調節によって皮膚を流れる血液が増えて体表面からの輻射を促します。一方、頭頂葉に伝わった知覚は前頭前野で判断されて前頭葉運動野が「服を脱ぐ」「うちわで扇ぐ」等の避暑行動を促します。やがて汗腺からの発汗も促され、30～35℃の皮膚表面では 1mL 当たり 0.58kcal の蒸発熱を奪います。人体の比熱は約 0.83 なので、体重 70kg がならば 100mL の蒸発で体温が約 1℃下がります。なお、犬や猫など多くの動物は汗を

かくことができないので、口を大きく開けて水分を気化させたり水浴びをしたりしますが、人間は汗をかいて、その中に含まれる水分を蒸発させる際に気化熱を奪わせて体温を下げようとします。

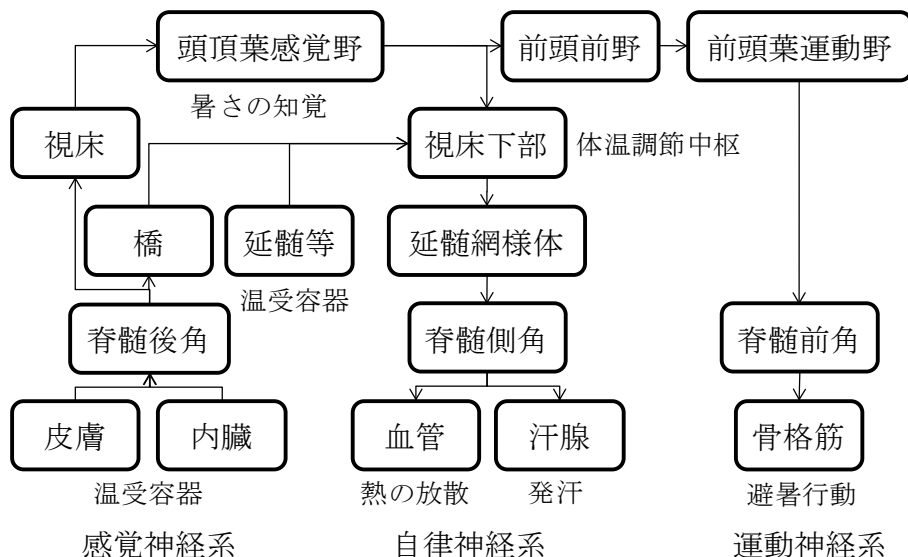


図2 体温調節の仕組み

(2) 発汗のメカニズム

体温調節に必要な汗は、汗腺で血清から作られます。タンパク質や糖分等の大きな分子は汗に分泌されませんが、ナトリウムイオンや塩素イオン等の電解質は汗に含まれます。汗腺はナトリウム等の電解質をある程度は再吸収しますので、通常、汗に含まれるナトリウムの濃度は血液の $1/4 \sim 1/8$ 程度に抑えられています。それでも、発汗によって血液中の水分とナトリウムの平衡は一時的に崩れます。人間は飲水や排尿の量や成分を調節することによって、徐々にこれらの水分とナトリウムの平衡を回復させます。

発汗は、交感神経の刺激によって始まります。3～7日間連続して暑さにさらされていると、徐々に、体内の熱産生が始まるとともに発汗が生じ、また、多くの汗腺から発汗が始まることで、効率的な発汗が行われるようになります（図3）。1時間の発汗量が1リットルに至ることもあります。発汗量が増加するとナトリウムイオンの再吸収が追いつかなくなり、汗に含まれるナトリウムイオンの濃度は上昇します。汗が多いほど体温調節には有利になるのですが、それだけ水分とナトリウムイオンを喪失しやすくなります。さらに、3～4週間連続して汗をかいているとアルドステロンの汗腺への作用が強まり、ナトリウムの喪失が抑えられるようになる。これらの現象を暑さへの順化と呼びます。逆に、汗をかかない生活を数日続けていると暑熱順化の作用は徐々に失われます。

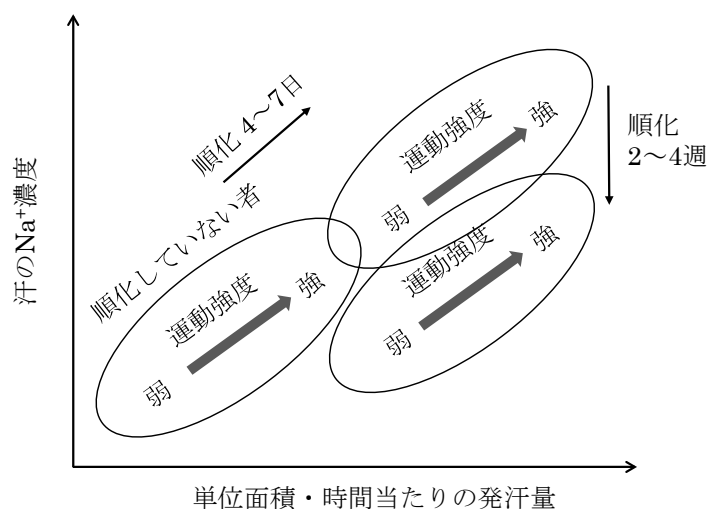


図3 発汗量と汗に含まれるナトリウムイオン濃度の関係と順化の影響

血液の浸透圧はナトリウムイオン濃度にほぼ依存しています。大量発汗により血清ナトリウムイオン濃度は一旦上昇します。すると浸透圧が上昇しますので水分が細胞間質から血液に移動し、尿量が減るとともに、口渇感を知覚して飲水し、浸透圧を維持しようとします。この飲水の際に、水分だけを摂取していると、水分がやや遅れて消化管から吸収されてくるのですが、浸透圧の維持に不要な水分は尿に排泄されてしまいますので、水分とナトリウムイオンがともに不足して脱水が残ったまま口渇感が消失してしまいます（図4）。この脱水は自覚しにくく自発的脱水（spontaneous dehydration）と呼ばれます。ナトリウムイオンを含むスポーツ飲料や経口補水液はこの自発的脱水の発生を抑制します。

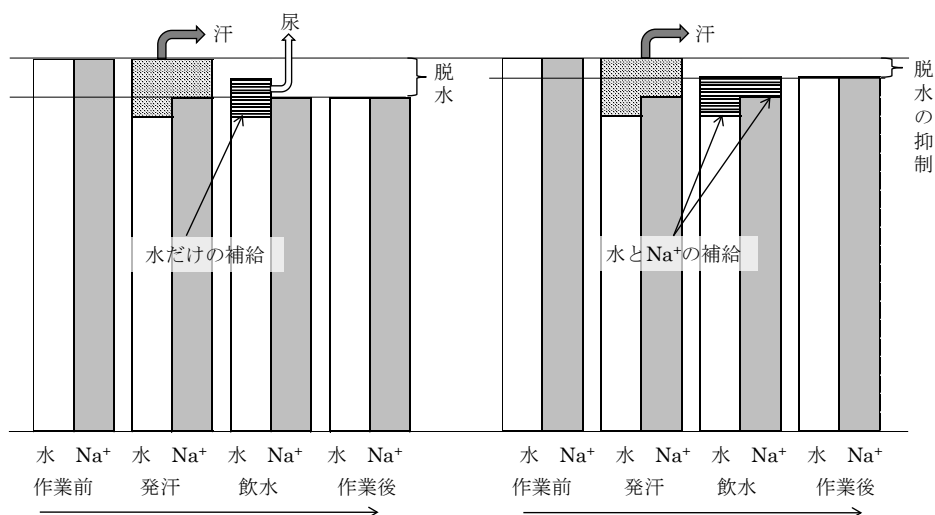


図4 発汗による脱水と水分補給

(3) 熱中症の発生メカニズム

熱中症の発生しやすさは、①暑熱な環境（高温・多湿・無風・輻射熱）、②身体負荷の高い作業、③長い連続作業時間と不十分な休憩時間、④通気性や透湿性の悪い服装の4つが総合的に関係します（図5）。さらに、飲料水を摂取しにくい状況、安全衛生保護具の着用、順化していない者による就業が熱中症の発生を助長することもあり、特に、耐熱服、化学防護服をはじめ前掛け、手袋、呼吸用保護具を着用する作業では熱中症を生じやすくなります。

まず、人間は喉の渇きに任せて飲水しても、水やナトリウムの平衡を完全に回復できず、軽い脱水状態に陥り、自発的脱水と呼ばれます。このような時に、水分だけを大量に補給すると血液中のナトリウム濃度の低下（低ナトリウム血症）が生じて、これが原因となり手足等の筋がけいれん（熱けいれん **heat cramp**）を生じます（図5）。熱けいれんは、小児の熱性けいれんと混同されないように注意して説明する必要があり、筋肉のこむらがえりと呼ぶほうが理解されやすいことがあります。

次に、体表面への血流が増加し、血圧が低下して脳の血流が減少すると、めまい、失神、疲労感、頭痛、嘔吐（熱失神 **heat syncope**）を生じます。そして、脱水も伴ってくると全身のだるさ（倦怠感）、筋力低下、食欲低下（熱疲労 **heat exhaustion**）を生じます。それでも、これらの病態にとどまる間は、体温はほぼ正常に維持されています。

やがて体温の維持が難しくなり、脳内の温度も上昇してくると、暑さの感覚が麻痺します。そして、避暑行動を取ることもできなくなり、皮膚の血管拡張や発汗等の生理的な反応も止まります。こうなると核心温は一気に40℃以上に達し、昏睡、けいれん、ショック、溶血、腎不全による乏尿、播種性血管内凝固症候群（DIC）、多くの臓器不全等を生じて、緊急に治療をしなければ致命的な状態に陥ります（熱射病 **heat stroke**）。

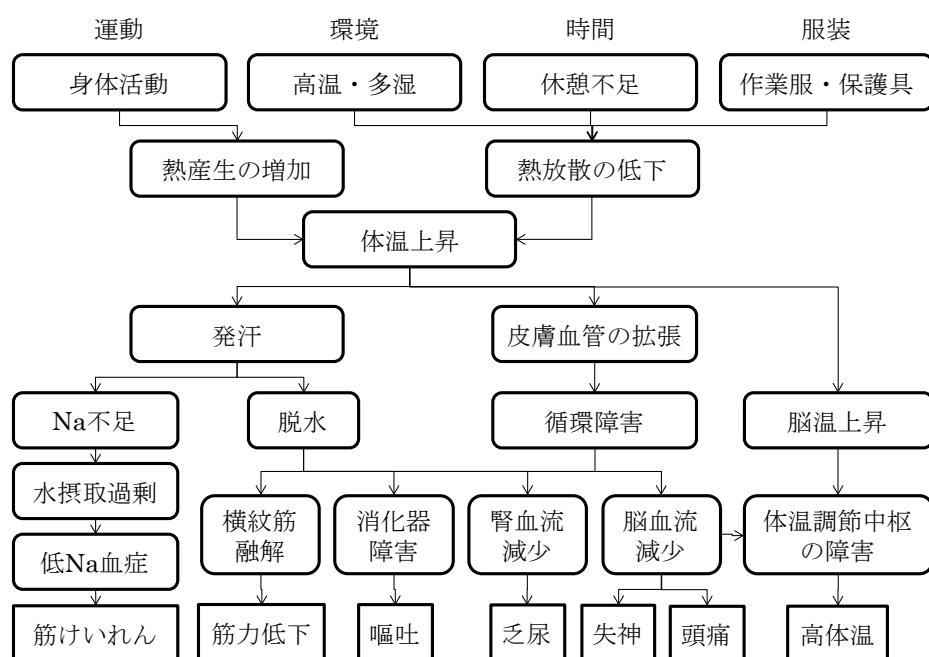


図5 熱中症の発生機序

熱中症は、前駆症状や自覚症状が生じてから重症化するとは限らず、早期発見に有用な特異的な症状ありません。運動や仕事に没頭していて、いつのまにか体温が上昇して、脳が正常な判断ができなくなって倒れるという経過をたどる例もしばしば報告されているので予防に徹することが重要です。また、熱中症は、脱水を伴いやすいので、脳梗塞、心筋梗塞、腎不全等の循環器疾患を増悪させやすいほか、競技能力の低下、作業ミス、生産性や業務の質の低下、事故等も招きやすいと考えられています。

2 熱中症に対処する

1) 熱中症の早期発見

熱中症には特徴的な症状や所見は残念ながらありません。不幸にして熱射病を生じた事例について後から振り返っても、突然、倒れたりした事例も多く、早期発見は難しいのが実態です。それでも本人をよく知っている人が、暑熱な環境で身体活動に従事している人の言動や様子が普段と違うことに気づいて声をかけることができれば、早期に発見できることがあります。また、熱中症を見逃さないようにするには、環境の暑熱条件や症状が現れた経過を詳しく記録するとともに、スポーツ飲料を摂取してやや回復したのかどうかや体温が上がっているのかどうかを確認することが望まれます。

2) 現場での応急処置

暑熱な環境で熱中症を疑う症状（めまい、失神、吐き気、嘔吐、筋けいれん等）が発生したら、なるべく早期に脱水状態の回復や体温の正常化に向けて救急処置を始めることが肝心です。熱中症の重症度は3段階に分けられています（表9）。しかし、熱中症には、特異的な症状がありませんし、体温が高くなる原因は熱中症だけとは限りません。したがって、現場で熱中症かどうかを正しく判断することは容易ではありません。

まず、呼びかけに反応しないときは救急車と応援を要請します（図6）。もし、正常な呼吸でない場合は一次救命処置（Basic Life Support）を始めます。胸骨を圧迫して心臓マッサージを行い、AEDがあればその指示に従いショックを行います。そして、救急車で医療機関に搬送する際は、経過を最もよく知る人が医療機関に同行することが望まれます。

暑熱な環境で身体活動をしている人が多量に発汗して顔面も紅潮している場合など熱中症の疑いが強い場合は、脳の温度が高くなりすぎて意識レベルが低下している可能性が高いと思われますので、急いで核心温を38.5℃まで下げる必要があります。そのためには、脱衣させ体表面を露出させ、水で濡らして、うちわなどで冷風を送ります。また、氷のうなどがあれば、頸部、わきの下、股の付け根など大きな動静脈が通っている部位を冷やします。そのときの体位は、吐物をのどに詰まらせないよう横向きに寝かせて、脳血流を確保するために足を少し挙上し、手足を末梢から中心部に向けてマッサージするのも効果的です。

また、意識レベルが下がっていなくても、熱中症が進行していることはあります。過去の

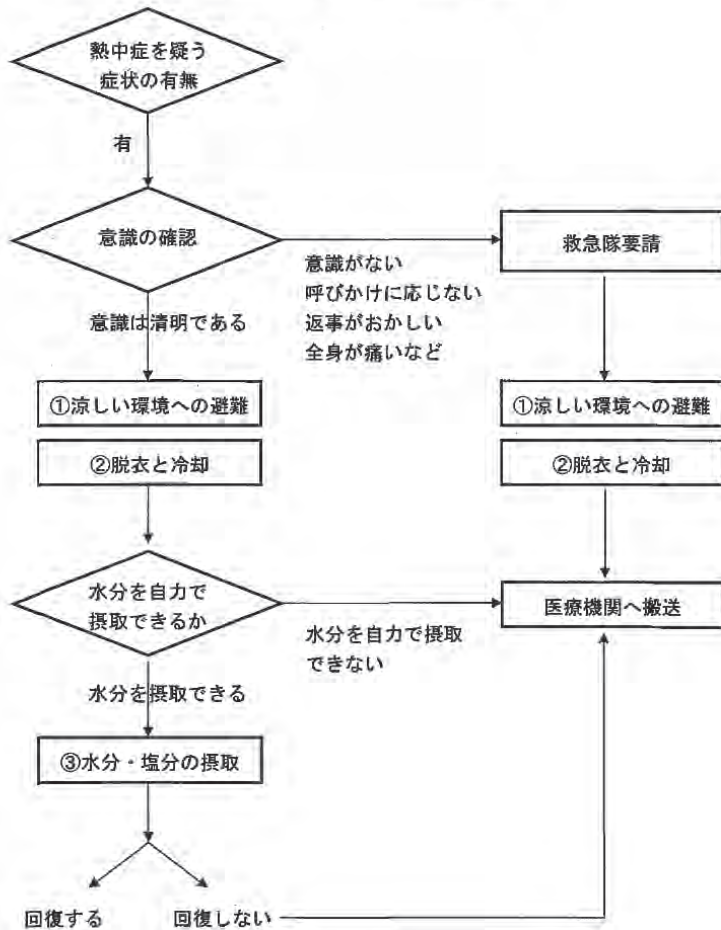
死亡災害を見直しても、顔面紅潮、めまい、ふらつきなどの症状が出始めてからまもなく意識を失っている事例もあります。したがって、手遅れにならないようにするには、管理・監督者はもちろん、作業者がお互いに声を掛け合って健康状態に気を配ることが大切です。そして、暑熱な環境で身体活動をしている人が、いつもと違う言動を生じたら、熱中症を疑う必要があります。その場合は、すぐに風通しの良い涼しいところへ移動させて、自力で水分摂取が可能であれば、ナトリウムが含まれた飲料を服用させながら、体温を測り、体調をたずねることが大切です。

表 9 熱中症の症状と分類（日本救急医学会）

分類	症 状	重症度
I 度	めまい・失神（「立ちくらみ」という状態で、脳への血流が瞬間的に不十分になったことを示し、“熱失神”と呼ぶこともある。） 筋肉痛・筋肉の硬直（筋肉の「こむら返り」のことで、その部分の痛みを伴う。 発汗に伴う塩分（ナトリウム等）の欠乏により生じる。これを“熱痙攣”と呼ぶこともある。） 大量の発汗	小
II 度	頭痛・気分の不快・吐き気・嘔吐・倦怠感・虚脱感（体がぐったりする、力が入らないなどがあり、従来から“熱疲労”といわれていた状態である。）	大
III 度	意識障害・痙攣・手足の運動障害（呼びかけや刺激への反応がおかしい、体がガクガクと引きつげがある、真直ぐに走れない・歩けないなど。） 高体温（体に触ると熱いという感触がある。従来から“熱射病”や“重度の日射病”と言われていたものがこれに相当する。）	

資料：職場における熱中症予防対策について（平成21年6月19日付け基発第0619001号）

図：熱中症の救急処置（現場での応急処置）



※ 上記以外にも体調が悪化するなどの場合には、必要に応じて、救急隊を要請するなどにより、医療機関へ搬送することが必要であること。

図6 現場での熱中症の応急処置

資料：職場における熱中症予防対策について（平成21年6月19日付け基発第0619001号）

3) 医療機関での治療

医療機関では暑熱な環境でどの程度の身体活動にどれくらいの時間にわたって従事していたかなどについて詳しく問診します。核心温が平熱か微熱でも脱水状態を認めれば、生理食塩水等を点滴して血液の Na 濃度を補正します。40℃以上の高熱では、気道を確保し、呼吸、循環、尿量、核心温（直腸温や膀胱温）を監視しながら、38.5℃まで冷却することを目標に、体表面にアルコールを塗って送風し、25℃程度に冷却したソリタ T3 号やラクテック注などの点滴製剤を急速投与し、可能であれば胃など消化管内も冷水で洗浄します。そして、CPK（筋肉が壊れる時に上昇する酵素）が高い時は横紋筋融解で生じたミオグロビンによる急性腎不全に注意します。重症例は、集中治療室

(ICU) で管理し、症状に応じて抗けいれん剤や筋弛緩剤を使用して、透析、体外循環、体外式体温管理などの集中治療を行います。播種性血管内凝固症候群 (DIC) を生じている場合は FOY の点滴等により治療します。

4) 熱中症予防のための作業環境管理

①熱源対策

熱や蒸気の発生源を探して、それらの除去、密閉、隔離を検討し、発熱源と作業者との間に断熱板を設置します。太陽光は、屋根、テント、ひさし、カーテン、遮光フィルム、すだれ、ブラインド等で遮光します。使わない機械の電源は切ります。湯気や熱気がある場合は、自然上昇を利用して上方から換気扇で排気します。

②空調 (エアコン)

空調 (エアコン) は、設定温度に頼らず作業位置で気温を実測して 28℃を超えないようにします。作業効率を重視するのであれば 22～26℃に調節するのがよいとされています。工場等の広い空間では、作業者がいる区域を仕切って空調を入れ、スポットクーラーで冷風を送ります。また、暑熱作業に従事する者の休憩室は 24～26℃に調節します。エアコンとともに扇風機も併用して冷気の対流を促します。エアコンを使用しない場合は、窓を開けて通風を確保するとともに扇風機を使用します。気温が 36℃でも通風は皮膚表面の温度を下げますので有効です。なお、エアコンや扇風機を使用する場合は、風向きが特定の人に当たらないように常に変更するようにします。

③地面・通路その他

アスファルト、コンクリート、樹脂等の人工的な地面は加熱されやすいので、蒸し暑くない朝のうちに打ち水を行います。通路等には、蒸発しやすい微細な水蒸気ミストを噴出させます。休憩場所は風通しの良い日陰に設置します。ベランダへの植栽の設置、窓への遮光フィルムの貼付、建物外壁の熱交換塗料の塗布、微細な水蒸気ミストの噴出なども利用して、WBGT を低減します。

5) 熱中症予防のための作業管理

(1) 作業時間

WBGT が高い職場ほど、許容できる連続作業時間は短くなり作業強度を下げる必要が生じ、体温回復に必要な休憩時間を長くする必要があります (図 7)。作業の身体負荷と連続時間を減らすよう工夫し、なるべく 1 時間ごとに 5 ～ 10 分程度の休憩を入れます。特に、作業開始後 4～7 日間は作業量を抑えた工程とし、頻繁に休憩させ、複数の者で作業を分担させます。ただし、実際には、温熱環境や作業条件は刻々と変化し、理論的に許容作業時間を求めるのは難しく、経験のある作業による現場での判断のほうが的確なことが多いのが実態です。

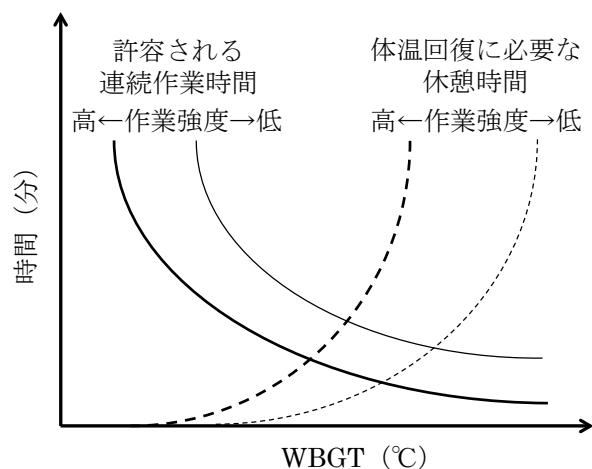


図 7 WBGT 及び身体負荷の強さと許容される連続作業時間と必要な休憩時間の関係

(2) 休憩室

休憩室には、エアコンをかけ、扇風機、飲料、冷水機、冷蔵庫、長いす、タオル等を用意します。体温計を共用する場合はスプレー式の消毒液等も用意します。職場には冷水ポットやジャグ（携帯保冷容器）を備え、休憩場所には冷蔵庫、長いす、タオルを備えます。体温計を共用させる場合はスプレー式の消毒液等も用意します。腋下水温が 38.0℃以上に到達した人は、暑熱な環境での作業を回避させ、可能であれば、頭部や四肢に水をかけ、作業着や靴下を脱がせて休ませ、体温、心拍数、体重を測定させて作業開始前の状態に回復するまで風を送りながら水分を補給させます。

(3) 作業位置

運動や作業をする場所は、日陰を選び、発熱体からなるべく離すように工夫します。時刻による太陽光の入射方向を想定して、建物等の影になるように午前中は西側で午後は東側を選びます。

(4) 飲水

水分は作業前から確実に摂取するように促し、20～30 分に 150～250mL ずつ飲ませます。発汗が多いときは、ナトリウム入りの飲料、ごま塩、塩の錠剤や飴、味噌、梅干、味付け昆布等の摂取を勧めます。発汗が多量の場合は、消化管吸収を促すブドウ糖とナトリウムイオンの入った飲料を摂取させます。特に、ナトリウムイオンが入っていない飲料水の場合は、塩飴、梅干等を一緒に摂取させます。

(5) 服装

服装は、化繊よりも羊毛を混ぜた素材が良く、いわゆる吸汗速乾の縫製で、赤外線を吸収

しない白色系で、肌に密着しない通気性のあるものを選びます。安全上の問題がなければ血流の多い四肢の表面はなるべく露出させ、体表面と衣服の間に風が通る隙間を確保し、襟元を開放したクールビズ用の服装を許可します。屋外では日よけ付きの帽子、日傘、濡らしたタオル類を使用させます。温度差が大きいところを移動する場合には上着を持参させます。

(6) 熱中症対策用品

水分蒸散式や冷水循環式の保冷服、圧縮空気を断熱膨張させて冷気を供給する方式の保冷服、送気ファン付きの作業服等、さまざまな方法で体温上昇を抑えるための熱中症予防対策用品が市販されており、これらを使用することで作業者の負担が軽減される可能性があります。製品によって電源が必要であったり、行動範囲が制限されるものなどそれぞれ長所や短所がありますので、職場に適した製品を選びます。作業者に導入前に試用させ、自覚症状の改善などの効果を確認するのもよい方法です。

熱中症予防の保護具としては、送風式の呼吸用保護具やヘルメット、断熱性を持たせたり風を通すヘルメット、ヘルメットに取り付ける保冷剤や日よけカバーなどがあります。

その他、手軽に利用出来る製品として額部や頸部に巻いて汗を吸い取る帯、保冷剤や相変化素材を利用した吸熱剤を入れたネックカラー・スカーフ・タオルなどもあります。

(7) 作業負荷の軽減

暑い日や時間帯には、力やスピードを要す活動を減らし、何人かで分担して一人当たりの作業時間と作業量を短縮します。連続して作業が可能な時間を予想することは、温熱環境、活動強度、服装、個人要因が関係して実際には難しいことから、当日、個人の体調を観察し、暑さや疲労感を聴取しながら、現場で調整するのが現実的です。ただし、暑熱な作業を開始後の 1 週間程度は身体が暑熱順化していないので、休憩を取る回数を増やして、無理のない時間を設定します。

6) 熱中症予防のための健康管理

(1) 作業前の体調確認

現場の監督者は、暑熱な環境で身体活動を始める前に、作業者に対して、「十分に睡眠を取ったか」、「酒の飲み過ぎ等で脱水状態ではないか」、「食事はしたか」、「下痢や発熱はないか」を必ず確認し、もし、脱水状態や食事を抜いて出勤した疑いのある人がいれば暑熱な環境で作業に従事させることを厳に禁じるべきです。その際、暑さに慣れていない人も申告させることが望まれます。これらの質問に正しく答えさせるには、日ごろから自らの体調を正直に申告できる雰囲気醸成し、仲間同士もお互いの顔色や様子を観察して声をかけ合うよう促しておく必要があります。また、予め、熱中症の診療ができる救急部門のある医療機関の連絡先を調べておくことが勧められます。

(2) 作業後の生活指導

作業が終わった後は、多量の発汗を伴う生活は避けて、十分な食事、休養、睡眠を取るよう促し、その日のうちに体温を正常化するように指導します。また、入浴後、就寝前、起床時に水分を補給するように指導し、体重が減っておらず、尿の色が濃くないことを確認させます。一日の最低気温が 25℃以上の熱帯夜の場合は寝室が蒸し暑くなるので、体温上昇や体重減少を確認させます。夜中に空調を使用した場合は、室内が乾燥して不感蒸泄（人間の吐く息から失われる水蒸気や肌では感じない汗）が増えるので、水分は多めに補給するように促します。アルコールは、尿量を増やす作用（利尿作用）があり、飲量より多い尿が出てしまうこともあるので、飲み過ぎに注意させ、飲酒後には必ず水分を補給するよう指導します。

(3) 特定業務従事者の健康診断

労働安全衛生法は、暑熱な職場に特別な検査項目を含めた健康診断を義務づけてはいませんが、労働安全衛生規則第 45 条に基づいて半年に 1 回の健康診断を実施するよう規定しています。熱中症になりやすい体質や状態を判別する上で簡便に検査できる指標は現在のところ開発されていませんが、健康診断の際に医師や看護職が熱中症を生じやすい作業環境、作業、健康状態に関して問診（表 10）を行うことが勧められます。

表 10 暑熱な職場の労働者を対象とした特定業務従事者の健康診断における問診例

蒸し暑さの原因を特定し対策を講じているか
蒸し暑さに身体が慣れるように努めているか
暑い日は作業量や休憩時間を調整しているか
熱中症にかかった同僚はいないか
熱中症にかかった経験はないか
水分摂取を制限していないか
塩分摂取を制限していないか
出勤前に必ず食事をしているか
脱水になりそうな運動・飲酒の習慣はないか
利尿剤（尿を増やす薬）等を飲んでいないか

(4) 健康診断結果に基づく就業上の措置

健康診断で検査結果に異常所見がある場合は、職場の上司や人事担当者は、産業医等から本人が暑熱な職場における作業に従事するに当たって講ずるべき措置がないかについて意見を聴取する必要があります。産業医等から措置を要する事項について意見を聴取する場

合には、職場の上司等は作業環境や作業の様子についてなるべく詳しく説明をして、産業医から具体的な意見をもらえるように工夫します。そして、産業医等から述べられる意見（表 11）に基づいて、人事部門は暑熱な職場における就業上の措置を決めます。就業上の措置が決まったら、それらがきちんと実践されるように職場の上司や現場の監督者に連絡する必要があります。また、暑熱な職場における作業に従事することが困難であると判定された場合は、まず、本人が治療や生活改善に励むことによって就業適性が確保されるよう促します。そのうえで、当座は夏場の暑い時期だけはその他の業務に従事させるといったやりくりの仕方を検討します。それでもどうしても適性がないということであれば、配置や作業を思い切って転換したりすることを検討します。

特に、肥満の人、筋量の少ない人、糖尿病や耐糖能異常のある人は、熱中症を生じやすいことが指摘されています。これらの人たちについては、暑熱作業中の身体負荷を 1～2 割減らしたり、休憩頻度を増やしたりするといった配慮をすることが熱中症の予防につながります。

表 11 暑熱な作業の労働者の健康診断の結果に基づく医師の意見（例）

熱や蒸気の発生源を別室に移動すること
作業場に屋根やひさしを設けること
窓にすだれやブラインドを設置すること
空調やスポットクーラーを設置すること
扇風機や送風機を設置すること
最も暑い仕事は 2 人以上で交替すること
1 時間ごとに作業休止時間を設けること
空調が効いた休憩室を設けること
休憩室にナトリウム入りの飲料水を準備すること
作業による作業休止や飲水を許可すること

表 12 暑熱職場における熱中症を生じやすい個人要因への対処法

耐糖能異常等の熱中症を生じやすい個人要因のある者に共通の事項

暑熱作業中の身体負荷を 1～2 割減らすこと
暑熱作業中の休憩頻度を増やすこと
休憩時間中に腋下温を測定すること
腋下温が 38℃を超えている間は暑熱作業に従事しないこと
冷却服や冷却器具は実作業での自覚的な有用性を確かめてから使用すること

個人要因ごとに特有の事項

耐糖能異常のある者

休憩時間中に尿糖を測定すること

尿糖が陽性の間は暑熱作業に従事しないこと

一回当たりの食事摂取量を制限して食後の血糖値上昇を抑えること

筋量が少ない者

暑熱作業に従事する前にタンパク質摂取後の運動により筋量を増やすこと

肥満である者

暑熱作業中に飲水と塩分補給ができるようにすること

休憩時間中に体重と脈拍を測定すること

体重減少量が普段と比べて 500g 以内になるまで水分と塩分を補給すること

脈拍が普段の安静時と同等になるまで水分と塩分を補給すること

(5) 健康診断結果に基づく保健指導

健康診断で検査結果に異常所見がある場合は、医師や保健師は、労働者に対して保健指導（表 13）を行います。肥満の人、筋量の少ない人、高血圧、心疾患、脳血管疾患、糖尿病や耐糖能異常、腎疾患、甲状腺疾患等の持病がある人、自律神経の機能に影響のある薬を内服している人、塩分摂取を制限されている人は、かかりつけの医師や職場の産業医に注意すべき事項を尋ねさせておきます。

もし、現場で体調不良を訴える人やいつもと違う様子の人が現れた場合は、涼しい場所で休憩させてスポーツ飲料等を飲ませ、衣服を脱がせて体表に水を軽くかけて団扇などで風を送るとともに、身体の大血管部位（腋下や股間等）を氷嚢や保冷剤で冷却します。自力で飲料が飲めない場合や言動がおかしいと感じる場合は、直ちに救急車を要請し、誰かが同行して医療機関に搬送します。このような事態に備えて、保冷剤や体温計を用意し、緊急時の連絡体制を整え、救急処置の教育や訓練を行っておくことが勧められます。

表 13 暑熱な職場の労働者への保健指導（例）

熱中症の症状があれば上司に報告する

普段よりも蒸し暑いときは無理をしない

蒸し暑さに身体を慣らすように努める

日陰を選んで業務や通勤をする

空調や扇風機は風向きを変えて使用する

発汗時はナトリウム入りの飲料を摂取する

夜更かしをせず睡眠を十分に取る

出勤前には必ず食事をする
過度な脱水になる運動・飲酒は控える
主治医に暑熱対策について相談する

(6) 広報

企業や自治体では、熱中症を予防するために、管轄する場所や地域に対して、積極的に広報を行っているところがあります。たとえば、滋賀県草津市では危機管理課という部署を中心に、市民の熱中症を予防するために積極的な対策を講じています。草津市熱中症予防に関する条例を施行し、WBGT（暑さ指数）が 28℃を超える場合に、市内全域に熱中症嚴重警報を発令し、防災行政無線を通じて広報しているほか、同市のホームページから登録した方に熱中症予防情報のメールを送信しています。また、「熱中症を予防するための 6 箇条」（表 14）や「草津市民を対象とした熱中症予防対策（予防指針）」をまとめている、これらの取組は職場でも参考になります

(<http://www.city.kusatsu.shiga.jp/www/contents/1222412178168/index.html>)。

表 14 滋賀県草津市の「熱中症を予防するための 6 箇条」

- 1 暑い日には無理なスポーツや作業を控えましょう。草津市は湿度が高いため油断は禁物です。
 - 2 子どもやお年寄りや発生危険が高いので注意しましょう。二日酔い、睡眠不足、下痢、カゼ気味のときは危険です。
 - 3 暑い日の活動は十分な水分・塩分補給と適度な休憩が必要です。
 - 4 涼しい服装に心がけましょう。日なたでは帽子をかぶりましょう。
 - 5 日頃から暑さに慣れておきましょう。急な暑さには注意しましょう。
 - 6 救急処置は早く行いましょう。
-

3 熱中症関連資料

1) 熱中症の統計

人口動態統計によれば、熱中症による死亡者数は 1995 年～2014 年の累計で 10,412 人に上り、20～60 歳代では、身体活動が盛んな男性のほうが女性よりも多くなっています（図 8）。高齢者のほうが発生率は高く（図 9）、重症者である率も高くなっています（図 10）。一方、乳幼児では親が自動車の後部座席で寝ているのを忘れる事件として発生し、児童・生徒・学生では野球・サッカー・ラグビー・バスケット・柔道・剣道等のクラブ活動やスポーツ競技で主に男性が犠牲になっています。

夏の平均気温が高い年には熱中症が増加する傾向があります。そして、熱波と言われた1994年に熱中症の社会的な認知が進み、死亡診断書にも状態名ではなく原因病名を記載するよう勧奨された時期とも重なって、この頃から熱中症という死因名が記載されることが多くなった傾向があります（図11）。

消防庁の統計によれば、熱中症として救急搬送者数は梅雨明け等で急に蒸し暑くなった日に急増する傾向がはっきりとしています。また、お盆休みや連休が明けた直後にも急増する傾向があります。これは暑熱環境に順化していない人が熱中症に理解していることを反映したものと考えられます。日本救急医学会 Heatstroke STUDY2012によれば、20歳代～50歳代は仕事が原因の熱中症が最も多く、20歳未満ではスポーツによる熱中症が圧倒的に多くなっています（図12）。その中で運動種目として最も多いが野球となっています（図13）。

業務上疾病の統計によれば、労働災害としての熱中症により1997年～2015年の累計で386人が死亡していて、年間約20人に上っています（図14）。労働災害による死亡者はすべて男性です。業種別では、約6割が建設業ですが、就業人口の割合からみると屋外での業務が長い林業と警備業が多くなっています（図15）。都道府県別では、東京都が最も多く、時期は5月に第1例が報告され、ピークは8月よりも7月になることが多く、時間帯別では14～17時に約半数が集中しています（図16）。暑熱な現場での作業を開始後3日間で約半数を占めているのが特徴です（図17）。そして、例年、休業4日以上災害は死亡災害の約15～20倍発生しています。ただし、軽症の熱中症は、職場における応急処置で回復する場合も多く、労働災害として報告されている事例はごく一部とみられます。

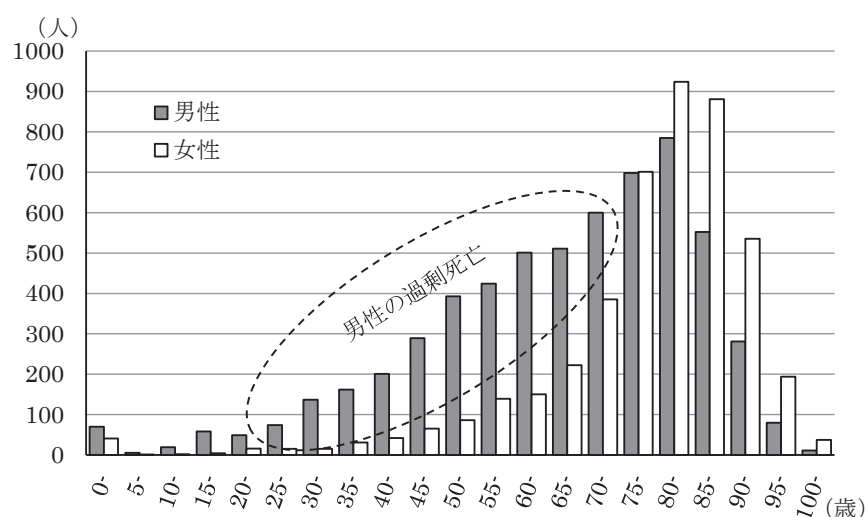


図8 人口動態統計に基づく熱中症による死亡者数、性・年代別

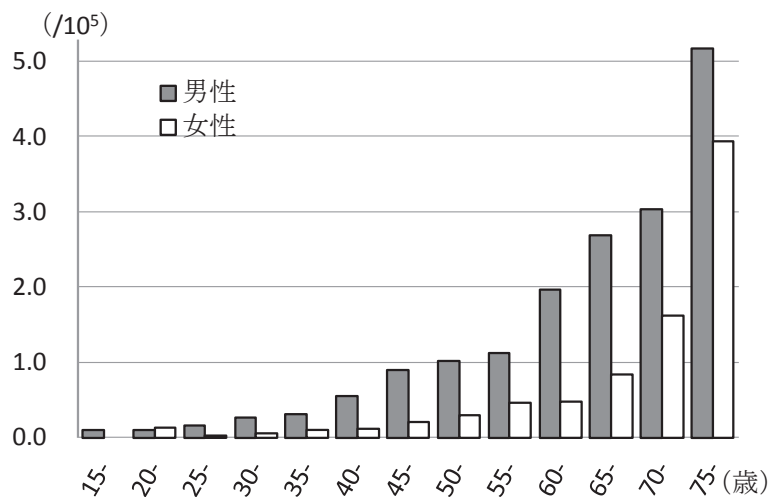


図9 人口動態統計に基づく熱中症による死亡率、性・年代別

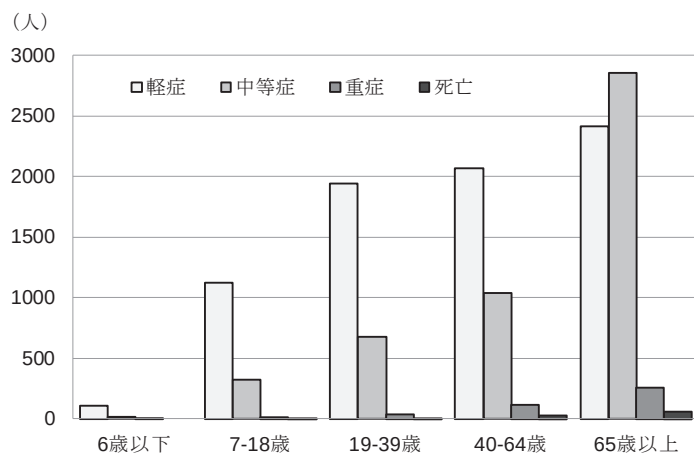


図10 人口動態統計に基づく熱中症による死亡者数、年代・重症度別（2010年）

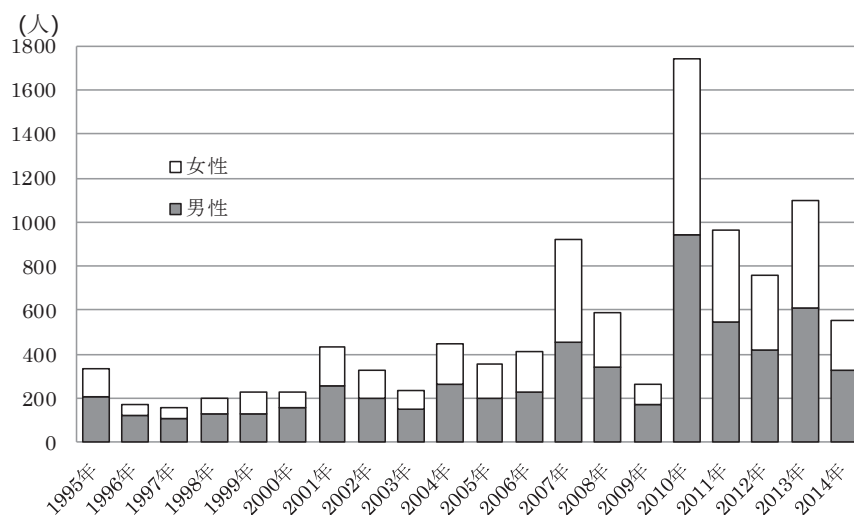


図11 人口動態統計に基づく熱中症による死亡者数、性・年別

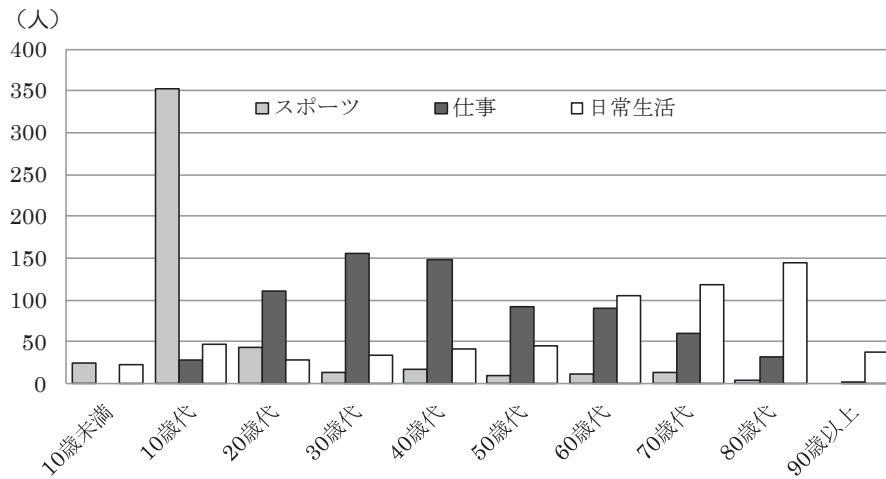


図 12 熱中症による救急搬送者数、年代・原因別

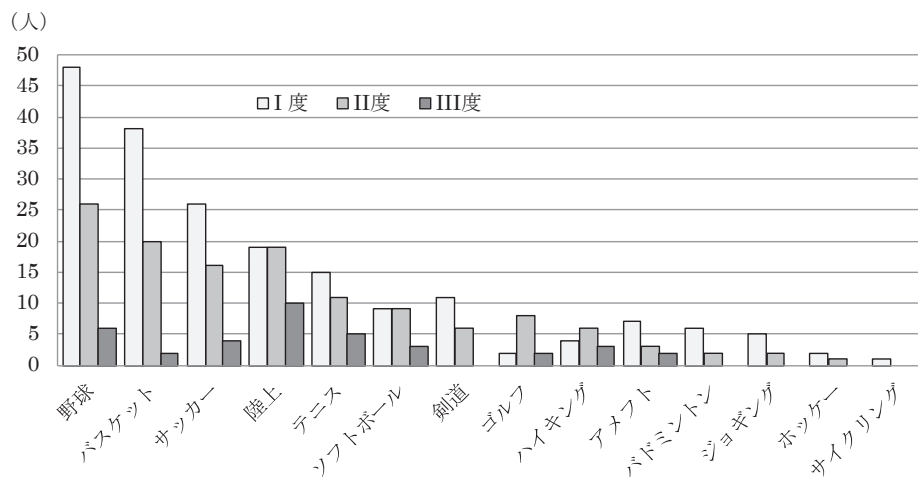


図 13 スポーツが原因の熱中症による救急搬送者数、運動種目別

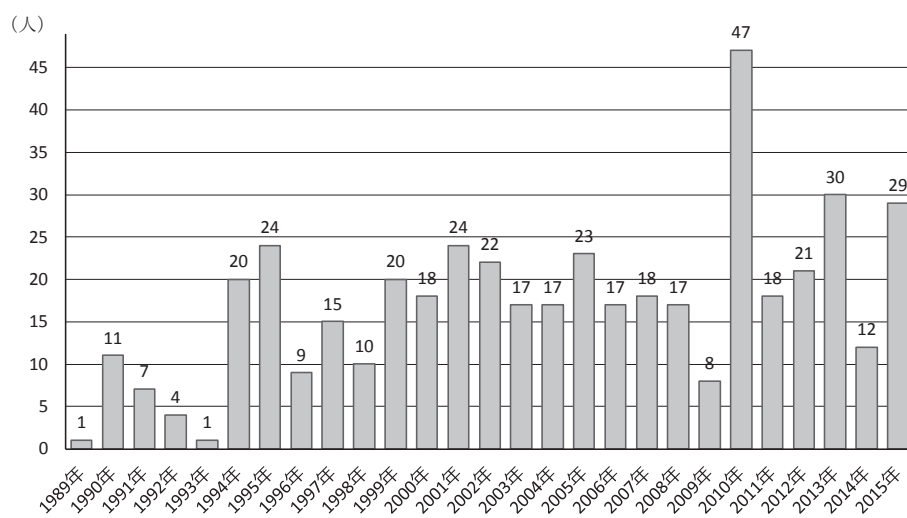


図 14 労働災害としての熱中症による死亡者数、年別

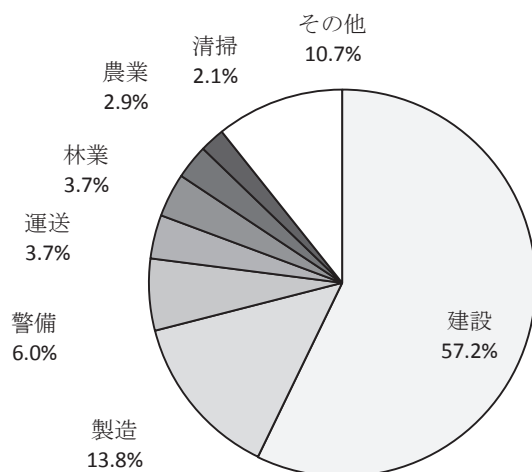


図 15 労働災害としての熱中症による死亡者数、業種別

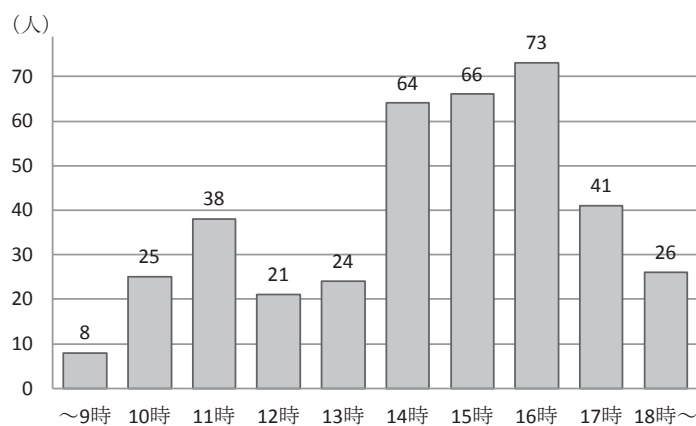


図 16 労働災害としての熱中症による死亡者数、発生時刻別

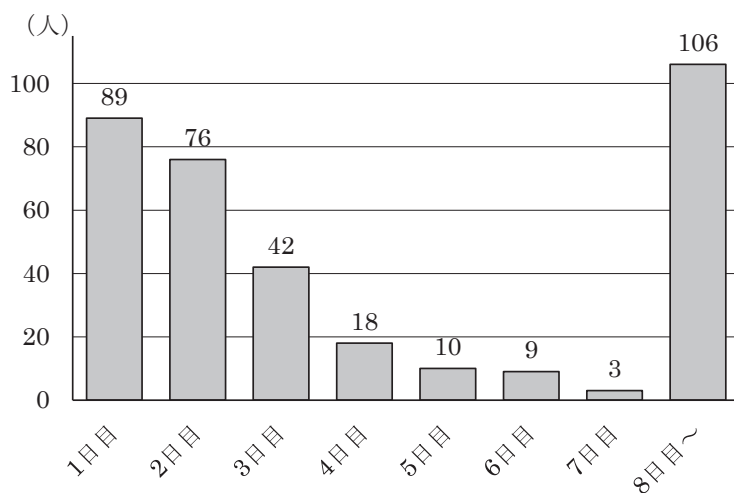


図 17 労働災害としての熱中症による死亡者数、暑熱作業開始後日数別

2) 熱中症予防に係る法令

労働法令は、暑熱な職場等では、2時間を超える時間外労働を禁止し、半月毎の作業環境測定（気温、湿度、黒球温）、冷房の設置又は通風の確保、塩及び飲料水の準備、半年毎の特定業務従事者健康診断の実施等を義務づけています（表15）。また、空調のある事務室では、気温17～28℃、湿度40～70%に維持する努力義務を課しています。また、熱中症予防通達）は、WBGT基準値を超えるおそれのある職場で行うべき作業環境管理（WBGT値の低減、休憩場所の整備）、作業管理（作業時間の短縮、暑熱順化の促進、水分及び塩分の摂取、服装の改善、作業中の巡視）、健康管理（健康診断結果に基づく対応、生活習慣の保健指導、作業を中止すべき生体指標、作業前の健康確認）、労働衛生教育、救急処置（水分付与、蒸散冷却）について具体的な事項を列挙しています。

表15 労働衛生関係法令が規定する高温環境の規定（一部省略）

1 労働衛生管理体制関係

多量の高熱物体を取り扱う業務及び著しく暑熱な場所における業務に500人以上が常時使用されている事業場では、専属の産業医を選任しなければならないこと（安衛則13条）

2 作業環境管理関係

- 1) 暑熱又は多湿の屋内作業では、半月に一回、定期的に温度、湿度、輻射熱を測定しなければならない（安衛法65条、安衛則587条、安衛則607条）
- 2) 多量の熱を放散する溶融炉等では、熱気を直接屋外に排出し輻射熱から労働者を保護しなければならない（安衛則608条）
- 3) 坑内の作業場では、半月に一回、定期的に温度を測定し、気温を37℃以下としなければならない（安衛則589条、安衛則612条）
- 4) 空調のある事務室では、2ヵ月ごとに1回、定期的に室温、外気温、湿度を測定しなければならない。気温17～28℃、湿度40～70%になるように努めなければならない（事務所則5条）

3 作業管理関係

- 1) 多量の高熱物体を取り扱う業務及び著しく暑熱な場所における業務では、立ち入りの禁止、保護具の準備、休憩設備の設置（安衛則585条、593条、596条、614条等）
- 2) 暑熱又は多湿の屋内作業場は、通風や冷房などで温湿度を調節しなければならない（安衛則606条）
- 3) 加熱炉の修理では、適当に冷却後でなければ内部に立入らせてはならない（安衛則609条）
- 4) 多量の発汗を伴う作業場では、塩及び飲料水を備えなければならない（安衛則617条）

4 健康管理関係

多量の高熱物体を取り扱う業務及び著しく暑熱な場所における業務では、半年に1回、特定業務従事者の健康診断を実施しなければならない（安衛則45条）

5 労働基準関係

- 1) 多量の高熱物体を取り扱う業務及び著しく暑熱な場所における業務における業務では、法定労働時間外に2時間を超えて就業させてはならない（労基則18条）
- 2) 同業務に18歳未満の年少者及び妊産婦を就業させてはならない（年少則8条、女性則2条）

安衛法：労働安全衛生法

安衛則：労働安全衛生規則

労基則：労働基準法施行規則

年少則：年少者労働基準規則

女性則：女性労働基準規則

事務所則：事務所衛生基準規則

3) 熱中症予防に係る行政指導

厚生労働省労働基準局は、局長通達として「職場における熱中症予防対策」（平成 21 年 6 月 19 日付け基発第 0619001 号）を示し、WBGT 基準値を超えた場合は、さまざまな熱中症予防対策を講じるよう勧奨し、自力で水分の補給ができない場合は直ちに医療機関に搬送するよう指導しています（表 16）。

表 16 労働行政指針が示す熱中症予防対策（概要）

1 作業環境管理

(1) WBGT 値の低減

熱・直射日光・照り返しを遮る屋根、通風・冷房・除湿の設備の設置

(2) 休憩場所の整備

日陰等の涼しい休憩場所の設置、氷・冷たいおしぼり等、飲料水の備え付け

2 作業管理

(1) 作業時間の短縮

作業休止時間の確保、連続作業時間の短縮、身体強度が高い作業の回避、作業場所の変更

(2) 熱への順化

熱への順化する期間（7 日以上）の設定

(3) 水分及び塩分の摂取

作業前後及び作業中の定期的摂取、摂取確認表の作成、巡視による確認

20～30 分ごとに 0.1～0.2%の食塩水又はナトリウム 40～80 mg/100ml（17～34mEq）のスポーツドリンクや経口補水液をカップ 1～2 杯程度の摂取

(4) 服装等

吸熱性・保熱性のある服装の回避、透湿性・通気性の良い服装、身体冷却服、通気性の良い帽子の着用

(5) 作業中の巡視

巡視による労働者の健康状態の確認

3 健康管理

(1) 健康診断結果に基づく対応

定期健康診断結果に基づく医師等の意見に基づく就業上の措置

熱中症に影響する疾患（糖尿病、高血圧症、心疾患、腎不全、精神・神経経患、広範囲の皮膚疾患等）のある労働者の高温多湿作業への就業の可否や留意事項に関する産業医・主治医等の意見聴取とそれに基づく措置

(2) 日常の健康管理

睡眠不足、体調不良、前日の飲酒、朝食の未摂取の回避に関する日常生活指導

熱中症に影響する疾患のある労働者に対する健康管理と事業者への申出の指導

(3) 労働者の健康状態の確認

作業開始前・作業中の声かけ等による健康状態の確認

次の場合は作業を中止：心拍数が数分間継続して 180／分から年齢を引いた値を超える場合、作業強度のピーク 1 分後の心拍数が 120 超の場合、休憩中の体温が作業開始前の体温に戻らない場合、体重が作業前から 1.5%超減少した場合、急激で激しい疲労感、悪心、めまい、意識喪失等の症状が発現した場合

(4) 身体状況の確認

休憩中の体温・体重等の確認

4 労働衛生教育

高温多湿作業の管理者及び労働者に対する教育（熱中症の症状、熱中症の予防方法、緊急時の救急処置、熱中症の事例）の実施

5 救急処置

(1) 緊急連絡網の作成及び周知

病院・診療所の把握、緊急連絡網の作成・周知

(2) 救急処置

熱中症を疑わせる症状の発症時の涼しい場所で身体の冷却、水分及び塩分の摂取等の実施、救急隊の要請と医師の受診

II. 研究成果の刊行に関する一覧表

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
田中友一朗、、田中貴浩、権守直紀、田淵翔大井上仁郎、川波祥子、堀江正知	体温が上昇しやすい労働者の特徴に関する研究	第34回産業医科大学学会総会学術講演・展示抄録集27ページ		印刷中	2016

特許出願

発汗状況評価システム及び発汗状況評価方法」(No. 117: 特願2016-134067 平成28年7月6日出願)

III. 研究成果の刊行物・別刷

ウェブページ「職場における熱中症予防対策」



労災疾病臨床研究事業費補助金
熱中症予防等に資する一般定期健康診断を通じた
効果的な健康管理に関する研究（14020201－01）
平成 28 年度 総括研究報告書

発行者 堀江 正知
産業医科大学 産業生態科学研究所 産業保健管理学研究室

平成 29（2017）年 3 月

不許複製