

博士学位論文

異なる環境における足部冷水浴・足部温水浴が
身体に及ぼす生理学的影響

—熱中症及び冷え性の予防対策に関する基礎研究—

文化学園大学 大学院
生活環境学研究科被服環境学専攻
汪 清

2019年6月

Thesis for the Degree of Doctor of Philosophy

Physiological Effects of
Cold-water Foot Baths and Warm-water Foot Baths on
the Human Body in Different Environments
—A Basic Study on Prevention of Heat Stroke and *Hie-sho*—

WANG QING

Department of Clothing Environment
Graduate School of Life Environment Research
Bunka Gakuen University
Tokyo, Japan

Jun, 2019

PH. D. Thesis

Physiological Effects of
Cold-water Foot Baths and Warm-water Foot Baths on
the Human Body in Different Environments
—A Basic Study on Prevention of Heat Stroke and *Hie-sho*—

Qing Wang

Department of Clothing Environment
Graduate School of Life Environment Research
Bunka Gakuen University

Supervised by Prof. Ph. D. Nobuo Nagai
Prof. Ph. D. Teruko Tamura

Abstract

Heat environments are caused by global warming and the heat island phenomenon, and cool environments are caused by changes in living environments and lifestyles. They both impose thermal loads on the human body, which is expressed as heatstroke or hie-sho (sensitivity to cold). Local cooling and heating are ways to solve this problem. Local thermal stimulation of the trunk, upper arms, legs, hands and feet has less of a physiological burden on the human body than thermal stimulation of the whole body, and it is also very simple. Sitting is the most psychologically

acceptable position for performing foot thermal stimulation with few physical constraints.

Research reports show that local cooling and heating are widely used for nursing, medical treatment, physiology, movement, work and so on, which involves parasympathetic activity and relaxation effects.

Regarding local cooling, there are studies of human physiological reactions under local cooling in a neutral environment, in addition to muscle inflammation and fatigue relief after exercise under local cooling in a heat environment. Pre-cooling for workers and athletes has been proposed for heatstroke prevention, but there are very few studies of ordinary healthy people.

Regarding local heating, studies have mainly focused on human physiological reactions in terms of body temperature in a neutral environment. In nursing and medical treatment, it is clear that local heating could promote HF activity and has relaxation effects. However, there are very few researches on local heating compared to a cool environment. In particular, there has been insufficient research on the relation between local cooling/heating and environmental conditions.

In this study, I first conducted a questionnaire on heatstroke and its prevention measures, and then performed experiments aiming at creating comfortable clothing in various environments. Studies were performed with a cold-water foot bath in a heat environment and a neutral environment, and a warm-water foot bath in a cool environment and a neutral environment, in order to observe changes in human physiological and mental reactions.

This paper is in eight parts.

Part 1.

Part 1, the introduction, describes the social background, the purpose of the research and the structure of this study.

Part 2.

Part 2 describes a questionnaire survey on heat stroke awareness among Japanese and Chinese university students, examines actions for heat stroke prevention and analyzes a comparison between the two countries. The results are summarized as follows.

- 1) In Japan, awareness of heatstroke was higher among men than women, whereas in China, there was no significant difference between men and women. However, respondents in China had a higher level of awareness of heatstroke than in Japan.
- 2) In Japan, there was no significant difference between men and women regarding heatstroke prevention measures, whereas in China, women took more preventive measures than men. However, the Japanese respondents take more preventive measures than the Chinese.
- 3) Cooling sprays and cold towels were widely used as physical cooling goods in both Japan and China, with Chinese respondents having a greater preference for cool and refreshing products.
- 4) In terms of cooling body parts, the Japanese respondents emphasized main artery cooling, while the Chinese prioritized peripheral vascular cooling.
- 5) There was a significant difference in the incidence of heatstroke between Japanese men and women, but there was no significant difference among Chinese men and women. The incidence in Japan was higher than that in China.

These results make it possible to ascertain the current situation and basic public awareness of heatstroke prevention in both Japan and China. The results also suggest that prevention measures may reduce the incidence of heatstroke.

Part 3

Part 3, on the influences on human body physiology of heat, neutral and cool environments, describes an experiment to investigate thermoregulatory

responses and autonomic nerve activity without local cooling and heating. Thirteen women in their twenties wearing a T-shirt and shorts (0.4 clo) were given 80 min rest in an artificial climate of 34 °C and 70% RH, 27 °C and 60% RH, and 20 °C and 50% RH, with measurements of oral temperature and skin temperature, finger skin blood flow, sweat rate and heart rate. The results are summarized as follows.

- 1) Oral temperature in a heat environment was significantly higher than in a neutral environment and cool environment, which suggests that the body was affected by the heat environment.
- 2) There were significant temperature differences at each site on the body in the different environments. There were small temperature differences in the forehead and chest, while the temperature differences in the peripheral areas of the limbs and fingers were large. In particular, the temperature difference in toe temperature was 10 °C between the heat environment and cool environment.
- 3) Finger skin blood flow and sweat rate in the heat environment was higher than in the cool environment.
- 4) In Autonomic Nervous Activity Adjustment (ANSA), the RR interval increased significantly with a decrease in the environmental temperature. There were no significant differences in HF and LF/HF in the different environments.

Part 4

Part 4 reports an experiment on the influences on human body physiology of cold-water foot baths in a heat environment. Thirteen healthy women in their twenties wearing a T-shirt and shorts (0.4 clo) were given a cold-water foot bath at 15 °C for 15 min in a climatic chamber at a Ta of 34 °C and RH of 70%, and oral and skin temperature, finger blood flow, sweat rate and heart rate variability were measured. Observations were recorded regarding the influences of a cold-water foot bath on thermoregulatory response and

autonomic nerve activity, and the discussion considers whether a cold-water foot bath is valid as a precautionary measure against heatstroke. The results are summarized as follows.

- 1) Oral temperature decreased significantly during and after the cold bath.
- 2) The skin temperatures at different sites on the body in the cold bath group were lower than the control group during the cold bath. At the same time, the skin temperatures at all sites in the cold bath group were lower than those before the cold bath. The order of the drop in temperature was, from highest to lowest: foot, toe, lower leg, finger, chest, thigh, forehead, upper arm.
- 3) Finger skin blood flow and sweat rate decreased in the cold bath, but slightly increased afterward. This is thought to be due to the suppression of blood flow and sweat gland activity caused by the decrease in core temperature.
- 4) The R-R interval and HF continued to increase from the beginning to the end of the cold bath, which promoted parasympathetic activity and reflected a relaxation effect.
- 5) In conclusion, core temperature and skin temperature at all sites decreased after the cold-water foot bath, and sympathetic nervous system activity was also suppressed. Therefore, a cold foot bath may be a good method to prevent heatstroke.

Part 5

Part 5 describes an experiment to compare physiological and mental effects of cold-water foot baths in neutral and heat environments. Thirteen healthy women in their twenties wearing a T-shirt and shorts (0.4 clo) were given a cold-water foot bath at 15 °C for 15 min in an artificial climate of 27 °C and 60% RH, and oral and skin temperature, finger skin blood flow, sweat rate and heart rate were measured. Differences in thermoregulatory response and autonomic nerve activity between cold-water foot baths in different environments were investigated. The results are summarized as follows.

- 1) Oral temperature continued to decrease in a cold bath in a heat environment, while it increased in a neutral environment, and then returned to the initial temperature.
- 2) In a heat environment, forehead and finger temperature decreased while chest temperature remained the same, and arm and leg temperature increased. In a neutral environment, the forehead, chest, arm, leg and finger skin temperature were almost unchanged.
- 3) Finger blood flow in a neutral environment is significantly higher than in a heat environment after a cold-water foot bath.
- 4) In a heat environment, parasympathetic activity increased in ANSA, while there was no such reaction in a neutral environment.

Part 6

Part 6 reports an experiment on the influences on human body physiology of a warm-water foot bath in a cool environment. Thirteen healthy women in their twenties wearing a T-shirt and shorts (0.4 clo) were chosen for testing in an artificial climate of 20 °C and 50% RH, and divided into “Hie” (peripheral cooling) and “Non-hie” groups based on toe temperature. They were given a warm-water foot bath at 42 °C for 15 min, and oral and skin temperature, finger skin blood flow, sweat rate and heart rate were measured. The influence of a warm-water foot bath in a cool environment on thermoregulatory response and autonomic nerve activity was investigated, as well as the influence on people with a cold constitution. The results are summarized as follows.

- 1) Oral and finger temperature of the two groups both decreased significantly, and in particular, the degree of decline was larger in the Hie group after a warm-water foot bath.
- 2) Foot and leg temperature increased for both groups, and mean skin temperature also increased significantly after a warm-water foot bath.

- 3) Finger blood flow significantly decreased for both groups after a warm-water foot bath.
- 4) In ANSA, parasympathetic activity was not promoted in either environment.
- 5) In conclusion, the results suggest that although people will feel temporary comfort due to a warm-water foot bath in a cool environment, since the core temperature and skin blood flow will decrease, this poses a high health risk to people with a cold constitution.

Part 7

Part 7 describes an experiment comparing the influences on human body physiology of warm-water foot baths in neutral and cool environments. Thirteen healthy women in their twenties wearing a T-shirt and shorts (0.4 clo) were given a warm-water foot bath at 42 °C for 15 minutes in a neutral environment (27 °C, 60% RH), and oral temperature, skin temperature, finger skin blood flow, sweat rate and heart rate were measured. They also took a foot bath in warm water in a cool environment as a comparison, and the effects of foot baths in warm water in different environments on thermoregulatory response and autonomic nerve activity are discussed. The results are summarized as follows.

- 1) Oral temperature decreased in a cool environment after a foot bath in warm water, but increased significantly in a neutral environment.
- 2) The skin temperature at each site on the body was higher in a neutral environment than in a cool environment after a foot bath in warm water.
- 3) The finger skin blood flow and sweat rate decreased significantly in a cool environment and slightly increased in a neutral environment after a foot bath in warm water.
- 4) In ANSA, sympathetic activity increased in a neutral environment after a foot bath in warm water, while parasympathetic activity was not promoted in either environment.

Part 8.

Part 8, the summary, summarizes the previous parts and describes the conclusions of the entire study.

This study suggests that a cold-water foot bath in a heat environment decreases core temperature and is effective for heatstroke prevention. A warm-water foot bath in a cool environment brings temporary comfort, but it will lead to core temperature decreases, and poses a health risk to people with a cold constitution.

In the future, based on the experimental results of this study, I will continue to study heatstroke prevention and the design of clothes and products with thermal comfort and functionality.

目次

Abstract	I
目次	I X
List of Tables	X III
List of Figures	X V

第 1 章 序論

1. 1 緒言	1
1. 2 研究の文献的背景	4
1. 2. 1 体温調節	4
1. 2. 2 快適性	6
1. 2. 3 温熱ストレス	8
1. 2. 4 局所冷却・局所加温	9
1. 2. 5 動静脈吻合	11
1. 3 本論文の目的と構成	13
引用・参考文献	15

第 2 章 日本及び中国の学生を対象とした熱中症に関する意識調査

2. 1 緒言	27
2. 2 方法	28
2. 2. 1 調査対象	28
2. 2. 2 調査時期	28
2. 2. 3 調査内容	28
2. 2. 4 統計学的解析	32
2. 3 結果及び考察	32
2. 4 総括	40
引用・参考文献	41

第 3 章 暑熱，中立，冷涼環境が身体に及ぼす生理学的影響

3. 1 緒言	43
---------	----

3. 2 研究方法	43
3. 2. 1 被験者及び実験環境	43
3. 2. 2 測定方法	44
3. 2. 3 実験手順	47
3. 2. 4 統計学的解析	48
3. 3 結果	49
3. 3. 1 温熱生理反応に及ぼす環境温度の影響	49
3. 3. 2 自律神経活動に及ぼす環境温度の影響	57
3. 4 考察	59
3. 5 総括	62
引用・参考文献	63

第 4 章 暑熱環境下の足部冷水浴が身体に及ぼす生理学的影響

4. 1 緒言	65
4. 2 研究方法	65
4. 2. 1 被験者及び実験環境	65
4. 2. 2 測定方法	66
4. 2. 3 実験手順	67
4. 2. 4 統計学的解析	69
4. 3 結果	70
4. 3. 1 測定開始時の体温調節水準	70
4. 3. 2 舌下温の変化	71
4. 3. 3 各部位皮膚温・平均皮膚温の変化	71
4. 3. 4 皮膚血流量・発汗量の変化	75
4. 3. 5 自律神経系活動の変化	76
4. 3. 6 温冷感・快適感の変化	78
4. 4 考察	79
4. 5 総括	82
引用・参考文献	83

第 5 章	中立環境下の足部冷水浴が身体に及ぼす生理学的影響	
	—暑熱環境との比較—	
5. 1	緒言	86
5. 2	研究方法	86
5. 2. 1	被験者及び実験環境	86
5. 2. 2	測定方法	87
5. 2. 3	実験手順	88
5. 2. 4	統計学的解析	90
5. 3	結果	90
5. 3. 1	測定開始時の体温調節水準	90
5. 3. 2	舌下温の変化	91
5. 3. 3	各部位皮膚温・平均皮膚温の変化	92
5. 3. 4	皮膚血流量・発汗量の変化	96
5. 3. 5	自律神経系活動の変化	97
5. 3. 6	温冷感・快適感の変化	99
5. 4	考察	100
5. 5	総括	102
	引用・参考文献	104

第 6 章	冷涼環境下の足部温水浴が身体に及ぼす生理学的影響	
6. 1	緒言	106
6. 2	研究方法	106
6. 2. 1	被験者	106
6. 2. 2	環境条件及び着衣条件	108
6. 2. 3	測定方法	109
6. 2. 4	実験手順	110
6. 2. 5	統計学的解析	112
6. 3	結果	112
6. 3. 1	測定開始時の体温調節水準	112
6. 3. 2	舌下温の変化	113

6. 3. 3 各部位皮膚温・平均皮膚温の変化	115
6. 3. 4 皮膚血流量・発汗量の変化	119
6. 3. 5 自律神経系活動の変化	120
6. 3. 6 温冷感・快適感の変化	122
6. 4 考察	123
6. 5 総括	126
引用・参考文献	127

第 7 章 中立環境下の足部温水浴が身体に及ぼす生理学的影響

— 冷涼環境との比較 —

7. 1 緒言	130
7. 2 研究方法	130
7. 2. 1 被験者及び実験環境	130
7. 2. 2 測定方法	131
7. 2. 3 実験手順	132
7. 2. 4 統計学的解析	134
7. 3 結果	134
7. 3. 1 測定開始時の体温調節	134
7. 3. 2 舌下温の変化	135
7. 3. 3 各部位皮膚温・平均皮膚温の変化	136
7. 3. 4 皮膚血流量・発汗量の変化	140
7. 3. 5 自律神経系活動の変化	141
7. 3. 6 温冷感・快適感の変化	142
7. 4 考察	144
7. 5 総括	146
引用・参考文献	147

第 8 章 総括

謝辞

List of Tables

Tables	Page
Table 2.1. Questions on heat stroke prevention.(1/3)	29
Table 2.1. Questions on heat stroke prevention.(2/3)	30
Table 2.1. Questions on heat stroke prevention.(3/3)	31
Table 2.2. List of answers for each question.	33
Table 3.1. Subject characteristics.	44
Table 3.2. Oral temperature in thirteen subjects under three conditions.	50
Table 3.3. Forehead and chest temperatures in thirteen subjects under three conditions.	51
Table 3.4. Upper arm and finger temperatures in thirteen subjects under three conditions.	52
Table 3.5. Thigh and lower leg temperatures in thirteen subjects under three conditions.	53
Table 3.6. Foot and toe temperatures in thirteen subjects under three conditions.	54
Table 3.7. Mean skin temperature in thirteen subjects under three conditions.	55
Table 3.8. Blood flow and sweat rate in twelve subjects under three conditions.	56
Table 3.9. R-R int. in thirteen subjects under three conditions.	57
Table 3.10. HF and LF/HF in thirteen subjects under three conditions.	58
Table 4.1. Subject characteristics.	66
Table 4.2. Subjective ratings of sensory evaluation.	69

Table 4.3. Actual value of each date at starting to measure.	70
Table 4.4. Thermal sensory evaluation of each subject during experiment.	78
Table 4.5. Comfort sensory evaluation of each subject during experiment.	79
Table 5.1. Subject characteristics.	87
Table 5.2. Subjective ratings of sensory evaluation.	90
Table 5.3. Actual value of each date at starting to measure.	91
Table 5.4. Thermal sensory evaluation of each subject during experiment.	99
Table 5.5. Comfort sensory evaluation of each subject during experiment.	100
Table 6.1. Subject characteristics.	108
Table 6.2. Subjective ratings of sensory evaluation.	112
Table 6.3. Actual value of each date at starting to measure.	113
Table 6.4. Thermal sensory evaluation of each subject during experiment.	122
Table 6.5. Comfort sensory evaluation of each subject during experiment.	123
Table 7.1. Subject characteristics.	131
Table 7.2. Subjective ratings of sensory evaluation.	134
Table 7.3. Actual value of each date at starting to measure.	135
Table 7.4. Thermal sensory evaluation of each subject during experiment.	143
Table 7.5. Comfort sensory evaluation of each subject during experiment.	143

List of Figures

Figures	page
Fig.1-1. Diagram of standard effective temperature (SET*) on ASHRAE ⁴¹⁾	7
Fig.1-2. Arteriovenous anastomoses ⁶²⁾	12
Fig.2-1. Understanding on heat stroke.	34
Fig.2-2. Measures of heat stroke prevention.	36
Fig.2-3. The use of cooling goods.	37
Fig.2-4. Preventing the part of the body cooling during heat stroke.	38
Fig.3-1. Measuring points of skin temperature.	45
Fig.3-2. Measuring device for blood flow.	46
Fig.3-3. Measuring device for sweat rate.	46
Fig.3-4. Electrode location for ECG measurement.	47
Fig.3-5. Procedure of the experiment.	48
Fig.3-6. Experiment scene.	48
Fig.3-7. Oral temperature under three conditions.	50
Fig.3-8. Forehead and chest temperatures under three conditions.	51
Fig.3-9. Upper arm and finger temperatures under three conditions.	52
Fig.3-10. Thigh and lower leg temperatures under three conditions.	53
Fig.3-11. Foot and toe temperatures under three conditions.	54
Fig.3-12. Mean skin temperature under three conditions.	55
Fig.3-13. Blood flow and sweat rate under three conditions.	56
Fig.3-14. R-R int. under three conditions.	58
Fig.3-15. HF and LF/HF under three conditions.	59
Fig.4-1. Procedure of the experiment.	68
Fig.4-2. Experiment scene.	68
Fig.4-3. Changes in oral temperature during cold water footbath under 34°C,70%RH environment.	71

Fig.4-4. Changes in forehead and chest temperatures during cold water footbath under 34°C,70%RH environment.	73
Fig.4-5. Changes in upper arm and finger temperatures during cold water footbath under 34°C,70%RH environment.	73
Fig.4-6. Changes in thigh and lower leg temperatures during cold water footbath under 34°C,70%RH environment.	74
Fig.4-7. Changes in foot and toe temperatures during cold water footbath under 34°C,70%RH environment.	74
Fig.4-8. Changes in mean skin temperature during cold water footbath under 34°C,70%RH environment.	75
Fig.4-9. Changes in blood flow and sweat rate during cold water footbath under 34°C,70%RH environment.	76
Fig.4-10. Changes in R-R int. during cold water footbath under 34°C,70%RH environment.	77
Fig.4-11. Changes in HF and LF/HF during cold water footbath under 34°C,70%RH environment.	77
Fig.5-1. Procedure of the experiment.	89
Fig.5-2. Changes in oral temperature during cold water footbath under two environmental conditions.	92
Fig.5-3. Changes in forehead and chest temperatures during cold water footbath under two environmental conditions.	94
Fig.5-4. Changes in upper arm and finger temperatures during cold water footbath under two environmental conditions.	94
Fig.5-5. Changes in thigh and lower leg temperatures during cold water footbath under two environmental conditions.	95
Fig.5-6. Changes in foot and toe temperatures during cold water footbath under two environmental conditions.	95
Fig.5-7. Changes in mean skin temperature during cold water footbath under two environmental conditions.	96

Fig.5-8. Changes in blood flow and sweat rate during cold water footbath under two environmental conditions.	97
Fig.5-9. Changes in R-R int. during cold water footbath under two environmental conditions.	98
Fig.5-10. Changes in HF and LF/HF during cold water footbath under two environmental conditions.	98
Fig.6-1. Oral and skin temperatures distribution of each subject under 20°C, 50%RH environment.	107
Fig.6-2. Procedure of the experiment.	110
Fig.6-3. Experiment scene.	111
Fig.6-4. Changes in oral temperature during warm water footbath under 20°C, 50%RH environment.	114
Fig.6-5. Changes in upper arm and chest temperatures during warm water footbath under 20°C, 50%RH environment.	116
Fig.6-6. Changes in finger temperature during warm water footbath under 20°C, 50%RH environment.	117
Fig.6-7. Changes in thigh and lower leg temperatures during warm water footbath under 20°C, 50%RH environment.	117
Fig.6-8. Changes in foot and toe temperatures during warm water footbath under 20°C, 50%RH environment.	118
Fig.6-9. Changes in mean skin temperature during warm water footbath under 20°C, 50%RH environment.	119
Fig.6-10. Changes in blood flow and sweat rate during warm water footbath under 20°C, 50%RH environment.	120
Fig.6-11. Changes in R-R int. during warm water footbath under 20°C, 50%RH environment.	121
Fig.6-12. Changes in HF and LF/HF during cold water footbath under 20°C, 50%RH environment.	121
Fig.7-1. Procedure of the experiment.	133

Fig.7-2. Changes in oral temperature during warm water footbath under two environmental conditions.	136
Fig.7-3. Changes in forehead and chest temperatures during warm water footbath under two environmental conditions.	137
Fig.7-4. Changes in upper arm and finger temperatures during warm water footbath under two environmental conditions.	138
Fig.7-5. Changes in thigh and lower leg temperatures during warm water footbath under two environmental conditions.	138
Fig.7-6. Changes in foot and toe temperatures during warm water footbath under two environmental conditions.	139
Fig.7-7. Changes in mean skin temperature during warm water footbath under two environmental conditions.	139
Fig.7-8. Changes in blood flow and sweat rate during warm water footbath under two environmental conditions.	140
Fig.7-9. Changes in R-R int. during warm water footbath under two environmental conditions.	141
Fig.7-10. Changes in HF and LF/HF during cold water footbath under two environmental conditions.	142

第 1 章

序論

1. 1 緒言

環境とは「人間または生物を取り巻き、それと相互作用を及ぼし合うものとして見た外界」である。人間を取り巻く外部環境は生態系の生命を維持するために必要な自然環境と人間社会を中心とした社会環境・人間環境などからなる。様々な外部環境・外的刺激は絶えず人体に影響を与え、人体はこれに反応・適応しながら生きている。

産業革命以降、化石燃料の使用が増え、その結果、大気中の二酸化炭素 (CO₂)、メタン(CH₄)などの濃度は増加し、それら温室効果ガスにより地球温暖化は進んでいる。気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第5次評価報告書(2014)では、このままでは今世紀末の世界平均気温は、温室効果ガスの排出量が最も多い、最悪の場合には最大 4.8℃上昇すると発表した¹⁾。2016年にパリで開催された国連機構変動枠組み条約締結国会議(COP21)では2020年以降の温室効果ガス排出削減等のための地球温暖化対策の国際枠組み「パリ協定」が発効、約180カ国が批准し、2018年のCOP24では、「パリ協定」を運用する実施基準を採択し、地球温暖化対策は世界の急務な課題である。

日本では、日常生活における温暖化の脅威として、ヒートアイランド現象が拡大している。ヒートアイランド現象は、都市の中心部の気温が郊外に比べて島状に高くなる現象で、その主な要因として、①地表面被覆の人工化(緑地の減少と舗装や建物などによる人工的被覆面の拡大)、②都市形態の高密度化(密集した建物による風通しの阻害や天空率の低下)、③人工排熱の増加(建物や工場、自動車などの排熱の増加)の3つが挙げられる。ヒートアイランド現象は年間を通じて生じているが、特に夏季の気温上昇が都市生活の快適性を低下させるとして問題になっている。東京周辺で30℃以上となる時間数は、1980年代前半には、年間200時間程度だったが、最近では20年前の約2倍になり、その範囲も郊外へ広がっている²⁾。また、夜間には気温が25℃以上になる熱帯夜を招き、大都市部での気温は中小都市に比べ約3℃上昇し、暑熱化を増幅させている³⁾。

地球温暖化とヒートアイランドの影響を受け、日本の平均気温は1898～2016年間に1.19℃上昇、真夏日・猛暑日も1931～2016年で増加傾向が見られ、猛暑日は10年あたり0.2日の割合で増加している。これに伴い熱中症が多発する状態になっている。平成30年5月から9月の全国における熱中症による救急搬送人

員数の累計は 95,137 人、過去最高であった⁴⁾。熱中症は日本救急医学会によると「暑熱環境における身体適応の障害によって起こる状態の総称」であり、環境庁⁵⁾は、「暑さによって生じる障害の総称」としている。ヒトは 37℃前後の狭い範囲に体温調節している恒温動物である。人体では、運動や体の営みによって常に熱が産生されて、暑熱環境下でも、異常な体温上昇を抑えるための、効率的な体温調節機構が備わっている。暑い時に、汗を多くかけば、「汗の蒸発」に伴って熱が奪われる(気化熱)ことから体温低下に役立つ。大量に発汗することで体から水分や塩分(ナトリウムなど)が失われるなどの脱水状態に対して、体が適切に対処できなければ、筋肉のこむら返りや失神を起こす。そして、熱の産生と熱の放散とのバランスが崩れると、体温が急激に上昇する。このような状態が熱中症である⁵⁾。

折しも、2020 年夏期には東京オリンピックが開催され、暑熱対策などは喫緊の課題となっている。内閣官房は、「2020 年東京オリンピック・パラリンピック競技大会に向けて」の中で、競技会場等の暑さ対策の推進を謳っている⁶⁾。東京都は、同様対策の他、夏の強い日差しを遮る緑陰の確保、路面温度上昇抑制機能を有する遮熱性舗装等諸対策を取っている。環境庁も東京オリンピック・パラリンピック競技大会に向けた熱中症対策事業を行っている⁷⁾。更に、東京オリンピック・パラリンピック組織委員会は 2018 年 12 月、暑さ対策の一環として、マラソン、ラグビー、自転車、競歩など競技時刻の変更を検討、いずれも消耗の激しい競技で熱中症の危険性が高まり暑さがピークとなる時間帯を避ける狙いがある⁸⁾。

熱中症予防には身体冷却が持久性パフォーマンス維持に役立つとし、身体冷却を身体の外部または内部から身体の温度を低下させるために行う冷却と定義している⁹⁾。熱中症が発症した時には、涼しい環境への移動・避難や脱衣で体から熱を放散させる。冷却部位は前頸部の両脇、腋窩部(脇の下)、鼠径部(大腿の付け根の前面、股関節部)に保冷剤などを当てて身体冷却することが推奨とされている。

また、夏季の暑熱化は、空調・冷房による快適空間の増加をもたらす一方、女性を中心とし冷房による冷えを訴える冷房病の増加を促す。冷えとは「体の他の部位はまったく冷たさを感じないような室温において、体の特定部位のみが特に冷たく感じる」と定義されている¹⁰⁾。冷えは主観的な症状であるため、客観

的に捉えにくく、医学的な診断基準を持たない。多くの研究者が冷えの定義を明確化し数量化する研究を行っているが、冷えを病気として診断できるまでには、至っておらず、冷えに関する表記についても「冷え性」と「冷え症」が混在している状態である¹¹⁾。一方、冷え症は身体の末梢部が異常に冷たく感じ、そのために不眠などの不快な症状を訴えるもので、冬季に多く経験される。交感神経の緊張亢進により末梢の血管が収縮し、血流が低下している状態とされている¹²⁾。Nagashima ら¹³⁾は日本人の冷え症を国際学術雑誌に「hie-sho」として初めて報告し、冷え症のある若年女性は甲状腺ホルモンの血中濃度が低く代謝量の低いことや寒冷曝露時の末梢部皮膚温低下の大きいことを示している。冷え症は男性より女性に多く、更年期女性の愁訴とされていたが、若い女性にも多くみられる¹⁴⁾。

冷えは冬季に限らず夏季でも起こりうる健康障害となっている。夏季は、外の暑さで汗をかき、冷房がきいた室内で冷やされ、汗が乾くときにも熱が奪われて冷えの原因となる。これに加え、涼しい衣服の着用、冷たい飲料を取るなど夏の生活習慣も、冷えを招きやすい。大都市(大阪)では夏期に電力消費が多くなり、月平均気温が20℃を越えると急激に増加、30℃になると最低の月に比べて50%以上も増加する。このように都市部においてはクーラーの排熱でますます気温が上昇し、更にクーラーの利用が増すという悪循環が生じている¹⁵⁾。安岡ら¹⁶⁾の行った夏季冷房使用時の調査では、血圧、末梢部皮膚温及び舌下温は男性より女性の方が有意に低い値を示し、女性は末梢部の冷えが快適感に大きく影響するという結果を報告している。

冷えに対する基本的ケアは身体加温・保温で、従前から身近な対策として保温性のある衣服・手袋・マフラーなどの着用、かいろ・アンカ・湯たんぽなどの利用、入浴・サウナや手浴・足浴などが活用されている。全身入浴に比べ、足浴は人体に大きな負担をかけることが少ない方法とも言える。元来、足浴は19世紀末に米英から近代看護学の手法として日本に導入された。当時、アンデルソン(1879)、フレーザー(1896)は頭痛を軽減させ発汗を促進させる目的で用いた¹⁷⁾。その後、睡眠を促す効果が日本で独自に見いだされ、看護・介護技術として国内で周知されるようになったが、その背景には入浴習慣等の影響も指摘されている

18). また足浴の入眠効果, リラックス効果を明らかにする研究も進み, 足浴は看護・介護の技術から日常的なフットケアとして広まった.

足浴については, 多くの研究がなされ, その清潔効果¹⁹⁾, 保温効果²⁰⁾, 睡眠導入・覚醒効果^{21), 22)}, 深部体温の変動²³⁾や自律神経系への影響などの生理・心理学的効果^{24), 25)}, 疲労回復・緊張緩和などのリラクゼーション効果^{26), 27)}などが報じられた. 以上の先行研究における足浴は足部温水浴で, 中立環境下(22~25℃)で行なわれていることが多く²⁸⁾, 冷えが見られる冷涼環境下における局所加温・足部温水浴を行った場合の温熱生理学的観点からの研究事例は少ない.

中国では, 漢方薬(当帰, 赤芍, 川芎, 紅花など)を投入した足部温水浴が主体で, 殷ら, 羅ら, 甘は日本の場合と同様に入眠効果, リラックス効果を報じている. また, 崔ら, 柴は手術後患者のリハビリとしても有効なことを報じている^{29)~33)}.

一方, 足部冷水浴についての研究は少なく, 暑熱環境下の運動・作業時や事後のクールダウン時に行われる足部冷水浴は, 循環器系, 温熱系, 運動機能及び副交感神経系などの観点から報告がなされている. 暑熱環境下, 足部を含めた身体冷却については, 時澤ら³⁴⁾が「熱中症対策の新技术」の中で手足浸水の有効性について触れている. 足部冷水浴は看護にも活用され, 川平ら³⁵⁾は脳卒中麻痺患者についてその影響を報じた. 栃原ら³⁶⁾は気温 24℃, 60%RH, 庄司ら³⁷⁾は気温 25℃, 45%RH 環境下で足部冷水浴を行い血圧, 心拍数の上昇や「冷え感」などを報じている.

以上の観点から, 「快」を求めることが生存に都合良い行動であると考えられているため, 本研究は暑熱環境下で足部冷水浴を, 中立環境下で足部冷水浴, 足部温水浴を, 冷涼環境下で足部温水浴を行い, 異なる三環境が人体に及ぼす影響を温熱生理学的見地から総合的に考察した. 併せて, 熱中症予防に対する足部冷水浴, 冷えに対する足部温水浴の可能性や安全性・リスクについても考察した.

1. 2 研究の文献的背景

1. 2. 1 体温調節

哺乳類及び鳥類は環境温度の広い範囲のもとで体温を一定に保つことができる恒温動物と言い, その他の動物は外気温により容易に体温が変化し, 変温動物と

言う。人体は多数の細胞から成り立ち、人体の体液は細胞内液とリンパ液などの細胞外液で満たされている。細胞にとっての環境である細胞外液を内部環境といい、この内部環境は、皮膚や粘膜によって外部と隔てられ、外部環境が変化しても人体に備わる適応システム・恒常性の維持機能により、細胞が正常な活動を営むのに都合のよい状態に保たれている。恒温動物として、深部体温をある一定の範囲に保つことは、ヒトを含む多くの生物にとって、生命活動を維持する上で必要不可欠である。

ヒトが他の哺乳類と異なる点は、体温調節において、高度な神経性調節、神経性温度伝達機序を用いて、予測的な制御を行うことにある³⁸⁾。このような人の体温調節反応は、行動性体温調節と自律性体温調節の二種類に大別される。行動性体温調節とは、暑く感じれば日陰に入ったり冷房をつけたり、寒く感じれば衣服を着たり暖房をつけたりするといった随意の本能行動により体温の維持・調節を目的とした行動をさす。自律性体温調節の生理反応としては三つの反応がある。一つは皮膚血管の拡張・収縮による皮膚温の変化、二つ目は発汗反応、三つ目はエネルギー代謝変化である。これらを体温調節の効果器という。Mount³⁹⁾は、哺乳動物について環境温と体温調節、即ち深部体温（核心温）、熱産生・熱放散の関係を示した。深部体温が一定に保たれるには環境温度に一定の範囲が存在し、その範囲内で熱産生は、低温域で温度の降下とともに増大するが、中温域から高温域の範囲では変化がない。代わって蒸発による熱放散が、高温域で温度の上昇とともに急激に増大する。中温域の範囲は、熱産生が増大を始める環境温度と発汗が増大を始める環境温度とに挟まれる範囲で体温調節の活動が最も少ない範囲である。換言すれば、生理学的な負担が最も少なくて済む範囲である。更に Mount⁴⁰⁾は、熱産生が増大を始める環境温度と発汗が増大を始める環境温度とに挟まれた範囲を熱的中立帯としている。人の場合に環境温度が熱的中立帯から低温側に離れると、体温を一定に保つためにふるえが生じて熱産生が増大すること、高温側に離れると汗腺の活動が活発になって蒸発熱放散が増大することは、いずれも人体における生理学的負担の増大を示す現象と解することができる。田辺⁴¹⁾は、熱的中立帯を暑くもなく寒くもないことで熱的不快がない状態とし熱的中立は熱的快適の必要条件としている。

1. 2. 2 快適性

快適性について、Keith⁴²⁾は「人間と環境との間が、生理的、心理的更には物理的にも心地よい調和状態にあること」と述べている。また、アメリカ暖房冷凍空調学会(ASHRAE)は、温熱環境の熱的快適性について「熱環境に対して満足感を表現できる心の状態」とであると定義し、「集団の中の80%以上の人々が満足すると周囲温熱条件を受け入れることができる状態」としている(多屋/温熱環境)。快適性の定義は多様であり、言葉で表現することは困難であることから、いくつかの快適性に関する指標が提案されている。

Fanger は温熱環境評価指数・予測平均温冷感申告(Predicted Mean Vote, 以下: PMV と略す)及び予測不快者率 (Predicted Percentage of Dissatisfied, 以下: PPD と略す)の提案をし、これは ISO7730 にもなっている⁴³⁾。PMV は熱的中立に近い状態の温冷感を予測する指標で、体の温熱負荷と温冷感の概念を組み併せ、快適性を数値で表わしたものである。PMV は被験者の体感申告をもとに環境条件を(+3 暑い, +2 暖かい, +1 やや暖かい, 0 どちらでもない, -1 やや涼しい, -2 涼しい, -3 寒い)の7つのカテゴリーで評価する。PPD は、その温熱環境に何%の人がその環境に不満足・不快さを感じるかを表す。PMV は $-2 < PMV < +2$ の範囲内の温熱評価に用いるのが良く、ISO7730 では、一般居住環境の熱的快適域として $-0.5 < PMV < +0.5$, $PPD < 10\%$ 以下となるような温熱環境を推奨している⁴⁴⁾。

一方、George らは新たな温熱指標の新有効温度 (New Effective Temperature, 以下: ET*と略す)と標準有効温度 SET*(Standard New Effective Temperature, 以下: SET*と略す)を提案した⁴¹⁾。PMV は被験者申告に基づくもので、その適用が温熱的中立に近い範囲に限定されているのに対し SET*は広範囲の環境に適用できるとされ、温度の単位で評される指標である。

ASHRAE はこの SET*を用いて ASHRAE 標準有効温度(SET*線図)・快適線図を発表した。Fig.1-1 は気流 0.1~0.15m/s, 作業強度 1.0~1.2met, 着衣量 0.6~1clo という標準状態における快適な温度、湿度範囲を示したものである。冬季 SET*20.0~22.8℃, 夏季 SET*23.9~26.1℃, 相対湿度約 20~70%の範囲である。また、季節の総合評価にすると SET*22.2~25.6℃の範囲であれば 90%の人が快適であると回答するという。

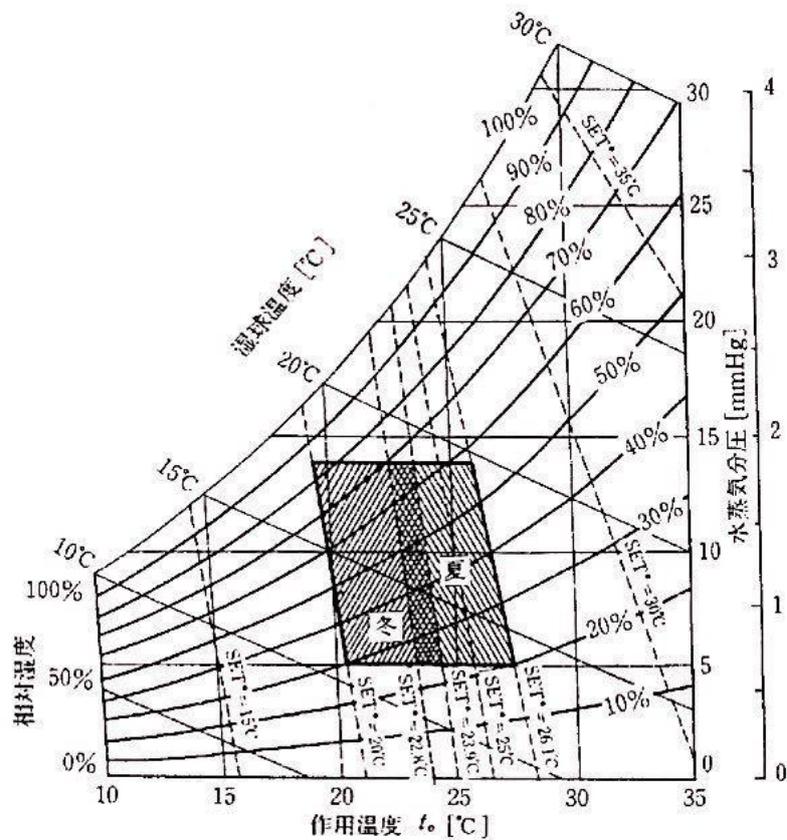


Fig.1-1. Diagram of standard effective temperature (SET*) on ASHRAE⁴¹⁾.

深井ら⁴⁵⁾は、SET*と日本人の冬季及び夏季における温熱感覚に関する研究で、SET*と全身温冷感申告との強い線形関係が認められたと報じている。また、日本人の中立温感範囲は夏冬ほぼ等しく、SET*でおおよそ22～26℃となるなど、ASHRAEの標準有効温度とほぼ同様な結果を得ている。

暑熱環境に関する指標には湿球黒球温度・暑さ指数(Wet Bulb Globe Temperature, 以下: WBGTと略す)がある。WBGTは、熱中症を予防することを目的として1954年にアメリカで提案された。単位は気温と同じ摂氏度(°C)で示されるが、その値は気温とは異なる。WBGTは人体と外気との熱収支に着目した指標で、人体の熱収支に与える影響の大きい①湿度、②日射・放射など周辺の熱環境、③気温の3つを取り入れた指標である。夏期の湿度が高い日本では、気温だけでなく湿度や日射も熱中症の増加に大きく寄与することからWBGTが熱中症リスク指標として推奨されている。Dennis and Noakes⁴⁶⁾は、WBGT値が28℃を超えると熱中症の危険性が高まることを報告し、日本における運動時の熱

中症発生について WBGT が 28℃を超えると激増するとしている。また WBGT は労働環境や運動環境の指針として有効であるとも認められ、日本生気象学会では「日常生活に関する指針」⁴⁷⁾として、WBGT 値 31℃以上では危険、WBGT 値 28～31℃では厳重警戒とし、すべての生活活動で熱中症がおこる危険性としている。

寒冷環境に関する指標の一つとしては、寒冷環境の諸条件と人体の熱収支に基づく寒冷指標 IREQ(Required Clothing Insulation)が ISO11079 で定められている。これは全身寒冷曝露による身体冷却のリスクを評価する手法で、寒冷環境で作業を行う場合、体温や皮膚温をある許容可能な水準に保つのに必要な衣服の保温力と定義されクロー(clo)値で示される。一般に気温 21.2℃、相対湿度 50%、気流速度 0.1m/sec の条件で、椅座安静にしている時快適に感じられる衣服の保温力は 1clo と言われている。気温が低下し、風速が増大するといったような寒冷環境の身体冷却力が大きければ、IREQ の値は増加する。

1. 2. 3 温熱ストレス

様々な環境温度は人体に温熱負荷となり、環境条件によっては温熱ストレスとして顕在化する。環境温度に対する自律神経活動には、交感神経が非常に大きな役割を果たしている。交感神経は、非日常の環境に対して反応するが、副交感神経は心身を鎮静状態に導く神経で、交感神経活動を抑える働きを有する。環境温湿度が人体に与える影響に関する研究はいずれも体温調節反応また温熱感覚の測定・評価にとどまっている。近年、脳波、脳血流量、血圧、心拍数や心電図などの苦痛を伴わない非侵襲の測定法の開発により人体に与えられた様々な刺激による自律神経活動の変化を被験者実験によりリアルタイムで観察・評価することができるようになった⁴⁸⁾。その中でも心拍変動は自律神経活動を反映することが知られており自律神経活動が心臓血管系に及ぼす影響、特にストレス状態の指標として幅広く用いられている。

心拍変動は R-R 間隔時系列を周波数分析することによって求めることができる。R-R 間隔とは、心電図波形 QRS 波から次の QRS 波までの間隔であり、心室興奮から次の心室興奮までの時間を意味し、正常では規則正しく周期的である。R-R 間隔系列の主な周波数成分は、主に 0.05～0.15Hz の帯域をもつ LF 成分(Low Frequency Component)と、0.15～0.45Hz の帯域をもつ HF 成分(High

Frequency Component)からなる。LF 成分は血圧に由来する成分(Mayer Wave related Sinus Arrhythmia : MWSA), HF 成分は人の呼吸活動に由来される成分(Respiratory Sinus Arrhythmia : RSA)がそれぞれ主成分と考えられている。HF 成分は主に副交感神経の支配を受けており, 自律神経障害や精神負荷によって副交感神経の活動の抑制とともに HF 成分は小さくなる。一方, LF 成分は, 副交感神経と交感神経の両方の支配を受けており, これらの比をとった LF/HF は, 交感神経活動の指標である。

また, この手法はストレス評価への応用のみならず, 様々な分野に使われてきた。自律神経活動変化は環境評価また熱的快適性評価にも応用されている⁴³⁾。入来ら⁴⁹⁾は環境湿度を 50%RH 一定とし, 温度 22°C, 26°C, 30°C の定常的な環境に人体を曝露した時の熱快適性について心拍変動解析を用いて検討し, 有用な指標であることを示唆している。Sollen ら⁵⁰⁾は 35°C, 30 分間の暑熱負荷によって, 心拍数は平均 4.5 拍/分の増加及び心拍変動高周波数成分(HF)の有意な低下と低周波数成分(LF)の有意な上昇を認め, 副交感神経活動の低下と交感神経活動の亢進を報告している。一方, Brenner ら⁵¹⁾は人体を 40°C, 30%RH の暑熱環境に曝露した結果, 運動負荷による副交感神経活動の有意な低下と交感神経活動の有意な亢進を認めているが, 安静時の自律神経バランスに有意な変化はなかった。Yamamoto ら⁵²⁾は 25°C, 44%RH と 37°C, 75%RH の両条件への曝露実験を行った。その結果, 25°C, 44%RH 下では, HF 及び LF/HF とともに有意差が認められなかったが, 37°C, 75%RH 下では HF は有意に減少し, LF/HF 及び心拍数は有意に変化したと報告した。これらの研究により, 精神ストレスと同様に, 暑熱環境への人体曝露は自律神経活動に影響を与える可能性が示唆されている。

1. 2. 4 局所冷却・局所加温

局所冷却は救急措置における痙攣性の抑制, スポーツ障害回避まで様々な物理療法技術の一つである。臨床場面の看護技術として行われる氷枕や氷のうによる冷罨法も体表面に寒冷刺激を与える局所冷却といえる。

暑熱環境下で体温上昇を防ぐため身体冷却が効果的とされ冷却により, 熱放散系の負担が減少し, 発汗量及び循環器系の負担も軽減され, 熱障害を防止する上

で有効である⁵³⁾。労働現場では作業前や作業中にも積極的に身体冷却を行うことが推奨される³⁴⁾。

身体冷却による体温調節反応に関する研究はいくつか報告されている。空気温によるものでは Vokac⁵⁴⁾のスキーウェア着用時の局所冷却や、Hanada ら⁵⁵⁾の全身を10分割した衣服の部を取り外す寒冷曝露の研究などがあり、いずれも局所冷却の生体への影響に関する報告をしている。更に丸山と田村⁵⁶⁾も密着衣服を用いて全身被覆状態から、Hanada ら⁵⁰⁾と類似した方法で研究を行っている。Hexamer と Werner⁵⁷⁾は水漕流スーツを使って運動を行った場合の温熱的快適性について報告している。また、Tamura と An⁵⁸⁾は水漕流スーツに類似した水漕流パッドを使用して皮膚温、温冷感への影響について報告している。今田と平田⁵⁹⁾は水漕流スーツによる皮膚冷却の面積比率が胸部皮膚血流量に及ぼす影響を明らかにしている。

一方、手足などの身体末梢部位は日常生活において温熱ストレスに曝露されやすく、Grayson⁶⁰⁾は足部を冷水に浸漬すると手指部の血流量が減少し、手指部の皮膚温の低下することを報じ、栃原ら³⁶⁾、庄司ら³⁷⁾は中立環境下で足部冷水浴を行い、血圧、心拍数の上昇や「冷え感」などを報じている。また、松本ら⁶¹⁾は25～26℃環境下で氷水浸水実験を行い、足趾及び手指寒冷血管反応について報じている。

なお、足部冷水浴以外の方法として、Draig Heiler and Dennis Grahn は、利便性の良い手掌を冷却する装置コアコントロール(Core Control)を開発・商品化している⁶²⁾。コアコントロールは、手掌を適度に吸引・冷却する事で、運動や過酷な労働によって上昇した体内深部の温度を急速・効率的に元の体温に戻す機能を有している。運動や過酷な労働現場でのクールダウンや熱中症予防にも効果的であるとしている。

細川ら⁶³⁾は暑熱下の運動・作業前に、身体冷却で体温を下げておくプレクーリング(Pre-cooling)が効果的としている。運動前に、全身浸水を10～20℃で行うと深部体温が約1℃低下し、その後暑熱下で有酸素系の運動を行った場合、パフォーマンスの向上が報告されている。更に、簡易な冷却方法として手や足をバケツに浸漬する方法や扇風機を併用するなど提案している。市販商品には水・氷・保冷剤、ファン、ペルチェ素子などを組み込んだ冷却服・ベストや冷却装置が運

動・作業現場で活用されている。日常的には身の回りにある冷却グッズなどの使用が便利で保冷剤，冷却シート，冷却スプレー，氷・氷嚢，冷たいタオルなどが利用されている。暑熱環境下，熱中症発生の生理的要因である高体温や脱水を未然に防ぐには，身体冷却して高体温を阻止することが効果的である⁵⁾。

一方，冷涼環境で観察される冷えには身体加温が効果的で保温性のある衣料の着用，カイロなど保温グッズの利用による局所加温，入浴・足部温水浴などが行われている。入浴には，「温まる」，「リラックスする」，「リフレッシュする」，「血行を促進する」，「良く眠れる」などの効果があげられている。足部温水浴は看護・介護の場面で行われ，全身入浴に比べ人体に大きな負担をかけることが少ない物理療法技術と言える。清潔効果，保温効果，睡眠導入・覚醒効果，深部体温の変動や自律神経系への影響などの生理・心理学的効果，疲労回復・緊張緩和などのリラクゼーション効果などが証明されてきた^{19)~27)}。

1. 2. 5 動静脈吻合

人の皮膚血管系は，毛細血管と動静脈吻合(Arteriovenous Anastomoses, 以下：AVA と略す)に大別される⁶⁴⁾。毛細血管は皮膚に分布する細動脈と細静脈をつなぐ毛細血管網である。心臓から送り出される血液は動脈の血管から末梢の毛細血管まで及び静脈を通じて心臓に戻っていくが毛細血管に分岐する前にバイパスとして細動脈と細静脈を直接つないでいるのがAVAである⁶⁵⁾。AVAは交感神経血管収縮神経により調節されており，体温上昇による手指の血流量増加はこの神経の緊張が低下することにより生じる⁶⁶⁾。AVAは四肢の末梢，顔の一部にだけ存在し，毛細血管は直径が大きく，開大すると大量の血液が流れる。

暑熱環境下，上肢末端にあるAVAが開放すると，上肢全体からの熱放散が充進する。Fig.1-2に示すように，手のAVA血流量の増加は手からの熱放散量を充進する。更に，AVAを通過した静脈血流は心臓に戻るとき，主に表在性の皮静脈を通り，前腕の皮膚温を上昇させる。上昇した前腕の皮膚温は汗腺部位の温度上昇をも引き起こし，前腕発汗量を増加させるため，AVA血流量は上肢全体からの熱放散の充進に寄与することになる⁶⁷⁾。永坂⁶⁸⁾は手指のAVA血流量は，変動が大きく寒冷時にほとんどゼロ近かったものが暑熱時には $100\text{ml} \cdot 100\text{ml}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ を越すほどまで増加する。中性温度域では $20 \sim 60\text{ml} \cdot 100\text{ml}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 程度で

あると報じ, 指の温度を中性域に保ったまま全身を寒冷にさらすとしばらくして, その指の血流量は減少するが, その後全身を暑熱に曝露し体温を上げるとその血流量は著しく増加し, やがて一定の高い値に落ちつくとしている.

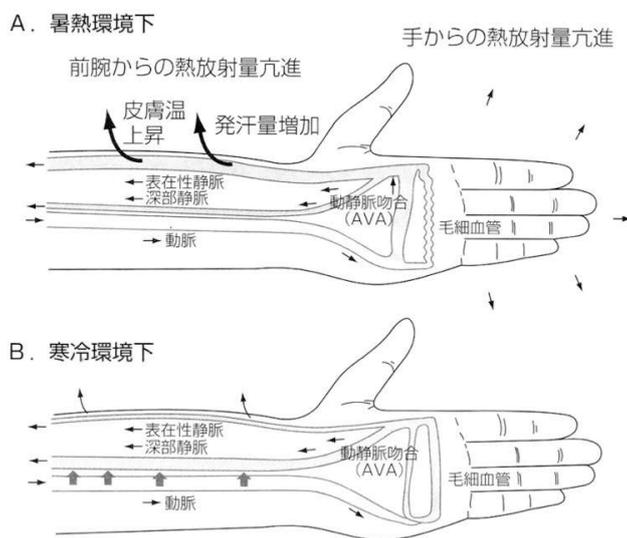


Fig.1-2. Arteriovenous anastomoses⁶²⁾.

冷涼環境下においては皮膚血管の収縮により血流量が減少し, 皮膚温は下がるが, しばらくすると血管拡張を起こし皮膚温は上昇し, 血管が収縮拡張を繰り返す現象が見られる. このような冷刺激により皮膚血管が周期的に拡張する寒冷血管拡張反応(Cold Induced Vasodilation, 以下: CIVD と略す)は局所の冷却で起こる皮膚血管の拡張反応であり, Levis⁶⁹⁾によって報告された. これは AVA の存在する皮膚では常に起こるが, AVA が存在しない皮膚では起こりにくい. このことから考えて, CIVD を引き起こす血管は AVA であると考えてよいと思われる.

Nagasaka ら, Hirata らは手指を加温するとき, 皮膚温が体温を超え 39~41°C に達すると皮膚血流量の減少を報告している^{70),71)}. このような皮膚血管の収縮は温熱血管収縮反応(Heat Induced Vasoconstriction, 以下: HIVC と略す)と呼ばれ, AVA 血管に選択的に惹起されると考えられる. この反応は体温より高い温度で, 皮膚血管が拡張する場合, 外界からは生体内へ熱の流入を促進することになり, HIVC はこれを抑制するための生体防御反応であると考えられている. 即ち, 皮膚温が体温を越える温度に加温されると AVA 血管が収縮し, 血流量の減少を引き起こすことが判明した.

更に、永坂ら⁷²⁾は、HIVCは低環境温時(20℃, 40%RH)や逆に高温高湿時(35℃, 80%RH)では認められない。即ち、HIVC発現には至適条件が存在する。低環境温では、平均皮膚温が低いため皮膚血管に対する収縮作用が大きく、局所加温によるHIVCは発現しない。また、高温高湿環境では温熱負荷が大きいため皮膚血管に対する拡張作用が大きく局所加温によるHIVCは観察されなかったと報じている。

1. 3 本論文の目的と構成

地球温暖化やヒートアイランドで加速した暑熱環境、また、生活環境や生活習慣の変化による冷涼環境は、人体に温熱負荷を与え、熱中症や冷え・冷え性として顕在化する。これらに対する対処方法として、局所冷却、局所加温が行われている。体幹、上腕、下肢、手足など局所への刺激は、全身に比べ身体への生理的負担が少なく、かつ手軽にできる優位性がある。中でも座位姿勢、安楽状態で行う足部への負荷は、身体拘束も少なく心理的に取り入れやすい手法である。局所冷却、局所加温は看護・介護、医療、生理、運動、作業などの場面で、各種症状のケア・改善、リラクゼーションなど効果が報告されている。

局所冷却は主に中立環境で行われ、人体生理反応の視点から研究がされている。更に、スポーツ時の疲労回復、筋肉痛・炎症軽減にもアイシングが行われている。暑熱環境では、熱中症予防に向けスポーツ、作業者を対象とし、プレクーリングが提案されているが、健康者を対象とした局所冷却が身体に及ぼす生理学的視点から研究は余りされていない。局所加温は主に中立環境で行われ、温熱生理反応の視点から研究がされている。また看護・介護や医療分野で、副交感神経活動の更新やリラクゼーション効果が明らかにされている。しかし、冷えや寒さが感じられる冷涼環境における生理学的視点からの研究は乏しい。特に、局所冷却・加温と環境条件に関する実験研究は不十分である。

以上のことから、本研究では、まず熱中症とその対策に関するアンケート調査を実施し、様々な環境で快適な衣生活を送るための基礎研究として、足部冷水浴、足部温水浴を、異なる3環境、即ち暑熱環境、中立環境、冷涼環境下で負荷した時の人体の生理・心理反応を検討した。

本論文は以下の 8 章で構成される。

第 1 章「序論」では、本論文の社会背景と課題、研究文献背景及び本論文の目的と構成について記述した。

第 2 章「日本及び中国の学生を対象とした熱中症に関する意識調査」では、日本と中国の大学生を対象に熱中症に関するアンケート調査を実施し、熱中症予防対策、冷却方法、冷却グッズなどを含む基礎資料の収集を行った。それらの利用状況と併せて、両国間の比較分析を行った。

第 3 章「暑熱、中立、冷涼環境が身体に及ぼす生理学的影響」では、局所冷却・加温負荷なし条件下での体温調節反応や自律神経活動を把握する目的で、暑熱環境 34℃、70%RH、中立環境 27℃、60%RH、冷涼環境 20℃、50%RH の人工気候室内に、0.4clo 着衣（半袖 T シャツとハーフパンツ）の健康な 20 代女性 13 名を対象に、安静座位で 80 分間滞在させた時の舌下温、皮膚温、指尖部皮膚血流量、背部発汗量及び心拍変動を測定した。

第 4 章「暑熱環境下の足部冷水浴が身体に及ぼす生理学的影響」では、暑熱環境 34℃、70%RH の人工気候室内に、0.4clo 着衣の健康な 20 代女性 13 名を対象に、15℃、15 分間の足部冷水浴を行い、舌下温、皮膚温、指尖部皮膚血流量、背部発汗量及び心拍変動を測定し、体温調節反応及び自律神経活動に及ぼす影響、並びに熱中症予防対策への可能性を検討した。

第 5 章「中立環境下の足部冷水浴が身体に及ぼす生理学的影響－暑熱環境との比較－」では、中立環境 27℃、60%RH の人工気候室内に、0.4clo 着衣の健康な 20 代女性 13 名を対象に、15℃、15 分間の足部冷水浴を行い、暑熱環境における足部冷水浴を比較対象とし、異なる環境条件下の足部冷水浴が体温調節反応及び自律神経活動に及ぼす違いを検討した。

第 6 章「冷涼環境下の足部温水浴が身体に及ぼす生理学的影響」では、冷涼環境下 20℃、50%RH に設定した人工気候室内に、0.4clo 着衣（半袖 T シャツとハーフパンツ）の健康な 20 代女性 13 名を対象に、42℃、15 分間の足部温水浴を行い、舌下温、皮膚温、指尖部皮膚血流量、背部発汗量及び心拍変動を測定し、体温調節反応及び自律神経活動に及ぼす影響を検討した。また、被験者を末梢部が冷えやすい冷え群と冷えにくい非冷え群に分類し、冷え体質への影響を検討した。

第 7 章「中立環境下の足部温水浴が身体に及ぼす生理学的影響－冷涼環境との比較－」では，中立環境 27℃，60%RH の人工気候室内に，0.4clo 着衣の健康な 20 代女性 13 名を対象に，42℃，15 分間の足部温水浴を行い，冷涼環境における足部温水浴を比較対象とし，異なる環境条件下の足部温水浴が体温調節反応及び自律神経活動に及ぼす違いを検討した．

第 8 章「総括」では，各章をまとめ，研究全体の結論と今後の課題を記述した．

引用・参考文献

- 1) IPCC 第 5 次評価報告書の概要 :第 1 作業部会(自然科学の根拠), 環境省, 2014
- 2) ヒートアイランド対策マニュアル :最新状況と適応策等の対策普及に向けて, 環境省, 2012
- 3) ヒートアイランド現象, <https://www.jma.go.jp/jma/index.html>, 気象庁
- 4) 平成 30 年(5 月から 9 月)の熱中症による救急搬送状況, 消防庁, 2018
- 5) 熱中症環境保健マニュアル, 環境庁, 2018
- 6) 2020 年東京オリンピック・パラリンピック競技大会に向け, 内閣官房, 2018
- 7) ラグビー・自転車も競技時間を変更, 五輪の暑さ対策で, 日本経済新聞, 2018
- 8) 東京 2020 大会に向けた東京都「暑さ対策」推進会議, 東京都環境庁, 2018
- 9) 競技者ための暑熱対策ガイドブック, 国立スポーツ科学センター, 2017
- 10) 物部博文 ; 心理学的手法による冷え性定量化の提案, 日本生理人類学会誌, 14(2), 43-50, 2009
- 11) 松木優姫, 堀雅子 ; 冷えを感じやすい成人女性を対象とした加温衣服による温熱生理機能補助の効果, 日本衣服学会誌, 57(1), 23-34, 2013
- 12) 後山尚久 ; 冷え症の病態の臨床的解析と対応, 医学のあゆみ, 215(11), 925-929, 2005
- 13) Nagashima.K., Yoda.T., Yagishita.T., Taniguchi.H.T., Kanosue.K.; Thermal regulation and comfort during a mild-cold exposure in young Japanese women complaining of unusual coldness, J Appl Physiol, 92, 1029-1035, 2002
- 14) 西川桃子, 我部山キヨ子 ; 冷え症の定義, 測定, 特徴及び妊婦の冷え症に関する文献レビューと今後の研究の方向性, 京都大学医学部保健学科紀要, 6, 57-65, 2009
- 15) 彼末一之, 永島計, 谷口あき, 小西正博 ; 温熱的快・不快感(暑さ・寒さ)とは, 繊維製品消費科学, 43(3), 17-22, 2002
- 16) 安岡絢子, 久保博子, 磯田憲生 ; 夏季の冷房使用による冷えの性差に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-2, 513-514, 2010

- 17) 吉永亜子, 吉本照子; 足浴が頭痛を緩和する看護技術から睡眠をうながす技術へと進展した背景要因, 日本看護技術学会誌, 6(1), 70-77, 2007
- 18) 吉永亜子, 吉本照子, 石垣和子; 睡眠を促す日本の看護技術としての足浴, 足浴利用法の変化(1876-2005年), 文化看護学会誌, 1(1), 31-37, 2009
- 19) 工藤うみ, 工藤せい子, 富澤登志子; 足浴における洗い・簡易マッサージの有効性, 日本看護研究学会雑誌, 29(4), 89-95, 2006
- 20) 大滝周, 川嶋昌美, 高木睦子, 津川博美, 福岡絵美, 浅野和仁; 足浴が体温に及ぼす影響について, 昭和学士会雑誌, 77(1), 82-87, 2017
- 21) 平松則子, 大吉三千代, 川島みどり, 菱沼典子, 香春知永, 操華子; 入眠を促す援助としての足浴の効果について: 足浴が及ぼす生理的变化, 日本看護科学会誌, 14(3), 208-209, 1994
- 22) 吉永亜子, 吉本照子; 睡眠を促す援助としての足浴についての文献検討, 日本看護技術学会誌, 4(2), 4-13, 2005
- 23) 高山直子, 岡崎寿美子; 就寝前の足浴が睡眠に及ぼす影響: 施設に入所した高齢者を対象とした睡眠調査の分析より, 日本看護研究学会雑誌, 26(3), 309, 2003
- 24) 金子健太郎, 熊谷英樹, 尾形優, 竹本由香里, 山本真千子; 足浴が生体に及ぼす生理学的効果: 循環動態・自律神経活動による評価, 日本看護技術学会誌, 8(3), 35-41, 2009
- 25) 美和千尋, 島崎博也, 出口晃, 鈴木恵理, 川村陽一, 前田一範, 森康則; 足浴時の自律神経機能の変化と加齢の影響, 日本温泉気候物理医学会雑誌, 78(2), 130-137, 2015
- 26) 新田紀枝, 阿曾洋子, 川端京子; 足浴, 足部マッサージ, 足浴後マッサージによるリラクゼーション反応の比較, 日本看護科学会誌, 22(4), 55-63, 2002
- 27) 岩崎眞弓, 野村志保子; 局所温罨法によるリラクゼーション効果の検討: 温罨法と足浴が身体に及ぼす影響の比較検討より, 日本看護研究学会雑誌, 28(1), 33-43, 2005
- 28) 秋山雅代; 足浴の効果における実験プロトコルに関する文献レビュー, *Bulletin of Hokkaido University of Science*, 41, 217-222, 2016

- 29) 殷翠云, 李小红, 冯秋华; 中药足浴改善功能性消化不良伴失眠患者睡眠质量的疗效观察, 护理与康复, 11(11), 1082, 2012
- 30) 罗廷威, 陈淑碗, 伍巧玲; 足浴睡眠方治疗轻度失眠 62 例, 中医外治杂志, 19(4), 30, 2010
- 31) 甘丰妹; 中药足浴调治老年糖尿病患者睡眠障碍 35 例临床观察, 江苏中医药, 44(3), 42, 2012
- 32) 崔改英, 张菲菲, 张凤菊; 中药足浴促进剖宫产术后康复的护理观察, 护理实践与研究, 9(2), 54, 2012
- 33) 柴慧; 中药足浴对老年患者腹部术后肠功能恢复的疗效观察, 北方药学, 10(1), 64, 2013
- 34) 時澤健; 熱中症対策の新技术: 実用志向と未来志向, 労働安全衛生研究, 10(1), 63-67, 2017
- 35) 川平和美, 横山知子, 衛藤誠二, 田中信行; 脳卒中片麻痺下肢の等速性運動に対する冷水ならびに温水(人工炭酸泉)足浴の影響, 日本温泉気候物理医学会雑誌, 61(2), 67-73, 1998
- 36) 柄原裕, 大中忠勝, 松井住仁, 田中正敏, 吉田敬一; 足部冷水浴時の人体反応, 日本生気象学会雑誌, 16(2), 52-52, 1979
- 37) 庄司祐子, 竹森利和; 水中浸漬による局所寒冷曝露時の水温が及ぼす生理反応への影響評価, 空気調和・衛生工学会大会, 近畿支部発表会論文集, 2002(0), 135-138, 2003
- 38) 岩瀬敏; 自律神経系の生態情報が生体システムに及ぼす影響, 繊維製品消費科学, 53(8), 613-618, 2012
- 39) Mount L. E.; The concept of thermal neutrality, Heat Loss from Animals and Man, Butter worth, London, 425-439, 1974
- 40) Mount L. E.; Adaptation to Thermal Environment-man and his productive animals, Edward Arnold, London, 16, 1979
- 41) 田辺新一; 温熱環境の快適性評価, 日本物理學會誌, 54(6), 440-448, 1999
- 42) Keith.S.M.; Textile Progress Comfort Properties of Textiles, Manchester, The Textile Institute, 9, 1-5, 1977

- 43) 澤田晋一 ; 人間工学国際規格(ISO)とその最新動向(5), 人間工学, 50(5), 231-242, 2014
- 44) 大岡龍三 ; 熱と人体, 日本風工学会誌, 2003(97), 37-41, 2003
- 45) 深井一夫, 伊藤宏, 後藤滋, 阿久井哲, 斎藤純司 ; 標準新有効温度(SET*)と日本人の温熱感覚に関する実験的研究, 第2報 : 冬季及び夏季における温熱感覚の比較, 空気調和・衛生工学会, 18(51), 139-147, 1993
- 46) Dennis S.C., Noakes T.D.; Advantages of a smaller body mass in humans when distance-running in warm, humid conditions, *Eur J. Appl., Physiol Occup Physiol*, 79, 280-284, 1999
- 47) 日常生活における熱中症予防指針, Ver. 3, 日本生気象学会雑誌, 50(1), 49-59, 2013
- 48) 西川向一, 平澤由美, 長町三生 ; 温熱環境が心拍変動に与える影響, 人間工学, 33(2), 105-112, 1997
- 49) 入來正躬 ; 心電図 R-R 間隔検査を用いた熱的快適性の評価, 日本生気象学会誌, 30(2), 57-63, 1993
- 50) John J. S., Tiffany A. S., Rachel N.O., Craig A. A., Julian F. T.; Examining changes in HRV in response to varying ambient temperature, *IEEE Eng, Med Bio Mag*, 21, 30-34, 2002
- 51) Brenner I.K., Thomas S., Shephard R.J.; Spectral analysis of heart rate variability during heat exposure and repeated exercise, *Eur J. Appl., Physiol Occup Physiol*, 76, 145-156, 1997
- 52) Shinji Yamamoto, Mieko Iwamoto, Masaiwa Inoue, Noriaki Harada; Evaluation of the effect of heat exposure on the autonomic nervous system by heart rate variability and urinary catecholamines, *J. Occup Health*, 49, 199-204, 2007
- 53) 鬼塚純玲, 長谷川博 ; 身体冷却の重要性とその応用, *トレーニング科学*, 26(3), 139-145, 2015
- 54) Vokac Z., Kopke V., Keull P.; Effect of cooling of peripheral parts of the body on general thermal comfort, *Textile Res, J. Oct.*, 827-833, 1971

- 55) Hanada K., Mihira K., Kamisasa H.; The effect of unevenly distributed thermal stimuli on the sensation of warmth and coolness, *Appl., Ergon*, 13, 49-53, 1982
- 56) 丸山康子, 田村照子; 不均一温熱刺激に対する皮膚温・温冷感反応, *日本生気象学会雑誌*, 26(3), 143-154, 1989
- 57) Hexamer M., Werner J.; Control of liquid cooling garments: Subjective versus technical control of thermal comfort, *Appl., Human Sci.*, 14, 271-278, 1995
- 58) Tamura T., An MY.; Physiological and psychological thermal response to local cooling human body, *J. Therm. Biol*, 18, 335-339, 1993
- 59) 今田尚美, 平田耕造; 水灌流スーツによる皮膚冷却に対する体温調節反応の身体部位差に関する研究, *繊維製品消費科学*, 42(5), 330-339, 2001
- 60) Grayson J.; Cold and warmth vasoconstrictor responses in the skin of man, *Br. Heart J.*, 13, 167-176, 1951
- 61) 松本勅, 寺沢宗典, 田和宗徳, 山川緑, 西川弘恭, 森本武利; 足趾及び手指寒冷血管反応の比較, *日本生気象学会雑誌*, 27(1), 17-25, 1990
- 62) CORECONTROL : [http : //www.dreamteam.jp/product/corecontrol.html](http://www.dreamteam.jp/product/corecontrol.html)
(2018年7月15日)
- 63) 細川由梨, 時澤健; 暑熱環境におけるパフォーマンスの最適化, *繊維製品消費科学*, 59(11), 862-866, 2018
- 64) 平田耕造; 衣服の快適性・健康: 皮膚血流調節の温熱生理学, *繊維製品消費科学*, 36(1), 12-17, 1995
- 65) 平田耕造; 体温調節系の働きと温冷感・湿潤感: 温熱生理学の立場から, *繊維機械学会誌*, 49(5), 269-273, 1996
- 66) 永坂鉄夫, 平田耕造, 田中香利; 動静脈吻合の体力医学的意義: 局所加温による温熱皮膚血管収縮反応, *デサントスポーツ科学*, 19, 3-13, 1998
- 67) Hirata K., Nagasaka T., Hirashita M., Takahata T.; Increase in evaporative and non-evaporative heat loss from the forearm depends on venous return from the hand during exercise., *Thermal Physiology*, Elsevier Science Publisher BV., Amsterdam, 155-159, 1989

- 68) 永坂鉄夫 ; 皮膚・粘膜血流異常と自律神経, 東京女子医科大学雑誌, 63(1), 62-67, 1993
- 69) Lewis T.; Observations upon the reactions of the vessels of the human skin to cold, *Heart*, 15, 177-208, 1930
- 70) Hirata K., Nagasaka T., Nunomura T., Cabanac M.; Local thermal sensation and finger vasoconstriction in the locally heated, *Eur. J. Appl., Physiol*, 58, 92-96, 1998
- 71) Nagasaka T., Cabanac M., Hirata K., Nunomura T.; Heat-induced vasoconstriction in the fingers: a mechanism for reducing heat gain through the hand heated locally, *Pflugers, Arch*, 407, 71-75, 1986
- 72) 永坂鉄夫, 平田耕造, 田中香利 ; 動静脈吻合の体力医学的意義, 局所加温による温熱皮膚血管収縮反応, *デサントスポーツ科学*, 19, 3-13, 1998
- 73) IPCC 第5次評価報告書の概要 :第1作業部会(自然科学の根拠), 環境省, 2014
- 74) ヒートアイランド対策マニュアル :最新状況と適応策等の対策普及に向けて, 環境省, 2012
- 75) ヒートアイランド現象, <https://www.jma.go.jp/jma/index.html>, 気象庁
- 76) 平成30年(5月から9月)の熱中症による救急搬送状況, 消防庁, 2018
- 77) 熱中症環境保健マニュアル, 環境庁, 2018
- 78) 2020年東京オリンピック・パラリンピック競技大会に向け, 内閣官房, 2018
- 79) ラグビー・自転車も競技時間を変更, 五輪の暑さ対策で, *日本経済新聞*, 2018
- 80) 東京2020大会に向けた東京都「暑さ対策」推進会議, 東京都環境庁, 2018
- 81) 競技者ための暑熱対策ガイドブック, 国立スポーツ科学センター, 2017
- 82) 物部博文 ; 心理学的手法による冷え性定量化の提案, *日本生理人類学会誌*, 14(2), 43-50, 2009
- 83) 松木優姫, 堀雅子 ; 冷えを感じやすい成人女性を対象とした加温衣服による温熱生理機能補助の効果, *日本衣服学会誌*, 57(1), 23-34, 2013
- 84) 後山尚久 ; 冷え症の病態の臨床的解析と対応, *医学のあゆみ*, 215(11), 925-929, 2005

- 85) 山崎文夫, 藤田真澄, 渡辺由里 ; 冷え症女性の冬期と夏期における局所温冷負荷に対する温度感覚と皮膚血管応答, 山口県立大学学術情報, 11, 1-9, 2018
- 86) 西川桃子, 我部山キヨ子 ; 冷え症の定義, 測定, 特徴及び妊婦の冷え症に関する文献レビューと今後の研究の方向性, 京都大学医学部保健学科紀要, 6, 57-65, 2009
- 87) 彼末一之, 永島計, 谷口あき, 小西正博 ; 温熱的快・不快感(暑さ・寒さ)とは, 繊維製品消費科学, 43(3), 17-22, 2002
- 88) 安岡絢子, 久保博子, 磯田憲生 ; 夏季の冷房使用による冷えの性差に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-2, 513-514, 2010
- 89) 吉永亜子, 吉本照子 ; 足浴が頭痛を緩和する看護技術から睡眠をうながす技術へと進展した背景要因, 日本看護技術学会誌, 6(1), 70-77, 2007
- 90) 吉永亜子, 吉本照子, 石垣和子 ; 睡眠を促す日本の看護技術としての足浴, 足浴利用法の変化(1876-2005年), 文化看護学会誌, 1(1), 31-37, 2009
- 91) 工藤うみ, 工藤せい子, 富澤登志子 ; 足浴における洗い・簡易マッサージの有効性, 日本看護研究学会雑誌, 29(4), 89-95, 2006
- 92) 大滝周, 川嶋昌美, 高木睦子, 津川博美, 福岡絵美, 浅野和仁 ; 足浴が体温に及ぼす影響について, 昭和学士会雑誌, 77(1), 82-87, 2017
- 93) 平松則子, 大吉三千代, 川島みどり, 菱沼典子, 香春知永, 操華子 ; 入眠を促す援助としての足浴の効果について : 足浴が及ぼす生理的变化, 日本看護科学会誌, 14(3), 208-209, 1994
- 94) 吉永亜子, 吉本照子 ; 睡眠を促す援助としての足浴についての文献検討, 日本看護技術学会誌, 4(2), 4-13, 2005
- 95) 高山直子, 岡崎寿美子 ; 就寝前の足浴が睡眠に及ぼす影響 : 施設に入所した高齢者を対象とした睡眠調査の分析より, 日本看護研究学会雑誌, 26(3), 309, 2003
- 96) 金子健太郎, 熊谷英樹, 尾形優, 竹本由香里, 山本真千子 ; 足浴が生体に及ぼす生理学的効果 : 循環動態・自律神経活動による評価, 日本看護技術学会誌, 8(3), 35-41, 2009

- 97) 美和千尋, 島崎博也, 出口晃, 鈴村恵理, 川村陽一, 前田一範, 森康則; 足浴時の自律神経機能の変化と加齢の影響, 日本温泉気候物理医学会雑誌, 78(2), 130-137, 2015
- 98) 新田紀枝, 阿曾洋子, 川端京子; 足浴, 足部マッサージ, 足浴後マッサージによるリラクゼーション反応の比較, 日本看護科学会誌, 22(4), 55-63, 2002
- 99) 岩崎眞弓, 野村志保子; 局所温罨法によるリラクゼーション効果の検討: 温罨法と足浴が身体に及ぼす影響の比較検討より, 日本看護研究学会雑誌, 28(1), 33-43, 2005
- 100) 秋山雅代; 足浴の効果における実験プロトコルに関する文献レビュー, Bulletin of Hokkaido University of Science, 41, 217-222, 2016
- 101) 殷翠云, 李小红, 冯秋华; 中药足浴改善功能性消化不良伴失眠患者睡眠质量的疗效观察, 护理与康复, 11(11), 1082, 2012
- 102) 罗廷威, 陈淑碗, 伍巧玲; 足浴睡眠方治疗轻度失眠 62 例, 中医外治杂志, 19(4), 30, 2010
- 103) 甘丰妹; 中药足浴调治老年糖尿病患者睡眠障碍 35 例临床观察, 江苏中医药, 44(3), 42, 2012
- 104) 崔改英, 张菲菲, 张凤菊; 中药足浴促进剖宫产术后康复的护理观察, 护理实践与研究, 9(2), 54, 2012
- 105) 柴慧; 中药足浴对老年患者腹部术后肠功能恢复的疗效观察, 北方药学, 10(1), 64, 2013
- 106) 時澤健; 熱中症対策の新技術: 実用志向と未来志向, 労働安全衛生研究, 10(1), 63-67, 2017
- 107) 川平和美, 横山知子, 衛藤誠二, 田中信行; 脳卒中片麻痺下肢の等速性運動に対する冷水ならびに温水(人工炭酸泉)足浴の影響, 日本温泉気候物理医学会雑誌, 61(2), 67-73, 1998
- 108) 栃原裕, 大中忠勝, 松井住仁, 田中正敏, 吉田敬一; 足部冷水浴時の人体反応, 日本生気象学会雑誌, 16(2), 52-52, 1979
- 109) 庄司祐子, 竹森利和; 水中浸漬による局所寒冷曝露時の水温が及ぼす生理反応への影響評価, 空気調和・衛生工学会大会, 近畿支部発表会論文集, 2002(0), 135-138, 2003

- 110) 岩瀬敏；自律神経系の生態情報が生体システムに及ぼす影響，繊維製品消費科学，53(8)，613-618，2012
- 111) Mount L. E.; The concept of thermal neutrality, Heat Loss from Animals and Man, Butterworth, London, 425-439, 1974
- 112) Mount L. E.; Adaptation to Thermal Environment-man and his productive animals, Edward Arnold, London, 16, 1979
- 113) 田辺新一；温熱環境の快適性評価，日本物理學會誌，54(6)，440-448，1999
- 114) Keith.S.M., Textile Progress Comfort Properties of Textiles, Manchester, The Textile Institute, 9, 1-5, 1977
- 115) 澤田晋一；人間工学国際規格(ISO)とその最新動向(5)，人間工学，50(5)，231-242，2014
- 116) 大岡龍三；熱と人体，日本風工学会誌，2003(97)，37-41，2003
- 117) 深井一夫，伊藤宏，後藤滋，阿久井哲，斎藤純司；標準新有効温度(SET*)と日本人の温熱感覚に関する実験的研究，第2報：冬季及び夏季における温熱感覚の比較，空気調和・衛生工学会，18(51)，139-147，1993
- 118) 芳田哲也；日本における熱中症予防研究，日本生気象学会雑誌，52(2)，97-104，2015
- 119) 日常生活における熱中症予防指針，Ver. 3，日本生気象学会雑誌，50(1)，49-59，2013
- 120) 西川向一，平澤由美，長町三生；温熱環境が心拍変動に与える影響，人間工学，33(2)，105-112，1997
- 121) 入來正躬；心電図 R-R 間隔検査を用いた熱的快適性の評価，日本生気象学会誌，30(2)，57-63，1993
- 122) John J. Soller., Tiffany A. Sanford, Rachel Nabors-Oberg, Craig A. Anderson, Julian F. Thayer.; Examining changes in HRV in response to varying ambient temperature, IEEE Eng, Med Bio Mag, 21, 30-34, 2002
- 123) Brenner I.K., Thomas S., Shephard R.J.; Spectral analysis of heart rate variability during heat exposure and repeated exercise, Eur J. Appl., Physiol Occup Physiol, 76, 145-156, 1997

- 124) Shinji Yamamoto, Mieko Iwamoto, Masaiwa Inoue, Noriaki Harada; Evaluation of the effect of heat exposure on the autonomic nervous system by heart rate variability and urinary catecholamines, *J. Occup Health*, 49, 199-204, 2007
- 125) 鬼塚純玲, 長谷川博; 身体冷却の重要性とその応用, *トレーニング科学*, 26(3), 139-145, 2015
- 126) Vokac Z., Kopke V., Keull P.; Effect of cooling of peripheral parts of the body on general thermal comfort, *Textile Res, J. Oct.*, 827-833, 1971
- 127) Hanada K., Mihira K., Kamisasa H.; The effect of unevenly distributed thermal stimuli on the sensation of warmth and coolness, *Appl., Ergon*, 13, 49-53, 1982
- 128) 丸山康子, 田村照子; 不均一温熱刺激に対する皮膚温・温冷感反応, *日本生気象学会雑誌*, 26(3), 143-154, 1989
- 129) Hexamer M., Werner J.; Control of liquid cooling garments: Subjective versus technical control of thermal comfort, *Appl., Human Sci.*, 14, 271-278, 1995
- 130) Tamura T., An MY.; Physiological and psychological thermal response to local cooling human body, *J. Therm. Biol*, 18, 335-339, 1993
- 131) 今田尚美, 平田耕造; 水かん流スーツによる皮膚冷却に対する体温調節反応の身体部位差に関する研究, *繊維製品消費科学*, 42(5), 330-339, 2001
- 132) Grayson J.; Cold and warmth vasoconstrictor responses in the skin of man, *Br. Heart J.*, 13, 167-176, 1951
- 133) 松本勅, 寺沢宗典, 田和宗徳, 山川緑, 西川弘恭, 森本武利; 足趾及び手指寒冷血管反応の比較, *日本生気象学会雑誌*, 27(1), 17-25, 1990
- 134) CORECONTROL : <http://www.dreamteam.jp/product/corecontrol.html>
- 135) 細川由梨, 時澤健; 暑熱環境におけるパフォーマンスの最適化, *繊維製品消費科学*, 59(11), 862-866, 2018
- 136) 平田耕造; 衣服の快適性・健康: 皮膚血流調節の温熱生理学, *繊維製品消費科学*, 36(1), 12-17, 1995

- 137) 平田耕造 ; 体温調節系の働きと温冷感・湿潤感 : 温熱生理学の立場から,
繊維機械学会誌, 49(5), 269-273, 1996
- 138) 永坂鉄夫, 平田耕造, 田中香利 ; 動静脈吻合の体力医学的意義 : 局所加
温による温熱皮膚血管収縮反応, デサントスポーツ科学, 19, 3-13, 1998
- 139) Hirata et al; Thermal Physiology, Elsevier Science Publisher BV.,
Amsterdam, 155, 1989
- 140) 永坂鉄夫 ; 皮膚・粘膜血流異常と自律神経, 東京女子医科大学雑誌, 63(1),
62-67, 1993
- 141) Lewis T.; Observations upon the reactions of the vessels of the human
skin to cold, Heart, 15, 177-208, 1930
- 142) Hirata K., Nagasaka T., Nunomura T., Cabanac M.; Local thermal
sensation and finger vasoconstriction in the locally heated, Eur. J. Appl.,
Physiol, 58, 92-96, 1998
- 143) Nagasaka T., Cabanac M., Hirata K., Nunomura T.; Heat-induced
vasoconstriction in the fingers: a mechanism for reducing heat gain
through the hand heated locally, Pflugers, Arch, 407, 71-75, 1986
- 144) 永坂鉄夫, 平田耕造, 田中香利 ; 動静脈吻合の体力医学的意義, 局所加
温による温熱皮膚血管収縮反応, デサントスポーツ科学, 19, 3-13, 1998

第 2 章

日本及び中国の学生を対象とした

熱中症に関する意識調査

2. 1 緒言

地球規模での温暖化が進み、動植物の生態や海面の上昇、氷河の融解など様々な影響を及ぼしている。大都市では人間の活動に伴うヒートアイランド現象、熱帯夜が一層、暑熱化を増幅させている。実際、1898～2016年で日本の平均気温は1.19℃上昇、真夏日・猛暑日は1931～2016年で増加傾向が見られ猛暑日は10年あたり0.2日の割合で増加しており、熱帯夜も10年あたり1.7日の割合で増加している^{1),2)}。総務省消防庁³⁾によると、平成29年5月から9月の全国における熱中症による救急搬送人員数の累計は52,984人であった。前年同期間の50,412人と比較すると2,572人増となっている、死亡者数も1996年318人から2016年621人へと増加傾向を示した⁴⁾。昨年の猛暑を受け環境省⁵⁾、気象庁⁶⁾、日本救急医学会⁷⁾等は嚴重注意を呼び掛けている。東京オリンピックが開催される2020年7月から8月においては、暑熱時熱中症対策が喫緊の課題で、競技時間の調整が課題になっている⁸⁾。

なお、中国でも1951～2017年で平均気温は0.84℃上昇し、2007年熱中症に関する情報として高温警報を発令した。熱中症に関する報道は散見されるが、統計資料は入手しにくい^{9),10)}、また研究・調査事例も乏しいことから中国では現段階では大きな社会的問題になっていないのが現状である¹¹⁾。

日本救急医学会¹²⁾によると熱中症とは、「暑熱環境における身体適応の障害によって起こる状態の総称」であり、その症状には熱射病、日射病、熱痙攣、熱失神、熱疲労などが見られ、熱中症発症の生理的要因は「過度の体温上昇(高体温)」、「脱水」である。熱中症予防に関する研究は、安藤ら、藤部、芳田、三宅、堀江、中井らにより数多くが報告されている^{13)~18)}。

熱中症は従来、暑熱環境下での労働や運動活動で多く発生していたが、就寝時に死亡する事故など日常生活においても発生しやすくなっている。熱中症予防対策には、過度の体温上昇を防ぎ水分・塩分補給することである。体温上昇を防ぐには冷涼な衣服を着用し、身体を適切な環境下に置くことや冷却剤の活用などが上げられる。

熱中症に関する研究・調査は、日本救急医学会はじめ、菅原ら、山下ら、三村ら、梅宮ら、日本気象協会などにより数多く報じられているが^{19)~24)}、熱中症の

理解度や発症の有無・状況，予防対策など，また予防対策に有効とされる身体冷却方法・部位などに関する知見は少ない。

本章では，日本と中国の大学生を対象に熱中症に関するアンケート調査を実施し，今後の熱中症予防に向けた取組みを検討することを目的とした。この調査は日常生活において機能的，快適な冷却衣服設計及び開発に向けたものである。

2. 2 方法

2. 2. 1 調査対象

日本：日本人大学生及び専門学校生(東京都)。男性 93 名，年齢 18～29 歳(22.0±2.5 歳，平均値±標準偏差)，女性 140 名，年齢 18～29 歳(20.3±2.3 歳)，計 233 名である。

中国：中国人大学生(安徽省六安市：著者の勤務先大学)。男性 93 名，年齢 18～29 歳(20.4±1.6 歳)，女性 140 名，年齢 18～29 歳(20.6±2.3 歳)，計 233 名である。

両国の被験者の総合計は 466 名である。なお，2017 年 8 月の平均最高気温と平均湿度について，東京都は 30.4℃，83%²⁵⁾，六安市は 31.8℃，78%²⁶⁾であった。調査地情報として，東京は北緯 35.4°，六安は北緯 31.8° に位置し，日本の鹿児島(北緯 31.3°)に近い緯度地域である。

2. 2. 2 調査時期

日本は 2017 年 9 月～10 月の 2 ヶ月に実施した。中国では 2017 年 10 月～11 月の 2 ヶ月に実施した。

2. 2. 3 調査内容

Table 2.1 にアンケート用紙を示す。

調査は質問紙により，書面留置法で行った。質問紙は，熱中症に関する 12 項目の質問とそれぞれの回答選択肢から該当する項目を回答する形式とした。中国語の質問紙は，著者が日本語の質問と回答選択肢を中国語に翻訳し，かつ現地中国人教員が質問の主旨・内容を確認することにより同意を得た。質問紙は Table 2.1 の構成からなるものであった。

Table 2.1. Questions on heat stroke prevention.(1/3)

2017年9月15日

熱中症に関するアンケート調査のお願い

私は本学大学院の博士後期課程で熱中症予防に向けた研究をしています。近年、地球温暖化やヒートアイランド現象により各地で熱中症が多発するようになっています。研究を進めるに当たり、熱中症に関する皆さんの意識や対策について知りたいと思い、アンケート調査を実施させていただきます。なお、お答えいただきました内容は本研究にのみ用います。よろしくご協力お願いします。

文化学園大学大学院生活環境課科博士後期課程 2年 汪 清
 指導教員:文化学園大学大学院機能デザイン研究室 教授 永井 伸夫

		年	月	日	記入
性別:	年齢:				

下記の設問への回答に該当する項目の番号を回答欄：□内に記入して下さい。

1. 熱中症（水分・塩分補給、温湿度の影響、処置方法など）について理解していますか。

- ①大変理解している ②理解している ③どちらとも言えない
 ④あまり理解していない ⑤全く理解していない

2. 普段、運動をしますか。

- ①非常に良くする ②良くする ③どちらとも言えない
 ④あまりしない ⑤全くしない

3. 夏などの暑い時に熱中症予防対策をしていますか。

- ①対策をしている ②対策をしていない



①に回答の方は、設問 4 以降にお進み下さい。

②に回答の方は、設問 10 にお進み下さい。

4. 天気予報の熱中症情報を 熱中症予防対策に生かしていますか。

- ①大変生かしている ②生かしている ③どちらとも言えない
 ④あまり生かしていない ⑤全く生かしていない

Table 2.1. Questions on heat stroke prevention.(2/3)

5. どのような熱中症予防対策をしていますか。(複数回答可)

- ①水、茶など水分補給をする ②スポーツドリンクなど水分・塩分補給をする
- ③エアコン・扇風機を使う ④扇子・うちわを使う
- ⑤屋内の風通しを良くする ⑥日傘をさす ⑦帽子をかぶる
- ⑧通風が良く吸湿・速乾性のある衣服を着る
- ⑨冷却グッズ(冷却スプレー、冷却スカーフ・ネッククーラー、冷却ベスト・サポーターなど)を使う ⑩シャワーをする ⑪冷水の足浴をする
- ⑫日中の外出をなるべく避ける ⑬日中の外出時はなるべく日陰を歩く
- ⑭熱中症情報を活用する ⑮激しい運動・作業を控える

その他に、している対策が有れば下欄に記入して下さい。

6. 設問5で⑨を回答した方のみ、お答え下さい。(複数回答可)

どのような冷却グッズをお使いですか。

- ①冷却スプレー ②冷却スカーフ・ネッククーラー
- ③冷却ベスト・サポーター ④冷却キャップ・帽子
- ⑤冷たいタオル・おしぼり

その他に、使っているグッズが有れば下欄に記入して下さい。

7. 設問5で⑨を回答した方のみ、お答え下さい。(複数回答可)

冷却部位はどこですか。

- ①ひたい ②後頭 ③首 ④胸 ⑤背中
- ⑥わき ⑦太もも ⑧ふくらはぎ ⑨手 ⑩足

8. 熱中症になったことがありますか。

- ①ある ②ない

Table 2.1. Questions on heat stroke prevention.(3/3)

9. 設問 8 で①を回答した方のみ、お答え下さい。

9.1 熱中症になった時の症状をお答えください。(複数回答可)

- ①めまい ②多量の発汗 ③頭痛 ④嘔吐 ⑤意識障害

9.2 熱中症になった時の環境をお答え下さい。(複数回答可)

- ①日中 ②夜間 ③屋内 ④屋外
⑤学習(仕事) ⑥スポーツ ⑦作業 ⑧就寝

9.3 熱中症になった時、どのような処置をしましたか。(複数回答可)

- ①涼しい場所(エアコン、風通しの良い日陰など)で安静にした
②衣服をゆるめた ③水、茶など水分補給をした
④スポーツドリンクなど水分・塩分補給をした
⑤送風や冷たいタオルなどで身体のマッサージをした
⑥氷、冷却剤、冷却グッズなどで、首、わき、足などを冷やした
⑦シャワーで身体を冷やした

10. 設問 3 で②を回答した方のみ、お答え下さい。(複数回答可)

熱中症予防対策をしない理由は何故ですか。

- ①暑さに強い
②体力に自信がある
③熱中症になった事がない
④面倒
⑤費用がかかる

ご協力いただき有難うございました。

2. 2. 4 統計学的解析

各質問の回答毎に，出現度数を集計し，日本男女，中国男女，日本・中国間の比較は男女の平均値をクロス集計分析を行い，いずれも 1%，5%の危険率を持って有意差があるとした。

2. 3 結果及び考察

各質問回答の出現度数と百分率，解析結果を Table 2.2 に示す。「熱中症の理解度」(Fig.2-1)に関する質問項目については，日本の場合「大変理解している」，「理解している」を併せた割合は男性 68.8%，女性 55.7%，男性の方は理解度が高かった。菅原ら²⁰⁾による「長崎大学生を対象とした熱中症に関する調査」においては，熱中症を「よく知っている」と「少しは知っている」を併せた割合は，男性 11.5%，女性 9.4%となり，1995 年の調査より，理解度が高まっていることが分かった。中国の場合，男女ともに「理解している」が 63%以上，ほぼ同様の傾向であった。日中間の比較において，「大変理解している」，「理解している」の割合は日本 61.9%に対し，中国 67.8%であった。中国の理解度が日本より一見高く見えるが，未だ熱中症リスクが社会的問題化してないことから，日本と異なる理解度レベルが存在すると推察された。一方，「あまり理解していない」，「全く理解していない」を併せた割合は，日本は 12.4%に対し，中国は 22.7%で日本より多かった。熱中症に対する理解度は日中間で有意差があった($p < 0.01$)。

Table 2.2. List of answers for each question.

熱中症の理解度		有意差	大分理解している	理解している	どちらとも言えない	あまり理解していない	全く理解していない					
日本	男	**	19	20.4%	45	48.4%	15	16.1%	11	11.8%	3	3.2%
	女		7	5.0%	71	50.7%	47	33.6%	14	10.0%	1	0.7%
中国	男	NS	4	4.3%	58	62.4%	8	8.6%	14	15.0%	9	9.7%
	女		9	6.4%	87	62.1%	14	10.0%	24	17.1%	6	4.3%
日本	計	**	26	11.1%	116	49.8%	62	26.6%	25	10.7%	4	1.7%
中国	計		13	5.6%	145	62.2%	22	9.4%	38	16.3%	15	6.4%

運動の程度		有意差	非常に良くする	良くする	どちらとも言えない	あまりしない	全くしない					
日本	男	**	8	8.6%	26	28.0%	23	24.7%	27	29.0%	9	9.7%
	女		0	0.0%	13	9.3%	32	22.9%	63	45.0%	32	22.9%
中国	男	*	23	24.7%	47	50.5%	9	9.7%	12	12.9%	2	2.2%
	女		19	13.6%	88	62.9%	5	3.6%	27	19.3%	1	0.7%
日本	計	**	8	3.4%	39	16.7%	55	23.6%	90	38.6%	41	17.6%
中国	計		42	18.0%	135	57.9%	14	6.0%	39	16.7%	3	1.3%

予防対策の有無		有意差	有	無		
日本	男	NS	55	59.1%	38	40.9%
	女		91	65.0%	49	35.0%
中国	男	**	31	33.3%	62	66.7%
	女		90	64.3%	50	35.7%
日本	計	*	146	62.7%	87	37.3%
中国	計		121	51.6%	112	48.1%

予防対策の内容		有意差	水分補給	スポーツドリンク	エアコン・扇風機	扇子・タオル	屋内の服越し	日傘をさす	帽子をかぶる	通気性良い服を着る	冷却グッズを履く	シャワー	冷水風呂	日中外出を避ける	日陰を歩く	熱中症情報誌を添付	運動・作業を控える
日本	男	NS	49/17.4%	30/10.6%	34/12.1%	13/4.6%	31/10.0%	9/11%	12/3.2%	21/4.3%	14/7.4%	11/5.0%	3/3.9%	16/1.1%	16/5.7%	10/5.7%	13/5.5%
	女		78/18.2%	50/11.7%	64/14.9%	17/4.0%	37/8.8%	22/5.1%	20/4.7%	17/4.0%	16/3.7%	12/2.8%	1/0.2%	33/7.7%	38/8.9%	11/2.6%	13/3.0%
中国	男	**	27/13.0%	12/5.8%	20/9.7%	8/3.9%	19/9.2%	5/2.4%	7/3.4%	21/10.1%	15/7.2%	7/3.4%	3/1.4%	16/7.7%	20/9.7%	9/4.3%	18/8.7%
	女		51/12.1%	23/3.4%	74/11.0%	36/5.4%	51/7.6%	80/11.9%	36/3.4%	61/9.1%	42/6.3%	8/1.2%	3/0.4%	48/7.2%	53/7.9%	24/3.6%	50/7.5%
日本	計	**	127/17.9%	80/11.3%	98/13.8%	30/4.2%	68/9.8%	31/4.4%	32/4.5%	38/5.3%	30/4.2%	23/3.2%	4/0.6%	49/6.9%	54/7.6%	21/3.0%	26/3.7%
中国	計		108/12.0%	35/4.0%	94/10.7%	44/5.0%	70/8.0%	85/9.7%	43/4.9%	82/9.4%	57/6.5%	15/1.7%	6/0.7%	64/7.6%	73/8.3%	33/3.8%	68/7.8%

冷却グッズ		有意差	冷却スプレー	冷却スカーフ・ネッククーラー	冷却ベスト	サポーター	冷却キャップ・帽子	冷たいタオル・おしぼり				
日本	男	NS	6	28.6%	5	23.8%	1	4.8%	1	4.8%	8	38.1%
	女		9	47.4%	4	21.1%	0	0.0%	1	5.3%	5	26.3%
中国	男	**	5	33.3%	3	20.0%	6	40.0%	0	0.0%	1	6.7%
	女		33	39.3%	6	7.1%	7	8.3%	2	2.4%	36	42.9%
日本	計	NS	15	37.5%	9	22.5%	1	2.5%	2	5.0%	13	32.5%
中国	計		38	38.4%	9	9.1%	13	13.1%	2	2.0%	37	37.4%

冷却部位		有意差	ひたい	後頭	首	胸	背中	わき	太もも	ふくらはぎ	手	足
日本	男	*	4/11.1%	5/13.9%	8/22.2%	3/8.3%	5/13.9%	4/11.1%	2/5.6%	1/2.8%	3/8.3%	1/2.8%
	女		5/14.7%	2/5.9%	11/32.4%	0/0.0%	1/2.9%	9/26.5%	1/2.9%	0/0.0%	3/8.8%	2/5.9%
中国	男	NS	12/34.3%	2/5.7%	7/20.0%	4/11.4%	2/5.7%	2/5.7%	1/2.9%	0/0.0%	4/11.4%	1/2.9%
	女		26/23.9%	3/28.0%	11/10.1%	2/1.8%	9/8.3%	13/11.9%	8/7.3%	2/1.8%	26/23.9%	9/8.3%
日本	計	**	9/12.9%	7/10.0%	19/27.1%	3/4.3%	6/8.6%	13/18.6%	3/4.3%	1/1.4%	6/8.6%	3/4.3%
中国	計		38/26.4%	5/3.5%	18/12.5%	6/4.2%	11/7.6%	15/10.4%	9/6.3%	2/1.4%	30/20.8%	10/6.9%

発症の有無		有意差	有	無		
日本	男	*	13	23.6%	42	76.4%
	女		41	42.7%	55	57.3%
中国	男	NS	3	9.7%	28	90.3%
	女		16	17.8%	74	82.2%
日本	計	**	54	35.8%	97	64.2%
中国	計		19	15.0%	102	85.0%

熱中症の症状		有意差	めまい	多量の発汗	頭痛	嘔吐	意識障害					
日本	男	NS	9	33.3%	5	18.5%	6	22.2%	3	18.5%	2	7.4%
	女		29	39.7%	13	17.8%	16	21.9%	9	12.3%	6	8.2%
中国	男	NS	2	25.0%	1	12.5%	2	25.0%	1	12.5%	2	25.0%
	女		15	34.1%	4	9.1%	4	9.1%	13	29.5%	8	18.2%
日本	計	*	38	38.0%	18	18.0%	22	22.0%	14	14.0%	8	8.0%
中国	計		17	32.7%	5	9.6%	6	12.5%	14	26.9%	10	19.2%

発症時の環境		有意差	日中	夜間	屋内	屋外	学習(仕事)	スポーツ	作業	就寝
日本	男	NS	7/28.0%	0/0.0%	3/12.0%	7/28.0%	1/4.0%	5/20.0%	1/4.0%	1/4.0%
	女		19/32.8%	0/0.0%	11/19.0%	10/17.2%	2/3.4%	15/25.9%	1/1.7%	0/0.0%
中国	男	NS	2/22.2%	1/11.1%	0/0.0%	4/44.4%	0/0.0%	1/11.1%	1/11.1%	0/0.0%
	女		12/30.8%	1/2.6%	1/2.6%	11/28.2%	0/0.0%	8/20.5%	6/15.4%	0/0.0%
日本	計	**	26/31.3%	0/0.0%	14/16.9%	17/20.5%	3/3.6%	20/24.1%	2/2.4%	1/1.2%
中国	計		14/29.2%	2/4.2%	1/2.1%	15/31.3%	0/0.0%	9/18.8%	7/14.6%	0/0.0%

発症後の処置		有意差	涼しい場所で安静	お水を飲む	水、茶など水分補給	スポーツドリンク	身体マッサージ	身体冷却	シャワー
日本	男	NS	9/26.5%	4/11.8%	6/17.6%	6/17.6%	2/5.9%	5/14.7%	2/5.9%
	女		23/28.7%	7/8.1%	17/19.8%	18/20.9%	5/5.8%	14/16.3%	2/2.3%
中国	男	NS	1/2.5%	1/12.5%	3/37.5%	1/12.5%	2/25.0%	0/0.0%	0/0.0%
	女		10/20.0%	7/14.0%	13/26.0%	6/12.0%	7/14.0%	6/12.0%	1/2.0%
日本	計	NS	32/26.7%	11/9.2%	23/19.2%	24/20.0%	7/5.8%	19/15.8%	4/3.3%
中国	計		11/19.0%	8/13.8%	16/27.6%	7/12.1%	9/15.3%	6/10.3%	1/1.7%

予防対策無の理由		有意差	暑さに強い	体力に自信がある	熱中症になった事がない	面倒	費用がかかる					
日本	男	NS	8	14.5%	14	25.5%	18	32.7%	12	21.8%	3	5.5%
	女		7	11.5%	9	14.8%	24	39.3%	18	29.5%	3	4.9%
中国	男	NS	33	21.2%	40	25.6%	48	30.8%	23	14.7%	12	7.7%
	女		24	19.7%	17	13.9%	46	37.7%	24	19.7%	11	9.0%
日本	計	NS	15	12.9%	23	19.8%	42	36.2%	30	25.9%	6	5.2%
中国	計		57	20.5%	57	20.5%	94	33.8%	47	16.9%	23	8.3%

* : 1%

** : 5%

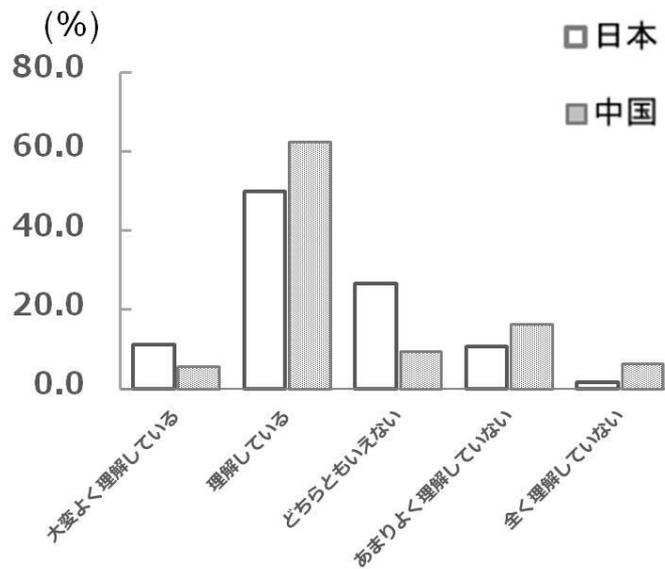


Fig.2-1. Understanding on heat stroke.

「運動の程度」について、日本の場合「非常に良くする」、「良くする」を併せた割合は男性 36.6%，女性 9.3%と男性優位であり，女性の 90%以上は運動に対して極めて消極的であることが示唆された．スポーツ庁の「スポーツの実施状況等に関する世論調査」によると，週 1 回以上の運動実施率は，20 代男性 40.8%，女性 27.8%であり，本結果と同様に男性がスポーツに積極的であることが分かった²⁵⁾．中国の場合，男女ともに「非常に良くする」，「良くする」を併せた割合は高く，日中間で比較するとその違いは顕著である．「非常に良くする」，「良くする」を併せた割合が日本は 20.1%に対し中国は 75.9%，中国が運動に積極的であることが分かる．運動の程度が異なる背景として，中国の大学教育において，体育の授業が必修カリキュラムとして毎週，配置されていることと学内の運動施設・環境が充実していることがある．運動施設・環境が充実していることから，学生は，昼休み(一般に 2 時間)など日常的に運動に接しやすい，また多くの学生が学内・学生寮に居住し彼らの利用も多いことなどが要因として挙げられる．

「予防対策の有無」について，予防対策しているのは，日本の場合，男性 59.1%，女性 65.0%と近似し，中国の場合，男性 33.3%，女性 64.3%，女性の方が多く対策をしていることが見られた．日中間の場合，日本は 62.5%，中国は 51.9%と，

日本が高く，日中間で有意差が認められた($p < 0.05$)。日本が高いのは，環境省を始め，関係行政機関の熱中症に対する啓蒙活動による効果が表れたと考えられた。

「熱中症情報」について，中国版の選択肢に欠落があったため，本項目では，日本のみの記述にする。日本の場合，男女ともに「大変生かしている」，「生かしている」を併せた割合は，半数以上を超え，高温注意情報，熱中症情報，WBGT(暑さ指数)などの天気予報，ニュース報道が国民に行き渡っていることが推察された。また，環境省，消防庁なども積極的に熱中症発症対策で注意を喚起している。中国の場合，気象局は，熱中症に関する情報として，WBGTに相当する高温警報：青色(48時間以内に 35°C の気温が予測される)，黄色(3日間続けて 35°C の日が続く)，オレンジ色(24時間以内に最高気温 37°C 以上を記録する)，赤色(24時間以内に最高気温 39°C 以上を記録する)を発令している⁹⁾。

「熱中症予防対策」(Fig.2-2)について，「水，茶など水分補給をする」，「エアコン・扇風機を使う」，「スポーツドリンクなど水分・塩分補給をする」を併せた割合は，日本43.0%であり，中国26.7%であった。「水，茶など水分補給をする」に関して，日本17.9%，中国12.0%であった。国立スポーツ振興センター²⁷⁾は「競技者のための暑熱対策ガイドブック」においても「水分補給」はもとより「アイソトニック飲料」の摂取を薦めている。「スポーツドリンクなど水分・塩分補給をする」に関して，日本11.3%に対し，中国はわずか4%に過ぎなかった。スポーツドリンクの発売は日本(ポカリスエット)では1980年に，中国(脈動)では2003年であり，日本の方が市場参入は早く，消費者への利用・浸透度の違いが表れた。「エアコン・扇風機を使う」に関して，日本13.8%，中国10.7%であり，日本の方が使用頻度は高かった。また，「部屋の風通しを良くする」に関しては日本9.6%，中国8.0%で，共に高温多湿な気候を回避する生活行動の表れと推察された。一方，「日傘をさす」，「通気性良い服を着る」，「冷却グッズを使う」を併せた割合は中国では25.6%に対し，日本では13.9%であった。中でも，「日傘をさす」に関して，中国は9.7%，日本は4.4%で，日本より多かった。これは，中国では日常的に日焼けを忌避することが習慣的になっているためと考えられた。「通気性良い服を着る」に関して，中国は9.4%，日本は5.3%で日本より多かった。これは，六安市は中産都市で，エアコン利用頻度は東京都ほどではないため，衣服で工夫していることが伺えた。また，「冷却グッズを使

う」に関して、中国は 6.5%，日本は 4.2%と少なく、熱中症対策に有効とされる身体冷却手法は日中とも未だ一般的に浸透していないことが分かった。このことから、著者らが目指す冷却衣服設計・開発にはその市場性があることが示唆された。中国の回答者からの自由記述によると「氷棒（アイスクリーム）をたくさん食べる」、「冷剤（保冷剤）を手を持つなど」涼感感覚を高めるものが愛好されるなど、中国独特の習慣が見られた。

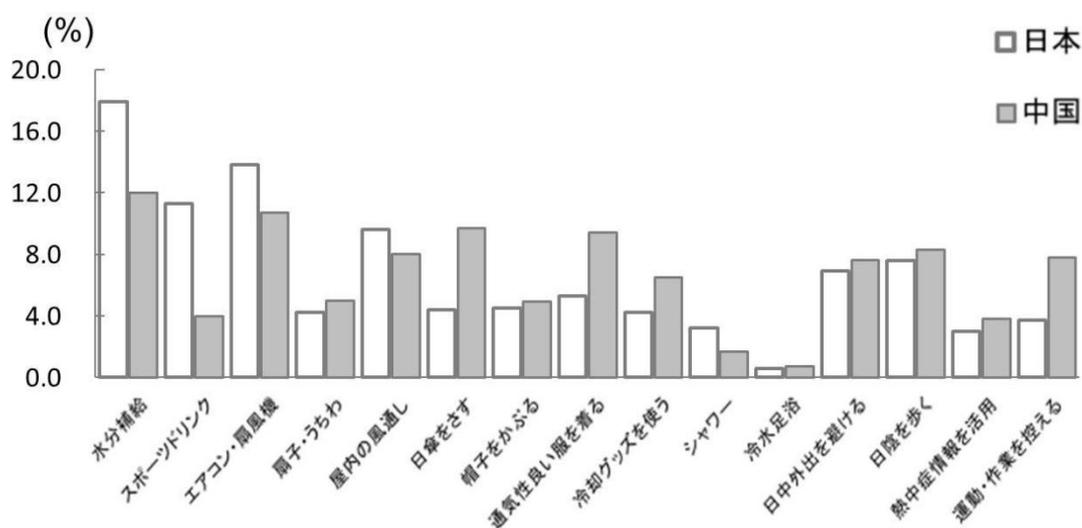


Fig.2-2. Measures of heat stroke prevention.

「冷却グッズ」(Fig.2-3)について、日本の場合、男性は「冷たいタオル・おしぼり」が最多 38.1%，女性は「冷却スプレー」が最多 47.4%で、中国の場合、男性は「冷却ベスト・サポーター」が最多 40%，女性は「冷たいタオル・おしぼり」が最多 42.9%で、次は「冷却スプレー」39.3%であった。日中とも、女性に冷涼即効効果のある「冷却スプレー」が好まれることが分かった。

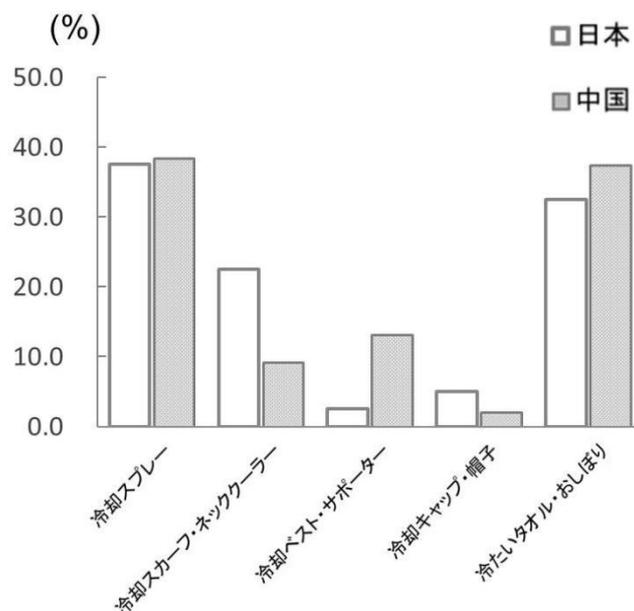


Fig.2-3. The use of cooling goods.

「冷却部位」(Fig.2-4)について、日本の場合、男女とも「首」が最多、女性は次いで「わき」が多く、わきの暑さ、汗を忌避していることが分かった。中国の場合、男女とも「ひたい」が最多、女性は「手」も多かった。日中間において、「後頭」，「首」，「わき」を併せた割合は、日本では 55.7%であり，中国では 26.6%であった。「ひたい」，「手」，「足」を併せた割合は，中国では 54.1%であり，日本では 25.8%であった。これらのことから，日本では動脈の冷却を重視し，中国では末梢血管の冷却を優先していることが分かった。環境省熱中症環境保健マニュアル⁵⁾では冷却部位として前頸部の両脇，腋窩部，鼠径部をあげている。また，医療従事者を対象とした「熱中症の身体冷却部位」の調査では，最多は腋窩部(脇の下)で，深部体温を可及的に低下させたいと報じた²⁸⁾。末梢部である手足は熱放散性に優れた構造を持っており，著者ら²⁹⁾は「暑熱環境下の足部冷水浴が身体に与える生理学的考察」において，足部冷水浴が深部体温(舌下温)の低下を促すことを明らかにした。熱中症予防に対して足部冷水浴の可能性を示唆した。また，時澤³⁰⁾は実用志向の熱中症対策技術として，手足を水に浸漬する方法を提案し，これは，中国における手足の冷却方法を支持するものである。

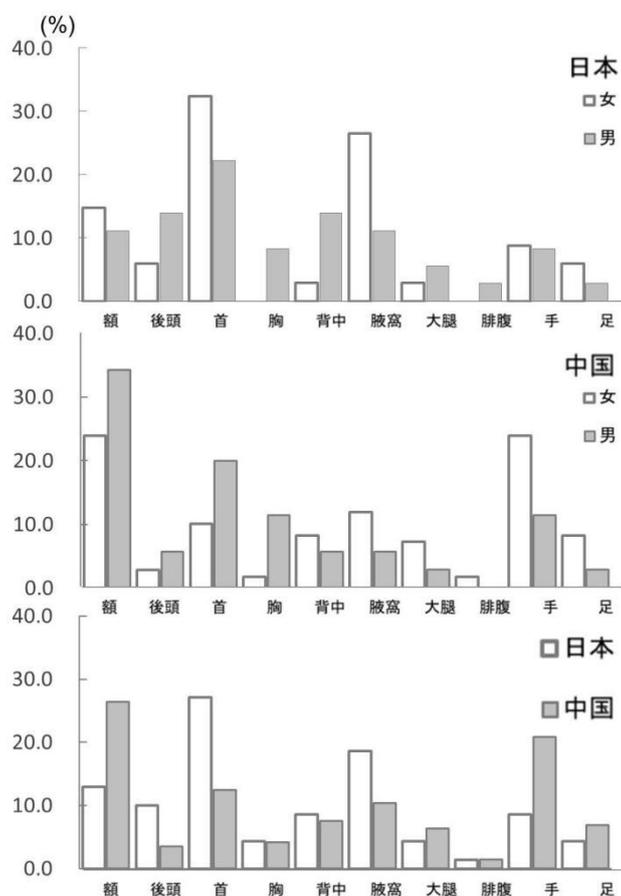


Fig.2-4. Preventing the part of the body cooling during heat stroke.

「熱中症の発症」について、「熱中症になったことがある」に関して、日本の場合、男性 23.6%、女性 42.7%であり、中国の場合、男性 9.7%、女性 17.8%で、共に女性の発症が男性より多く見られた。日中間では、日本は 35.8%、中国は 15.0%、日本より明らかに発症率は低いことが分かった。熱中症の症例が少なく、現段階の中国では大きな社会的問題になっていない事情が反映されていた。日本は中国より熱中症発症が一般的となり、その結果、前述した「予防対策の有無」の結果に見るように、予防対策が多かったのは、熱中症が社会的問題として多く認識されているためと考えられた。

「症状」について、日本では男女ともに、「めまい」、「頭痛」が多く、日本では軽症(めまいなど)と中等症(頭痛など)が多くを占めていることを把握した。東京の救急搬送時初診程度は、軽症と中等症を併せると 96%以上とする調査もある

28). 中国の場合、男女とも「めまい」、「頭痛」の他「意識障害」、「嘔吐」の重症化が見られた。日本・中国の場合、日中間には有意差が認められ、中国は「意識障害」、「嘔吐」を併せた割合は日本より高く、症状が若干重い傾向にあることが示唆された。

「熱中症になった時の症状」について、日本の場合、男女ともに、「めまい」、「頭痛」が多く、軽症と中等症が多くを占めた。東京消防庁³¹⁾によると、救急搬送時初診程度は、軽症と中等症を併せると96%以上とする調査もある。中国の場合、男女とも「めまい」、「頭痛」の他「意識障害」、「嘔吐」が見られ、日本より症状が若干重い傾向にあることが示唆された。坂手ら³²⁾は、熱中症を正しく認識しているものは、熱中症の重症度の該当率が低いことを報じている。

「発症した環境」について、日本の場合、男女ともに発症時「日中」が最多、それぞれ28.0%、32.8%を占め、次いで「スポーツ」時の発症が高かった。日本救急医学会¹²⁾は、スポーツ、仕事、日常生活の場面での作業時、日なた(屋外)＞屋内＞日陰(屋内)の順で熱中症が発症したと報じている。東京消防庁³¹⁾の調査では住居が最も多く、次いで公衆(屋外)、道路、仕事場の順となっている。また、エアコンの有無や使用状況によっても発症の度は異なり、今夏も事故が多発している。中国の場合、男女とも「屋外」、「日中」の他、「スポーツ」が次いだ。日本・中国の場合ともに、「日中」が多く、暑熱が熱中症リスクに関わることを象徴した。いずれにしても熱中症予防対策には身体調節機能が作用する適切な冷涼環境が求められる。

「発症後の処置」について、日本は「涼しい場所(エアコン、風通しの良い日陰など)で安静にした」など、おおむね適切な対応が見られたが、中国では「水、茶など水分補給をした」など必ずしも十分な対応とは言えず、熱中症リスクに対する意識の違いがこの結果に反映したと考えられた。また、発症後の処置として必須とされる身体冷却「氷、冷却剤、冷却グッズなどで、首、わき、足などを冷やした」、「シャワーで身体を冷やした」を併せて、日本は19.1%、中国は12.0%に過ぎず、もっと活用されて良く重点的な啓蒙が望まれる。

「熱中症対策しない理由」については、日本の場合、男女とも「熱中症にかかったことがない」が最多でそれぞれ32.7%、39.3%を占め、以下「体力に自信がある」などで自己の体力を過信していることが分かった。中国の場合、男女とも

「熱中症にかかったことがない」が最多でそれぞれ 30.8%，37.7%を占め，以下「体力に自信がある」，「暑さに強い」など，日本と同様に自己の体力を過信していることが分かった．日本，中国とも暑熱環境の拡大に伴い，さらなる熱中症予防対策の啓蒙と実践が求められる．折しも，2020年夏季には東京オリンピックが開催され，暑熱対策は大きな課題となっている．オリンピック組織委員会や各行政機関は熱中症対策事業の推進，競技時間の変更なども検討している．いずれも暑熱下の激しい運動で熱中症を予防することが目的である．

2. 4 総括

本章では，日本と中国の大学生を対象に熱中症に関するアンケート調査を実施し，熱中症予防対策，冷却方法，冷却グッズなどを含む基礎資料の収集を行った．それらの利用状況と併せて，両国間の比較分析を行った．次のような結果を得た．

- 1) 熱中症の理解度について，日本は，女性より男性が高い理解度を示した．中国は，男女間に有意差は認められなかった．日中間では，中国が日本より高い理解度を示した．
- 2) 予防対策について，日本は，男女間に有意差は認められず，中国は，女性の方が多く対策を取っていた．日中間では，日本の方が多く対策を取っていた．
- 3) 身体冷却グッズについて，日本及び中国とも冷却スプレーや冷たいタオルなどが使われていた．特に，中国では冷涼感覚を高めるものが好まれる．
- 4) 冷却部位について，日本は動脈の冷却を重視し，中国では末梢血管の冷却を優先している．
- 5) 熱中症の発症について，日本の男女間には有意差が認められた．中国は，男女間に有意差が認められなかった．両国間では，日本の発症が有意に高かった．

以上の結果から，日本及び中国における熱中症対策に関する現状と基本的な国民の意識を把握することができた．また，予防対策を実践することにより，熱中症発症の軽減に繋がることが示唆された．

引用・参考文献

- 1) 気候変動の観測・予測及び影響評価統合レポート～日本の気候変動とその影響～，環境省，2018
- 2) 熱中症夜も危険：23区5年で81人死亡，読売新聞，2017年8月14日夕刊2面
- 3) 平成29年(5月から9月)の熱中症による救急搬送状況，総務省消防庁，2017
- 4) 熱中症による死亡数：人口動態統計(確定数)より，厚生労働省，2017
- 5) 熱中症環境保健マニュアル2018，環境省，2018
- 6) 時間を追って段階的に発表する熱中症対策向けの気象情報，気象庁，2018
- 7) 熱中症予防に関する緊急提言，日本救急医学会，2018
- 8) 五輪マラソン運動中止レベル，日本経済新聞，2018年8月27日朝刊39面
- 9) 中国で頻繁に高温警報発令，各地の暑さ対策，人民網日本語版，2016
- 10) 2017年中国生態環境状況公報，中華人民共和国生態環境部，2017
- 11) Liang Chaoke, 安藤満；中国における夏季高温と熱中症予防，人間-生活環境系シンポジウム報告集，ICHES'05，25，2005
- 12) 熱中症診療ガイドライン，日本救急医学会，2015
- 13) 安藤満，山元昭二，浅沼信治；温暖化による熱ストレスと熱中症，地球環境，8(2)，211-220，2003
- 14) 藤部文昭；暑熱(熱中症)による国内死者数と夏季気温の長期変動，日本気象学会，60(5)，371-381，2003
- 15) 芳田哲也；日本における熱中症予防研究，日生氣誌，52(2)，97-104，2015
- 16) 三宅康史；熱中症の予防と対策，そんぽ予防時報，258，18-23，2014
- 17) 堀江正知；熱中症の病態と予防，織消誌，59(8)，617-620，2018
- 18) 中井誠一，新矢博美，芳田哲也，寄本明，井上芳光，森本武利；スポーツ活動及び日常生活を含めた新しい熱中症予防対策の提案：年齢，着衣及び暑熱順化を考慮した予防指針，体力科学，56(4)，437-444，2007
- 19) 熱中症の実態調査：日本救急医学会 Heatstroke STUDY2012 最終報告，日本救急医学会誌，25(11)，846-862，2014

- 20) 菅原正志, 田井村明博 ; 長崎大学学生を対象とした「熱中症」に関する調査, 長崎大学教養部紀要, 自然科学篇, 35(2), 125-133, 1995
- 21) 山下直之, 十直太, 塩見哲大, 伊藤僚, 松本孝朗 ; 大学新入生の熱中症発生頻度 : 体育系学部新入生と一般学部新入生の比較, 体育学研究, 60(1), 13-26, 2015
- 22) 三村寛一, 秋武寛, 谷口恵理[他], 織田修輔, 宮本利夫, 梶綾子, 田中哲也 ; K市における熱中症予防に関する研究(2), 大阪教育大学紀要, 教育科学, 61(1), 253-262, 2012
- 23) 寺垣内梓, 梅宮典子, 大倉良司, 橋本頼幸 ; 屋外スポーツ活動時の熱中症の予防について : 温熱環境, 飲水量, 予防意識の実態調査, 空気調和・衛生工学会大会, 近畿支部発表会論文集, 2008(0), 163-166, 2009
- 24) 外国出身者に聞いた「日本の暑さ」に関する調査第1弾, 日本気象協会, 2017
- 25) 「過去の気象データ 2017年8月」, 気象庁, 2017
- 26) 「2017年8月六安天気」, 天気後報, 2017
- 27) 競技者のための暑熱対策ガイドブック, 国立スポーツ科学センター, 2017
- 28) 熱中症の身体冷却, 最多回答の選択理由, m3.com 意識調査, 2017
- 29) 汪清, 閻間正雄, 本間博, 田村照子, 永井伸夫 ; 暑熱環境下の足部冷水浴が身体に与える生理学的影響, 日本繊維製品消費科学会誌(2019年7月号以降掲載予定)
- 30) 時澤健 ; 熱中症対策の新技术 : 実用志向と未来志向, 労働安全衛生研究, 10(1), 63-67, 2017
- 31) 日常生活における事項情報 : 熱中症に注意, 東京消防庁, 2015
- 32) 坂手誠治, 澤井睦美, 南和広, 寄本明, 星秋夫 ; 大学生におけるスポーツ活動時の熱中症に関する実態調査, 日本生気象学会雑誌, 49(4), 157-163, 2013

第 3 章

暑熱，中立，冷涼環境が身体に
及ぼす生理学的影響

3. 1 緒言

従来、温熱環境に関する人体生理・心理反応については、暑熱あるいは寒冷環境など一定環境下で行う研究が多くされている^{1)~4)}。異なる環境間については、連続的な気温変化の環境条件下、あるいは温熱環境のステップ変化に対し、更年期女性や、中高年者及び高齢者を中心とした皮膚温変動や体温調節反応に関する研究は多くされている^{5)~9)}。

本章では、局所冷却・加温負荷なし条件下での体温調節反応や自律神経活動を把握する目的で、若年女性を対象とし、暑熱環境 34.0℃、70.0%RH、中立環境 27.0℃、60.0%RH、冷涼環境 20.0℃、50.0%RH の異なる 3 環境下、同一被験者の体温調節反応及び自律神経活動の変化について検討する。併せて、3 環境下でそれぞれ実施する足部冷水浴、足部温水浴に対しての比較基準値を得る。

3. 2 研究方法

3. 2. 1 被験者及び実験環境

被験者は健康な女性 13 名で、平均年齢は 23±2 歳(平均値±標準偏差)、身長 161.4±4.2cm、体重 52.6±8.5kg、体格指数(BMI)20.2±3.0 である(Table 3.1)。実験の環境条件は、暑熱条件：気温 34±0.5℃、相対湿度 70±2.0%；中立条件：気温 27±0.5℃、相対湿度 60±2.0%；冷涼条件：気温 20±0.5℃、相対湿度 50±2.0%に設定し、気流はすべて 0.2m/sec に設定した。被験者の着衣は、各自のブラジャーとショーツに、半袖 T シャツ(綿 100%、ヘインズブランドジャパン株式会社)とハーフパンツ(綿 100%、トムス株式会社)を着用させた。クロー値は 0.4clo¹⁰⁾であった。

実験期間は、2017 年 9 月～2018 年 3 月に実施した。また、体温の日内変動を考慮し、1 人 1 日 1 回、午前 10:30～12:00 又は午後 1:30～3:00 のいずれか同一時間帯に実施した。また、特異動的作用に配慮し、実験開始前 2 時間以内の食事を禁止した。被験者には書面をもって同意を得るとともに、本実験内容について文化学園大学研究倫理委員会の承認を得た(承認 No: S17C03)。

Table 3.1. Subject characteristics.

Sub.	Age	Height (cm)	Weight (kg)	Body fat content (%)	BMI
1	23	160.9	66.8	37.3	25.8
2	23	161.8	69.2	34.8	26.4
3	25	163.5	54.3	28.2	20.2
4	21	153.9	51.6	26.5	21.8
5	23	160.4	47.5	24.0	18.6
6	26	167.1	55.8	26.3	20.0
7	23	158.3	50.4	24.9	20.2
8	20	157.4	36.0	18.0	14.6
9	27	157.2	48.3	23.1	19.6
10	24	160.4	43.3	15.5	16.9
11	23	162.0	50.3	25.9	19.2
12	25	170.6	57.9	29.8	19.8
13	22	164.4	52.9	26.2	19.7
mean \pmSD	23 \pm2	161.4 \pm4.2	52.6 \pm8.5	26.2 \pm5.6	20.2 \pm3.0

3. 2. 2 測定方法

(1) 口腔舌下温

深部体温の指標として直腸温，鼓膜温，口腔舌下温などがあるが，本研究では倫理上，実験上の制約から，適切と考えられる口腔舌下温(以下：舌下温と略す)を採用した¹¹⁾．舌下温はサーミスタ温度計で口腔(舌下の一番奥にある舌小帯の左右どちらか側)の温度を連続的に測定した．データコレクタ(安立計器株式会社，AM-8051E)で30秒毎に測定値を収録した．測定用プローブはポリプロピレン製ストロー(直径5mm，長さ3cm)を熱加工で扁平化させ，端末はパラフィルム(株式会社エル・エム・エス)で密閉し測定に用いた．

(2) 皮膚温

皮膚温測定部位は，前額部，胸部，上腕部，指尖部，大腿部，下腿部，足背部，足趾部の8点である(前額部以外はいずれも左半身の測定とした)(Fig.3-1)．測定にはサーミスタ温度計を用い，データコレクタで30秒毎に測定値を収録した．なお，平均皮膚温(\bar{T}_{sk})はRamanathanの4点法により算定した¹²⁾．

$$\bar{T}_{sk} = (30 \text{ 胸 } T_{sk} + 30 \text{ 上腕 } T_{sk} + 20 \text{ 大腿 } T_{sk} + 20 \text{ 下腿 } T_{sk}) / 100$$

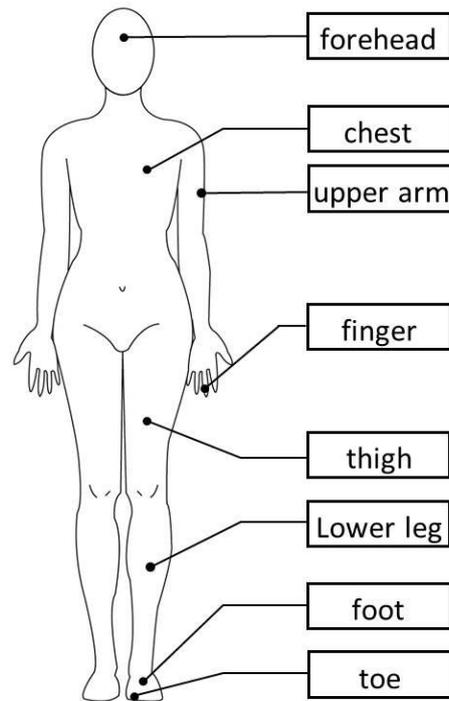


Fig.3-1. Measuring points of skin temperature.

(3) 皮膚血流量

右手第3指指尖部の皮膚血流量(以下：皮膚血流量と略す)については，二次元レーザー血流計(オメガウェーブ株式会社，OZ-2)(Fig.3-2)を用いて，経時的変化を測定した。



Fig.3-2. Measuring device for blood flow.

(4) 局所発汗量

背部第7頸椎から下に約8cmの局所に、流量補償方式換気カプセル型発汗計(SKINOS株式会社, SKN-2000)(Fig.3-3)を用いて測定した。



Fig.3-3. Measuring device for sweat rate.

(5) 自律神経活動解析

心電図(ECG)は、テレメトリー筋・心電計(MQ-16, キッセイコムテック株式会社)及び多用途生体信号収録装置(キッセイコムテック株式会社, VitalRecorder2)を用いて測定した。測定においては、右鎖骨下に(-), 左第5肋間に(+), 右第5肋間にアース(N)の電極配置で行い(Fig.3-4), ECGを連続的に収録した。ECGデータを多用途生体情報解析プログラム(キッセイコムテック株式会社, BIMUTAS

Ⅱ)により解析，R-R 間隔ならびに周波数分析を行い，0.04~0.15Hz の低周波数成分(Low Frequency Component，以下：LF と略す)，0.15~0.46 Hz の高周波数成分(High Frequency Component，以下：HF と略す)を求めた．HF は副交感神経系活動レベルの指標として，LF/HF は交感神経系活動レベルの指標として評価した^{17)~19)}．測定時の呼吸は15回/分(0.25Hz)に統制した．

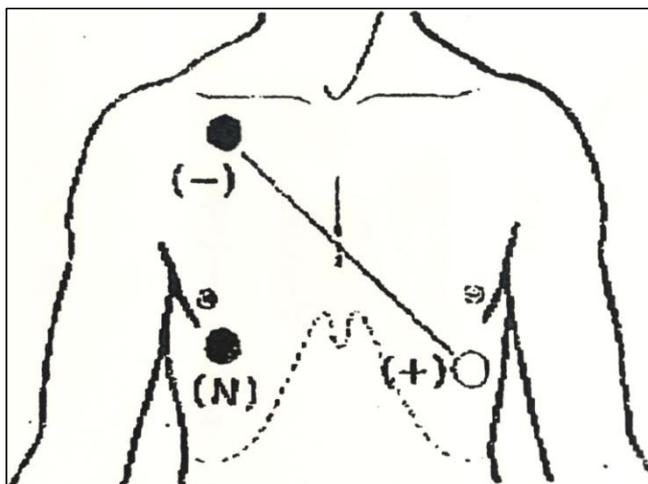


Fig.3-4. Electrode location for ECG measurement.

3. 2. 3 実験手順

被験者は，実験前に人工気候室の前室(25~27℃，50~60%RH)で10分間安静座位を保ち，その後，それぞれの環境を設定した人工気候室に入室し，実験開始とした．実験開始(0分)から80分間滞在した(Fig.3-5)．前半の約20分間で身体各部位にセンサーを貼付し，その後，60分間安静座位を保った．データは，実験開始から測定し，70~80分間の平均値を実験データとした．なお，被験者の足裏は床に直接接触しないように，乾燥タオルを2枚敷き，素足をタオルの上に置いた．実験風景を Fig.3-6 に示す．

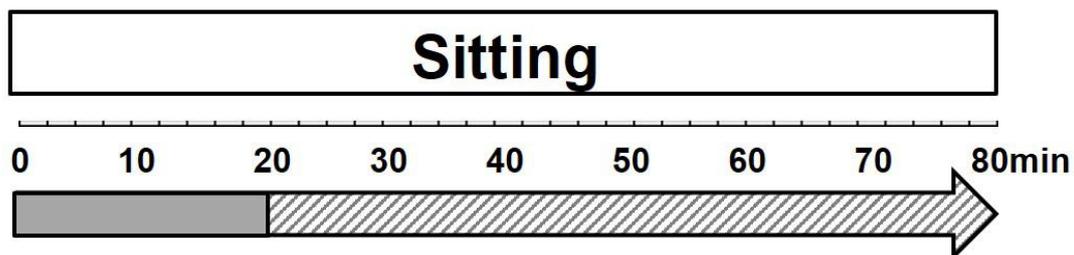


Fig.3-5. Procedure of the experiment.



Fig.3-6. Experiment scene.

3. 2. 4 統計学的解析

すべての測定データは平均値±標準誤差で示した。各環境間には一元配置の分散分析を行い、いずれも1%、5%の危険率を持って有意差があるとした。

3. 3 結果

3. 3. 1 温熱生理反応に及ぼす環境温度の影響

Table 3.2～Table 3.8 には各条件下での舌下温，各部位皮膚温(前額部，胸部，上腕部，指尖部，大腿部，下腿部，足背部，足趾部)，平均皮膚温，皮膚血流量，発汗量に関する個人平均データ及び被験者 13 人(皮膚血流量，発汗量については 12 人)の平均値±標準誤差を示す。また，Fig.3-7～Fig.3-13 には各環境間についての一元配置の分散分析の検定結果を示す。図中，H. は暑熱環境 34℃，70%RH，N. は中立環境 27℃，60%RH，CL. は冷涼環境 20℃，50%RH を示す。

Table 3.2，Fig.3-7 に示す通り，舌下温は，暑熱環境では 37.23℃，中立環境では 36.89℃，冷涼環境では 36.88℃であった。暑熱環境の方が約 0.35℃高くなった。この結果を分散分析したところ，暑熱環境と中立環境，暑熱環境と冷涼環境の間に，有意差が認められた($p < 0.01$)。しかし，中立環境と冷涼環境の間に有意な変化は見られなかった。

各部位皮膚温について，前額部，胸部，上腕部，指尖部及び下半身の大腿部，下腿部，足背部，足趾部皮膚温を Fig.3-8～Fig.3-11 に示す。いずれの環境間でも有意差が認められた($p < 0.01$)。ほとんどの部位毎に皮膚温のバラツキは暑熱，中立環境より冷涼環境の方が大きく，特に，末梢部の指尖部，足背部，足趾部において顕著であった。皮膚温は人体表面の温度であり，体温調節の効果器である皮膚血管の拡張収縮を反映するため，環境温度に有意な影響を受ける結果となった($p < 0.01$)。

Table 3.2. Oral temperature in thirteen subjects under three conditions.

Oral (°C) Sub.	34°C, 70%RH	27°C, 60%RH	20°C, 50%RH
1	37.6	36.7	37.0
2	37.2	36.8	36.8
3	37.3	36.9	37.2
4	37.1	36.7	36.8
5	37.1	36.9	36.6
6	36.9	36.7	37.2
7	37.1	37.1	36.9
8	37.3	36.9	36.9
9	37.4	37.1	36.8
10	37.5	36.7	37.1
11	37.2	36.9	36.6
12	37.2	37.2	36.8
13	37.2	37.1	36.8
mean ± SEM	37.2 ± 0.1	36.9 ± 0.1	36.9 ± 0.1

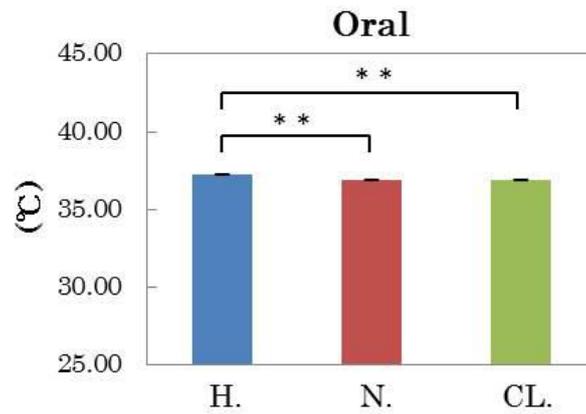


Fig.3-7. Oral temperature under three conditions.

H : 34°C, 70%RH condition; N : 27°C, 60%RH condition;

CL : 20°C, 50%RH condition.

mean ± SEM (n=13). * : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$.

Table 3.3. Forehead and chest temperatures in thirteen subjects under three conditions.

Forehead(°C) Sub.				Chest(°C) Sub.			
	34°C, 70%RH	27°C, 60%RH	20°C, 50%RH		34°C, 70%RH	27°C, 60%RH	20°C, 50%RH
1	36.8	35.1	34.0	1	36.5	35.3	35.3
2	36.6	35.3	33.8	2	36.3	35.5	33.5
3	36.7	35.1	31.2	3	34.8	34.8	32.1
4	36.4	34.9	33.9	4	35.6	35.1	34.8
5	36.2	35.7	33.6	5	35.7	34.6	33.1
6	35.9	35.1	33.4	6	35.0	34.7	32.8
7	36.6	35.9	33.6	7	35.8	34.5	32.7
8	36.0	35.0	33.8	8	35.7	34.6	32.5
9	36.6	35.4	34.2	9	35.5	34.6	33.6
10	36.2	34.9	33.3	10	36.2	35.4	35.2
11	36.2	35.3	33.8	11	35.7	35.2	34.2
12	36.3	35.4	33.8	12	35.3	34.9	33.8
13	36.1	35.2	33.9	13	35.4	34.7	33.7
mean ± SEM	36.4 ± 0.1	35.2 ± 0.1	33.6 ± 0.2	mean ± SEM	35.7 ± 0.1	34.9 ± 0.1	33.6 ± 0.3

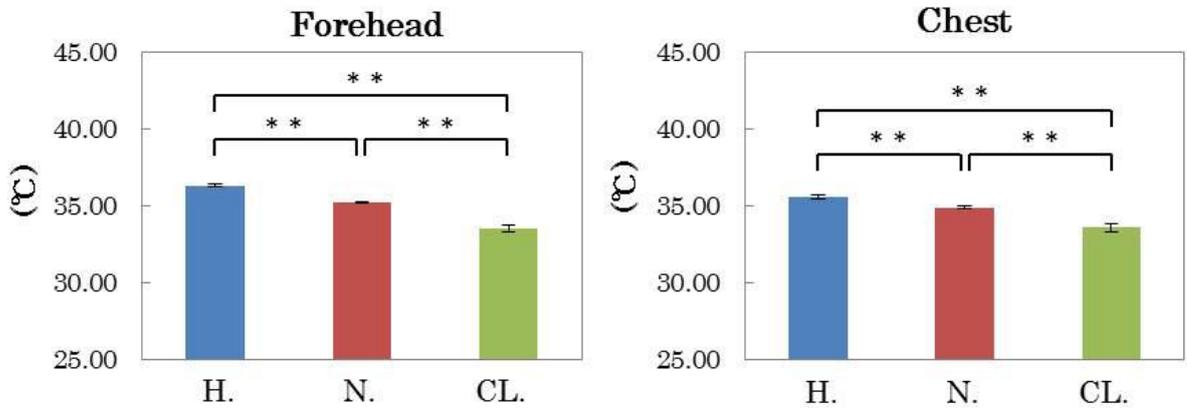


Fig.3-8. Forehead and chest temperatures under three conditions.

H : 34°C, 70%RH condition; N : 27°C, 60%RH condition;

CL : 20°C, 50%RH condition.

mean ± SEM (n=13). * : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$.

Table 3.4. Upper arm and finger temperatures in thirteen subjects under three conditions.

Upper arm (°C) Sub.	34°C, 70%RH	27°C, 60%RH	20°C, 50%RH	Finger (°C) Sub.	34°C, 70%RH	27°C, 60%RH	20°C, 50%RH
1	36.4	34.8	32.1	1	37.2	35.7	23.7
2	36.4	33.5	29.5	2	36.8	34.6	21.1
3	35.0	32.6	28.7	3	36.2	35.4	30.9
4	35.9	32.6	29.3	4	36.7	35.2	25.9
5	35.8	32.6	29.5	5	36.6	35.5	32.8
6	35.5	32.3	29.2	6	36.4	35.2	32.7
7	36.0	32.6	30.4	7	36.3	35.4	33.6
8	35.4	32.5	29.3	8	36.7	35.6	33.2
9	35.3	33.4	31.1	9	36.8	35.5	29.5
10	35.0	33.3	30.0	10	36.9	35.0	28.4
11	35.1	34.2	29.1	11	36.5	35.4	29.0
12	35.0	35.2	30.9	12	36.7	35.7	32.5
13	35.9	33.7	30.8	13	36.5	35.5	33.4
mean ± SEM	35.6 ± 0.1	33.3 ± 0.3	30.0 ± 0.3	mean ± SEM	36.6 ± 0.1	35.4 ± 0.1	29.7 ± 1.1

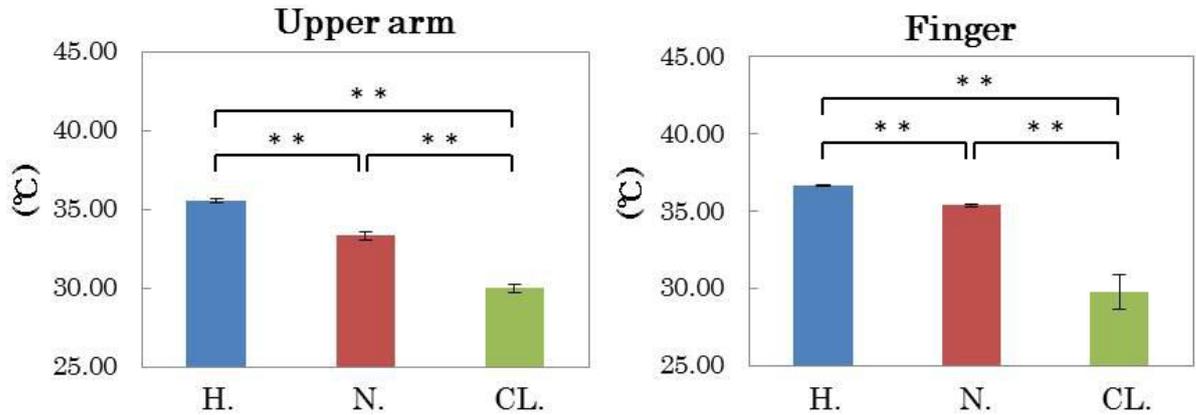


Fig.3-9. Upper arm and finger temperatures under three conditions.

H : 34°C, 70%RH condition; N : 27°C, 60%RH condition;

CL : 20°C, 50%RH condition.

mean ± SEM (n=13). * : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$.

Table 3.5. Thigh and lower leg temperatures in thirteen subjects under three conditions.

Thigh (°C) Sub.	34°C, 70%RH	27°C, 60%RH	20°C, 50%RH	Lower leg (°C) Sub.	34°C, 70%RH	27°C, 60%RH	20°C, 50%RH
1	35.8	33.4	31.2	1	35.3	31.8	29.2
2	35.2	33.0	29.8	2	34.9	32.1	29.0
3	35.2	32.9	30.8	3	34.8	31.9	29.2
4	35.6	32.3	29.8	4	35.0	31.6	28.6
5	34.7	33.1	30.8	5	34.1	31.9	28.1
6	35.0	32.4	30.5	6	35.8	32.3	29.8
7	34.7	32.9	30.1	7	34.4	32.3	29.3
8	34.8	33.2	30.5	8	36.0	32.4	29.3
9	34.5	33.3	29.3	9	34.6	31.9	27.9
10	34.1	32.5	30.4	10	34.8	32.3	29.1
11	34.7	32.6	29.9	11	34.6	32.6	29.1
12	34.7	32.6	30.0	12	33.8	32.4	29.2
13	35.3	33.4	30.7	13	34.2	32.9	29.3
mean ± SEM	34.9 ± 0.1	32.9 ± 0.1	30.3 ± 0.1	mean ± SEM	34.8 ± 0.2	32.2 ± 0.1	29.0 ± 0.1

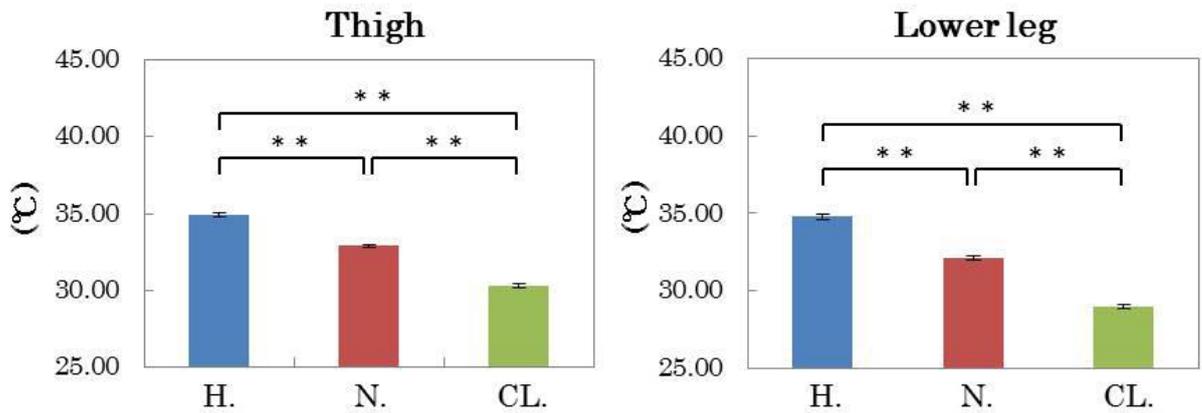


Fig.3-10. Thigh and lower leg temperatures under three conditions.

H : 34°C, 70%RH condition; N : 27°C, 60%RH condition;

CL : 20°C, 50%RH condition.

mean ± SEM (n=13). * : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$.

Table 3.6. Foot and toe temperatures in thirteen subjects under three conditions.

Foot (°C) Sub.	34°C, 70%RH	27°C, 60%RH	20°C, 50%RH	Toe (°C) Sub.	34°C, 70%RH	27°C, 60%RH	20°C, 50%RH
1	37.1	35.2	26.8	1	37.2	35.5	22.7
2	36.7	33.7	25.4	2	36.7	33.3	21.6
3	36.6	33.6	25.3	3	36.7	34.4	21.1
4	36.4	32.5	27.1	4	36.7	34.0	22.4
5	36.3	34.3	29.6	5	36.6	34.9	27.9
6	36.4	34.2	28.3	6	36.5	34.5	27.4
7	36.1	34.3	32.2	7	36.4	34.1	32.5
8	36.7	34.8	31.3	8	36.8	34.9	32.3
9	36.7	34.2	24.4	9	36.9	34.6	21.2
10	36.5	35.0	25.4	10	37.0	35.1	22.9
11	36.7	35.4	32.0	11	36.7	35.9	31.5
12	36.1	35.2	30.2	12	36.5	35.7	28.9
13	36.2	35.5	31.9	13	36.5	36.1	32.4
mean ± SEM	36.5 ± 0.1	34.5 ± 0.2	28.4 ± 0.8	mean ± SEM	36.7 ± 0.1	34.8 ± 0.2	26.5 ± 1.3

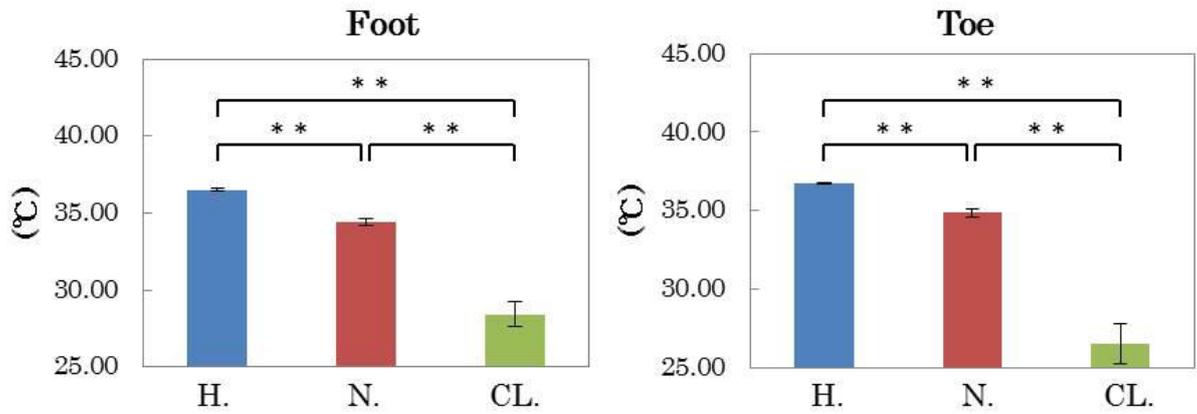


Fig.3-11. Foot and toe temperatures under three conditions.

H : 34°C, 70%RH condition; N : 27°C, 60%RH condition;

CL : 20°C, 50%RH condition.

mean ± SEM (n=13). * : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$.

平均皮膚温は Fig.3-12 に示す。環境温度の違いとともに平均皮膚温は変化し、各環境間において有意な差が認められた($p < 0.01$)。

Table 3.7. Mean skin temperature in thirteen subjects under three conditions.

Mean skin (°C) Sub.	34°C, 70%RH	27°C, 60%RH	20°C, 50%RH
1	36.1	34.1	32.3
2	35.8	33.7	30.6
3	35.0	33.2	30.2
4	35.6	33.0	30.9
5	35.2	33.2	30.6
6	35.3	33.1	30.7
7	35.4	33.2	30.8
8	35.5	33.3	30.5
9	35.1	33.4	30.9
10	35.1	33.6	31.4
11	35.1	33.9	30.8
12	34.8	34.0	31.2
13	35.3	33.8	31.3
mean ± SEM	35.3 ± 0.1	33.5 ± 0.1	30.9 ± 0.2

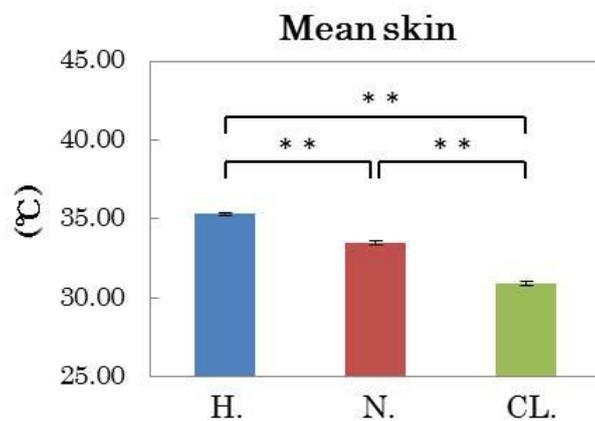


Fig.3-12. Mean skin temperature under three conditions.

H : 34°C, 70%RH condition; N : 27°C, 60%RH condition;

CL : 20°C, 50%RH condition.

mean ± SEM (n=13). * : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$.

皮膚血流量の結果を Table 3.8, Fig.3-13 (左) に示す. 皮膚血流量は冷涼と暑熱環境, 冷涼と中立環境間に, 有意な差が認められたが($p < 0.01$), 暑熱と中立環境間に有意な差は認められなかった.

発汗量の結果を Table 3.8, Fig.3-13 (右) に示す. 暑熱環境下の発汗量は中立, 冷涼環境より顕著に大きく, 暑熱と中立環境, 暑熱と冷涼環境間に, 有意な差が認められた($p < 0.01$). 中立, 冷涼環境下の発汗量はそれぞれ 0.08, 0.04mg/min と僅少であった.

Table 3.8. Blood flow and sweat rate in twelve subjects under three conditions.

Blood flow (a.u) Sub.	Blood flow (a.u)			Sweat rate (mg/min) Sub.	Sweat rate (mg/min)		
	34°C, 70%RH	27°C, 60%RH	20°C, 50%RH		34°C, 70%RH	27°C, 60%RH	20°C, 50%RH
1	5.6	4.1	1.7	1	1.14	0.43	0.11
2	3.8	3.8	3.5	2	0.42	0.04	0.02
3	5.8	6.5	3.3	3	0.68	0.10	0.03
4	6.9	7.2	5.6	4	0.63	0.05	0.06
5	6.7	5.4	4.9	5	0.44	0.02	0.04
6	6.6	5.1	3.7	6	1.10	0.03	0.02
7	5.4	7.0	4.3	7	0.29	0.04	0.02
8	6.5	5.3	2.4	8	0.14	0.03	0.03
9	5.9	5.7	3.6	9	0.47	0.03	0.01
10	6.1	9.0	4.0	10	1.06	0.08	0.07
11	7.2	9.4	4.8	11	0.56	0.05	0.04
12	8.0	5.0	6.7	12	0.61	0.04	0.03
mean ± SEM	6.2 ± 0.3	6.1 ± 0.5	4.0 ± 0.4	mean ± SEM	0.63 ± 0.09	0.08 ± 0.03	0.04 ± 0.01

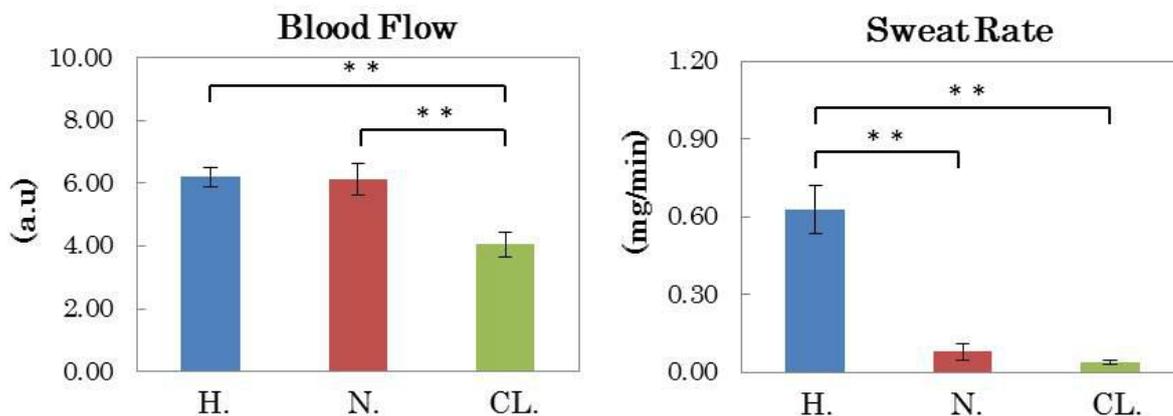


Fig.3-13. Blood flow and sweat rate under three conditions.

H : 34°C, 70%RH condition; N : 27°C, 60%RH condition;

CL : 20°C, 50%RH condition.

mean ± SEM (n=13). * : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$.

3. 3. 2 自律神経活動に及ぼす環境温度の影響

Table 3.9～Table 3.10 には各環境下の R-R 間隔, HF と LF/HF, 個人の平均データ及び被験者全員 13 人の平均値±標準誤差を示す. また, Fig.3-14～Fig.3-15 には各環境間について一元配置分散分析した結果を示す. Fig. 3-14 に示すように, 環境温度の低下による R-R 間隔の増大が見られ, 暑熱, 中立, 冷涼環境の各条件間でも有意差が示された($p < 0.01$). HF は, 暑熱, 冷涼, 中立環境の順に低下が見られ, LF/HF は, 冷涼, 暑熱, 中立環境の順に増大が見られた. HF と LF/HF については, いずれも各環境間では有意差が見られなかった. また, Fig. 3-15 によると, HF あるいは LF/HF のバラツキは大きかった.

Table 3.9. R-R int. in thirteen subjects under three conditions.

R-R int (msec) Sub.	34°C, 70%RH	27°C, 60%RH	20°C, 50%RH
1	591.6	744.0	775.1
2	653.3	755.6	801.8
3	637.1	753.1	855.7
4	678.0	848.0	931.7
5	739.2	814.8	827.2
6	630.5	637.9	651.1
7	694.2	801.3	772.3
8	731.0	861.4	863.2
9	826.0	754.1	895.2
10	618.1	747.9	781.7
11	722.0	800.0	877.2
12	694.2	806.5	926.2
13	713.4	668.5	800.4
mean ± SEM	686.8 ± 17.3	768.7 ± 17.8	827.6 ± 21.2

int. : interval

R-R int. : R-R interval

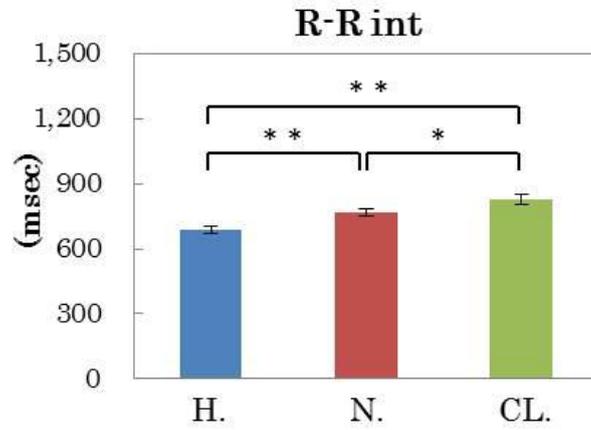


Fig.3-14. R-R int. under three conditions.

H : 34°C, 70% RH condition; N : 27°C, 60% RH condition;

CL : 20°C, 50% RH condition.

mean ± SEM (n=13). * : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$.

Table 3.10. HF and LF/HF in thirteen subjects under three conditions.

HF (%) Sub.	34°C, 70%RH	27°C, 60%RH	20°C, 50%RH	LF/HF Sub.	34°C, 70%RH	27°C, 60%RH	20°C, 50%RH
1	38	744	775	1	2.0	3.1	1.9
2	219	756	802	2	5.0	4.3	1.6
3	101	753	856	3	4.9	7.4	1.7
4	229	848	932	4	0.7	1.0	0.4
5	47	815	827	5	3.3	2.6	2.6
6	272	638	651	6	3.5	9.1	2.3
7	354	801	772	7	6.0	1.9	4.9
8	501	861	863	8	0.6	1.2	0.7
9	81	754	895	9	1.5	2.1	1.0
10	131	748	782	10	4.1	3.7	4.1
11	178	800	877	11	3.2	1.0	0.7
12	530	807	926	12	2.4	1.6	0.9
13	231	669	800	13	1.4	2.8	1.5
mean ± SEM	687 ± 17	769 ± 18	828 ± 21	mean ± SEM	3.0 ± 0.5	3.3 ± 0.7	1.9 ± 0.4

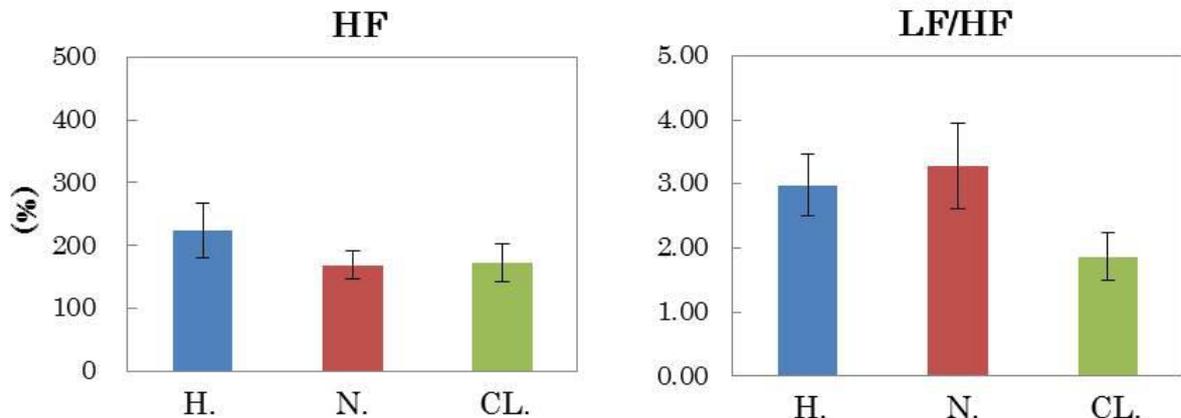


Fig.3-15. HF and LF/HF under three conditions.

H : 34°C, 70%RH condition; N : 27°C, 60%RH condition;

CL : 20°C, 50%RH condition.

mean ± SEM (n=13). * : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$.

3. 4 考察

深部体温の指標とした舌下温について、暑熱と中立、暑熱と冷涼環境間に、有意差が認められ、中立と冷涼環境間では有意な差が見られなかった。即ち、34°C、70%HRの暑熱条件は人体に温熱負荷を与えることが分かった。なお、この条件はWBGT値33°Cに相当し、熱中症発症危険域レベルであった¹³⁾。

各部位皮膚温は環境温度の違いにより、有意な差を示した。環境条件毎による各皮膚温の高低順を以下に示す。

暑熱環境 : 足趾部(36.72°C) > 指尖部(36.64°C) > 足背部(36.50°C) > 前額部(36.35°C) > 胸部(35.65°C) > 上腕部(35.58°C) > 大腿部(34.94°C) > 下腿部(34.78°C)

中立環境 : 指尖部(35.36°C) > 前額部(35.24°C) > 胸部(34.91°C) > 足趾部(34.83°C) > 足背部(34.45°C) > 上腕部(33.33°C) > 大腿部(32.89°C) > 下腿部(32.15°C)

冷涼環境 : 胸部(33.63°C) > 前額部(33.57°C) > 大腿部(30.28°C) > 上腕部(29.98°C) > 指尖部(29.73°C) > 下腿部(29.01°C) > 足背部(28.44°C) > 足趾部(26.51°C)

環境条件間毎による各皮膚温の温度差の大小順を以下に示す。

暑熱環境と中立環境の間： Δ 下腿部(2.63°C) $>$ Δ 上腕部(2.25°C) $>$ Δ 足背部・ Δ 大腿部(2.05°C) $>$ Δ 足趾部(1.89°C) $>$ Δ 指尖部(1.28°C) $>$ Δ 前額部(1.11°C) $>$ Δ 胸部(0.74°C)

中立環境と冷涼環境の間： Δ 足趾部(8.32°C) $>$ Δ 足背部(6.01°C) $>$ Δ 指尖部(5.63°C) $>$ Δ 上腕部(3.35°C) $>$ Δ 下腿部(3.14°C) $>$ Δ 大腿部(2.61°C) $>$ Δ 前額部(1.67°C) $>$ Δ 胸部(1.28°C)

暑熱環境と冷涼環境の間： Δ 足趾部(10.21°C) $>$ Δ 足背部(8.06°C) $>$ Δ 指尖部(6.91°C) $>$ Δ 下腿部(5.77°C) $>$ Δ 上腕部(5.60°C) $>$ Δ 大腿部(4.66°C) $>$ Δ 前額部(2.78°C) $>$ Δ 胸部(2.02°C)

以上の結果から、暑熱環境下において、足趾部、指尖部及び足背部の温度は高く、冷涼環境下それらの温度が逆に低いことが見られた。これは、手足に存在する動静脈吻合(Arteriovenous Anastomosis, 以下:AVA と略す)が体温調節に作用していることと考えられる。即ち、暑いと、深部体温は上がらないように、AVAが開き、手足の血流を通じ、体熱はどんどん放熱し、手足の温度は高くなると考えられる。また、手足は熱放散に優れる構造で、毛細血管の分布密度が高く、体積当たりの体表面積及び血流量が多いため、広い面積から多量の熱が放熱される。逆に寒いと、脳や心臓など生命維持に必要な深部温度を保つため、AVAが収縮する。AVAは完全に閉じると血流量はゼロになり、体熱が手足を通じて逃げるのを防ぐため、末梢への血流を減少させ、手足の温度は低くなると考えられる¹⁴⁾。

岩崎ら¹⁵⁾は22°C、28°C、34°C環境下における足部の温熱生理特性の研究より、34°C環境下の足部皮膚温は35.2°C～36.8°Cの範囲にあり、部位差、個人差ともに小さい。一方、28°C、22°Cでは同様の分布を示すが気温が低下するほど部位差、個人差が大きかった。本研究でも20°C、27°C、34°C環境下足趾、足背部の反応において同様な傾向が見られた。

環境温度変化に対する皮膚温の変動について、渡辺ら¹⁶⁾は22°C、28°C、34°C環境温度条件下における成人女子裸体安静時の皮膚温変動についての研究で、大区分による平均皮膚温の高低関係は、

34°C：顔面及び頸部 $>$ 上肢 $>$ 下肢 $>$ 軀幹

28°C：顔面及び頸部 $>$ 軀幹 $>$ 上肢 $>$ 下肢

22°C：顔面及び頸部 $>$ 軀幹 $>$ 下肢 $>$ 上肢

と報じ、体温調節に果たす各部位の役割の違いを明らかにした。即ち顔面及び頸部は環境温度変化に対する変動が比較的少なく、上肢、下肢、軀幹部は温度変化に対する変動が大きかった。

また、本実験の前額部と胸部は環境温度に対する変動が小さく、上肢、下肢は大きい、これは、渡辺ら¹⁶⁾の結果と一致した。上肢、下肢は気温変化に対し大きく変動し、放熱を抑制あるいは促進する器管としての働きを示している。

暑熱と中立環境間における下腿部、上腕部の皮膚温変化量は前額部、胸部より大きい。久野¹⁷⁾は汗腺分泌力の強さは概して体幹部が最も強く、頸部顔面部がこれに次ぎ、四肢の汗腺は一般に弱いと報じている。これによると、胸部や前額部は発汗が進行し、皮膚温の変化量は少なく、下腿部、上腕部は発汗しにくく、皮膚温の変化量が大きいことにつながった。また、暑熱と冷涼環境間における四肢皮膚温(足趾部、足背部、指尖部、下腿部、上腕部、大腿部)は環境温度の影響を強く受けるが、特に、足趾部、足背部、指尖部皮膚温の変化量は大きかった。これは渡辺ら¹⁶⁾の環境温が四肢皮膚温に及ぼす程度として付根側に小さく、末端側に大きい結果と一致した。人体の手足部皮膚温は環境温度に支配され、特に、外気温が20℃以下に低下すると、皮膚温は急激に低下することが吉村¹⁸⁾により報告されている。また、渡辺ら¹⁶⁾、田村¹⁹⁾は28℃以下の気温では手足部ほど低温を示した。

指尖部皮膚血流量について、本章では、血流量は冷涼環境下やや減少、暑熱及び中立環境では有意な増加が示された。これは冷涼環境下80分間の曝露で、体熱が逃げないようにするためAVAは収縮し、末梢への血流量は減少したと考えられた。濱田ら²⁰⁾の室温25℃、20℃、15℃における毛細血管血流速度と血流量の研究において、気温20℃への低下では、指皮膚温の低下に伴って、血流速度の低下及び血流の減少を報じていた。一方、暑熱環境下で熱放散が促進したため、AVAは拡張し、末梢への血流量は増加し、伴う皮膚温も上昇したと考えられた。

背部発汗量について、暑熱環境下の発汗量は中立環境、冷涼環境より顕著に多かった。汗腺は体温調節ための効果器であり、発汗は高温環境に対する最も有効な体温調節反応である。人体が暑熱環境に曝露された時、皮膚血管の拡張による皮膚温の上昇で放熱を促進すると同時に、発汗により体表面の水分蒸散を増加させたと考えた。

自律神経活動について、R-R 間隔は環境温度低下により有意に上昇した。平柳ら²¹⁾は変動因子として、寒冷ストレスや温熱ストレスなどを負荷した時の RR 変動性研究において、冷温(約 18°C)、室温(20~23°C)、暖温(約 40°C)、暑温(約 60°C)の各ステージを 5 分間ほぼ恒温状態に保持したところ、心拍数は、18°Cと 20~23°Cで 60bpm、60°Cで 63bpm であると報じている。市岡ら²²⁾は心臓の拍動は心臓伝導系に起こり、洞結節は正常な心臓の歩調取りであり、その自動頻度によって心拍頻度がきまる。更に洞結節はその自動興奮頻度は温度によって影響され、温度が上昇すれば頻度が上昇し心拍数は増加すると報じている。これらは、環境温度の低下とともに R-R 間隔が上昇した本実験結果を支持している。また、張ら²³⁾は環境温湿度が人体に与える暑熱ストレスに関する研究では、温湿度の上昇に伴い心拍数は有意に増加することを報じた。一方、HF と LF/HF は個人差が大きく、有意な変化が見られず、環境温度の違いは自律神経活動に影響を及ぼさなかった。

3. 5 総括

本章では、暑熱環境 34°C、70%RH、中立環境 27°C、60%RH、冷涼環境 20°C、50%RH に設定した人工気候室内に、0.4clo 着衣(半袖 T シャツとハーフパンツ)の健康な 20 代女性 13 名を対象に、安静座位で 80 分間滞在させ、舌下温、皮膚温、指尖部皮膚血流量、背部発汗量及び心拍変動を測定した。異なる環境温度における体温調節反応や自律神経活動を検討し、次のような結果を得た。

- 1) 舌下温は暑熱環境下において、中立、冷涼環境より有意に高く、身体に温熱負荷を及ぼすことが示唆された。
- 2) 各部位皮膚温は異なる環境温度に対して、有意な温度差を示した。環境間皮膚温の差について、前額部と胸部は小で、手足末梢部は大であった。特に、暑熱環境と冷涼環境間では、足趾部の皮膚温度差は約 10°Cであった。
- 3) 指尖部皮膚血流量及び背部発汗量は暑熱環境において増加し、冷涼環境において減少した。
- 4) 自律神経活動について、環境温度の低下に伴い R-R 間隔は有意に延長した。HF と LF/HF は有意な変化が認められなかった。

引用・参考文献

- 1) 西牟田守, 山田哲雄, 鈴木一正, 渡辺裕一, 平尾敏朗; 暑熱環境下の体温調節, 人間-熱環境系シンポジウム報告集, 6, 18-22, 1982
- 2) 山本真二, 岩本美江子, 井上正岩; 暑熱曝露の生体影響評価に関する検討(その1) 心拍変動, 尿中カテコールアミンを用いて, 労働科学, 83(1), 1-6, 2007
- 3) 藤島和孝, 矢永尚士, 小坂光男, 加地正郎; 寒冷環境下における体温調節反応の性差, 健康科学, 4, 153-157, 1982
- 4) 栃原裕, 大中忠勝, 山崎信也, 田中正敏, 吉田敬一; 寒冷曝露時及び回復時の心拍数, 体温変動の特徴, 人類学雑誌, 90(4), 411-419, 1982
- 5) 近藤恵美, 蔵澄美仁, 安藤由佳, 堀越哲美; 温熱環境のステップ変化が人体に与える影響に関する基礎的研究: 冬季における青年女性と更年期女性との差異についての考察, 人間-生活環境系シンポジウム報告集, 36, 91-94, 2012
- 6) 菅井清美, 鎮西恒雄; 環境温度変化の皮膚温変動におよぼす影響: 青年と中高年での比較, 繊維学会誌, 52(5), 261-267, 1996
- 7) 澤田晋一; 異なる環境温下での中高年齢者の安静時体温調節反応の解析: 皮膚温分布と体温調節行動を中心として, 人間-熱環境系シンポジウム報告集, 13, 142-145, 1989
- 8) 安岡絢子, 長谷川真実, 久保博子, 佐々尚美, 磯田憲生; 室温低下時の生理心理特性に関する研究: 高齢者と若齢者の比較検討, 人間-生活環境系シンポジウム報告集, 36, 57-58, 2012
- 9) 徳田哲男, 栃原裕, 梁瀬度子; 環境温度の変化と高齢者の心身諸機能に関する研究, 人間工学, 25(4), 197-206, 1989
- 10) オレセン B. W., 長谷部ヤエデア R. DE; 衣服の熱抵抗の非対称と熱的快適性, 人間-熱環境系シンポジウム報告集, 11, 2-5, 1987
- 11) 相原まり子, 入来正躬; 腋窩検温法の検討と口腔検温法との比較, 日本生気象学会雑誌, 30(4), 159-168, 1993
- 12) Ramanathan N.L.; A new weighting system for mean surface temperature of the human body, J. Appl. Physiol., 19, 531-533, 1964
- 13) 日本生気象学会; 日常生活における熱中症予防指針 Ver.3, 日生氣誌, 50,

49-59, 2013

- 14) 平田耕造；人の皮膚血流反応からみた生気象学：衣服環境的アプローチ日本生気象学会雑誌，36(4)，131-132，1999
- 15) 岩崎房子，斜木祐里，小柴朋子，田村照子；22～34℃環境下における足部の温熱生理特性，日本家政学会誌，51(7)，587-593，2000
- 16) 渡辺ミチ，田村照子，松岡真理子；22～34℃環境温度条件下における成人女子の全身及び体区分別平均皮膚温の変動，家政学雑誌，31(10)，742-746，1980
- 17) 久野寧；汗の話，光生館，1973
- 18) 吉村寿人；環境科学叢書，共立出版，東京，p40，1977
- 19) 田村照子；裸体成人女子の皮膚温分布：被服設計の為の温熱生理学的基礎研究，お茶の水医学雑誌，31(4)，1983
- 20) 濱田恭子，平田耕造；室温 25, 20, 15℃における毛細血管血流速度と血流量の変化：毛細血管観察装置 M320 を用いた試行的研究，繊維製品消費科学，58(1)，115-123，2017
- 21) 平柳要，岩崎賢一，村井亮一，山口喜久，宮本晃，谷島一嘉；寒冷・温熱負荷における心拍，血圧変動パラメータの特徴，人間工学，33，230-231，1997
- 22) 市岡正道，星猛，林秀生，管野富男，中村嘉男，佐藤昭夫，熊田衛；医科生理学展望，丸善(株)，p537，1994
- 23) 張静風，田村照子；環境温湿度が人体に与える暑熱ストレスに関する基礎研究：生理・心理・自律神経・唾液アミラーゼ反応から，繊維製品消費科学，55(10)，756-765，2014

第 4 章

暑熱環境下の足部冷水浴が身体に及 ぼす生理学的影響

4. 1 緒言

第2章では、熱中症予防に有効とされる身体冷却方法が余り活用されていない現状を記した。その結果から本章では、身体冷却の一手法として足部冷水浴(以下：足冷浴と略す)を採用し、足冷浴が身体に及ぼす生理学的影響を検討する。

足冷浴は、主に中立環境下で行われ、循環器系、温熱系、自律神経などの研究が報告されているが^{1),2)}、足冷浴後の生理学的影響を含めた考察は少ない。また、暑熱環境下における足冷浴では運動、作業者を対象としたアイシング、プレークーリング(事前冷却)の有効性は報じられている^{3),4)}が、健常者を対象とした熱中症予防に向けた足冷浴に関する研究は少ない。

暑熱環境下では深部体温が 38.5°C 以上、体温上昇度が 1.5°C 以上になると⁵⁾、身体調節機能が低下し、熱中症のリスクが高くなる。環境庁は熱中症発症時に安静、水及び塩分補給、身体冷却を挙げ、適切な身体冷却部位として頸部(両側)、腋窩部、鼠径部を薦めているが⁶⁾、澤田らは酷暑作業環境下、上記部位が効果的な身体冷却手法としては推奨できないと報じている⁷⁾。かかる観点から、本章では、暑熱環境下で足冷浴が体温調節反応及び自律神経活動に及ぼす影響、並びに熱中症予防や対処療法としての可能性を検討しようとするものである。

4. 2 研究方法

4. 2. 1 被験者及び実験環境

被験者は健康な女性13名で、平均年齢は 23 ± 2 歳(平均値 \pm 標準偏差)、身長 $161.4\pm 4.2\text{cm}$ 、体重 $52.6\pm 8.5\text{kg}$ 、体格指数(BMI) 20.2 ± 3.0 である(Table 4.1)。人工気候室の環境条件は、気温 $34\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 、相対湿度 $70\pm 2.0\%$ 、気流 0.2m/sec に設定した。被験者の着衣は、各自のブラジャーとショーツに、半袖Tシャツ(綿100%、ヘインズブランズジャパン株式会社)とハーフパンツ(綿100%、トムス株式会社)を着用させた。クロー値は 0.4clo であった。

実験期間は、2017年9月～11月に実施した。実験は各被験者の月経期に配慮し、いずれも黄体期に実施した。また、体温の日内変動を考慮し、1人1日1回、午前 $10:30\sim 12:00$ 又は午後 $1:30\sim 3:00$ のいずれか同一時間帯に実施した。また、特異動的作用に配慮し、実験開始前2時間以内の食事を禁止した。被験者に

は書面をもって同意を得るとともに、本実験内容について文化学園大学研究倫理委員会の承認を得た(承認 No : S17C03).

Table 4.1. Subject characteristics.

Sub.	Age	Height (cm)	Weight (kg)	Body fat content (%)	BMI
1	23	160.9	66.8	37.3	25.8
2	23	161.8	69.2	34.8	26.4
3	25	163.5	54.3	28.2	20.2
4	21	153.9	51.6	26.5	21.8
5	23	160.4	47.5	24.0	18.6
6	26	167.1	55.8	26.3	20.0
7	23	158.3	50.4	24.9	20.2
8	20	157.4	36.0	18.0	14.6
9	27	157.2	48.3	23.1	19.6
10	24	160.4	43.3	15.5	16.9
11	23	162.0	50.3	25.9	19.2
12	25	170.6	57.9	29.8	19.8
13	22	164.4	52.9	26.2	19.7
mean ±SD	23 ±2	161.4 ±4.2	52.6 ±8.5	26.2 ±5.6	20.2 ±3.0

4. 2. 2 測定方法

(1) 口腔舌下温

深部体温の指標として口腔舌下温(以下：舌下温と略す)を測定した。舌下温はサーミスタ温度計で口腔(舌下の一番奥にある舌小帯の左右どちらか側)の温度を連続的に測定した。データコレクタ(安立計器株式会社, AM - 8051E)で30秒毎に測定値を収録した。測定用プローブはポリプロピレン製ストロー(直径5mm, 長さ3cm)を熱加工で扁平化させ、端末はパラフィルム(株式会社エル・エム・エス)で密閉し測定に用いた。

(2) 皮膚温

皮膚温測定部位は、前額部、胸部、上腕部、指尖部、大腿部、下腿部、足背部、足趾部の8点である(前額部以外はいずれも左半身の測定とした)。測定にはサー

ミスタ温度計を用い，データコレクタで 30 秒毎に測定値を収録した．なお，平均皮膚温(\bar{T}_{sk})は Ramanathan の 4 点法により算定した⁸⁾．

$$\bar{T}_{sk}=(30 \text{ 胸 } T_{sk}+30 \text{ 上腕 } T_{sk}+20 \text{ 大腿 } T_{sk}+20 \text{ 下腿 } T_{sk})/100$$

(3) 皮膚血流量

右手第 3 指指尖部の皮膚血流量(以下：皮膚血流量と略す)については，二次元レーザー血流計(オメガウェーブ株式会社，OZ-2)を用いて，経時的变化を測定した．

(4) 局所発汗量

背部第 7 頸椎から下に約 8cm の所に，流量補償方式換気カプセル型発汗計(SKINOS 株式会社，SKN-2000)を用いて，発汗量の経時的变化を測定した．

(5) 自律神経活動解析

心電図(ECG)は，テレメトリー筋・心電計(MQ-16，キッセイコムテック株式会社)及び多用途生体信号収録装置(キッセイコムテック株式会社，VitalRecorder2)を用いて測定した．測定においては，右鎖骨下に(-)，左第 5 肋間に(+)，右第 5 肋間にアース(N)の電極配置で行い，ECG を連続的に収録した．ECG データを多用途生体情報解析プログラム(キッセイコムテック株式会社，BIMUTAS II)により解析，R-R 間隔ならびに周波数分析を行い，0.04~0.15Hz の低周波数成分(Low Frequency Component，以下：LF と略す)，0.15~0.46 Hz の高周波数成分(High Frequency Component，以下：HF と略す)を求めた．HF は副交感神経系活動レベルの指標として，LF/HF は交感神経系活動レベルの指標として評価した^{9)~11)}．測定時の呼吸は 15 回/分(0.25Hz)に統制した．

4. 2. 3 実験手順

被験者は，実験前に前室(25~27°C，50~60%RH)で 10 分間安静座位を保ち，その後，人工気候室に入室し，被験者の足裏は床に直接接触しないように，乾燥タオルを 2 枚敷き，素足をタオルの上に置いた．身体各部位に約 20 分間でセンサーを貼付し，30 分間の安静座位を保った後，足冷浴並びに測定を開始した．足冷浴には 10L 水槽を用い，踝の上約 3cm まで冷水(平均 4.4L)に 15 分間を浸漬し

た．冷水は水道水に保冷剤を入れ，水温を $15.0 \pm 1.0^{\circ}\text{C}$ に保った．また，足部と保冷剤の直接接触を防止するため，その間を L 型スチール板で仕切った．足冷浴終了後，直ちに乾燥タオルで足部の水を十分に拭き取り，足部を乾燥タオルの上に置いて 15 分の安静座位を保ち，実験終了とした (Fig.4-1)．人工気候室入室後足部冷水浴無しで同様の時間を過ごした群をコントロール群とし，実験中ずっと安静座位を保持した．冷水を負荷した群を足冷浴群とした．実験風景を Fig.4-2 に示す．

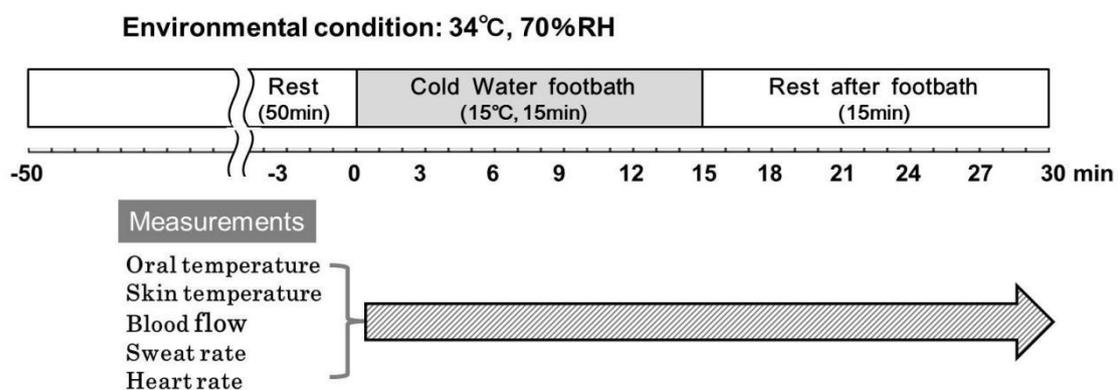


Fig.4-1. Procedure of the experiment.



Fig.4-2. Experiment scene.

なお、実験前・足冷浴中(実験前半)・足冷浴後(実験後半)の温冷感、快適感の主観申告については、実験中は舌下温の測定、指尖温・血流量の測定のため申告が困難であったため、終了後被験者に思い出してもらい、申告させた。評価に用いた言語尺度は Table 4.2 に示す通りである。温冷感の尺度は、-4(非常に寒い)、-3(寒い)、-2(涼しい)、-1(やや涼しい)、0(どちらともいえない)、+1(やや暖かい)、+2(暖かい)、+3(暑い)、+4(非常に暑い)の 9 段階で、快適感の尺度は、0(快適)、+1(やや不快)、+2(不快)、+3(非常に不快)、+4(極めて不快)の 5 段階とした。その他思い付いたことを自由記述してもらった。

Table 4.2. Subjective ratings of sensory evaluation.

Thermal		Comfort	
4	Very hot	4	Extremely uncomfortable
3	Hot	3	Very uncomfortable
2	Warm	2	Uncomfortable
1	Slightly warm	1	Slightly uncomfortable
0	Neutral	0	Comfortable
-1	Slightly cool		
-2	Cool		
-3	Cold		
-4	Very cold		

4. 2. 4 統計学的解析

すべての測定データは各被験者の 0 分時の測定値を初期値とし、そこからの変化量について解析を行った。コントロール群及び足冷浴群のいずれにおいても、時間経過に伴う 3 分毎の変化の平均値±標準誤差を求めた。各群の時間変化については一元配置分散分析、両群間の比較については繰り返しのある二元配置分散分析を行い、いずれも 1%、5%の危険率を持って有意差があるとした。

4. 3 結果

4. 3. 1 測定開始時の体温調節水準

各群の測定開始時(足冷浴前)測定値の平均値±標準誤差を Table 4.3 に示す. コントロール群及び足冷浴群間は, スチューデントの t 検定により有意差がなかった. 舌下温は両群で各々 37.21°C, 37.31°C と, 深部体温の標準値 37.0°C¹²⁾ よりやや高く, 平均皮膚温も両群の各々 35.08°C, 35.01°C と, 快適温度域に示された 33.0°C より高値を示した¹³⁾. また, 発汗も不感蒸散量を上回り, 発汗状態にあることが示された¹⁴⁾. 本実験の環境温度 34°C, 相対湿度 70% は, 被験者にとって, 発汗を伴う蒸発調節域にあり, 暑熱感を感じる条件であることがわかった. 気象情報としては日中の最高気温が 30°C 以上を真夏日, 35°C 以上を猛暑日としている. 本実験の環境条件としては, 猛暑日に近く, 暑さ指数とした WBGT 値 33°C に相当し, 熱中症危険域レベル¹⁵⁾ に属している.

Table 4.3. Actual value of each date at starting to measure.

Measurements	Control (mean ± SEM)	Foot bath (mean ± SEM)
Oral Temperature (°C)	37.2 ± 0.0	37.3 ± 0.0
Skin Temperature (°C)		
Chest (°C)	35.4 ± 0.2	35.4 ± 0.2
Upper Arm (°C)	35.2 ± 0.2	35.4 ± 0.2
Thigh (°C)	34.8 ± 0.1	34.9 ± 0.2
lower Leg (°C)	34.7 ± 0.2	34.5 ± 0.2
Fore Head (°C)	36.4 ± 0.1	36.6 ± 0.1
Finger (°C)	36.7 ± 0.1	36.7 ± 0.1
Toe (°C)	36.7 ± 0.1	36.7 ± 0.1
Foot (°C)	36.5 ± 0.1	36.4 ± 0.1
Mean Skin Temperature (°C)	35.1 ± 0.1	35.0 ± 0.1
Skin Blood Flow (a.u)	6.2 ± 0.4	5.8 ± 0.5
Sweat Rate (mg/min)	0.44 ± 0.08	0.42 ± 0.10
Analysis of Heat Rate Variability		
R-R interval (msec)	673.8 ± 19.8	687.0 ± 13.6
High Frequency Components (mv · msec)	8437 ± 2746	7986 ± 1907
Low Frequency Components/ High Frequency Components	2.7 ± 0.7	4.1 ± 0.6

4. 3. 2 舌下温の変化

舌下温の経時変化(平均値±標準誤差)を Fig.4-3 に示す. 図中灰色部分は足冷浴を表し, ○はコントロール群の結果, ●は足冷浴群の結果を示している. また n=13, 各群経時変化の有意差は, *印で示し(* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$), コントロール群と足冷浴群間の有意差は※印で示した(* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$).

舌下温はコントロール群ではわずかな変動にとどまったが, 足冷浴群の場合, 足冷浴中に 0.14°Cと, 有意に低下し($p < 0.01$), コントロール群との間に有意差が認められた($p < 0.01$). 足冷浴後も舌下温は更に 0.13°C有意に低下し($p < 0.05$), 30分時コントロール群との間に有意差が認められた($p < 0.01$). 舌下温は15分間の足冷浴により, 30分後までに 0.27°Cもの低下を示すことが明らかとなった.

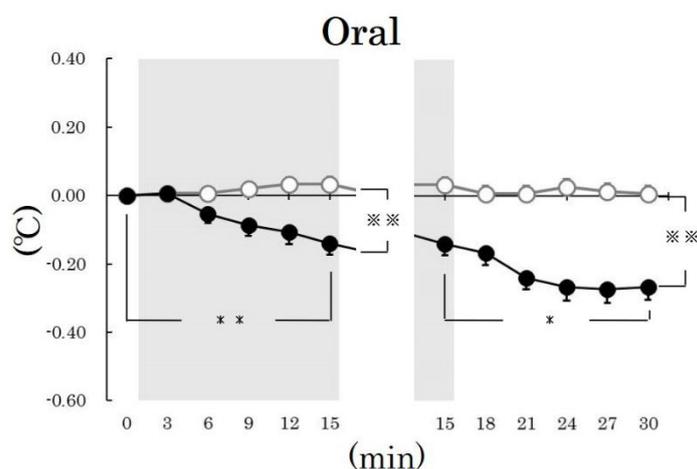


Fig.4-3. Changes in oral temperature during cold water footbath under 34°C, 70% RH environment.

○ : Control group, ● : Footbath group; mean ± SEM (n=13).

* : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$; ※ : $p < 0.05$, ※※ : $p < 0.01$.

4. 3. 3 各部位皮膚温・平均皮膚温の変化

上半身皮膚温の経時変化を Fig.4-4～Fig.4-5 に示す.

前額部皮膚温は, コントロール群では大きな変動がなく, 足冷浴群の場合, 足冷浴中にわずかに低下し, 足冷浴後も更に低下した.

胸部皮膚温は、コントロール群では 15 分までは有意に上昇し、その後温度維持したが、足冷浴群の場合、足冷浴中に低下し、15 分ではコントロール群との間に有意差が認められた($p < 0.01$)。足冷浴後は上昇したが、30 分までコントロール群より有意に低い値が保持された($p < 0.05$)。

上腕部皮膚温は、コントロール群の場合、経時的に上昇し、足冷浴群の場合も、足冷浴中から足冷浴後にかけて、有意に上昇した。しかし、足冷浴中の 15 分間では温度上昇がコントロール群より抑制され、両群間に有意差が認められた($p < 0.01$)。

指尖部皮膚温は、コントロール群の場合、大きな変動がなかったが、足冷浴群の場合、足冷浴中に 0.19°C と有意に低下し($p < 0.01$)、足冷浴後も更に 0.07°C 、30 分間計 0.28°C 低下し続けた。15 分後、30 分後ともに両群間に有意な差が認められた($p < 0.01$)。

下肢部皮膚温の経時変化を Fig.4-6～Fig.4-7 に示す。

大腿部皮膚温は、コントロール群の場合、経時的に上昇したが、足冷浴群の場合、足冷浴中に低下し、足冷浴後は有意に上昇した。足冷浴中の 15 分間では両群間に有意差が認められた($p < 0.01$)。

下腿部皮膚温は、コントロール群の場合、ほとんど変動が認められないのに対し、足冷浴群の場合、足冷浴中に 0.38°C と有意に低下し($p < 0.01$)、足冷浴後はその温度を維持した。15 分時及び 30 分時いずれにおいても、足冷浴群ではコントロール群より有意な皮膚温の低下が認められた($p < 0.01$)。

足背部皮膚温は、コントロール群の場合、ほぼ一定の値を維持していたが、足冷浴群の場合、足冷浴中に皮膚温は急激に低下し、15 分後 15.17°C の有意な低下を示し($p < 0.01$)、両群間に有意差が認められた($p < 0.01$)。足冷浴後、速やかに温度回復したが、30 分時には、なお両群間に有意差が認められた($p < 0.01$)。

足趾部皮膚温は足背部皮膚温と同様な挙動を示した。

以上のように、足冷浴群は足冷浴によっていずれの部位の皮膚温もコントロール群よりも低下し、ほとんどの部位で両群間に有意な差が認められた。その 15 分間の低下度は足背部(15.19°C) > 足趾部(14.09°C) > 下腿部(0.38°C) > 指尖部(0.19°C) > 胸部(0.09°C) > 大腿部(0.08°C) > 前額部(0.04°C) > 上腕部(0.01°C) の順であった。また、足冷浴後、胸部、大腿部、足背部と足趾部皮膚温は回復した

が、前額部，指尖部，下腿部では回復せずに冷却効果が持続した．胸部，上腕部と大腿部は，コントロール群の場合上昇していた部位であり，冷却効果が持続されなかったと考えられる．

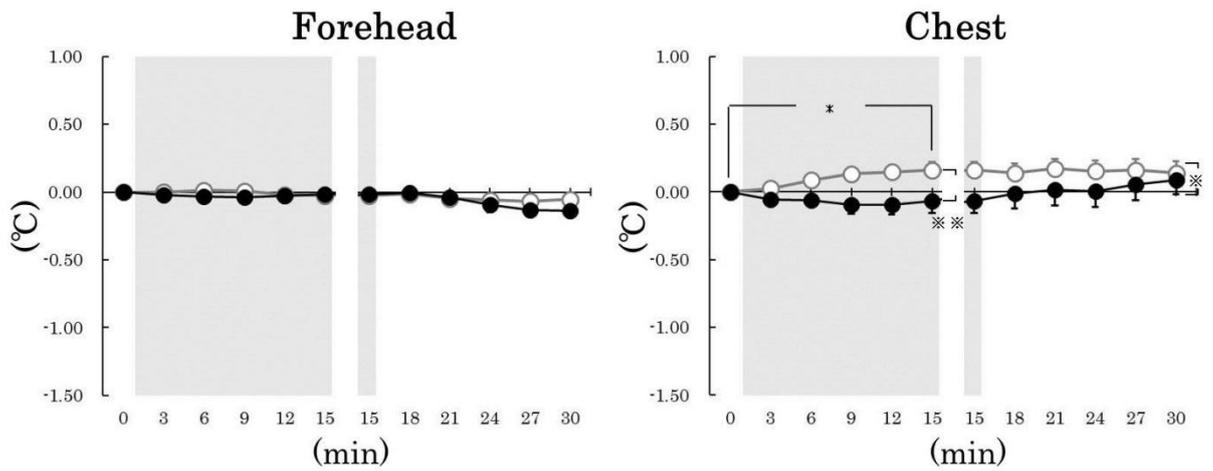


Fig.4-4. Changes in forehead and chest temperatures during cold water footbath under 34°C,70%RH environment.

○ : Control group, ● : Footbath group; mean ± SEM (n=13).
 * : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$; ※ : $p < 0.05$, ※※ : $p < 0.01$.

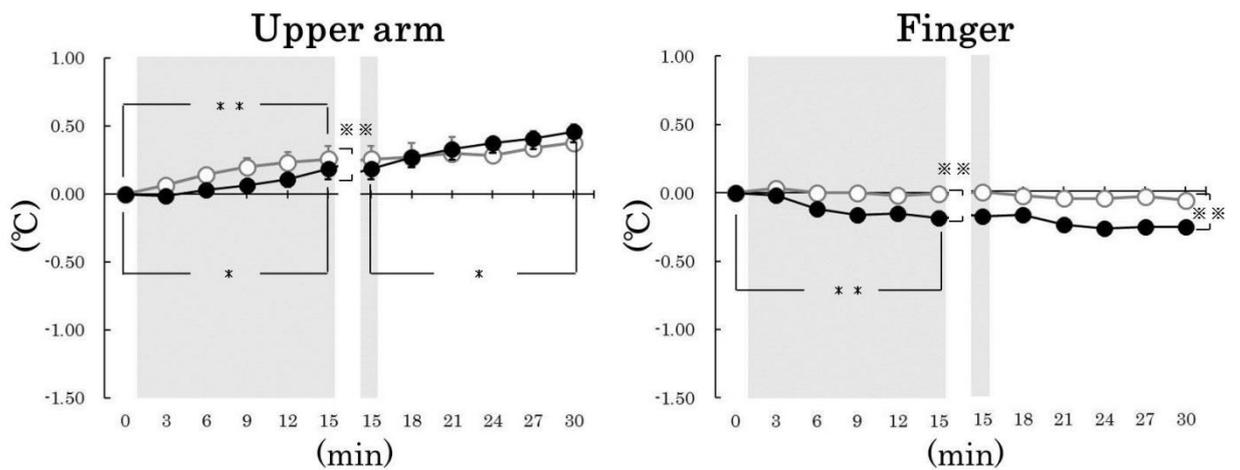


Fig.4-5. Changes in upper arm and finger temperatures during cold water footbath under 34°C,70%RH environment.

○ : Control group, ● : Footbath group; mean ± SEM (n=13).

* : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$; ※ : $p < 0.05$, ※※ : $p < 0.01$.

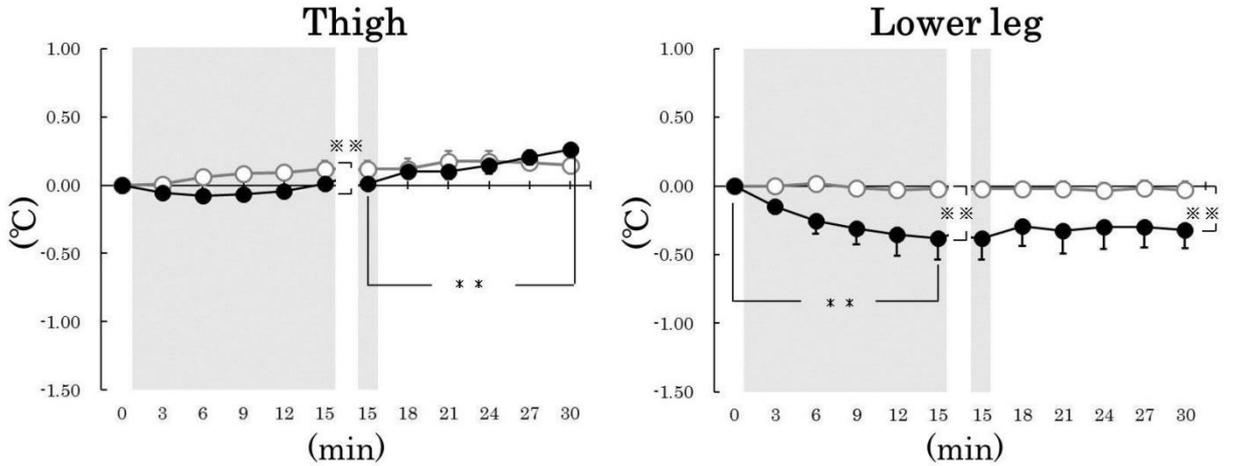


Fig.4-6. Changes in thigh and lower leg temperatures during cold water footbath under 34°C,70%RH environment.

○ : Control group, ● : Footbath group; mean ± SEM (n=13).

* : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$; ※ : $p < 0.05$, ※※ : $p < 0.01$.

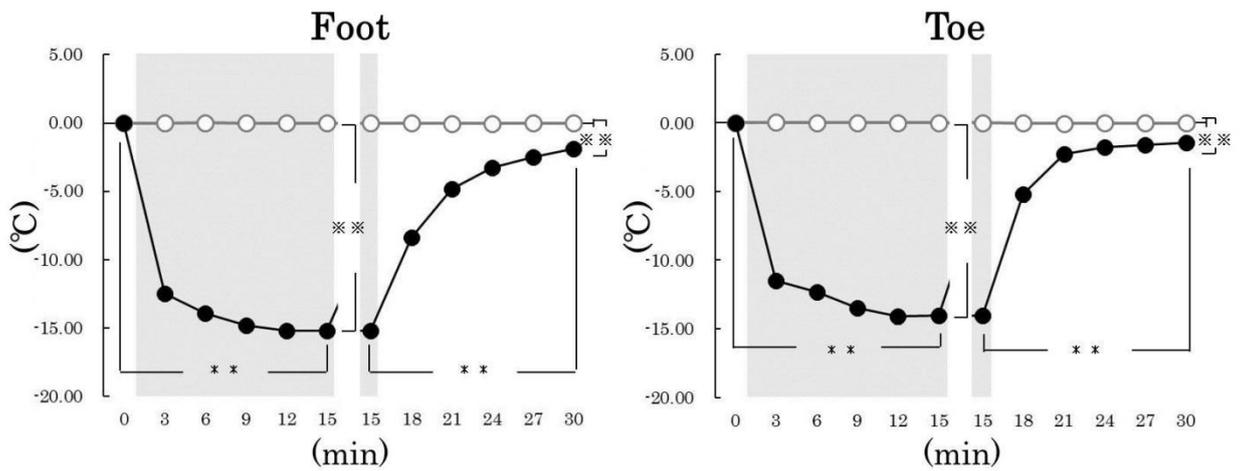


Fig.4-7. Changes in foot and toe temperatures during cold water footbath under 34°C,70%RH environment.

○ : Control group, ● : Footbath group; mean ± SEM (n=13).

* : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$; ※ : $p < 0.05$, ※※ : $p < 0.01$.

平均皮膚温の経時変化を Fig.4-8 に示す. コントロール群では, 平均皮膚温は, 0分から30分にかけて温度上昇し, 特に0分から15分にかけては 0.15°C と有意に($p < 0.01$)上昇した. 一方, 足冷浴群では冷水浴中には 0.07°C 低下するが, 冷水浴後は有意に上昇し, 30分後は両群の差がなくなった. これ等の変化は大腿部皮膚温の変化と近似している.

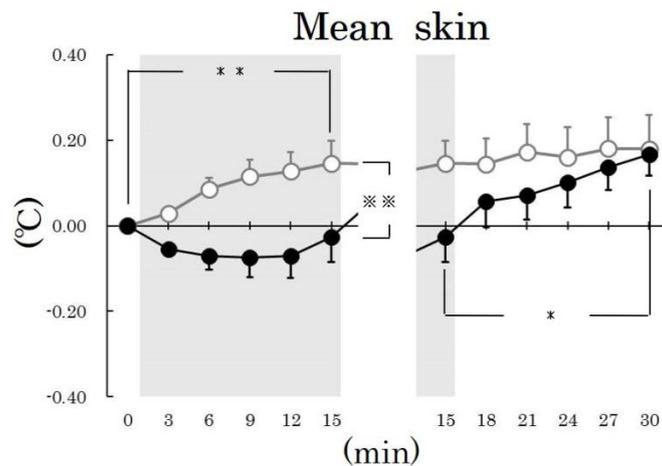


Fig.4-8. Changes in mean skin temperature during cold water footbath under 34°C , 70% RH environment.

○ : Control group, ● : Footbath group; mean \pm SEM (n=13).

* : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$; * : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$.

4. 3. 4 皮膚血流量・局所発汗量の変化

指尖部皮膚血流量の経時変化を Fig.4-9(左)に示す. コントロール群では, 血流量が増加傾向にあるが, 足冷浴群では, コントロール群と比べ, 足冷浴中血流量は減少し, 足冷浴後は増減しつつ回復した.

背部発汗量の経時変化を Fig.4-9(右)に示す. コントロール群では0分から15分にかけて有意に増加し, 15分から30分にかけて維持した. 足冷浴群では, 足冷浴により発汗量が抑制され, 15分時ではコントロール群との間に有意差が認められた($p < 0.01$). 足冷浴後はやや増加したが, 30分後にも発汗抑制効果は持続し, 両群間に有意差が認められた($p < 0.01$).

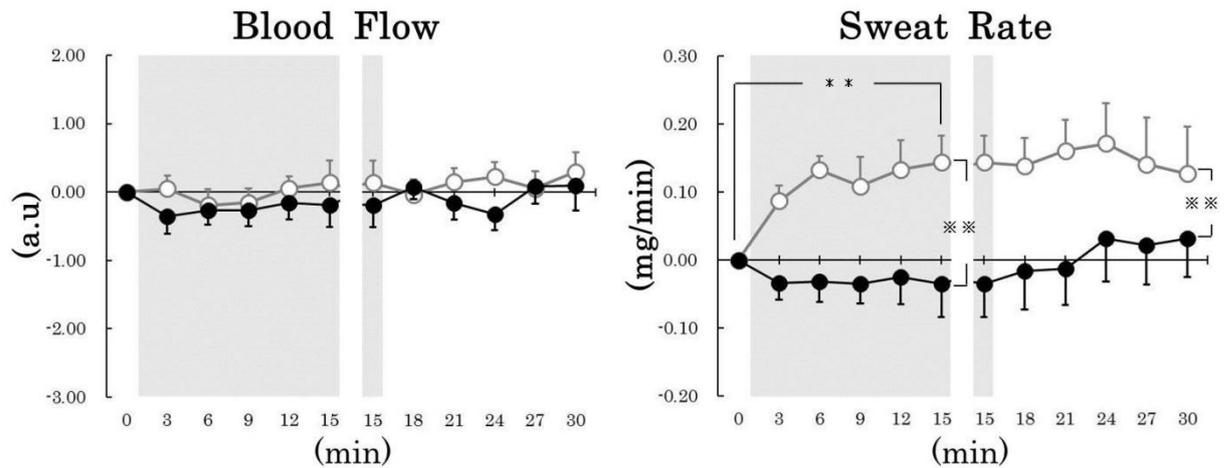


Fig.4-9. Changes in blood flow and sweat rate during cold water footbath under 34°C,70%RH environment.

○ : Control group, ● : Footbath group; mean ± SEM (n=13).

* : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$; * : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$.

4. 3. 5 自律神経活動の変化

自律神経系の指標である R-R 間隔, HF, LF/HF の経時変化を Fig.4-10 ~ Fig.4-11 に示す. コントロール群では, R-R 間隔と HF が上昇してから低下するのに対し, LF/HF は大きな変化を示さなかった. 足冷浴群では, 足冷浴中から足冷浴後にかけて, R-R 間隔と HF は有意に ($p < 0.01$) 上昇し, 足冷浴後も更に上昇し続けた. 一方, 足冷浴群の LF/HF は一貫して, コントロール群より低値を示し, 両群間に有意差が認められた ($p < 0.01$, $p < 0.05$).

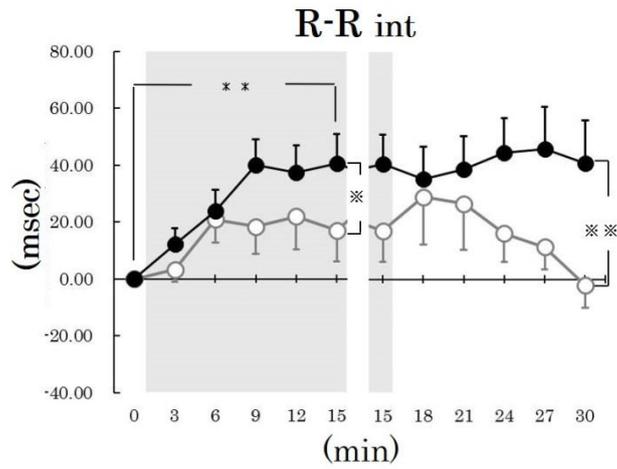


Fig.4-10. Changes in R-R int. during cold water footbath under 34°C,70%

RH environment.

○ : Control group, ● : Footbath group; mean ± SEM (n=13).

* : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$; ※ : $p < 0.05$, ※※ : $p < 0.01$.

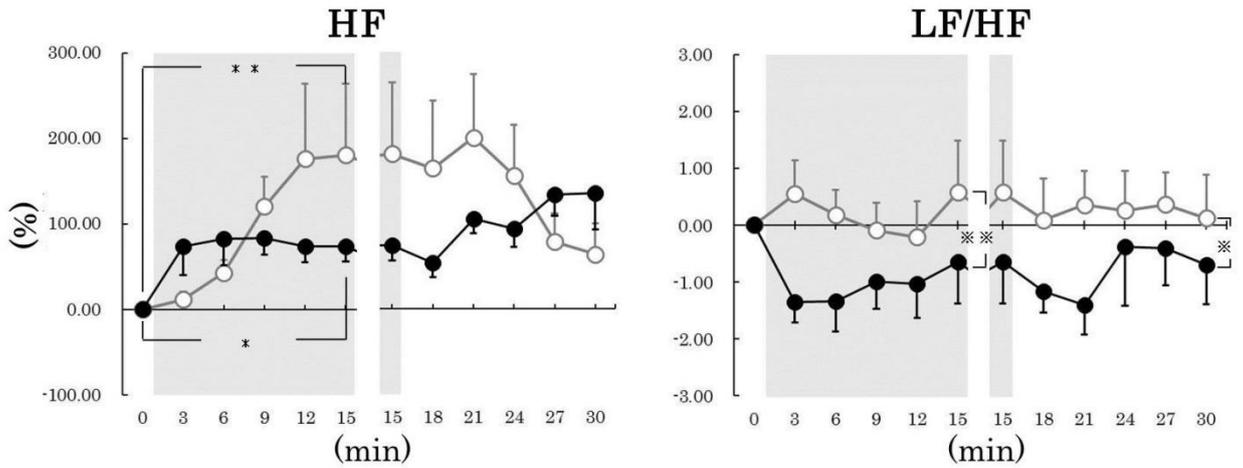


Fig.4-11. Changes in HF and LF/HF during cold water footbath under

34°C,70% RH environment.

○ : Control group, ● : Footbath group; mean ± SEM (n=13).

* : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$; ※ : $p < 0.05$, ※※ : $p < 0.01$.

4. 3. 6 温冷感・快適感の変化

実験期間中の温冷感・快適感の変化を Table 4.4～Table 4.5 に示す。被験者の平均評価点は、実験前即ち 34℃, 70%RH 環境に 50 分間滞在した後、温冷感 3.3, 快適感 2.2 と暑く不快を申告していた。足冷浴中は温冷感 0.1, 快適感 0.5 になり、暑さが緩和された。足冷浴後は、温冷感 1.6 まで上昇し、暖かく感じるが、快適感 0.3 と快適な状態が継続していた。

Table 4.4. Thermal sensory evaluation of each subject during experiment.

Sub.	Rest	Control		Footbath	
	50 min	Rest 15 min	Rest 15 min	Footbath 15 min	Rest 15 min
1	4	4	3	1	3
2	4	3	3	0	2
3	3	3	3	0	2
4	4	3	3	-1	1
5	3	3	2	0	1
6	3	3	3	0	2
7	3	3	3	0	2
8	3	3	3	0	2
9	3	3	2	0	2
10	3	2	2	-1	0
11	3	3	3	0	1
12	4	3	3	1	2
13	3	3	3	1	1
mean ± SD	3.3 ± 0.5	3.0 ± 0.4	2.8 ± 0.4	0.1 ± 0.6	1.6 ± 0.7

Table 4.5. Comfort sensory evaluation of each subject during experiment.

Sub.	Rest	Control		Footbath	
	50 min	Rest 15 min	Rest 15 min	Footbath 15 min	Rest 15 min
1	3	3	2	0	1
2	2	2	3	0	0
3	2	3	3	0	1
4	3	3	3	1	0
5	2	2	1	0	0
6	2	3	2	1	0
7	2	3	2	0	1
8	2	3	3	2	0
9	2	2	2	1	1
10	2	1	1	1	0
11	2	3	2	1	0
12	3	2	2	0	0
13	2	2	1	0	0
mean ± SD	2.2 ± 0.4	2.5 ± 0.6	2.1 ± 0.7	0.5 ± 0.6	0.3 ± 0.5

4. 4 考察

深部体温の評価として測定した舌下温は15分間の足冷浴で0.14℃の有意な低下を示し、しかもその効果が冷却終了後15分間も継続し、計30分間で0.27℃もの有意な低下を示した。深部体温に近い反応を示す前額皮膚温も類似の傾向を示していた。これは足部皮膚温(36.5±0.1℃)と冷水(15.0±1.0℃)の温度差により、足部から冷水への放熱が進み、血液が冷却され、冷却された血液が、表在静脈を介して、足部から下肢へと環流し、深部体温の低下を生じたと推察される。

申と田村¹⁶⁾は暑熱環境下で局所加温の波及効果を検討し、加温部によってその効果が異なること、特に足部の加温は他の部位より著しく鼓膜温を上昇させ、発汗を促すことを明らかにしている。理由としては足部の動静脈吻合(Arteriovenous Anastomosis, 以下:AVAと略す)が暑熱下では開き、AVAを多く有する足部における血流が特に増大し、外部からの熱流が体内に運び込まれやすいためと考えられた。田村²⁵⁾はこの結果を受けて暑熱下の足部加温、即ちブーツなど閉そく性履物が夏季の健康に悪影響を及ぼすことが指摘している。今回は加温とは反対の条件として、足部を冷却した結果、深部体温の有意な低下をもた

らすことが示された。両者に共通していることは暑熱環境下で足部の AVA が開いた状態での実験である点にある。AVA が開大すると大量な血流が流れることから²⁶⁾、足部の局所加温は体内への熱の流入が大きく、体温の上昇を、反対に局所冷却は体熱の外部への伝達放散が大きく、体温の低下をもたらしたと考えることができる。一般に皮膚の毛細血管は局所冷却によって収縮するが、AVA は体温調節中枢の神経支配下にあるため、体温調節レベルが蒸発調節域にある時は、冷水中であっても開放状態にあることが、他部位の冷却反応とは異なるものと考えられる。

時澤らは身体冷却を作業前や作業間に行うと暑熱負担の軽減につながることを報じている⁴⁾。手足は熱放散特性に適した部位であること²⁷⁾から、手足を浸水させる又は保冷剤などで覆う方法は現場応用が期待される。更に、時澤らは 37℃、50%RH 環境下で運動する前に、28℃、40%RH の環境下で手足を 18℃の冷水でプレクーリングをした結果、冷却中深部体温が下がり、作業中は深部体温の上昇が抑制されたと報じている⁴⁾。足冷浴により深部体温が低下することは本研究の結果と一致している。

足部冷却による各部位皮膚温の変化については、今田²⁰⁾による水灌流スーツを着用し、四肢末梢部に冷却刺激を与えた研究、田村と安²¹⁾による局所冷却負荷の研究、栃原、針村ら²²⁾による足部冷水浴時の人体反応の研究等が報告されているが、いずれも、中立環境下の結果である。局所冷却が他部位皮膚温の低下を生じる点では今回の結果と一致しているが、その程度は異なり、例えば、栃原は足部冷却が指先部皮膚温で 1.0~1.5℃の低下を招くとしたが、本研究の暑熱環境下の足部冷水浴では、指尖部皮膚温は約 0.2℃の低下にとどまった。このように環境温度の設定が大きく結果を左右し、暑熱環境下での実態に中立環境下での結果は応用できない。また、Johnson ら²³⁾は、暑熱環境下でも寒冷刺激により、AVA の血管収縮神経が活動し、血管は収縮すると報じているが。今回の結果において、指尖部皮膚温の低下は 0.19℃と僅少であり、AVA の収縮より、深部体温の低下に伴う反応と考えられる。今回の結果を見ると、いずれの部位においてもコントロール群の結果に比べると、足冷浴群では有意な低下が認められた。その差は、冷却部位である足部が最大で、近傍の下腿、末梢の指尖がこれに次いでいる。胸部と四肢近位部の大腿と上腕はコントロール群では皮膚温の上昇がみられ、暑熱

環境に 50 分滞在した後でも完全な平衡状態ではなかったことが示唆される。この状態では足冷浴による皮膚温低下と発汗抑制，これに伴う蒸発熱の低下が同時に生じ，それらが相殺することによって，見かけの皮膚温低下が小さくなったものと考えられる。発熱の有無は前額で確認し，また，平均皮膚温を 1 点で代表する場合に，大腿部が最適であるとする報告²⁴⁾を裏付けるものである。

指尖部皮膚血流量は足冷浴中に減少し，足冷浴後は増減しつつ回復した。また，背部発汗量も足冷浴中に抑制され，足冷浴後やや回復した。これは，深部体温の低下により，血流の抑制，汗腺活動の抑制を生じたためと考えられる。足冷浴後は，足部が暑熱環境下に曝露され，血流が回復するとともに発汗量も回復したが，コントロール群に比べると，なお深部体温の低下の影響によって発汗抑制が継続している。緑川，坂本ら²⁵⁾は暑熱環境下，寒冷壁面からの人体冷却による研究で，冷却により発汗量が減少することを，また，近藤²⁶⁾は汗の拍出頻度は環境温や平均体温と比例関係にあり，高温になるほど，頻度は高く，頻度が高ければ，発汗量も多くなることを報告している。いずれの結果も本研究結果と符合した。

自律神経活動に関しては，足冷浴により心電図における R-R 間隔の漸増とその後における維持が認められた。心拍変動解析により得られた副交感神経系指標の HF は足冷浴後から漸増し，交感神経系指標の LF/HF は，足冷浴開始後から低値を示した。従って，副交感神経の亢進が示唆された。足冷浴による皮膚温低下の現象は，交感神経の亢進と見られるが，この反応の違いは，心臓交感神経系と血管交感神経系との地域差にある^{27, 28)}と考えられる。なお，実験終了後実施した温冷感，快適感など被験者からの主観申告によると，全身の温冷感及び快適感は非常に暑い・暑い，不快から暖かい・やや暖かい，快適に変化した。また，自由記述によると，「足浴前は蒸し暑く，不快で発汗している」，「足冷浴中は足が冷たくなり，涼しく，発汗が止まった」，「足冷浴後は汗が少し出る，足が温まり，眠くなる，気持ち良くなった」となっている。これらの申告は，前述の生理反応及び自律神経活動の変化とよく符合している。

以上，暑熱環境下の足冷浴は深部体温である舌下温の低下，各部位皮膚温の上昇抑制，皮膚血流の抑制，発汗の抑制を生じ，自律神経のうち交感神経の活動レベルを抑制するとともに，副交感神経活動レベルを上昇させて，リラクゼーショ

ン効果を生み出すことが明らかとなった。暑熱時の足部冷却は熱中症対策として有効であることが示唆された。

4. 5 総括

本章では、暑熱環境 34℃、70%RH に設定した人工気候室内に、0.4clo 着衣(半袖 T シャツとハーフパンツ)の健康な 20 代女性 13 名を対象に、15℃、15 分間の足部冷水浴を行い、舌下温、皮膚温、指尖部皮膚血流量、背部発汗量及び心拍変動を測定し、体温調節反応及び自律神経活動に及ぼす影響、並びに熱中症予防対策への可能性を検討した。次のような結果を得た。

- 1) 足部冷水浴は、舌下温の有意な低下をもたらし、その効果は冷水浴後も続いた。
- 2) 足部冷水浴により、各部位皮膚温は、冷水浴無しのコントロール群と比較して有意に低下した。冷水浴中、皮膚温の低下量は足部>下腿部>指尖部>胸部>大腿部>前額部の順であった。背部発汗量は足冷浴開始から抑制され、足冷浴後は、やや増加した。コントロール群と比較して、冷却効果は持続することが示唆された。
- 4) 自律神経活動について、R-R 間隔及び HF の増大、LF/HF の低下が認められ、副交感神経活動の亢進、交感神経活動の抑制が示唆された。
- 5) 本実験の結果より、暑熱時の足冷浴は深部体温である舌下温及び皮膚温の低下をもたらし、交感神経活動が抑制されることから、熱中症予防対策の手法としての可能性が示唆された。

引用・参考文献

- 1) 栃原裕, 大中忠勝, 松井住仁, 田中正敏, 吉田敬一 ; 足部冷水浴時の人体反応 : 季節差について, 日本生気象学会雑誌, 16(2), 52-52, 1979
- 2) 今田尚美, 平田耕造 ; 下肢冷却時の胸部皮膚血流量に及ぼす血圧変化の影響, 日本生気象学会雑誌, 43(1), 35-42, 2006
- 3) 時澤健, 岡龍雄, 安田彰典, 田井鉄男, ソンスヨン, 澤田晋一 ; 暑熱負担を軽減する作業前の実用的かつ簡便な身体冷却方法, 労働安全衛生研究, 8(2), 79-82, 2015
- 4) 時澤健 ; 熱中症対策の新技术 : 実用志向と未来志向, 労働安全衛生研究, 10(1), 63-67, 2017
- 5) Bain A. R., Nybo L., Ainslie P. N.; Cerebral Vascular Control and Metabolism in Heat Stress, Compr Physiol., 5, 1345-1380, 2015
- 6) 熱中症環境保健マニュアル, 環境庁, 2018
- 7) 澤田晋一, 時澤健, 岡龍雄, 安田彰典, 田井鉄男, 中山和美, 井田浩文 ; 酷暑作業後の身体冷却手技再考 : アイスパックによる頸部, 腋窩部, 鼠径部の局所冷却は有効か, 日本生気象学会雑誌, 50(3), 62, 2013
- 8) Ramanathan N. L.; A new weighting system for mean surface temperature of the human body, J. Appl. Physiol., 19, 531-533, 1964
- 9) 早野順一郎 ; 心拍変動によるストレス反応の分析, ストレス科学, 10, 76-80, 1995
- 10) 早野順一郎 ; 心拍のゆらぎ, Cardiologist, 1(2), 159-168, 1996
- 11) Pomeranz B.; Assessment of autonomic function in humans by heart rate spectral analysis, Am. J. Physiol., 248, 151-153, 1985
- 12) 入來正躬 ; 体温調節の仕組み, 文光堂, p.31, 1995
- 13) Fanger P. O.; Assesment of man's thermal comfort in practice, British Journal of Industrial Medicine, 30, 313-324, 1973
- 14) 小川徳雄 ; 汗の常識・非常識, 講談社, p.88-89, 1998
- 15) 日本生気象学会 ; 日常生活における熱中症予防指針 Ver.3, 日生氣誌, 50, 49-59, 2013

- 16) 申正和, 田村照子 ; 暑熱環境下での人体の局所加温刺激が温熱生理・感覚反応に及ぼす影響, 人間と生活環境, 4(1), 20-28, 1996
- 17) 田村照子 ; 衣環境の科学, 建帛社, 東京, p117, 1995
- 18) Molyneux G. S., Bryden M. M.; Comparative aspects of arteriovenous anastomoses, "Progress in anatomy", Cambridge University Press, USA, p.207-227, 1981
- 19) Taylor N. A., Machado Moreira C. A., Vanden Heuvel A. M., Caldwell J. N.; Hands and feet: physiological insulators, radiators and evaporators, Eur. J. Appl. Physiol, 114, 2037-2060, 2014
- 20) 今田尚美 ; 安静時の不均一な冷却刺激が体温調節反応と身体感覚に与える影響, 日本生気象学会雑誌, 44(2), 51-62, 2007
- 21) 田村照子, 安美英 ; 人体の局所冷却に対する生理・心理反応, 人間-熱環境系シンポジウム報告集 ICHES'91, 571-574, 1991
- 22) 針村裕, 栃原裕, 大中忠勝, 松井住仁, 田中正敏, 吉田敬一 ; 足部冷水浴時の人体反応 : 水温差について, 日本生気象学会雑誌, 17(3), 60, 1980
- 23) Johnson J. M., Minson C. T., Kellogg, D. L.; Cutaneous vasodilator and vasoconstrictor mechanisms in temperature regulation, Compr Physiol, 4, 33-89, 2014
- 24) 丸山康子, 田村照子 ; 成人女子の皮膚温及び体温の個体内・個体間変動, 日本家政学会誌, 38(7), 585-592, 1987
- 25) 緑川知子, 坂本千鶴, 周防五月, 登倉尋実 ; 暑熱環境における寒冷壁面からの放射冷却が体温調節反応に与える影響, 日本生気象学会雑誌, 34(4), 113-120, 1997
- 26) 平田耕造 ; 衣服の快適性・健康 : 皮膚血流調節の温熱生理学, 繊維製品消費科学, 36(1), 12-17, 1995
- 27) Mueller P. J., Clifford P. S., Crandall C. G., Smith S. A., Fadel P. J.; Integration of Central and Peripheral Regulation of the Circulation during Exercise: Acute and Chronic Adaptations, Compr Physiol, 8, 103-151, 2018

28) 二宮石雄, 松川寛二 ; 意識と自律神経活動, 循環調節を例として : 循環調節
を例として, BME, 5(5), 59-68, 1991

第 5 章

中立環境下の足部冷水浴が身体に及

ぼす生理学的影響

— 暑熱環境との比較 —

5. 1 緒言

第4章では、暑熱環境下の足部冷水浴(以下：足冷浴と略す)は、足部の動静脈吻合(Arteriovenous Anastomosis, 以下：AVAと略す)の関与による深部体温の低下及び、副交感神経活動の亢進を実験的に検証した。

本章では、中立環境下における足冷浴を実施し、前章に記した暑熱環境条件における足冷浴を比較対象とし、異なる環境下の足冷浴が体温調節反応及び自律神経活動の違いを検証する。

5. 2 研究方法

5. 2. 1 被験者及び実験環境

被験者は健康な女性13名で、平均年齢は 23 ± 2 歳(平均値 \pm 標準偏差)、身長 161.4 ± 4.2 cm、体重 52.6 ± 8.5 kg、体格指数(BMI) 20.2 ± 3.0 である(Table 5.1)。人工気候室の環境条件は中立環境とし、気温 27 ± 0.5 °C、相対湿度 60 ± 2.0 %、気流 0.2 m/secに設定した。被験者の着衣は、各自のブラジャーとショーツに、半袖Tシャツ(綿100%、ヘインズブランドジャパン株式会社)とハーフパンツ(綿100%、トムス株式会社)を着用させた。クロー値は 0.4 cloであった。

実験期間は、2017年9月～11月に実施した。実験は各被験者の月経期に配慮し、いずれも黄体期に実施した。また、体温の日内変動を考慮し、1人1日1回、午前10:30～12:00又は午後1:30～3:00のいずれか同一時間帯に実施した。また、特異動的作用に配慮し、実験開始前2時間以内の食事を禁止した。被験者には書面をもって同意を得るとともに、本実験内容について文化学園大学研究倫理委員会の承認を得た(承認No: S17C03)。

Table 5.1. Subject characteristics.

Sub.	Age	Height (cm)	Weight (kg)	Body fat content (%)	BMI
1	23	160.9	66.8	37.3	25.8
2	23	161.8	69.2	34.8	26.4
3	25	163.5	54.3	28.2	20.2
4	21	153.9	51.6	26.5	21.8
5	23	160.4	47.5	24.0	18.6
6	26	167.1	55.8	26.3	20.0
7	23	158.3	50.4	24.9	20.2
8	20	157.4	36.0	18.0	14.6
9	27	157.2	48.3	23.1	19.6
10	24	160.4	43.3	15.5	16.9
11	23	162.0	50.3	25.9	19.2
12	25	170.6	57.9	29.8	19.8
13	22	164.4	52.9	26.2	19.7
mean ±SD	23 ±2	161.4 ±4.2	52.6 ±8.5	26.2 ±5.6	20.2 ±3.0

5. 2. 2 測定方法

(1) 口腔舌下温

深部体温の指標として口腔舌下温(以下:舌下温と略す)を測定した。舌下温はサーミスタ温度計で口腔(舌下の一番奥にある舌小帯の左右どちらか側)の温度を連続的に測定した。データコレクタ(安立計器株式会社, AM-8051E)で30秒毎に測定値を収録した。測定用プローブはポリプロピレン製ストロー(直径5mm, 長さ3cm)を熱加工で扁平化させ, 端末はパラフィルム(株式会社エル・エム・エス)で密閉し測定に用いた。

(2) 皮膚温

皮膚温測定部位は, 前額部, 胸部, 上腕部, 指尖部, 大腿部, 下腿部, 足背部, 足趾部の8点である(前額部以外はいずれも左半身の測定とした)。測定にはサーミスタ温度計を用い, データコレクタで30秒毎に測定値を収録した。なお, 平均皮膚温(\bar{T}_{sk})はRamanathanの4点法により算定した⁶⁾。

$$\bar{T}_{sk} = (30 \text{ 胸 } T_{sk} + 30 \text{ 上腕 } T_{sk} + 20 \text{ 大腿 } T_{sk} + 20 \text{ 下腿 } T_{sk}) / 100$$

(3) 皮膚血流量

右手第3指指尖部の皮膚血流量(以下：皮膚血流量と略す)については，二次元レーザー血流計(オメガウェーブ株式会社，OZ-2)を用いて，経時的変化を測定した。

(4) 局所発汗量

背部第7頸椎から下に約8cmの局所に，流量補償方式換気カプセル型発汗計(SKINOS株式会社，SKN-2000)を用いて測定した。

(5) 自律神経活動解析

心電図(ECG)は，テレメトリー筋・心電計(MQ-16，キッセイコムテック株式会社)及び多用途生体信号収録装置(キッセイコムテック株式会社，VitalRecorder2)を用いて測定した。測定においては，右鎖骨下に(-)，左第5肋間に(+)，右第5肋間にアース(N)の電極配置で行い，ECGを連続的に収録した。ECGデータを多用途生体情報解析プログラム(キッセイコムテック株式会社，BIMUTAS II)により解析，R-R間隔ならびに周波数分析を行い，0.04~0.15Hzの低周波数成分(Low Frequency Component，以下：LFと略す)，0.15~0.46Hzの高周波数成分(High Frequency Component，以下：HFと略す)を求めた。HFは副交感神経系活動レベルの指標として，LF/HFは交感神経系活動レベルの指標として評価した^{7)~9)}。測定時の呼吸は15回/分(0.25Hz)に統制した。

5. 2. 3 実験手順

被験者は，実験前に前室(25~27℃，50~60%RH)で10分間安静座位を保ち，その後，人工気候室に入室し，被験者の足裏は床に直接接触しないように，乾燥タオルを2枚敷き，素足をタオルの上に置いた。身体各部位に約20分間でセンサーを貼付し，30分間の安静座位を保った後，足冷浴並びに測定を開始した。足冷浴には10L水槽を用い，踝の上約3cmまで冷水(平均4.4L)に15分間を浸漬した。冷水は水道水に保冷剤を入れ，水温を15.0±1.0℃に保った。また，足部と保冷剤の直接接触を防止するため，その間をL型スチール板で仕切った。足冷浴

終了後、直ちに乾燥タオルで足部の水を十分に拭き取り、足部を乾燥タオルの上に置いて15分の安静座位を保ち、実験終了とした(Fig.5-1).

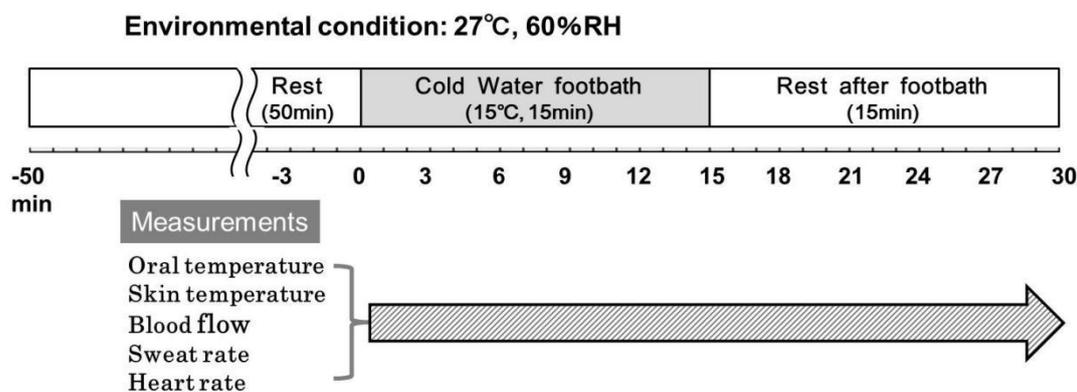


Fig.5-1. Procedure of the experiment.

なお、実験前・足冷浴中(実験前半)・足冷浴後(実験後半)の温冷感、快適感の主観申告については、実験中は舌下温の測定、指尖温・血流量の測定のため申告が困難であったため、終了後被験者に思い出してもらい、申告させた。評価に用いた言語尺度は Table 5.2 に示す通りである。温冷感の尺度は、-4(非常に寒い)、-3(寒い)、-2(涼しい)、-1(やや涼しい)、0(どちらともいえない)、+1(やや暖かい)、+2(暖かい)、+3(暑い)、+4(非常に暑い)の9段階で、快適感の尺度は、0(快適)、+1(やや不快)、+2(不快)、+3(非常に不快)、+4(極めて不快)の5段階とした。その他思い付いたことを自由記述してもらった。

Table 5.2. Subjective ratings of sensory evaluation.

Thermal		Comfort	
4	Very hot	4	Extremely uncomfortable
3	Hot	3	Very uncomfortable
2	Warm	2	Uncomfortable
1	Slightly warm	1	Slightly uncomfortable
0	Neutral	0	Comfortable
-1	Slightly cool		
-2	Cool		
-3	Cold		
-4	Very cold		

5. 2. 4 統計学的解析

すべての測定データは各被験者の0分時の測定値を初期値とし、そこからの変化量について解析を行った。また、時間経過に伴う3分毎の変化の平均値±標準誤差を求めた。中立環境及び暑熱環境の時間変化については一元配置分散分析、両環境間の比較については繰り返しのある二元配置分散分析を行い、いずれも1%、5%の危険率を持って有意差があるとした。

5. 3 結果

5. 3. 1 測定開始時の体温調節水準

各環境の測定開始時(足冷浴前)測定値の平均値±標準誤差を Table 5.3 に示す。舌下温は暑熱環境下で 37.31°C，中立環境で 37.05°C を示し、どちらも深部体温の標準値 37.0°C²⁰⁾ よりやや高く、暑熱環境より中立環境が有意に低かった。胸部以外の各部位皮膚温と平均皮膚温も、暑熱環境より中立環境が有意に低かった。皮膚温は環境温度による違いが見られた。指尖部皮膚血流量は両環境では有意な変化が見られなかった。また、背部発汗量は暑熱環境が促進されたのに対し、中

立環境は不感蒸散の域にあった。なお、ほとんどの測定項目において被験者のバラツキは中立環境が暑熱環境より大きかった。

Table 5.3. Actual value of each date at starting to measure.

Measurements	27°C, 60%RH (mean±SEM)		34°C, 70%RH (mean±SEM)
Oral Temperature (°C)	37.1 ± 0.1	**	37.3 ± 0.0
Skin Temperature (°C)			
Chest (°C)	35.3 ± 0.6		35.4 ± 0.2
Upper Arm (°C)	33.6 ± 0.6	**	35.4 ± 0.2
Thigh (°C)	33.0 ± 0.5	**	34.9 ± 0.2
lower Leg (°C)	32.6 ± 0.6	**	34.5 ± 0.2
Fore Head (°C)	35.5 ± 0.2	**	36.6 ± 0.1
Finger (°C)	35.6 ± 0.2	**	36.7 ± 0.1
Toe (°C)	35.0 ± 0.9	**	36.7 ± 0.1
Foot (°C)	34.5 ± 0.7	**	36.4 ± 0.1
Mean Skin Temperature (°C)	33.8 ± 0.4	**	35.0 ± 0.1
Skin Blood Flow (a.u)	6.0 ± 1.8		5.8 ± 0.5
Sweat Rate (mg/min)	0.07 ± 0.10	**	0.42 ± 0.10
Analysis of Heart Rate Variability			
R-R interval (msec)	755.3 ± 64.2	**	687.4 ± 13.6
High Frequency Components (mv · msec)	23096 ± 15568	**	7986 ± 1907
Low Frequency Components/High Frequency Components	2.4 ± 1.5	**	4.1 ± 0.6

** : $p < 0.01$

5. 3. 2 舌下温の変化

舌下温の経時変化(平均値±標準誤差)を Fig.5-2 に示す。図中灰色部分は足冷浴を表し、○は中立環境の結果、●は暑熱環境の結果を示している。また n=13, 各環境経時変化の有意差は、*印で示し($p < 0.05$, $**p < 0.01$), 中立環境と暑熱環境間の有意差は※印で示した($*p < 0.05$, $**p < 0.01$)。

舌下温は、足冷浴中暑熱環境下 0.15°C の低下に対し($p < 0.01$), 中立環境は 0.12°C 有意に上昇した($p < 0.01$)。足冷浴後、暑熱環境は更に 0.13°C を低下し($p <$

0.05), 中立環境は足冷浴前の水準に戻った. 足冷浴中, 足冷浴後ともに両条件間に有意差が認められた($p < 0.01$).

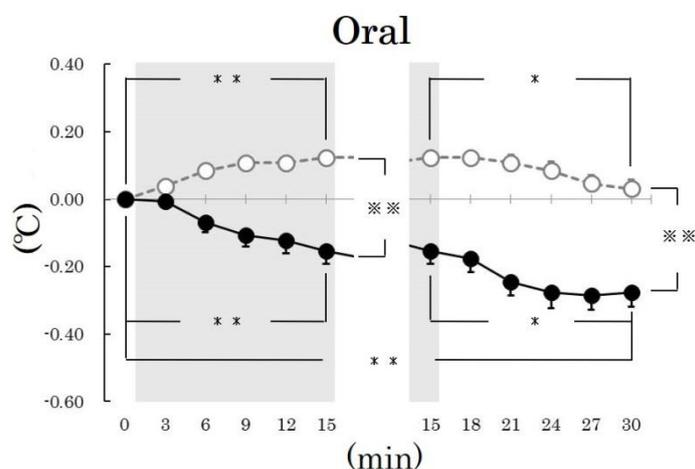


Fig.5-2. Changes in oral temperature during cold water footbath under two environmental conditions.

○ : 27°C, 60% RH environment, ● : 34°C, 70% RH environment;
mean ± SEM (n=13).

* : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$; ※ : $p < 0.05$, ※※ : $p < 0.01$.

5. 3. 3 各部位皮膚温・平均皮膚温の変化

上半身皮膚温の経時変化を Fig.5-3～Fig.5-4 に示す.

前額部皮膚温について, 暑熱環境では, 足冷浴中変化せず, 足冷浴後有意な温度低下を示したのに対し($p < 0.05$), 中立環境では, 足冷浴中から足冷浴後にかけてほとんど変化がなかった. 足冷浴後両環境間に有意差が認められた($p < 0.01$). 胸部皮膚温について, 暑熱環境では, 足冷浴中皮膚温が抑制され, 足冷浴後やや上昇した. 中立環境では, 足冷浴中有意に上昇し($p < 0.05$), その後回復傾向だった. 足冷浴中両環境間に有意差が認められた($p < 0.01$). 上腕部皮膚温について, 暑熱環境では, 足冷浴中有意な上昇を示し($p < 0.05$), その後もなお上昇したが, 中立環境では, 足冷浴中から足冷浴後にかけてほとんど変化がなかった. 足冷浴後両環境間に有意差が認められた($p < 0.01$). 指尖部皮膚温について, 暑熱環境では,

足冷浴中から足冷浴後にかけて有意な低下を示し($p < 0.01$), 中立環境では, 冷水中急激に低下し, 3分時に 0.77°C に低下した. その後, 速やかに回復し, 足冷浴後やや上昇の傾向だった. 足冷浴中, 足冷浴後ともに両環境間に有意差が認められた($p < 0.01$).

下肢部皮膚温の経時変化を Fig.5-5~Fig.5-6 に示す.

大腿部皮膚温について, 暑熱環境では, 足冷浴中に温度が抑制され, 足冷浴後有意な温度上昇が見られ($p < 0.01$), 中立環境では, ほとんど変化がなかった. 両環境間に有意差が認められた($p < 0.01$). 下腿部皮膚温について, 暑熱, 中立両環境とも足冷浴により, 有意に低下した($p < 0.01$, $p < 0.05$). 足冷浴後, 暑熱環境の温度維持に対し, 中立環境は有意な温度低下が示した($p < 0.01$). 足背部皮膚温について, 両環境件とも足冷浴中に皮膚温は急激に低下し, 15分後, 暑熱環境は 15.19°C , 中立環境は 14.52°C , 有意な低下を示し($p < 0.01$), 足冷浴後速やかに温度回復した. 足冷浴中, 足冷浴後ともに両環境間に有意差が認められた($p < 0.01$). 足趾部皮膚温は足背部皮膚温と同様な挙動を示した.

以上のように, 暑熱環境では前額部, 指尖部が低下し, 胸部が変化無く, 上腕部, 大腿部は上昇したが, 中立環境では前額部, 胸部, 上腕部, 大腿部, 指尖部ほとんど変化はなかった. 冷却部位とした足背部, 足趾部及びその近傍の下腿部は, 足冷浴によって両環境とも温度低下し, 類似な挙動を示した.

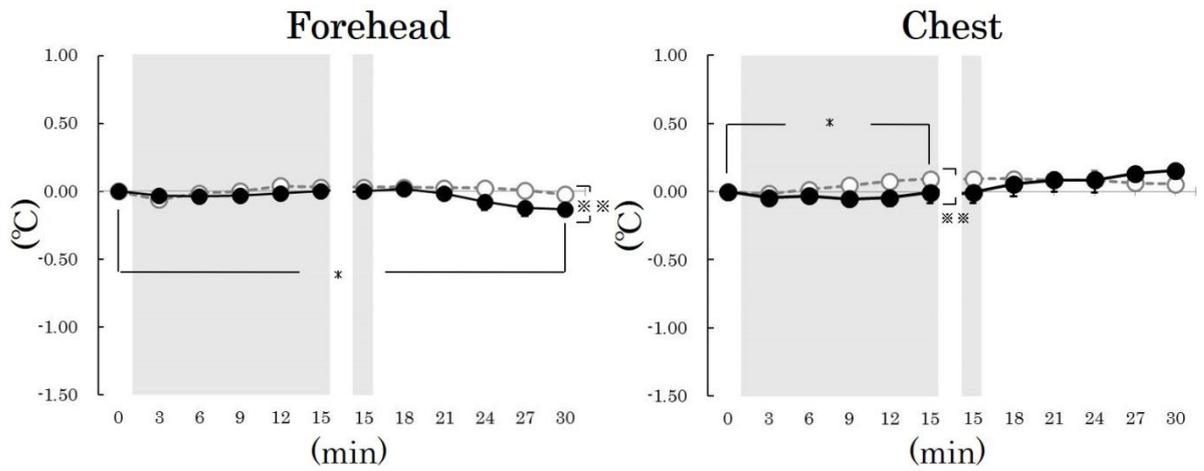


Fig.5-3. Changes in forehead and chest temperatures during cold water footbath under two environmental conditions.

○ : 27°C,60% RH environment, ● : 34°C,70% RH environment;
 mean ± SEM (n=13).

* : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$; ※ : $p < 0.05$, ※※ : $p < 0.01$.

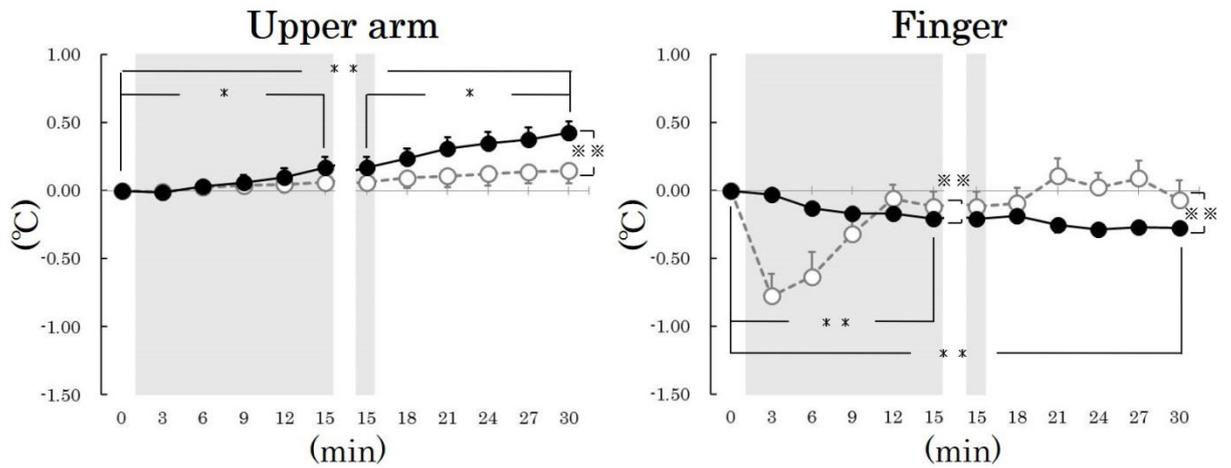


Fig.5-4. Changes in upper arm and finger temperatures during cold water footbath under two environmental conditions.

○ : 27°C,60% RH environment, ● : 34°C,70% RH environment;
 mean ± SEM (n=13).

* : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$; ※ : $p < 0.05$, ※※ : $p < 0.01$.

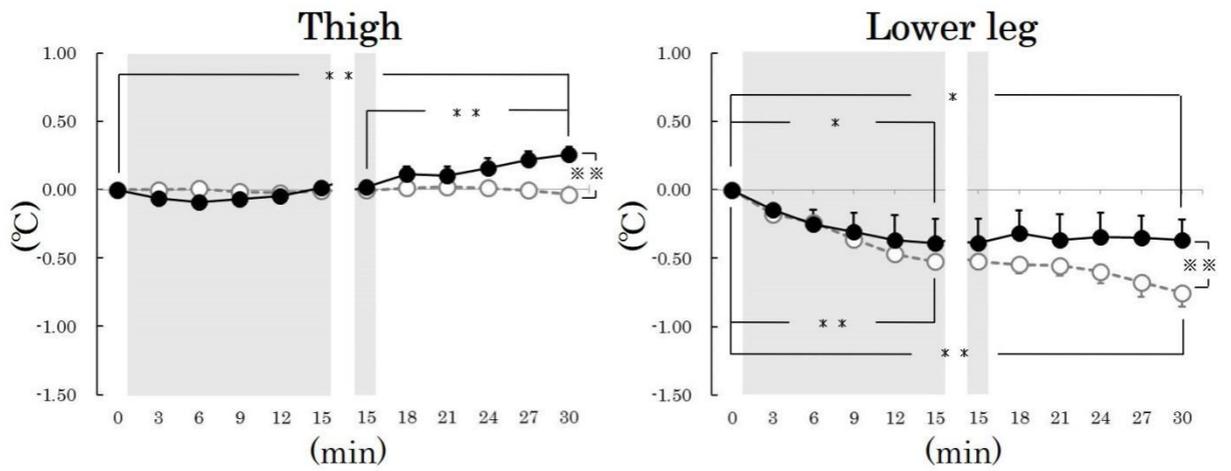


Fig.5-5. Changes in thigh and lower leg temperatures during cold water footbath under two environmental conditions.

○ : 27°C,60%RH environment, ● : 34°C,70%RH environment;
 mean ± SEM (n=13).

* : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$; ※ : $p < 0.05$, ※※ : $p < 0.01$.

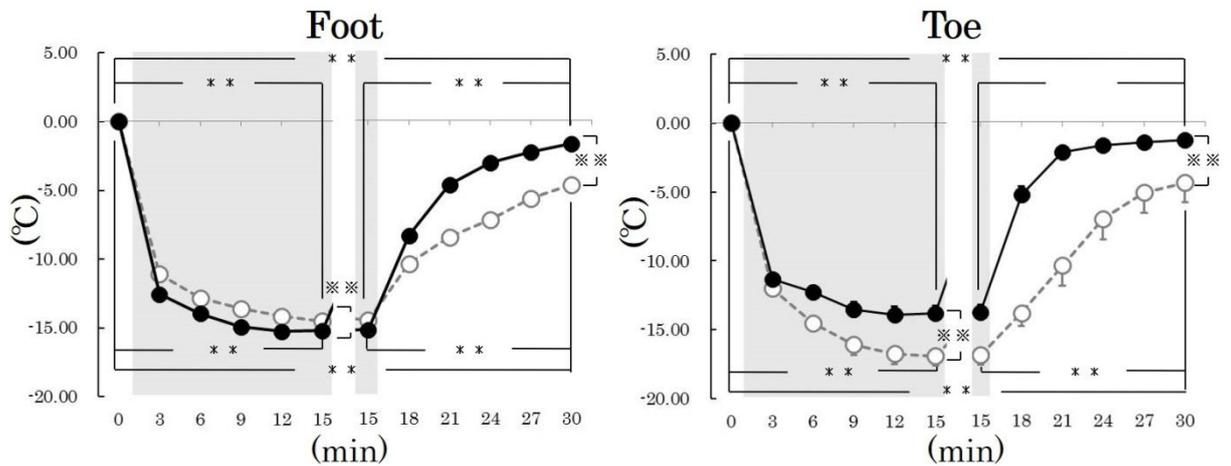


Fig.5-6. Changes in foot and toe temperatures during cold water footbath under two environmental conditions.

○ : 27°C,60%RH environment, ● : 34°C,70%RH environment;
 mean ± SEM (n=13).

* : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$; ※ : $p < 0.05$, ※※ : $p < 0.01$.

平均皮膚温の経時変化を Fig.5-7 に示す。平均皮膚温について、暑熱環境では、足冷浴中 0.07°C 低下したが、足冷浴後は有意に上昇した ($p < 0.05$)。中立環境では、足冷浴中から足冷浴後にかけて、0.10°C 有意に低下し ($p < 0.05$)、暑熱環境より有意な温度低下が見られた ($p < 0.01$)。

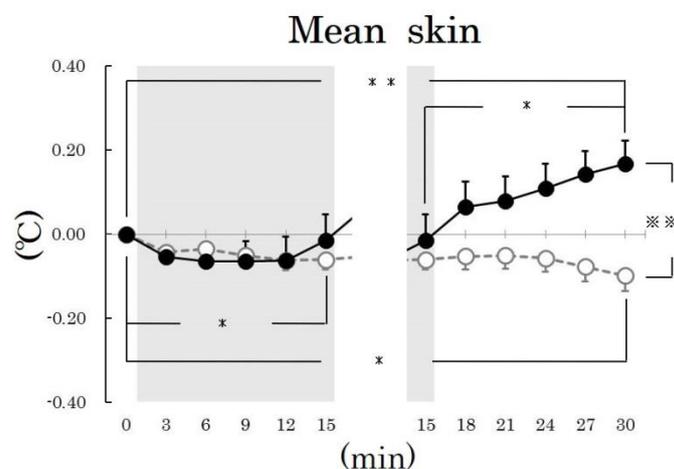


Fig.5-7. Changes in mean skin temperature during cold water footbath under two environmental conditions.

○ : 27°C, 60% RH environment, ● : 34°C, 70% RH environment;
mean ± SEM (n=13).

* : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$; ※ : $p < 0.05$, ※※ : $p < 0.01$.

5. 3. 4 皮膚血流量・局所発汗量の変化

指尖部皮膚血流量の経時変化を Fig.5-8(左)に示す。暑熱環境では、足冷浴中皮膚血流量は減少し、足冷浴後は増減しつつ回復した。中立環境では、足冷浴中皮膚血流量は急激に減少し、3分時点で 0.62(a.u)の減少を示し、その後増加がみられ、足冷浴後ほぼ一定に維持した。暑熱環境との間に有意差が認められた ($p < 0.05$)。

背部発汗量の経時変化を Fig.5-8(右)に示す。暑熱環境では、足冷浴により発汗量が抑制され、足冷浴後はやや増加した。中立環境では、不感蒸散の域で有意な変化は認められなかった。

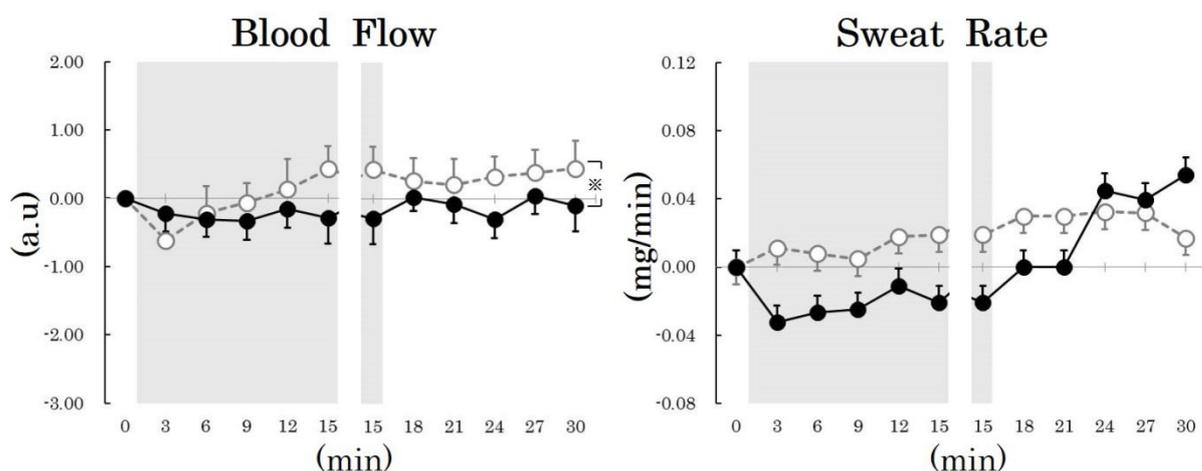


Fig.5-8. Changes in blood flow and sweat rate during cold water footbath under two environmental conditions.

○ : 27°C, 60% RH environment, ● : 34°C, 70% RH environment;
mean \pm SEM (n=13).

* : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$; † : $p < 0.05$, †† : $p < 0.01$.

5. 3. 5 自律神経活動の変化

自律神経系の指標である R-R 間隔, HF, LF/HF の経時変化を Fig.5-9 ~ Fig.5-10 に示す暑熱環境では、足冷浴中から足冷浴後にかけて、R-R 間隔と HF は有意に上昇し($p < 0.01$)、足冷浴後も更に上昇し続けた。中立環境では、R-R 間隔は上昇したが、HF はほぼ一定になった。足冷浴中、足冷浴後ともに両条件間に有意差が認められた($p < 0.01$)。一方、LF/HF について、暑熱環境では足冷浴中に低下し、その後増減しつつ、大きな変化を示さなかったが、中立環境ではやや上昇した。足冷浴中、足冷浴後ともに両環境間に有意差が認められた($p < 0.01$)。

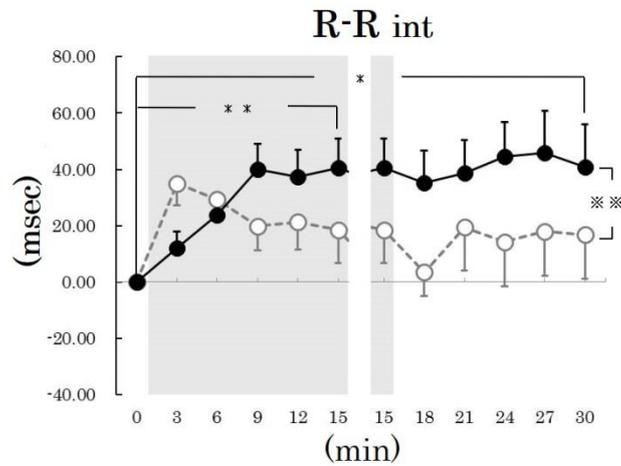


Fig.5-9. Changes in R-R int. during cold water footbath under two environmental conditions.

○ : 27°C,60% RH environment, ● : 34°C,70% RH environment;
 mean ± SEM (n=13).

* : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$; ※ : $p < 0.05$, ※※ : $p < 0.01$.

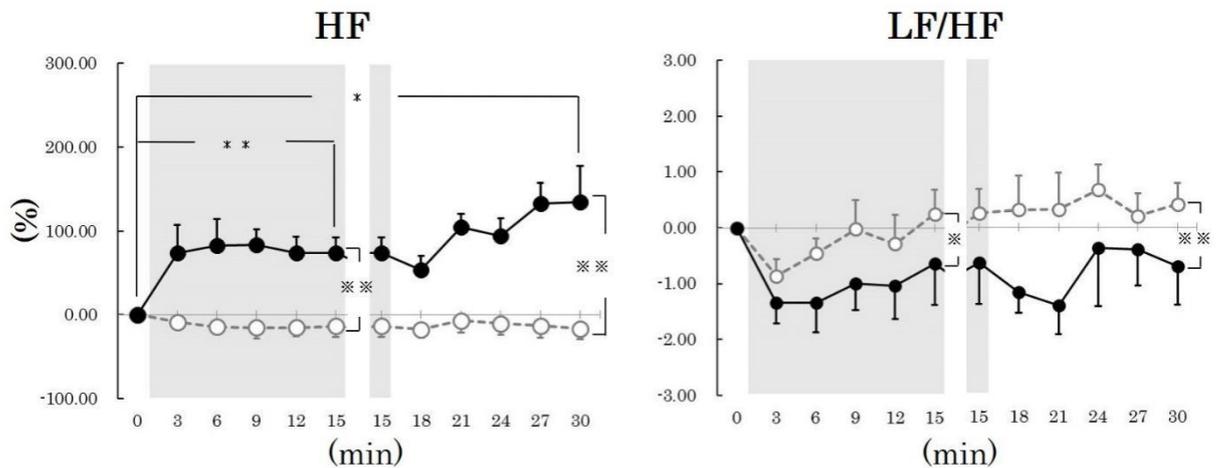


Fig.5-10. Changes in HF and LF/HF during cold water footbath under two environmental conditions.

○ : 27°C,60% RH environment, ● : 34°C,70% RH environment;
 mean ± SEM (n=13).

* : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$; ※ : $p < 0.05$, ※※ : $p < 0.01$.

5. 3. 6 温冷感・快適感の変化

実験期間中の温冷感・快適感の変化を Table 5.4～Table 5.5 に示す。被験者の平均評価点は、実験前即ち 27℃，60%RH 環境に 50 分間滞在した後，温冷感 1.0，快適感 0.2 とやや温かく快適を申告していた。足冷浴中は温冷感-1.8，快適感 0.7 になり，やや涼しく，やや不快を感じた。足冷浴後は，温冷感は-0.5，快適感 0.4 になり，涼しさは緩和された。

Table 5.4. Thermal sensory evaluation of each subject during experiment.

Sub.	Rest	Footbath	
	50 min	Footbath 15 min	Rest 15 min
1	2	-1	1
2	2	-1	1
3	1	-1	0
4	2	-1	1
5	0	-3	-2
6	1	-1	-1
7	1	-2	1
8	0	-2	-1
9	1	-2	-1
10	0	-3	-2
11	1	-2	-1
12	1	-2	-1
13	1	-3	-1
mean ± SD	1.0 ± 0.7	-1.8 ± 0.8	-0.5 ± 1.1

Table 5.5. Comfort sensory evaluation of each subject during experiment.

Sub.	Rest	Footbath	
	50 min	Footbath 15 min	Rest 15 min
1	0	0	0
2	1	0	0
3	0	1	1
4	1	0	0
5	0	2	1
6	0	1	0
7	0	0	0
8	0	2	1
9	0	0	0
10	0	1	1
11	0	1	1
12	0	0	0
13	0	1	0
mean ± SD	0.2 ± 0.4	0.7 ± 0.7	0.4 ± 0.5

5. 4 考察

深部体温の指標とした舌下温について、暑熱環境は足冷浴中から足冷浴後にかけて、有意に低下したのに対し、中立環境は足冷浴中に上昇し足冷浴後は足冷浴前の水準に戻った。これは、四肢末梢に存在する AVA は中立環境下、ある程度開いているが、足部に冷水刺激を与えると、AVA は閉じるため、末梢部への熱放散が減少され、深部体温がほぼ一定に保たれたと推察した。足冷浴中の温度上昇は皮膚からの冷覚刺激が強まり、脳視索前野から視床下部への抑制伝達が減弱するため、褐色脂肪熱産生が亢進したことによる¹⁰⁾。一方、足冷浴後の温度回復は褐色脂肪への交感神経出力を低下させ、熱産生が抑制されたためと考えられる。Daanen ら¹¹⁾による長時間入水実験では、入水前後間における直腸温の変動は少なく、その差は 0.07℃と小さかった。本実験の測定開始時と終了時 30 分間における舌下温は 0.03℃と Daanen らの結果に同様であった。

胸部皮膚温について、暑熱環境は、足冷浴中皮膚温が抑制され、足冷浴後やや上昇した。中立環境で、足冷浴中 0.09℃有意に上昇し、その後回復傾向だった。足

冷浴中両条件間に有意差が認められた。今田¹²⁾は安静時の不均一な冷却刺激が体温調節反応と身体の感覚に与える影響について、四肢部冷却により四肢末梢部の皮膚温の低下と、胸部皮膚温の有意な上昇を報じている。また、LeeとTokura¹³⁾は下半身と手部を10°Cの空気環境に曝露し、頭部を除く部位に着衣させた研究では、冷却60分目では冷却した部位の皮膚温はすべて安静時より低下し、胸部皮膚温は安静時より約0.6°C上昇している。今田、Leeらの結果は本実験の中立環境の結果を符合した。

前額部皮膚温と上腕部皮膚温について、中立環境で足冷浴によって特に変化は見られなかった。同様な結果を田中ら¹⁴⁾は足冷浴に関する研究で前額部皮膚温と上腕部皮膚温は冷水浸漬によって変化が見られないと報じている。

指尖部皮膚温について、中立環境では、足冷浴中3分時に0.77°C急激に低下した。その後速やかに回復し、足冷浴後やや上昇の傾向があり、15分後ほぼ戻った。田中らは24°C、60%RHの環境下、足部を水温10°Cの冷水に10分間浸漬した実験では、足部の冷水浸漬に伴い指温は急激に低下し、冷水浸漬3分時点で極小値を示し、浸漬終了後の上昇状態を報じた。また、針村ら¹⁵⁾は足部冷水浴時の人体反応の研究では、24°C、60%RH環境下、15°C冷水10分間、回復30分間の実験をした結果、指先部皮膚温は、足冷浴により低下し、3分後に最低値を示した。

本実験中立環境下、指尖部皮膚温の変動傾向は田中ら、針村らの結果と同様であった。一方、暑熱環境下、指尖部皮膚温の変動は中立環境と違い、足冷浴中から足冷浴後にかけて有意な低下が認められた。これは深部体温の低下に伴う反応と考えられる。Grayson¹⁶⁾は指温の変化を体温と寒冷ストレスとの関係から検討し、直腸温を高い条件にして腹部を冷却した場合には指温の変化は見られないが、直腸温を低い条件にした場合には腹部の冷却によって指温の低下することを示している。即ち、末梢温度の反応は深部体温の影響を受けている。

皮膚血流量について、暑熱環境では、血流量は足冷浴中減少し、足冷浴後戻る傾向が見られた。中立環境下、血流量は足冷浴中急激に低下し、3分時点で0.6(a.u)の低下を示した。その後上昇状態が見られ、足冷浴後ほぼ一定に維持した。人体は深部体温を一定に保つために、寒冷下では皮膚血管を収縮させ皮膚血流量を減少させることにより体熱放散の抑制を行う。しかし、人体の局所部位が極度に冷却された場合、血管収縮の5-10分後に血管の拡張反応が起こることが知られて

いる¹⁷⁾。この冷却による血管の拡張反応は寒冷血管拡張反応(Cold Induced Vasodilation, 以下: CIVD と略す)と呼ばれ, Bergersen¹⁸⁾は 25~28℃の環境温度において CIVD を観察しており, 冷水曝露後の皮膚血流量の減少, その後の CIVD による皮膚血流量の上昇は, 動静脈吻合(AVA)の収縮・拡張が要因であると提案した。本実験中立環境における急激な皮膚血流量の低下とその後の回復は CIVD を示唆するものと推察した。

自律神経活動について, R-R 間隔は暑熱, 中立両環境とも上昇したが, 暑熱環境は中立環境より有意に高かった。HF は暑熱環境において有意に上昇したが, 中立環境はほぼ一定になった。LF/HF について, 暑熱環境は有意な低下が示されたが, 中立環境はやや上昇した。暑熱環境下の足部冷却は自律神経の交感神経の活動レベルを抑制するとともに, 副交感神経活動レベルを上昇させてリラクセーション効果を生み出したが, 中立環境下の足冷浴は副交感神経活動を亢進させなかった。なお, 実験終了後実施した温冷感, 快適感など被験者からの主観申告によると, 全身の温冷感及び快適感は, やや暖かい, 快適からやや涼しい, やや不快までに変化した。また, 自由記述によると, 「足浴前はやや暖かく, 快適」, 「足冷浴中は全身冷たく, やや不快」, 「足冷浴後は暖かさが戻り, 不快は少なくなる」となっている。これらの申告は, 前述の生理反応及び自律神経活動の変化とよく符合している。

5. 5 総括

本章では, 中立環境 27℃, 60%RH に設定した人工気候室内に, 0.4clo 着衣(半袖 T シャツとハーフパンツ)の健康な 20 代女性 13 名を対象に, 15℃, 15 分間の足部冷水浴を行い, 暑熱環境における足部冷水浴を比較対象とし, 異なる環境条件下の足部冷水浴が体温調節反応及び自律神経活動に及ぼす違いを検討した。次のような結果を得た。

- 1) 舌下温は, 暑熱環境で低下したのに対し, 中立環境では足冷浴中一旦上昇し, 足冷浴後原状に回復した。
- 2) 足冷浴中から足冷浴後にかけて, 暑熱環境では各部位皮膚温は, 前額部, 指尖部が低下し, 胸部は変化無く, 上腕部, 大腿部は上昇した。一方, 中立環境では前額部, 胸部, 上腕部, 大腿部, 指尖部の皮膚温はほとんど変化がなかった,

- 3) 指尖部皮膚血流量は足冷浴後，暑熱環境より中立環境の方が有意に高かった．
- 4) 自律神経活動は，暑熱環境では，副交感神経活動の亢進が認められたが，中立環境では認められなかった．

引用・参考文献

- 1) 栃原裕, 大中忠勝, 松井住仁, 田中正敏, 吉田敬一 ; 足部冷水浴時の人体反応, 日本生気象学会雑誌, 16(2), 52-52, 1979
- 2) 庄司祐子, 竹森利和 ; 水中浸漬による局所寒冷曝露時の水温が及ぼす生理反応への影響評価, 空気調和・衛生工学会大会, 近畿支部発表会論文集, 2002(0), 135-138, 2003
- 3) 松本勅, 寺沢宗典, 田和宗徳, 山川緑, 西川弘恭, 森本武利 ; 足趾及び手指寒冷血管反応の比較, 日本生気象学会雑誌, 27(1), 17-25, 1990
- 4) 時澤健, 岡龍雄, 安田彰典, 田井鉄男, ソンスヨン, 澤田晋一 ; 暑熱負担を軽減する作業前の実用的かつ簡便な身体冷却方法, 労働安全衛生研究, 8(2) : 79-82, 2015
- 5) 時澤健 ; 熱中症対策の新技术 : 実用志向と未来志向, 労働安全衛生研究, 10(1), 63-67, 2017
- 6) Ramanathan N.L.; A new weighting system for mean surface temperature of the human body, J. Appl. Physiol, 19, 531-533, 1964
- 7) 早野順一郎 ; 心拍変動によるストレス反応の分析, ストレス科学, 10, 76-80, 1995
- 8) 早野順一郎 ; 心拍のゆらぎ, Cardiologist, 1(2), 159-168, 1996
- 9) Pomeranz, B.; Assessment of autonomic function in humans by heart rate spectral analysis, Am. J. Physiol, 248, 151-153, 1985
- 10) 中村和弘 ; 多様な環境ストレスに応じた褐色脂肪熱産生調節の中樞メカニズム, 日本生化学会雑誌, 90(2), 408-412, 2018
- 11) Daanen, H, Ducharme, M.; Finger cold-induced vasodilation during mild hypothermia, hyperthermia and at thermoneutrality, Aviation space and environmental medicine, 70, 1206-1210, 1999
- 12) 今田尚美 ; 安静時の不均一な冷却刺激が体温調節反応と身体感覚に与える影響, 日本生気象学会雑誌, 44(2), 51-62, 2007

- 13) Lee, Y. H., Tokura, H.; Thermophysiological significance and the role of local clothing in ambient 10 °C environments, *Apple, Human Sci.*, 17, 19-26, 1998
- 14) 田中正敏, 針村裕, 梶原裕, 山崎信也, 大中忠勝, 吉田敬一; 人種的観点からみた足冷浴に伴う生理反応, *人類學雜誌*, 90(4), 401-410, 1982
- 15) 針村裕, 梶原裕, 大中忠勝, 松井住仁, 田中正敏, 吉田敬一; 足部冷水浴時の人体反応: 水温差について, *日本生気象学会雑誌*, 17(3), 60, 1980
- 16) Grayson J., Cold and warmth vasoconstrictor responses in the skin of man. *Br. Heart J.*, 13, 167-176, 1951
- 17) 工藤奨, 坂口雄貴, 岩永光一, 隅井千城, 大倉修平, Kamariah. BMI; 寒冷血管拡張反応時の皮膚血流応答に及ぼす環境温の影響, *日本生理人類学会誌*, 17(1), 15-21, 2012
- 18) Bergersen T. K.; Perfusion of the human finger during cold-induced vasodilatation. *Am J Physiol*, 276, 731-737, 1999

第 6 章

冷涼環境下の足部温水浴が身体に 及ぼす生理学的影響

6. 1 緒言

第4章では、発汗を伴う暑熱環境下における足部冷水浴が、深部体温の低下をもたらすことを実験的に検証し、熱中症予防対策としての可能性を提案した。一方、足部温水浴(以下：足温浴と略す)が、深部体温・皮膚温を上昇させ、副交感神経を亢進し、リラクゼーション効果があるという結果は多数報告され、看護・介護や医療分野で応用されている^{1)~5)}。しかし、これらの研究は寒さを感じない中立環境下で行われたものが多く、冷涼環境下においても同様の効果をもたらすか否かは検証されていない。

また、近年冷え症が若年女性にも増加していることが報告されている⁶⁾。冷えとは「体の他の部位はまったく冷たさを感じないような室温において、体の特定部位のみが特に冷たく感じる」と定義されているが⁷⁾、冷えは、主観的な症状であるため、客観的に捉えにくく、「冷え性」と「冷え症」も混在している状態にある⁸⁾。多くの研究者により冷えの定義を明確化・数量化することが試みられているが、未だ診断基準が確立されておらず、末梢部皮膚温が低下しやすいということが共通の特徴として挙げられている^{9)~12)}。

そこで本章では、若年女性を対象に、被験者が冷涼感を感じる20℃、0.4clo(半袖Tシャツとハーフパンツの組み併せ)の条件下での足温浴が、体温調節反応及び自律神経活動に及ぼす影響を検討するとともに、若年女性に冷え性自覚者が多いことに勘案し、被験者を末梢部が冷えやすい人と冷えにくい人に分けて検討し、その差を明らかにしようと考えた。これらを明らかにすることは、足温浴のみならず、冬の寒冷下における足部加温の生理的な意味を問ううえでも重要な課題と考える。このような足部の局所加温に関する基礎研究は、日常生活における衣生活の構築、冷え改善に資する衣服設計・製作を念頭に置くものである。

6. 2 研究方法

6. 2. 1 被験者

被験者は20代の健康な女性13名である。被験者にはあらかじめ、後述のコントロール実験と同一条件の人工気候室に50分間滞在してもらい、口腔温及び7部位の皮膚温を測定した。得られた結果(Fig.6-1)から、四肢末梢部の足趾並びに

指尖の皮膚温が高い7名(点線)と低い6名(実線)の両群に分け,前者を非冷え群(N群),後者を冷え群(H群)として,以下の実験に供した.

Table 6.1 に各群の被験者の身体特性を示す. 冷え群は非冷え群と比べ, BMI 値が有意に下回り, 体型は痩せ型の傾向であった.

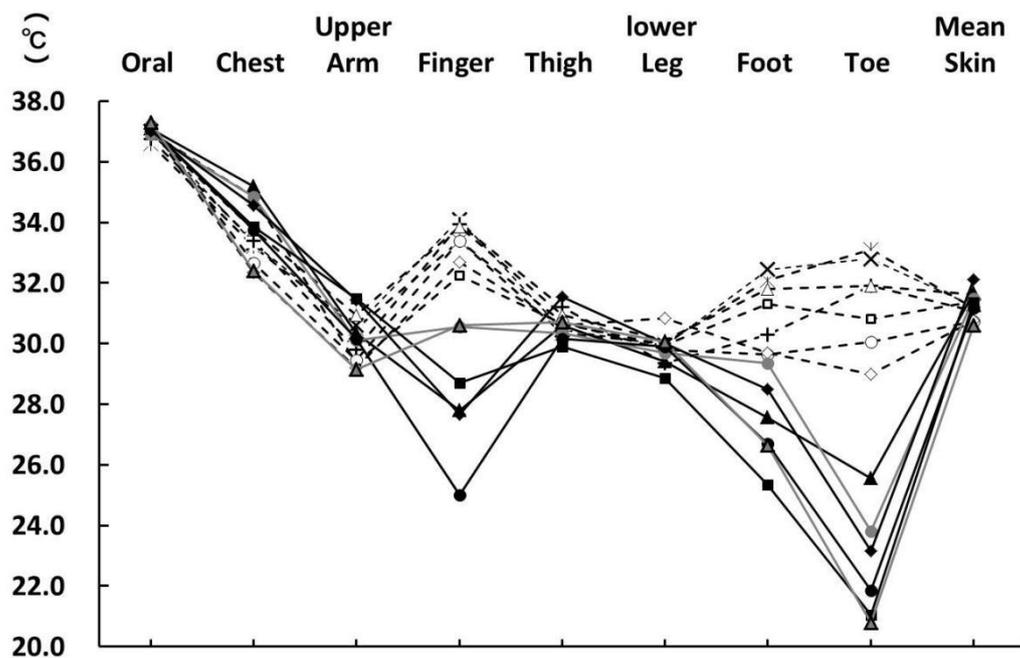


Fig.6-1. Oral and skin temperatures distribution of each subject under 20°C, 50%RH environment.

Table 6.1. Subject characteristics.

Sub. Non hie G	Age	Height(cm)	Weight(kg)	Body surface area(cm ²)	Body fat content(%)	BMI
1	23	160.9	66.8	1.67	37.3	25.8
2	23	161.8	69.2	1.70	34.8	26.4
3	25	163.5	54.3	1.54	28.2	20.2
4	21	153.9	51.6	1.44	26.5	21.8
5	23	160.4	47.5	1.43	24.0	18.6
6	26	167.1	55.8	1.58	26.3	20.0
7	23	158.3	50.4	1.45	24.9	20.2
mean ± SD	23 ± 1	160.8 ± 3.8	56.5 ± 7.7	1.54 ± 0.10	28.9 ± 4.8	21.8 ± 2.8
Sub. Hie G	Age	Height(cm)	Weight(kg)	Body surface area(cm ²)	Body fat content(%)	BMI
8	20	157.4	36.0	1.25	18.0	14.6
9	27	157.2	48.3	1.42	23.1	19.6
10	24	160.4	43.3	1.37	15.5	16.9
11	23	162.0	50.3	1.48	25.9	19.2
12	25	170.6	57.9	1.63	29.8	19.8
13	22	164.4	52.9	1.52	26.2	19.7
mean ± SD	24 ± 2	162.0 ± 4.6	48.1 ± 7.0	1.45 ± 0.12	23.1 ± 4.9	18.3 ± 1.9
Hie G VS Non hie G	NS	NS	NS	NS	NS	*

* : $p < 0.05$

6. 2. 2 環境条件及び着衣条件

人工気候室の環境条件は、気温 $20 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 、相対湿度 $50 \pm 2.0\%$ 、気流 0.2m/sec に設定した。着衣は、各自のブラジャーとショーツに、半袖 T シャツ(綿 100%、ヘインズブランドジャパン株式会社)とハーフハ °ンツ(綿 100%、トムス株式会社)を着用させた。クロー値は $0.4\text{clo}^{13)}$ であった。

実験期間は 2018 年 1 月～3 月に実施した、実験は、各被験者の月経期に配慮し、いずれも黄体期に実施した。また、体温の日内変動を考慮し、避けて 1 人 1 日 1 回、午前 10 : 30～12 : 00 又は午後 1 : 30～3 : 00 のいずれか同一時間帯に実施した。また、特異動的作用に配慮し実験開始前 2 時間以内の食事を禁止した。被験者には書面をもって同意を得るとともに、本実験内容について文化学園大学研究倫理委員会の承認を得た(承認 No : S17C03)。

6. 2. 3 測定方法

(1) 口腔舌下温

深部体温の指標として口腔舌下温(以下：舌下温と略す)を測定した。舌下温はサーミスタ温度計で口腔(舌下の一番奥にある舌小帯の左右どちらか側)の温度を連続的に測定した。データコレクタ(安立計器株式会社, AM - 8051E)で 30 秒毎に測定値を収録した。測定用プローブはポリプロピレン製ストロー(直径 5mm, 長さ 3cm)を熱加工で扁平化させ, 端末はパラフィルム(株式会社エル・エム・エス)で密閉し測定に用いた。

(2) 皮膚温

皮膚温測定部位は, 胸部, 上腕部, 指尖部, 大腿部, 下腿部, 足背部, 足趾部の 7 点である(前額部以外はいずれも左半身の測定とした)。測定にはサーミスタ温度計を用い, データコレクタで 30 秒毎に測定値を収録した。なお, 平均皮膚温(\bar{T}_{sk})は Ramanathan の 4 点法により算定した¹⁴⁾。

$$\bar{T}_{sk}=(30 \text{ 胸 } T_{sk}+30 \text{ 上腕 } T_{sk}+20 \text{ 大腿 } T_{sk}+20 \text{ 下腿 } T_{sk})/100$$

(3) 皮膚血流量

右手第 3 指指尖部の皮膚血流量(以下：指尖部皮膚血流量と略す)については, 二次元レーザー血流計(オメガウェーブ株式会社, OZ-2)を用いて, 経時的变化を測定した。

(4) 局所発汗量

背部第 7 頸椎から下に約 8cm の局所に, 流量補償方式換気カプセル型発汗計(SKINOS 株式会社, SKN-2000)を用いて, 経時的变化を測定した。

(5) 自律神経活動解析

心電図(ECG)は, テレメトリー筋・心電計(MQ-16, キッセイコムテック株式会社)及び多用途生体信号収録装置(キッセイコムテック株式会社, VitalRecorder2)を用いて測定した。測定においては, 右鎖骨下に(-), 左第 5 肋間に(+), 右第 5 肋間にアース(N)の電極配置で行い, ECG を連続的に収録した。ECG データを多

用途生体情報解析プログラム(キッセイコムテック株式会社, BIMUTAS II)により解析, R-R 間隔ならびに周波数分析を行い, 0.04~0.15Hz の低周波数成分(Low Frequency Component, 以下:LF と略す), 0.15~0.46 Hz の高周波数成分(High Frequency Component, 以下:HF と略す)を求めた. HF は副交感神経系活動レベルの指標として, LF/HF は交感神経系活動レベルの指標として評価した. 測定時の呼吸は 15 回/分(0.25Hz)に統制した.

6. 2. 4 実験手順

被験者は所定の衣服を着用し, 人工気候室へ入室, その後身体各部位に約 20 分間でセンサーを貼付し, 30 分間の安静座位を保った後足温浴並びに測定を開始した. 足温浴には 10L 恒温水槽(アズワン株式会社 TR-1A)を用い, 踝の上約 3cm まで温水(平均 4.4L)に浸漬した. 温度は 42°C, 時間は 15 分間とした. 足温浴終了後直ちに乾燥タオルで足部の水を十分に拭き取り, 足部を乾燥タオルの上に置いて 15 分の安静座位を保ち, 実験終了とした(Fig.6-2). 人工気候室入室後足温浴無しで同様の時間を過ごした場合をコントロール条件, 温水を負荷した場合を足温浴条件とした. 実験風景を Fig.6-3 にする.

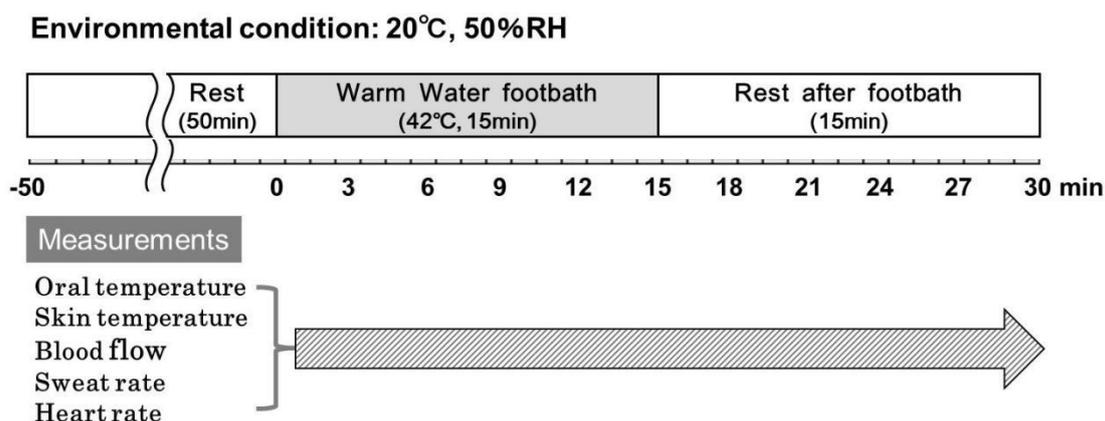


Fig.6-2. Procedure of the experiment.



Fig.6-3. Experiment scene.

なお、実験前・足温浴中(実験前半)・足温浴後(実験後半)の温冷感、快適感の主観申告については、実験中は舌下温の測定、指尖温・血流量の測定のため申告が困難であったため、終了後被験者に思い出してもらい、申告させた。評価に用いた言語尺度は Table 6.2 に示す通りである。温冷感の尺度は、-4(非常に寒い)、-3(寒い)、-2(涼しい)、-1(やや涼しい)、0(どちらともいえない)、+1(やや暖かい)、+2(暖かい)、+3(暑い)、+4(非常に暑い)の 9 段階で、快適感の尺度は、0(快適)、+1(やや不快)、+2(不快)、+3(非常に不快)、+4(極めて不快)の 5 段階とした。

Table 6.2. Subjective ratings of sensory evaluation.

Thermal		Comfort	
4	Very hot	4	Extremely uncomfortable
3	Hot	3	Very uncomfortable
2	Warm	2	Uncomfortable
1	Slightly warm	1	Slightly uncomfortable
0	Neutral	0	Comfortable
-1	Slightly cool		
-2	Cool		
-3	Cold		
-4	Very cold		

6. 2. 5 統計学的解析

すべての測定データは各被験者の0分時の測定値を初期値とし、そこからの変化量について解析を行った。冷え群と非冷え群別に、時間経過に伴う3分毎の変化の平均値±標準誤差を求めた。各群の時間変化については一元配置分散分析、両群間の比較については二元配置分散分析を行い、いずれも1%、5%の危険率を持って有意差があるとした。

6. 3 結果

6. 3. 1 測定開始時の体温調節水準

各群の測定開始時(足温浴前)測定値の平均値±標準誤差をTable 6.3に示す。両群ともに、舌下温は $37.0 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ と正常範囲にあり、胸部、上腕部、大腿部、下腿部皮膚温と平均皮膚温は両群間に差がなかった。しかし、平均皮膚温は 31.41°C 、 31.14°C といずれも快適条件といわれる $33.0^{\circ}\text{C}^{15)}$ をやや下回り、発汗は不感蒸散の域にあることから、本実験で設定した環境条件は、目標通り今回の被験者にとって、中立温域の下限即ち体温調節の下臨界条件近辺に相当することが確認された。中でも非冷え群の末梢部皮膚温の平均は 30°C 以上に維持されているのに対し、

冷え群では末梢部皮膚温が非冷え群より有意に低く、28℃から 22℃まで低下していた。また、指尖部皮膚血流量も冷え群の方が非冷え群に比べて有意に低かった。したがって足温浴前の体温調節レベルは非冷え群ではやや涼しいと感じるレベル、冷え群では涼しいよりやや寒いと感じるレベルと考えられた。しかし、その他の測定項目には、両群間に有意な差は見られなかった。

Table 6.3. Actual value of each date at starting to measure.

Measurements	Hie G (mean±SEM)		Non_hie G (mean±SEM)
Oral Temperature (°C)	37.1 ± 0.1		37.0 ± 0.1
Skin Temperature (°C)			
Chest (°C)	34.1 ± 0.4		33.4 ± 0.3
Upper Arm (°C)	30.5 ± 0.4		30.0 ± 0.3
Thigh (°C)	30.5 ± 0.2		30.7 ± 0.1
lower Leg (°C)	29.7 ± 0.2		30.0 ± 0.2
Finger (°C)	28.4 ± 0.9	**	33.4 ± 0.3
Toe (°C)	22.7 ± 0.7	**	31.4 ± 0.6
Foot (°C)	27.4 ± 0.6	**	31.0 ± 0.4
Mean Skin Temperature (°C)	31.4 ± 0.2		31.1 ± 0.1
Skin Blood Flow (a.u)	3.4 ± 0.6	*	6.0 ± 0.4
Sweat Rate (mg/min)	0.03 ± 0.00		0.03 ± 0.00
Analysis of Heart Rate Variability			
R-R interval (msec)	802.9 ± 24.1		788.1 ± 28.5
High Frequency Components (mv · msec)	19877 ± 4538		24408 ± 5148
Low Frequency Components/ High Frequency Components	1.6 ± 0.4		1.9 ± 0.2

* : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$

6. 3. 2 舌下温の変化

測定開始時の初期値を 0 とした時の各群・各条件下の舌下温の経時変化を平均値±標準誤差によって Fig.6-4 に示す。図中灰色背景部分は足温浴中を表し、△は冷え群のコントロール条件(CH)、▲は冷え群の足温浴条件(WH)、○は非冷え群のコントロール条件(CN)、●は非冷え群の足温浴条件(WN)の結果を示してい

る. また $n=13$, 経時変化の有意差は, *印で示し($*p<0.05$, $**p<0.01$), コントロール条件と足温浴条件間の有意差は, ※印で示した($*p<0.05$, $**p<0.01$).

舌下温はコントロール条件の場合, 両群ともに前半の 15 分間はほとんど変化しないが, 15 分を超えると徐々に低下した. 一方, 足温浴条件では足温浴中に両群とも有意に低下し($p<0.01$), 足温浴後は, 非冷え群では温度が横ばいとなるのに対し, 冷え群では更に低下し, 15 分間で 0.10°C , 30 分後には 0.18°C の温度低下を示した. 冷え群については足温浴中, 足温浴後ともにコントロール条件との間に有意な低下が認められた($p<0.01$).

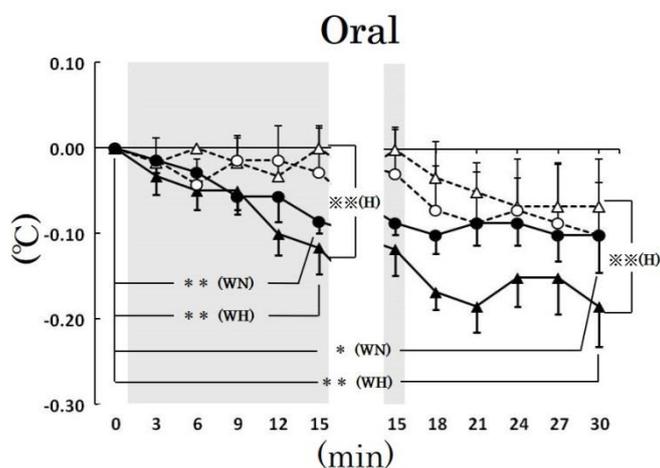


Fig.6-4. Changes in oral temperature during warm water footbath under 20°C , 50% RH environment.

△ : Hie group (CH), ▲ : Hie group with Footbath (WH);

○ : Non hie group (CN), ● : Non hie group with Footbath (WN);

mean \pm SEM ($n=13$). * : $p<0.05$, ** : $p<0.01$; ※ : $p<0.05$, ※※ : $p<0.01$.

△は冷え群のコントロール条件(CH), ▲は冷え群の足温浴条件(WH), ○は非冷え群のコントロール条件(CN), ●は非冷え群の足温浴条件(WN)の結果を示している. また $n=13$, 経時変化の有意差は, *印で示し($*p<0.05$, $**p<0.01$), コントロール条件と足温浴条件間の有意差は, ※印で示した($*p<0.05$, $**p<0.01$).

6. 3. 3 各部位皮膚温・平均皮膚温の変化

上半身皮膚温の経時変化を Fig.6-5～Fig.6-6 に示す.

胸部皮膚温については,コントロール条件の場合両群ともにほとんど変化せず,足温浴条件においても冷え群はコントロール条件と有意差を示さないのに対し,非冷え群では足温浴によって有意に温度低下し($p < 0.01$),コントロール条件との間にも有意差が認められた($p < 0.05$).その後温度を維持し,30分後もなお有意な温度低下を示した($p < 0.05$).

上腕部皮膚温については,コントロール条件と足温浴条件ともに,また非冷え群・冷え群ともに低下傾向を示し,いずれも有意に低下したが($p < 0.05$),足温浴条件とコントロール条件の間には有意な差が認められなかった.

指尖部皮膚温については,コントロール条件の場合,非冷え群は大きな変動がないのに対し,冷え群は30分間で,2.86°Cもの有意な低下を示した($p < 0.01$).また足温浴条件の場合,足温浴中に非冷え群は1.04°C,冷え群は3.73°Cと,両群とも有意に温度低下した($p < 0.01$).足温浴後,非冷え群は1.45°C低下し,冷え群は更に2.39°C有意に低下した($p < 0.05$).足温浴中及び足温浴後,両群ともコントロール条件との間に有意差を示した($p < 0.01$).

下肢部皮膚温の経時変化を Fig.6-7～Fig.6-8 に示す.

大腿部皮膚温はコントロール条件・足温浴条件とも,また両群とも,経時的には有意な低下を示すが($p < 0.01$),条件による差は認められなかった.

下腿部皮膚温はコントロール条件では両群ともに経時的に低下するのに対し,足温浴条件では足温浴中大きく上昇し,その後低下に転じた.15分後及び30分後,両群とも両条件間に有意差が認められた($p < 0.01$).

足背部皮膚温はコントロール条件の場合冷え群・非冷え群ともに,少しずつではあるが経時的に有意に低下した($p < 0.01$).一方,足温浴条件の場合両群とも足温浴中に皮膚温は急激に上昇したが,冷え群の上昇度の方が大であった.これは加温前の皮膚温が冷え群の方が低かったことを反映している.足温浴後は速やかに温度が低下したが,30分後もなおコントロール条件より有意に高い皮膚温が維持された($p < 0.01$).この時冷え群の方がコントロール条件との差が大きいまま維持された.

足趾部皮膚温はコントロール条件の場合，冷え群はほぼ一定の値を維持していたが，非冷え群は経時的に有意に低下した($p < 0.01$)。足温浴条件の場合は足背部皮膚温と同様な挙動を示した。

以上のように，本実験における設定環境下のコントロール条件では，冷え群・非冷え群ともに身体各部位皮膚温は時間とともに低下するレベルにあり，上腕部，大腿部，下腿部，足背部皮膚温は有意に低下した。皮膚温の低下度は，冷え群が指尖部 > 足背部 > 上腕部 > 下腿部 > 大腿部 > 足趾部 > 胸部の順であるのに対し，非冷え群が足趾部 > 指尖部 > 足背部 > 下腿部 > 大腿部 > 上腕部 > 胸部の順であった。冷え群で足趾部の低下が小さいのは，冷涼下で最初に冷える足趾部は測定前の 50 分間ですでに血管収縮による低下が最大に達していたためと考えられる。

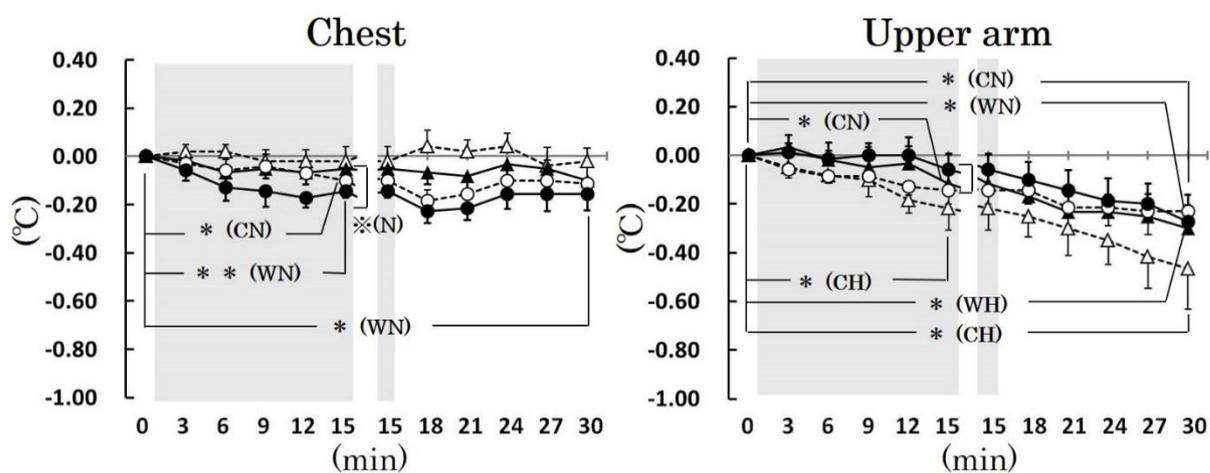


Fig.6-5. Changes in upper arm and chest temperatures during warm water footbath under 20°C, 50%RH environment.

△ : Hie group (CH), ▲ : Hie group with Footbath (WH);

○ : Non hie group (CN), ● : Non hie group with Footbath (WN);

mean ± SEM (n=13). * : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$; ※ : $p < 0.05$, ※※ : $p < 0.01$.

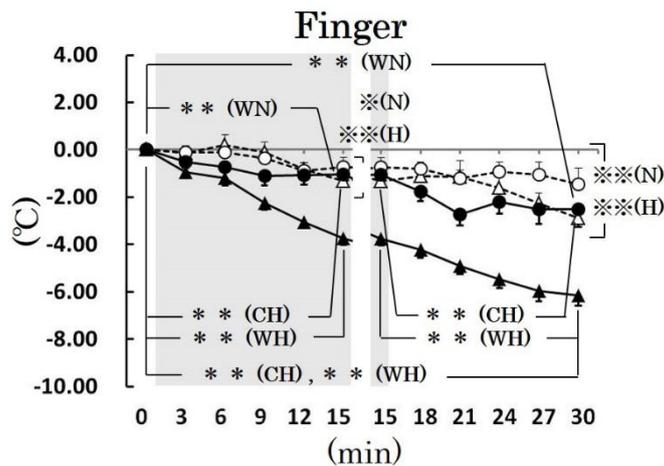


Fig.6-6. Changes in finger temperature during warm water footbath under 20°C, 50% RH environment.

△ : Hie group (CH), ▲ : Hie group with Footbath (WH);
 ○ : Non hie group (CN), ● : Non hie group with Footbath (WN);
 mean ± SEM (n=13). * : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$; ※ : $p < 0.05$, ※※ : $p < 0.01$.

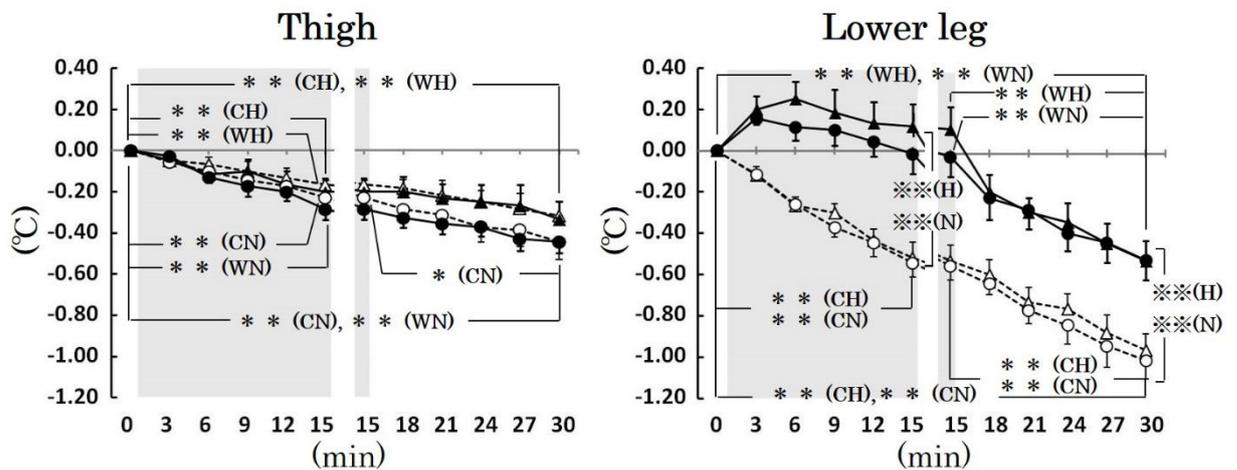


Fig.6-7. Changes in thigh and lower leg temperatures during warm water footbath under 20°C, 50% RH environment.

△ : Hie group (CH), ▲ : Hie group with Footbath (WH);
 ○ : Non hie group (CN), ● : Non hie group with Footbath (WN);
 mean ± SEM (n=13). * : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$; ※ : $p < 0.05$, ※※ : $p < 0.01$.

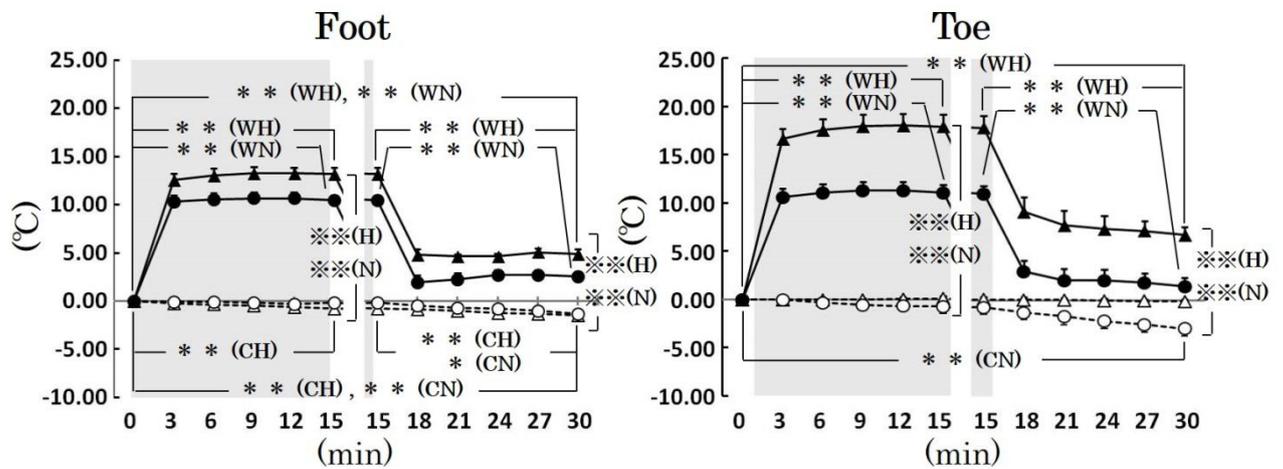


Fig.6-8. Changes in foot and toe temperatures during warm water footbath under 20°C, 50% RH environment.

△ : Hie group (CH), ▲ : Hie group with Footbath (WH);

○ : Non hie group (CN), ● : Non hie group with Footbath (WN);

mean ± SEM (n=13). * : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$; ※ : $p < 0.05$, ※※ : $p < 0.01$.

平均皮膚温の経時変化を Fig.6-9 に示す. いずれの条件においても平均皮膚温は経時的に有意に低下した($p < 0.01$). また, 冷え群・非冷え群ともに, 足温浴による下腿部の顕著な温度上昇を反映して, 平均皮膚温はコントロール条件より足温浴条件で上昇し, その効果は足温浴終了後もなお継続し, 両条件間に有意な差が認められた($p < 0.01$).

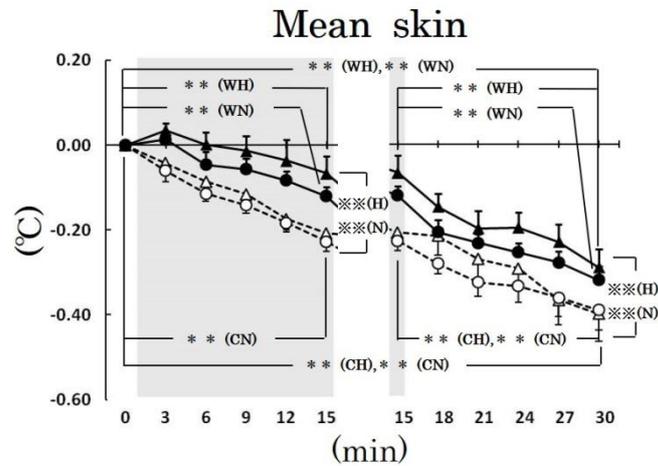


Fig.6-9. Changes in mean skin temperature during warm water footbath under 20°C, 50%RH environment.

△ : Hie group (CH), ▲ : Hie group with Footbath (WH);

○ : Non hie group (CN), ● : Non hie group with Footbath (WN);

mean ± SEM (n=13). * : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$; ※ : $p < 0.05$, ※※ : $p < 0.01$.

6. 3. 4 皮膚血流量・発汗量の変化

指尖部皮膚血流量の経時変化を Fig.6-10(左)に示す. コントロール条件の場合, 冷え群の血流量は 15 分まではやや増加し, その後減少に転じたが有意差はなかった. 一方, 非冷え群は経時的に有意に低下した($p < 0.05$). 足温浴条件の場合は, 冷え群の血流量は足温浴中に有意に減少し($p < 0.05$), 足温浴中及び足温浴後ともに, コントロール条件との間に有意差が認められた($p < 0.01$). 非冷え群では足温浴中, 足温浴後ともに有意に減少したが($p < 0.01$), コントロール条件との間の有意差は見られなかった.

背部発汗量の経時変化を Fig.6-10(右)に示す. 環境条件が冷涼であるため, いずれの条件においても不感蒸散の域にあり, 顕著な変化は認められなかった.

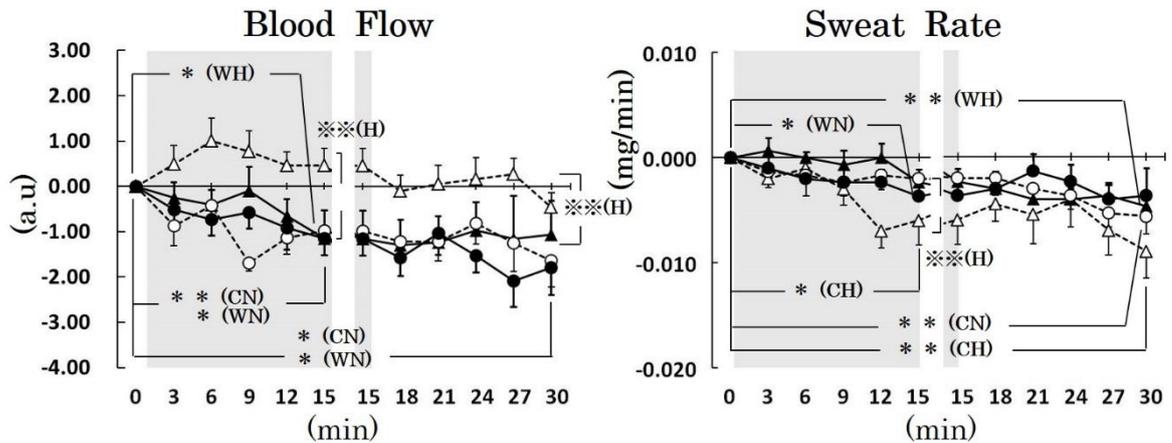


Fig.6-10. Changes in blood flow and sweat rate during warm water footbath under 20°C, 50%RH environment.

△ : Hie group (CH), ▲ : Hie group with Footbath (WH);

○ : Non hie group (CN), ● : Non hie group with Footbath (WN);

mean ± SEM (n=13). * : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$; * : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$.

6. 3. 5 自律神経系活動の変化

自律神経系の指標である R-R 間隔, HF, LF/HF の経時変化を Fig.6-11 ~ Fig.6-12 に示す. R-R 間隔については, コントロール条件の場合, 両群とも上昇し, 特に非冷え群では初めの 15 分間に有意な上昇が見られた ($p < 0.05$). 足温浴条件においても, 両群ともに上昇し, 非冷え群は足温浴中, 足温浴後ともに有意な上昇が見られた ($p < 0.05$). しかし, 両群ともにばらつきが大きく, 足温浴による上昇傾向は見られるものの, 有意差は認められなかった.

HF は, コントロール条件の場合, 非冷え群は有意に上昇したが, 冷え群はほとんど変化していなかった. これに対し, 足温浴条件の場合, 非冷え群はほぼ変動がなく, 冷え群は足温浴中やや上昇し, 足温浴後低下に転じた. 非冷え群では有意差は見られないものの, 足温浴中も足温浴後も足温浴によって HF が低下する傾向が見られた. 反対に, 冷え群では足温浴中にコントロール条件より足温浴条件で上昇する傾向が見られたが, いずれもばらつきが大きく, 有意な差は認められなかった.

LF/HF は、冷え群の場合、足温浴中も足温浴後もコントロール条件より足温浴条件で低下し、足温浴後両条件間に有意差が認められた($p < 0.01$)。非冷え群については一定の傾向が認められなかった。

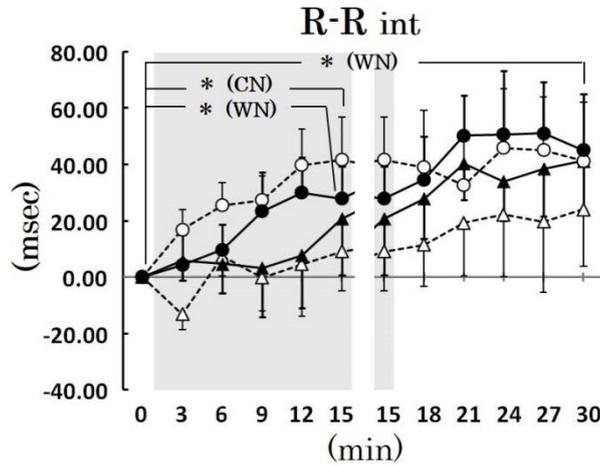


Fig.6-11. Changes in R-R int. during warm water footbath under 20°C, 50% RH environment.

△ : Hie group (CH), ▲ : Hie group with Footbath (WH);
 ○ : Non hie group (CN), ● : Non hie group with Footbath (WN);
 mean ± SEM (n=13). * : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$; * : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$.

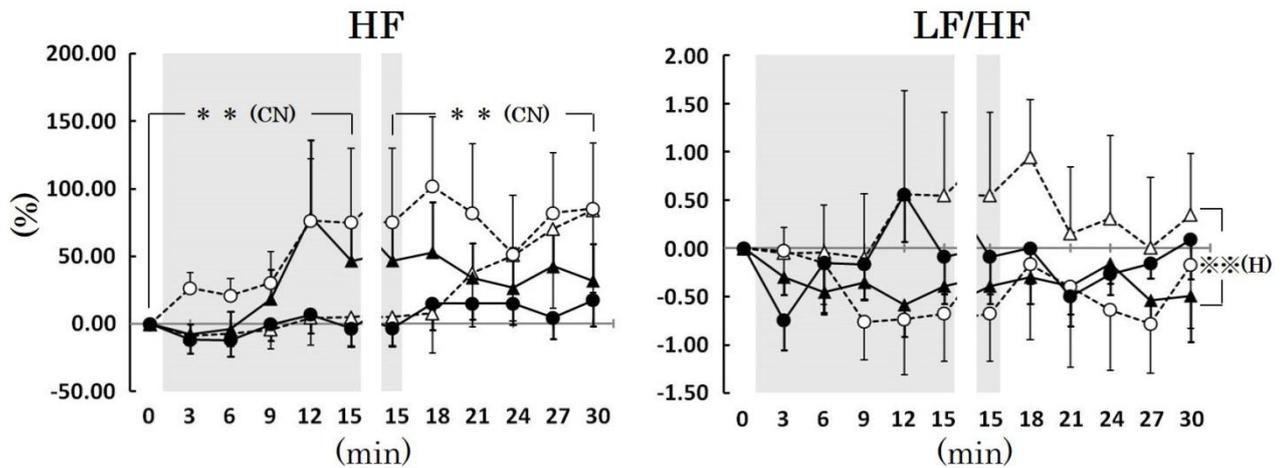


Fig.6-12. Changes in HF and LF/HF during cold water footbath under 20°C, 50% RH environment.

△ : Hie group (CH), ▲ : Hie group with Footbath (WH);

○ : Non hie group (CN), ● : Non hie group with Footbath (WN);

mean ± SEM (n=13). * : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$; * : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$.

6. 3. 6 温冷感・快適感の変化

実験期間中の温冷感・快適感の変化を Table 6.4~Table 6.5 に示す. 実験前即ち 20℃環境に 50 分間滞在した後, 冷え群では温冷感 - 2.2, 快適感 2.0, 非冷え群で温冷感 - 1.3, 快適感 1.3 と, 冷え群の方がより涼しく不快を感じていた. 以降, コントロール条件ではいずれの群も次第に涼しいから寒いに, 及びやや不快から不快に向けて進行した. 実験終了時に, 冷え群で温冷感 - 3.3, 快適感 2.8, 非冷え群で温冷感 - 2.9, 快適感 2.4 と寒さ, 不快を申告していた. これに対し, 足温浴により, 冷え群で温冷感 1.7, 快適感 0.50, 非冷え群で温冷感 1.0, 快適感 0.7 になり, 温冷感は上昇し, 不快感は低下した. 足温浴終了後 15 分経過しても冷え群で温冷感 0.7, 快適感 0.7, 非冷え群で温冷感 0, 快適感 0.9 と寒さが緩和された.

Table 6.4. Thermal sensory evaluation of each subject during experiment.

	Rest	Control		Footbath	
Sub. Non_hie G	50 min	Rest 15 min	Rest 15 min	Footbath 15 min	Rest 15 min
1	-1	-2	-3	0	0
2	-1	-2	-3	0	-1
3	-1	-2	-3	1	-1
4	-1	-2	-3	1	-1
5	-2	-2	-3	2	1
6	-1	-2	-2	1	1
7	-2	-2	-3	2	1
mean ± SD	-1.3 ± 0.5	-2.0 ± 0.0	-2.9 ± 0.3	1.0 ± 0.8	0.0 ± 0.9
Sub. Hie G	50 min	Rest 15 min	Rest 15 min	Footbath 15 min	Rest 15 min
8	-2	-3	-3	1	-1
9	-2	-3	-3	2	1
10	-2	-3	-4	2	2
11	-2	-3	-4	1	1
12	-3	-3	-3	2	0
13	-2	-2	-3	2	1
mean ± SD	-2.2 ± 0.4	-2.8 ± 0.4	-3.3 ± 0.5	1.7 ± 0.5	0.7 ± 0.9

Table 6.5. Comfort sensory evaluation of each subject during experiment.

Sub. Non_hieG	Rest	Control		Footbath	
	50 min	Rest 15 min	Rest 15 min	Footbath 15 min	Rest 15 min
1	1	2	3	1	0
2	2	2	3	1	1
3	1	1	2	0	1
4	0	1	2	1	2
5	1	2	3	1	1
6	2	2	2	1	1
7	2	2	2	0	0
mean ± SD	1.3 ± 0.7	1.7 ± 0.5	2.4 ± 0.5	0.7 ± 0.5	0.9 ± 0.6
Sub. Hie G	50 min	Rest 15 min	Rest 15 min	Footbath 15 min	Rest 15 min
8	1	2	2	0	0
9	2	3	3	0	1
10	2	3	4	1	1
11	3	3	3	1	0
12	2	2	2	1	1
13	2	3	3	0	1
mean ± SD	2.0 ± 0.6	2.7 ± 0.5	2.8 ± 0.7	0.5 ± 0.5	0.7 ± 0.5

6. 4 考察

足温浴は中立環境下でよく行なわれている。看護，老人ホーム介護施設の入所者，入院患者を主な対象とし，保温効果，入眠効果，リラクゼーション効果について多く証明されている^{1)~5)}。また，足温浴は冷えや寒さに対する身体加温の手法としても行われているが，冬の寒冷下における事例は少ない。また，若年女性に冷え性自覚者が多いことを勘案し，足温浴が冷え性対策として有効かどうかを明らかにしようとするものである。更に，最近では若年女性の冷え性自覚者が50%に達するとの報告があり¹⁶⁾，冷涼環境の実験では被験者の冷え特性が結果に影響することが予想された。そこで本章では，若年女性13名の，冷涼環境における足趾部皮膚温を基準にして，皮膚温が低い「冷え群」と，比較的高い「非冷え群」に分類し，その影響についても検討した。

今回の冷涼環境は，コントロール条件の結果からも分かるように，実験前に同条件に50分滞在したにもかかわらず，その後の30分間でもほとんどの部位の皮

膚温が経時的に低下しており、完全な定常状態にはなかったことが示されていた。コントロール条件の舌下温は30分間で0.07~0.10℃低下し、同様な条件下での実験を実施したKhanら¹⁷⁾、栃原ら¹⁸⁾、高島ら¹⁹⁾の報告と一致した。冷涼又は寒冷実験で完全な平衡状態まで待つことは、被験者の負担・健康への配慮から困難であり、また現実的にもそのような状況は考えにくいことから、定常に準ずる条件として今回の環境温度・着衣・曝露時間が設定された。

結果を見ると、20℃環境に50分滞在後の足温浴は、冷え群・非冷え群ともに、浸漬した足部及び下腿部の皮膚温を上昇させ、平均皮膚温を上昇させるため、全身の温冷感も「涼しい・寒い」から「暖かい・やや暖かい」まで上昇させる効果のあることが示された。特に足温浴前の末梢部皮膚温がより低い冷え群では、非冷え群より皮膚温の上昇度が大きく、その分温度感覚の上昇も大きい事が示された¹⁵⁾。Vokacら²⁰⁾は平均皮膚温と全身温冷感との間に0.94の高い相関があると報告したが、今回の結果はこれを支持するものであった。

しかし一方、舌下温については、15分間の足温浴で冷え群は0.12℃、非冷え群は0.09℃、更に足温浴後も低下し続け、30分後には冷え群で0.18℃、非冷え群で0.10℃と、低下の程度は冷え群の方が大きいことが明らかになった。冷え群・非冷え群共にコントロール条件と足温浴条件間には有意な差があり、冷涼環境下の足温浴によって深部体温が低下すること、しかも、その低下度は冷え群でより大きい事が示された。

第4章では、暑熱環境下の足部冷水浴で深部体温が低下することを確認し、その理由としては、暑熱環境では足部の動静脈脈吻合(Arteriovenous Anastomosis, 以下:AVAと略す)が開き、皮膚を流れる血流量が大となっているため、足部冷水浴では血流により運ばれる大量の熱が人体から流水に移動し、温度低下した静脈血の還流によって深部体温が低下したと考察した。今回の冷涼環境下の結果、足部を温水に浸漬したにもかかわらず、深部体温が低下したのはなぜか、冷涼環境ではAVAは閉じ、対向流熱交換のため末梢部の動脈血の温度も低下するため足部皮膚温が低下している。事実、冷え群では22℃、非冷え群でも30℃と末梢部皮膚温は低く、42℃の温水との間に12℃以上の差があるため、AVAが閉じていることによる対流熱移動は少ないとしても、足温浴による伝導熱の流入があれば、少なくとも深部温が低下するとは考えにくい。

その理由としては、温熱性血管収縮反応(Heat Induced Vasoconstriction, 以下: HIVC と略す)が考えられる。HIVC は手足を体温より高く加温すると体内への熱流入を防ぐために、皮膚血管が収縮する反応と定義され、関連の研究が報告されている^{21), 22)}。平田ら²³⁾は、この反応は局所性の反応ではなく、交感神経を介した全身皮膚で起こる血管収縮反応と結論付けている。今回の実験では、42℃という体温より高い温水に急激に足部を浸漬させた結果、足温浴に伴う指先血流量の冷え群における有意な低下、非冷え群における低下の傾向、足温浴による熱流入の影響を受けていない胸部皮膚温、指尖皮膚温の有意な低下などを生じた。このHIVCにより、皮膚表面の冷たい血液が体内に流入することによって、深部体温の低下を招いたと考察することができる。末梢皮膚温の低下が顕著であった冷え群の方が、より大きな深部体温の低下を起こしたことも理解できる。

自律神経活動について、岡本ら²⁴⁾、吉永ら²⁵⁾、中山ら²⁶⁾は、足温浴の効果に関する研究¹⁷⁾で、自律神経活動を亢進、リラクゼーション効果を報じているが、今回はこのような効果を明確に見出すことはできなかった。R-R 間隔、HF ともにコントロール条件と足温浴条件間の有意差はなかったが、冷え群についてはHFで、足温浴時に上昇する傾向が、またLF/HFでは、足温浴による有意な低下、即ち交感神経の抑制が見られた。末梢の皮膚温低下が著しい冷え群では、足温浴による副交感神経優位のリラクゼーション効果があることが示唆された。非冷え群については、むしろ足温浴中のHFの抑制傾向が見られるが、これは足温浴効果とHIVCによる交感神経亢進とが相殺された結果とも考えられる。

なお、実験終了後実施した温冷感、快適感など被験者からの主観申告によると、両群とも「足温浴中は暖かく、やや不快」、「足温浴後はやや暖かく、やや不快」となって、冷え群では非冷え群より「暖かい」を申告する者が多かった。これらの申告は、自律神経活動の変化とよく符合している。温冷感について、宮本ら²⁷⁾温刺激または冷刺激を与える面積が大きいほど、温感受性または冷感受性の閾値は小さいと報じている。今回の結果に、体表面積による受熱面積の違いが反映していることも考えられるが、肥瘦度による体表面積の差は主として皮下脂肪蓄積の大きい体幹部で大きく、皮下脂肪の少ない足部での影響は僅少であり、これについては今後の課題としたい。

以上により，冷涼環境下の足温浴は温水接触部周辺及び平均皮膚温が上昇し，感覚的には一時的な快感をもたらす，特に冷え群では副交感神経の亢進と交感神経の抑制によるリラクゼーション効果も期待できるが，一方，生理的には深部体温の低下，皮膚血流量の減少を招き，低体温化など健康上の危惧があること，特に末梢が冷えやすい人に，そのリスクが大きいことが示唆された．足温浴は手軽な方法であるが，実施する場合は，環境条件と着衣等への配慮が必要なことが明らかとなった．

6. 5 総括

本章では，冷涼環境下 20℃，50%RH に設定した人工気候室内に，0.4clo 着衣（半袖 T シャツとハーフパンツ）の健康な 20 代女性 13 名を対象に，42℃，15 分間の足部温水浴を行い，舌下温，皮膚温，指尖部皮膚血流量，背部発汗量及び心拍変動を測定し，体温調節反応及び自律神経活動に及ぼす影響を検討した．また，被験者を末梢部冷えやすい冷え群と冷えにくい非冷え群に分類し，冷え体質への影響を検討した．次のような結果を得た．

- 1) 足温浴により舌下温と指尖部皮膚温は両群とも有意に低下し，低下度は冷え群の方が大であった．
- 2) 足部及びその近位にある下腿部皮膚温は両群とも上昇し，その結果として平均皮膚温も有意に上昇した．
- 3) 指尖部皮膚血流量は，両群とも有意な減少が認められた．
- 4) 自律神経活動は，両条件とも副交感神経活動の亢進が認められなかった．
- 5) 本実験の結果より，冷涼環境の足温浴は感覚的には一時的な快感をもたらすが，深部体温である舌下温及び皮膚血流量の低下を招くことから，末梢部が冷えやすい人にとって，健康上のリスクが大きいことが示唆された．

引用・参考文献

- 1) 深井喜代子, 前田ひとみ ; 基礎看護学テキスト EBN 志向の看護実践, 南江堂, 東京, p227, 1995
- 2) Saeki Y., Nagai N., Hishinuma M.; Effects of foot-bathing on autonomic nerve and immune function *Complementary, Therapies in Clinical Practice*, 13, 158-165, 2007
- 3) 大滝周, 川嶋昌美, 高木睦子, 津川博美, 福岡絵美, 浅野和仁 ; 足浴が体温に及ぼす影響について, 昭和学士会雑誌, 77(1), 82-87, 2017
- 4) 平松則子, 大吉三千代, 川島みどり, 菱沼典子, 香春知永, 操華子 ; 入眠を促す援助としての足浴の効果について : 足浴が及ぼす生理的変化, 日本看護科学会誌, 14(3), 208-209, 1994
- 5) 秋山雅代 ; 足浴の効果における実験プロトコルに関する文献レビュー, *Bulletin of Hokkaido University of Science*, 41, 217-222, 2016
- 6) 大和孝子, 青峰正裕 ; 女子大学生における冷え症と身体状況および生活環境との関連, 総合健診, 29(5), 878-884, 2002
- 7) 物部博文 ; 心理学的手法による冷え性定量化の提案, 日本生理人類学会誌, 14(2), 43-50, 2009
- 8) 松木優姫, 堀雅子 ; 冷えを感じやすい成人女性を対象とした加温衣服による温熱生理機能補助の効果, 日本衣服学会誌, 57(1), 23-34, 2013
- 9) 後山尚久 ; 冷え症の病態の臨床的解析と対応, 医学のあゆみ, 215(11), 925-929, 2005
- 10) 西川桃子, 我部山キヨ子 ; 冷え症の定義, 測定, 特徴および妊婦の冷え症に関する文献レビューと今後の研究の方向性, 京都大学医学部保健学科紀要, 6, 57-65, 2009
- 11) 安岡絢子, 久保博子, 磯田憲生 ; 夏季の冷房使用による冷えの性差に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-2, 513-514, 2010
- 12) 佐藤真理子, 田村照子 ; 冷え症者の末梢部皮膚温と温冷覚閾値の検討, 人間-生活環境系シンポジウム報告集, 30, 101-104, 2006

- 13) オレセン B. W., 長谷部ヤエ, デア R. DE ; 衣服の熱抵抗の非対称と熱的快適性, 人間-熱環境系シンポジウム報告集, 11, 2-5, 1987
- 14) Ramanathan N. L.; A new weighting system for mean surface temperature of the human body., *J. Appl, Physiol*, 19, 531-533, 1964
- 15) Fanger, P.O.; Assesment of man's thermal comfort in practice, *British Journal of Industrial Medicine*, 30, 313-32, 1973
- 16) 大和孝子, 青峰正裕 ; 女子大学生における冷え症と食習慣との関連, *総合健診*, 30(3), 323-328, 2003
- 17) Khan F.; Cutaneous vascular responses and thermoregulation in relation to age, *Clinical Science*, 82, 521-528, 1992
- 18) 栃原裕, 大中忠勝, 山崎信也, 田中正敏, 吉田敬一 ; 寒冷曝露時及び回復時の心拍数体温変動の特徴, *Anthropological Science*, 90(4), 411-419, 1982
- 19) 高島慎助, 佐藤尚武, 沢井敬子 ; 短時間の全身寒冷曝露による循環及び体温の変化, *体力科学*, 32(3), 87-96, 1983
- 20) Vokac Z., KØpke V., Keul P.; Effect of cooling of peripheral parts of the body on general thermal comfort, *Textile Research Journal* October, 827-833, 1971
- 21) Hirata, K. Nagasaka, T. Nunomura, T. Cabanac, M.; Local thermal sensation and finger vasoconstriction in the locally heated, *Eur. J. Appl., Physiol*, 58, 92-96, 1988
- 22) Nagasaka, T. Cabanac, M. Hirata, K. Nunomura, T.; Heat-induced vasoconstriction in the fingers: a mechanism for reducing heat gain through the hand heated locally, *Pflugers, Arch*, 407, 71-75, 1986
- 23) 平田耕造, 田中香利, 三井由希子 ; 下肢足温浴中全身皮膚に生じる温熱性皮膚血管収縮反応, *日生氣誌*, 36(3), 49-49, 1999
- 24) 岡本佐智子, 江守陽子 ; リラクゼーションを目的とした足浴の効果に関する看護研究の検討, *埼玉県立大学紀要*, 11, 71-77, 2009
- 25) 吉永亜子, 吉本照子 ; 睡眠を促す援助としての足浴についての文献検討, *日本看護技術学会誌*, 4(2), 4-13, 2005

- 26) 中山栄純, 小林宏光, 滝内隆子; 睡眠の援助としての足浴の効果に関する文献的検討, 石川看護雑誌, 1, 65-68, 2004
- 27) 宮本征一, 大浦理沙; 背部および腰部における温・冷刺激面積の違いによる温・冷感受性の差異に関する研究, 人間-生活環境系シンポジウム報告集, 38, 95-98, 2014

第 7 章

中立環境下の足部温水浴が身体に

及ぼす生理学的影響

— 冷涼環境との比較 —

7. 1 緒言

第 6 章では、冷涼環境下の足部温水浴(以下：足温浴と略す)は、深部体温、皮膚温及び皮膚血流量の低下をもたらすことを実験的に検証した。

本章では、中立環境下における足温浴を実施し、前章に記した冷涼環境条件における足温浴を比較対象とし、異なる環境下の足温浴が体温調節反応及び自律神経活動に及ぼす影響を検証する。

7. 2 研究方法

7. 2. 1 被験者及び実験環境

被験者は健康な女性 13 名で、平均年齢は 23 ± 2 歳(平均値 \pm 標準偏差)、身長 161.4 ± 4.2 cm, 体重 52.6 ± 8.5 kg, 体格指数(BMI) 20.2 ± 3.0 である(Table 7.1). 人工気候室の環境条件は中立環境条件とし、気温 27 ± 0.5 °C, 相対湿度 60 ± 2.0 %, 気流 0.2 m/sec に設定した。被験者の着衣は、各自のブラジャーとショーツに、半袖 T シャツ(綿 100%, ヘインズブランドジャパン株式会社)とハーフパンツ(綿 100%, トムス株式会社)を着用させ、クロー値は 0.4 clo¹⁾であった。

実験期間は、2017 年 9 月～11 月に実施した。実験は各被験者の月経期に配慮し、いずれも黄体期に実施した。また、体温の日内変動を考慮し、1 人 1 日 1 回、午前 10:30～12:00 又は午後 1:30～3:00 のいずれか同一時間帯に実施した。また、特異動的作用に配慮し、実験開始前 2 時間以内の食事を禁止した。被験者には書面をもって同意を得るとともに、本実験内容について文化学園大学研究倫理委員会の承認を得た(承認 No: S17C03)。

Table 7.1. Subject characteristics.

Sub.	Age	Height (cm)	Weight (kg)	Body fat content (%)	BMI
1	23	160.9	66.8	37.3	25.8
2	23	161.8	69.2	34.8	26.4
3	25	163.5	54.3	28.2	20.2
4	21	153.9	51.6	26.5	21.8
5	23	160.4	47.5	24.0	18.6
6	26	167.1	55.8	26.3	20.0
7	23	158.3	50.4	24.9	20.2
8	20	157.4	36.0	18.0	14.6
9	27	157.2	48.3	23.1	19.6
10	24	160.4	43.3	15.5	16.9
11	23	162.0	50.3	25.9	19.2
12	25	170.6	57.9	29.8	19.8
13	22	164.4	52.9	26.2	19.7
mean ±SD	23 ±2	161.4 ±4.2	52.6 ±8.5	26.2 ±5.6	20.2 ±3.0

7. 2. 2 測定方法

(1) 口腔舌下温

深部体温の指標として口腔舌下温(以下：舌下温と略す)を測定した。舌下温はサーミスタ温度計で口腔(舌下の一番奥にある舌小帯の左右どちらか側)の温度を連続的に測定した。データコレクタ(安立計器株式会社, AM - 8051E)で30秒毎に測定値を収録した。測定用プローブはポリプロピレン製ストロー(直径5mm, 長さ3cm)を熱加工で扁平化させ、端末はパラフィルム(株式会社エル・エム・エス)で密閉し測定に用いた。

(2) 皮膚温

皮膚温測定部位は、前額部、胸部、上腕部、指尖部、大腿部、下腿部、足背部、足趾部の8点である(前額部以外はいずれも左半身の測定とした)。測定にはサーミスタ温度計を用い、データコレクタで30秒毎に測定値を収録した。なお、平均皮膚温(\bar{T}_{sk})はRamanathanの4点法により算定した²⁾。

$$\bar{T}_{sk} = (30 \text{ 胸 } T_{sk} + 30 \text{ 上腕 } T_{sk} + 20 \text{ 大腿 } T_{sk} + 20 \text{ 下腿 } T_{sk}) / 100$$

(3) 皮膚血流量

右手第3指指尖部の皮膚血流量(以下：皮膚血流量と略す)については，二次元レーザー血流計(オメガウェーブ株式会社，OZ-2)を用いて，経時的変化を測定した。

(4) 局所発汗量

背部第7頸椎から下に約8cmの局所に，流量補償方式換気カプセル型発汗計(SKINOS株式会社，SKN-2000)を用いて，経時的変化を測定した。

(5) 自律神経活動解析

心電図(ECG)は，テレメトリー筋・心電計(MQ-16，キッセイコムテック株式会社)及び多用途生体信号収録装置(キッセイコムテック株式会社，VitalRecorder2)を用いて測定した。測定においては，右鎖骨下に(-)，左第5肋間に(+)，右第5肋間にアース(N)の電極配置で行い，ECGを連続的に収録した。ECGデータを多用途生体情報解析プログラム(キッセイコムテック株式会社，BIMUTAS II)により解析，R-R間隔ならびに周波数分析を行い，0.04~0.15Hzの低周波数成分(Low Frequency Component，以下：LFと略す)，0.15~0.46Hzの高周波数成分(High Frequency Component，以下：HFと略す)を求めた。HFは副交感神経系活動レベルの指標として，LF/HFは交感神経系活動レベルの指標として評価した。測定時の呼吸は15回/分(0.25Hz)に統制した。

7. 2. 3 実験手順

前章と同様に，被験者は所定の衣服を着用し，人工気候室へ入室，その後身体各部位に約20分間でセンサーを貼付し，30分間の安静座位を保った後，足温浴並びに測定を開始した。足温浴には10L恒温水槽(アズワン株式 TR-1A)を用い，踝の上約3cmまで温水(平均4.4L)に浸漬した。温度は42℃，時間は15分間とした。足温浴終了後直ちに乾燥タオルで足部の水を十分に拭き取り，足部を乾燥タオルの上に置いて15分の安静座位を保ち，実験終了とした(Fig.7-1)。

Environmental condition: 27°C, 60%RH; 20°C, 50%RH;

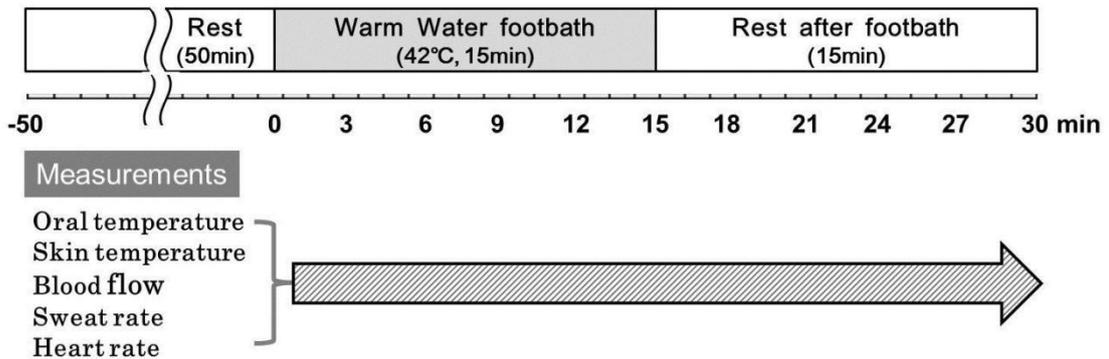


Fig.7-1. Procedure of the experiment.

なお、実験前・足温浴中(実験前半)・足温浴後(実験後半)の温冷感、快適感の主観申告については、実験中は舌下温の測定、指尖温・血流量の測定のため申告が困難であったため、終了後被験者に思い出してもらい、申告させた。評価に用いた言語尺度は Table 7.2 に示す通りである。温冷感の尺度は、-4(非常に寒い)、-3(寒い)、-2(涼しい)、-1(やや涼しい)、0(どちらともいえない)、+1(やや暖かい)、+2(暖かい)、+3(暑い)、+4(非常に暑い)の 9 段階で、快適感の尺度は、0(快適)、+1(やや不快)、+2(不快)、+3(非常に不快)、+4(極めて不快)の 5 段階とした。その他思い付いたことを自由記述してもらった。

Table 7.2. Subjective ratings of sensory evaluation.

Thermal		Comfort	
4	Very hot	4	Extremely uncomfortable
3	Hot	3	Very uncomfortable
2	Warm	2	Uncomfortable
1	Slightly warm	1	Slightly uncomfortable
0	Neutral	0	Comfortable
-1	Slightly cool		
-2	Cool		
-3	Cold		
-4	Very cold		

7. 2. 4 統計学的解析

すべての測定データは各被験者の0分時の測定値を初期値とし、そこからの変化量について解析を行った。中立環境及び冷涼環境のいずれにおいても、時間経過に伴う3分毎の変化の平均値±標準誤差を求めた。各環境の時間変化については一元配置分散分析、両環境間の比較については繰り返しのある二元配置分散分析を行い、いずれも1%、5%の危険率を持って有意差があるとした。

7. 3 結果

7. 3. 1 測定開始時の体温調節水準

各環境の測定開始時(足温浴前)測定値の(平均値±標準誤差)をTable 7.3に示す。舌下温は冷涼環境及び中立環境は各々37.07℃、37.04℃と、深部体温の正常範囲にあり、両環境間に有意差がなかった。各部位皮膚温と平均皮膚温は冷涼環境より中立環境の方が高く、両環境間に有意な差が見られた($p < 0.01$)。平均皮膚温について、冷涼環境は31.28℃と快適温度域に示された33.0℃より下回ったが、中立環境は33.56℃とその範囲内にあった。指尖部皮膚血流量と背部発汗量は両条件間に有意差が見られた($p < 0.05$)。なお、測定値のバラツキは末梢とした指尖部、足背部、足趾部皮膚温は冷涼環境の方が中立環境より大きかった。

Table 7.3. Actual value of each date at starting to measure.

Measurements	27°C, 60%RH (mean±SEM)		20°C, 50%RH (mean±SEM)
Oral Temperature (°C)	37.0 ± 0.2		37.1 ± 0.2
Skin Temperature (°C)			
Chest (°C)	34.9 ± 0.8	**	33.8 ± 1.1
Upper Arm (°C)	33.2 ± 0.7	**	30.1 ± 0.9
Thigh (°C)	32.9 ± 0.5	**	30.7 ± 0.4
lower Leg (°C)	32.7 ± 0.5	**	29.8 ± 0.5
Fore Head (°C)	35.4 ± 0.3	**	34.0 ± 0.5
Finger (°C)	35.6 ± 0.5	**	31.5 ± 2.9
Toe (°C)	34.6 ± 2.1	**	27.0 ± 4.3
Foot (°C)	34.2 ± 1.3	**	29.2 ± 2.1
Mean Skin Temperature (°C)	33.6 ± 0.5	**	31.3 ± 0.5
Skin Blood Flow (a.u)	6.3 ± 1.6	*	4.9 ± 1.8
Sweat Rate (mg/min)	0.07 ± 0.06	*	0.03 ± 0.01
Analysis of Heart Rate Variability			
R-R interval (msec)	756.3 ± 76.6		794.4 ± 68.4
High Frequency Components (mv · msec)	15166 ± 10877	**	25777 ± 18113
Low Frequency Components/ High Frequency Components	2.0 ± 0.9		1.7 ± 1.1

* : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$

7. 3. 2 舌下温の変化

舌下温の経時変化(平均値±標準誤差)を Fig.7-2 に示す. 図中灰色部分は足温浴を表し, ●は中立環境の結果, ○は冷涼環境の結果を示している. また n=13, 各環境経時変化の有意差は, *印で示し($*p < 0.05$, $**p < 0.01$), 中立環境と冷涼環境間の有意差は※印で示した($*p < 0.05$, $**p < 0.01$).

舌下温は足温浴中冷涼環境の低下に対し, 中立環境は 0.05°C 有意に上昇した($p < 0.01$). 足温浴後, 両環境とも温度維持し, 足温浴中, 足温浴後ともに両環境間に有意差が認められた($p < 0.01$).

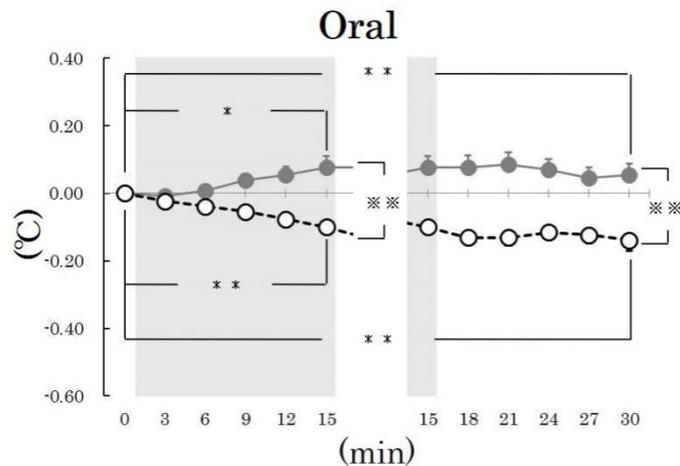


Fig.7-2. Changes in oral temperature during warm water footbath under two environmental conditions.

● : 27°C,60%RH environment, ○ : 20°C,50%RH environment;
 mean ± SEM (n=13). * : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$. * : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$.

7. 3. 3 各部位皮膚温・平均皮膚温の変化

上半身皮膚温の経時変化を Fig.7-3～Fig.7-4 に示す.

前額部皮膚温について、両環境とも足温浴中から足温浴後にかけて、有意な温度低下を示した($p < 0.01$). 足温浴後の温度低下度は、冷涼環境の方が大きく、中立環境との間に有意差が認められた($p < 0.01$). 胸部皮膚温について、冷涼環境においては足温浴中有意な低下を示し($p < 0.01$), その後ほぼ一定になったが、中立環境においては大きな変化がなかった. 足温浴中、足温浴後ともに両環境間に有意差が認められた($p < 0.01$). 上腕部皮膚温について、冷涼環境では、足温浴中大きな変動が無く、その後有意な低下を示したが($p < 0.05$), 中立環境では、足温浴中経時的に有意な上昇を示し($p < 0.01$), その後一定に維持した. 足温浴中、足温浴後ともに両環境間に有意差が認められた($p < 0.01$). 指尖部皮膚温について、冷涼環境では、足温浴中から足温浴後にかけて 4.16°C 大幅な温度低下を示し($p < 0.01$), 中立環境ではほとんど変化がなかった. 足温浴中、足温浴後ともに両環境間に有意差が認められた($p < 0.01$).

下肢部皮膚温の経時変化を Fig.7-5～Fig.7-6 に示す.

大腿部皮膚温について、冷涼環境では、足温浴中から足温浴後にかけて有意な温度低下を示したが($p < 0.01$), 中立環境では、ほとんど変化がなかった. 両環境間に有意差が認められた($p < 0.01$). 下腿部皮膚温について、冷涼環境では、足温浴開始一時的に温度上昇し、その後転じて温度低下し、特に足温浴後に有意に低下した($p < 0.01$). 中立環境では、足温浴中経時的に有意な上昇を示し($p < 0.01$), その後、回復傾向だった. 足温浴中、足温浴後ともに両環境間に有意差が認められた($p < 0.01$). 足背部皮膚温について、両環境とも足温浴中に皮膚温は急激に上昇し、足温浴後速やかに温度回復した. 足温浴中、足温浴後ともに両環境間に有意差が認められた($p < 0.01$). 足趾部皮膚温は足背部皮膚温と同様な挙動を示した.

以上のように、足温浴により、冷涼環境では足部は上昇し、他部位は有意に低下した. 足温浴後中立環境との間に有意差が認められた. 一方、中立環境では各部位皮膚温は、30分後前額部のみ低下し、他部位は変化無しまたは上昇を示した. また、足温浴中から足温浴後にかけて、足部を除いた各部位皮膚温の変化量は冷涼環境下より中立環境下の方が常に高かった.

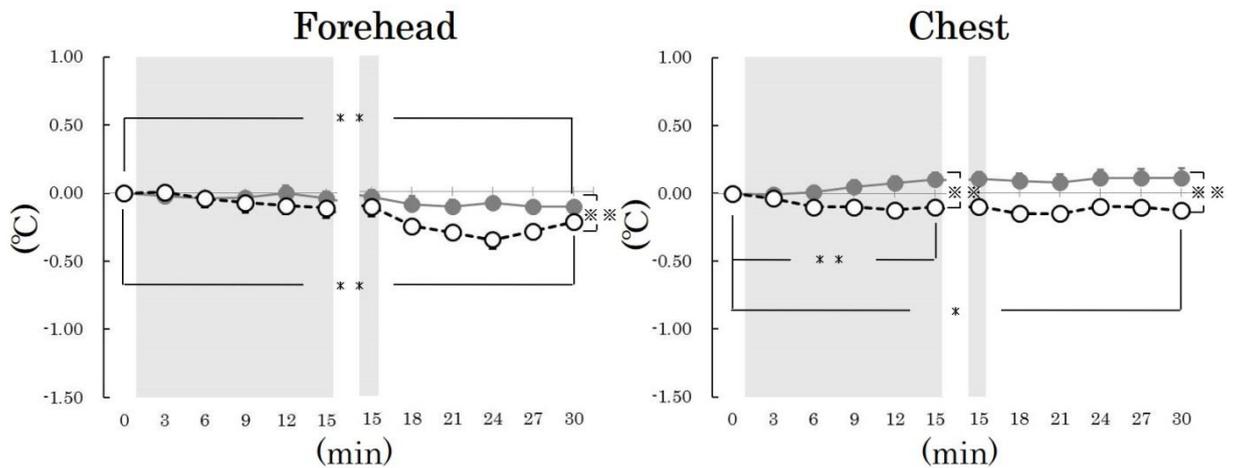


Fig.7-3. Changes in forehead and chest temperatures during warm water footbath under two environmental conditions.

● : 27°C,60%RH environment, ○ : 20°C,50%RH environment;
 mean ± SEM (n=13). * : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$. † : $p < 0.05$, †† : $p < 0.01$.

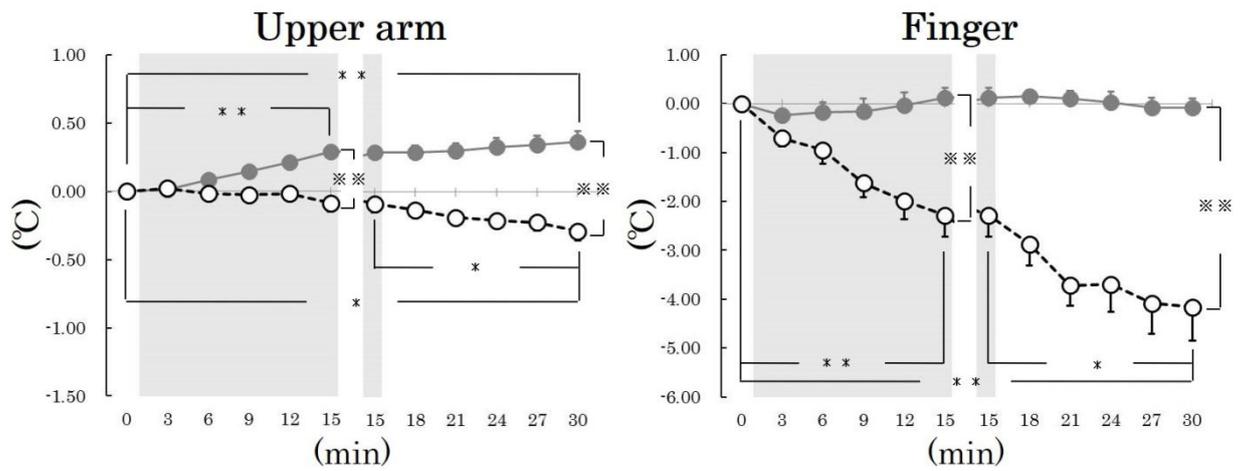


Fig.7-4. Changes in upper arm and finger temperatures during warm water footbath under two environmental conditions.

● : 27°C,60% RH environment, ○ : 20°C,50% RH environment;
 mean \pm SEM (n=13). * : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$. ‡ : $p < 0.05$, † : $p < 0.01$.

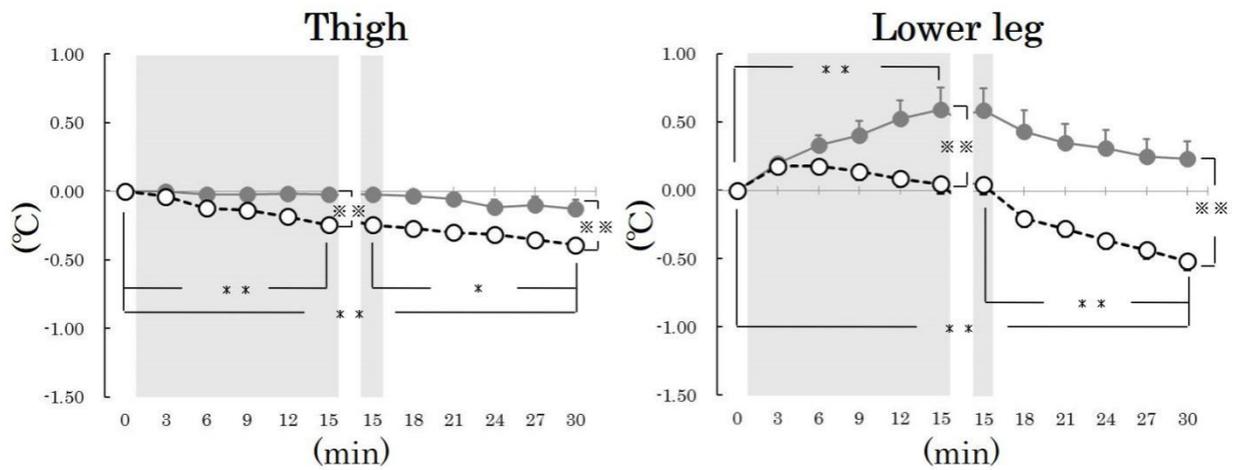


Fig.7-5. Changes in thigh and lower leg temperatures during warm water footbath under two environmental conditions.

● : 27°C,60% RH environment, ○ : 20°C,50% RH environment;
 mean \pm SEM (n=13). * : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$. ‡ : $p < 0.05$, † : $p < 0.01$.

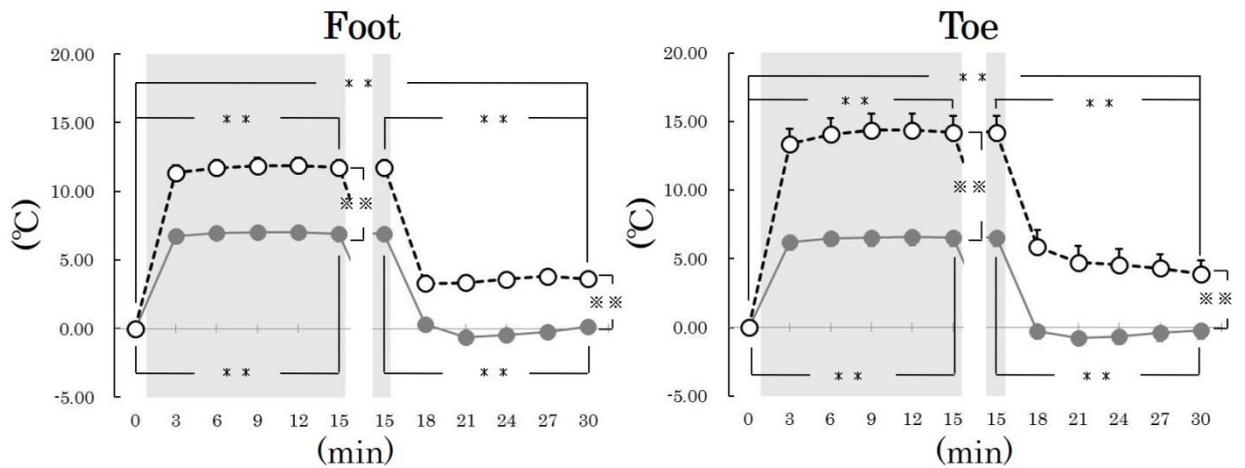


Fig.7-6. Changes in foot and toe temperatures during warm water footbath under two environmental conditions.

● : 27°C,60%RH environment, ○ : 20°C,50%RH environment;
 mean ± SEM (n=13). * : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$. ※ : $p < 0.05$, ※※ : $p < 0.01$.

平均皮膚温の経時変化を Fig.7-7 に示す. 冷涼環境では, 足温浴中から足温浴後にかけて, 有意な低下を示した($p < 0.01$). 中立環境では, 足温浴中, 経時的に有意な上昇を示し($p < 0.01$), その後, 回復傾向だった. 足温浴中, 足温浴後ともに両環境間に有意差が認められた($p < 0.01$).

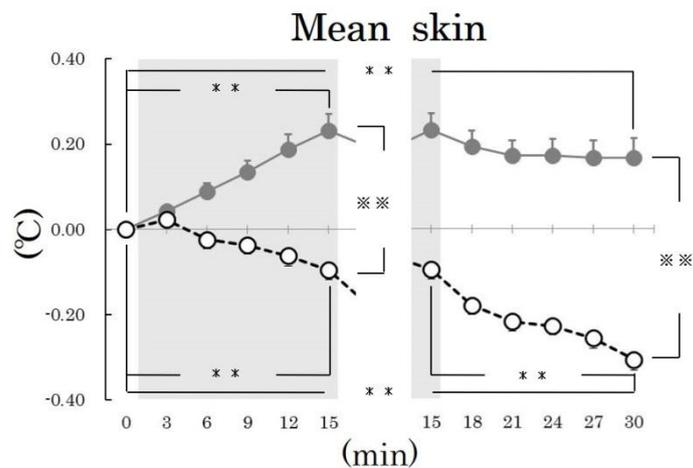


Fig.7-7. Changes in mean skin temperature during warm water footbath under two environmental conditions.

● : 27°C,60%RH environment, ○ : 20°C,50%RH environment;
 mean ± SEM (n=13). * : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$. * : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$.

7. 3. 4 皮膚血流量・発汗量の変化

指尖部皮膚血流量の経時変化を Fig.7-8(左)に示す。冷涼環境では、足温浴中から足温浴後にかけて、血流量は有意に減少した($p < 0.01$)。中立環境では、足温浴により、血流量はやや増加傾向であった。足温浴中、足温浴後ともに両環境間に有意な減少が認められた($p < 0.01$)。

背部発汗量の経時変化を Fig.7-8(右)に示す。冷涼環境では、足温浴中から足温浴後にかけて、不感蒸散は有意に減少した($p < 0.01$)。中立環境では、足温浴中不感蒸散が促進され($p < 0.05$)、その後、現状に戻った。足温浴中、足温浴後ともに冷涼環境との間に有意な増加が認められた($p < 0.01$)。

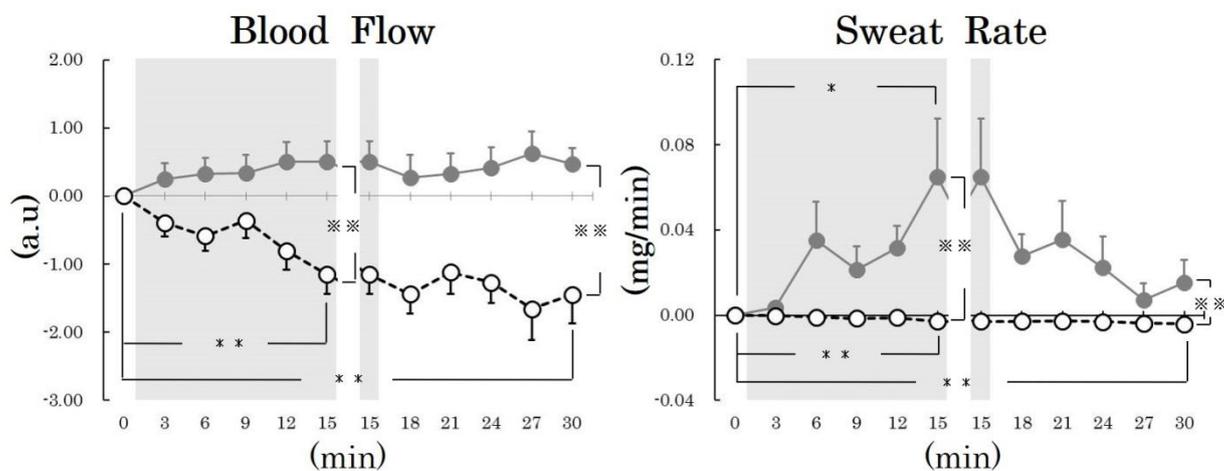


Fig.7-8. Changes in blood flow and sweat rate during warm water footbath under two environmental conditions.

● : 27°C,60%RH environment, ○ : 20°C,50%RH environment;
 mean ± SEM (n=13). * : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$. * : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$.

7. 3. 5 自律神経活動の変化

自律神経系の指標である R-R 間隔, HF, LF/HF の経時変化を Fig.7-9~ Fig.7-10 に示す. R-R 間隔について, 冷涼環境では, 足温浴中から足温浴後にかけて徐々に上昇したが, 足温浴前後に有意差は認められなかった. 中立環境では, 足温浴中有意に低下し ($p < 0.05$), 足温浴後転じて上昇し, 足温浴前より有意な上昇が認められた ($p < 0.01$). HF について, 冷涼環境では, 足温浴中有意に上昇し ($p < 0.05$), 足温浴後一定に維持したが, 中立環境では, ほぼ一定になった. 足温浴中, 足温浴後ともに, 中立環境は冷涼環境より有意な低値を示した ($p < 0.01$). 一方, LF/TF について, 冷涼環境では, ほぼ一定になったのに対し. 中立環境では, 足温浴中有意に上昇し ($p < 0.05$), 足温浴後に回復傾向だった. 足温浴中, 足温浴後ともに両環境間に有意差が認められた ($p < 0.01$).

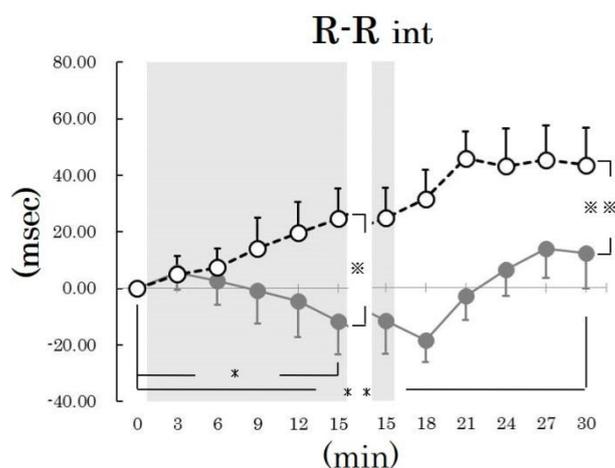


Fig.7-9. Changes in R-R int. during warm water footbath under two environmental conditions.

● : 27°C, 60% RH environment, ○ : 20°C, 50% RH environment;
 mean \pm SEM (n=13). * : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$. ※ : $p < 0.05$, ※※ : $p < 0.01$.

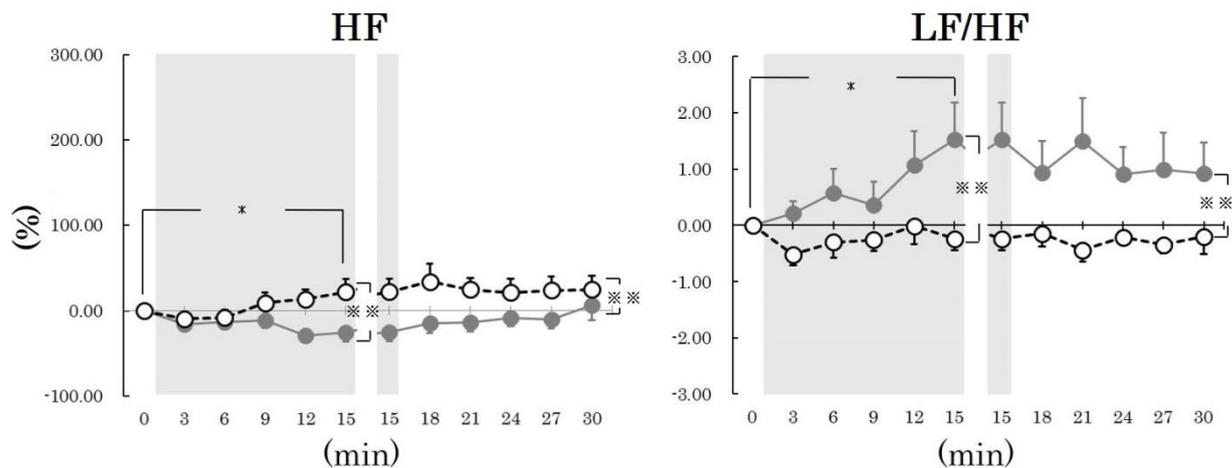


Fig.7-10. Changes in HF and LF/HF during cold water footbath under two environmental conditions.

● : 27°C,60%RH environment, ○ : 20°C,50%RH environment;
 mean ± SEM (n=13). * : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$. † : $p < 0.05$, †† : $p < 0.01$.

7. 3. 6 温冷感・快適感の変化

実験期間中の温冷感・快適感の変化を Table 7.4～Table 7.5 に示す。被験者の平均評価点は、実験前即ち 27°C, 60%RH 環境に 50 分間滞在した後、温冷感 1.0, 快適感 0.2 とやや温かく快適を申告していた。足温浴中は温冷感 1.8, 快適感 1.0, 暖かかく、やや不快を感じた。足温浴後は、温冷感 1.2, 快適感は 0.3 になり、足温浴中より温冷感や不快感は緩和された。

Table 7.4. Thermal sensory evaluation of each subject during experiment.

Sub.	Rest	Footbath	
	50 min	Footbath 15 min	Rest 15 min
1	2	3	2
2	1	2	2
3	1	2	1
4	2	3	2
5	0	2	1
6	0	1	0
7	1	2	1
8	1	1	2
9	1	2	1
10	0	1	1
11	1	1	0
12	2	2	2
13	1	2	1
mean \pm SD	1.0 \pm 0.7	1.8 \pm 0.7	1.2 \pm 0.7

Table 7.5. Comfort sensory evaluation of each subject during experiment.

Sub.	Rest	Footbath	
	50 min	Footbath 15 min	Rest 15 min
1	1	2	1
2	0	1	1
3	0	1	0
4	1	1	1
5	0	1	0
6	0	0	0
7	0	0	0
8	0	1	0
9	0	1	0
10	0	1	0
11	0	1	0
12	0	2	1
13	0	1	0
mean \pm SD	0.2 \pm 0.4	1.0 \pm 0.6	0.3 \pm 0.5

7. 4 考察

体温調節水準に関して、各部位皮膚温は冷涼環境下より中立環境下の方が常に高かった。これは皮膚血管が 27℃に設定した中立環境下では、20℃の冷涼環境より拡張し、皮膚血流量が大で、その結果としてより高い皮膚温が観察された。

足温浴により、深部体温の指標とした舌下温、各部位皮膚温(足部以外)について、中立環境は冷涼環境より、有意な高値を示した。舌下温について、中立環境は足温浴中有意に上昇し、足温浴前後有意な上昇が認められた。これは、中立環境下、動静脈吻合(Arteriovenous Anastomosis, 以下:AVA と略す)はある程度開いているが、足部に温水刺激を与えると、AVAは更に開き、足部における血流が増大し、足部からの熱流が体内に運び込まれたためと考えられる。中立環境下、深部体温に及ぼす足浴の効果についてはいくつかの研究が行われ、足温浴によって、深部体温が上昇することが報告されている^{3),4)}。

指尖部皮膚血流について、中立環境は増加傾向を示し、足温浴中、足温浴後とも有意な高値を示した。即ち、中立環境下の足温浴は深部体温、皮膚温及び皮膚血流量の上昇をもたらし、足温浴後ほとんどの皮膚温が冷涼環境より上昇度が高かった。足温浴により足部を 42℃の湯に浸漬すると、足に分布している交感神経終末が興奮し、この刺激が視床下部に伝わり、手に分布している血管が拡張し、血流量が増加することにより、皮膚温が上昇した可能性が推察される⁵⁾。皮膚温の変化と皮膚血流量の関連性についてはいくつかの研究が行われ、その結果、皮膚温の上昇とともに皮膚血流量の増加が認められること⁶⁾⁻⁸⁾が報告されている。

一方、冷涼環境下の足温浴は深部体温、皮膚温及び血流量の低下をもたらし、足温浴による保温効果が見られなかった。永坂ら¹²⁾は 25℃と 28℃の 2 環境で、下肢足温浴による局所加温が指の皮膚血流量に及ぼす研究では、25℃環境で水温が 41℃に上昇したとき、指尖部皮膚血流量は 15 分間にわたって減少を示し、28℃環境では指皮膚血流量の減少は観察されなかった。血流量減少の現象は手指における温熱皮膚血管収縮反応(Heat Induced Vasoconstriction, 以下:HIVC)が下肢足温浴によって引き起こされることを示したものであり、中枢を介する反射性の反応であることを示唆している。本実験中立環境下の舌下温、平均皮膚温、発汗量はいずれも冷涼環境よりで高値を示し、生体への温熱負荷が大きいため、血管拡張作用が強く働いたためと考えられる。冷涼環境下に見られた血流量の減少は、

冷涼環境下における体温より高い(42℃)温熱刺激がもたらす HIVC であることが示唆された。HIVC は手足を体温より高く加温すると体内への熱流入を防ぐために、皮膚血管が収縮する反応と定義され、関連の研究が報告されている。平田ら¹⁰⁾は、この反応は局所性の反応ではなく、交感神経を介した全身皮膚で起こる血管収縮反応と結論付けている。今回の実験では、42℃という体温より高い温水に足部を浸漬させた結果、足部はもとより全身の皮膚血管の収縮を引き起こし、皮膚表面の冷たい血液が体内に流入することによって、深部体温の低下を招いたと考察することができる。

発汗量について、足温浴前は不感蒸散の域 0.07mg/min に、足温浴中 2 倍になった。これは中立環境下、足温浴をすると温熱負荷が加わり、深部体温や皮膚温が上昇し、全身皮膚に蒸発性放熱が起こったと考えられる。

自律神経活動について、R-R 間隔は、中立環境において、足温浴中有意に低下し、足温浴後は上昇し、足浴前後の有意差が認められた。一方、冷涼環境において、足温浴中から足温浴後にかけて上昇していたが、足浴前後の有意差が認められなかった。HF は、中立環境において、足温浴中やや低下、足温浴後に回復し、足浴前後ほぼ一定になったが、冷涼環境において、足温浴中有意に上昇し、その後維持した。LF/HF は、中立環境において、足温浴中有意に上昇した。冷涼環境において、ほぼ一定になった。足温浴中、足温浴後ともに、両環境間の有意差が認められた。これらのことから、中立環境下では HF は足温浴中やや低下、LF/HF は有意に増加したことが伺え、交感神経の亢進が示唆された。上馬場ら¹¹⁾は 25～27℃、40～60%RH、水温 38℃、40℃、42℃の足浴実験を行った。42℃では HF は有意な減少が認められ、40℃と 42℃の足浴では LF/HF の有意な増加、即ち交感神経活動が亢進されたと報じている。これは本実験中立環境下の HF、LF/HF の結果を支持するものである。このことから、40℃以上の足温浴による熱刺激は温熱負荷となり、心拍数を増加させ、交感神経の亢進やストレスの増加に繋がることが示唆された。足温浴による副交感神経活動は環境温度に左右されることが明らかになった。なお、実験終了後実施した温冷感、快適感など被験者からの主観申告によると、全身の温冷感及び快適感はやや暖かい、快適から、足温浴中の暖かい、やや不快まで変化し、足温浴後は足温浴中より温冷感や不快感は緩和された。また、自由記述によると、「足温浴前はやや暖かく、快適」、「足

温浴中は暖かく、やや不快」となり、「温水が熱すぎる」を申告する者が多かった。これらの申告は、前述の生理反応及び自律神経活動の変化とよく符合している。

7. 5 総括

本章では、中立環境 27℃、60%RH に設定した人工気候室内に、0.4clo 着衣(半袖 T シャツとハーフパンツ)の健康な 20 代女性 13 名を対象に、42℃、15 分間の足部温水浴を行い、冷涼環境における足部温水浴を比較対象とし、異なる環境条件下の足部温水浴が体温調節反応及び自律神経活動に及ぼす違いを検討した。次のような結果を得た。

中立環境(27℃、60%RH)で、42℃ 15 分間の足温浴を行い、冷涼環境下の足温浴と比較し、異なる環境条件に伴う体温調節反応及び自律神経活動の違いを検討した。次のような結果を得た。

- 1) 舌下温は、冷涼環境下の低下に対し、中立環境では有意な上昇が認められた。
- 2) 各部位皮膚温は、中立環境では冷涼環境より高い皮膚温を示した。
- 3) 指尖部皮膚血流量及び背部発汗量は、冷涼環境で有意に低下し、中立環境ではやや上昇した。
- 4) 自律神経活動について、副交感神経活動の亢進は両環境とも見られなかったが、中立環境では交感神経活動の亢進が見られた。

引用・参考文献

- 1) オレセン B. W. , 長谷部ヤエ, デア R. DE ; 衣服の熱抵抗の非対称と熱的快適性, 人間-熱環境系シンポジウム報告集, 11, 2-5, 1987
- 2) Ramanathan N. L.; A new weighting system for mean surface temperature of the human body., J. Appl, Physiol, 19, 531-533, 1964
- 3) 須賀京子, 白井裕子, 百合純子 ; 足浴の効果の検討 : 皮膚表面温, 深部温, 唾液中 s-IgA 及び主観的状态の変化, 愛知きわみ看護短期大学紀要, 2, 53-62, 2006
- 4) 玄田公子 ; 足浴の生体に及ぼす影響, 滋賀県立短期大学学術雑誌, 20, 112-115, 1979
- 5) 大滝周, 川嶋昌美, 高木睦子, 津川博美, 福岡絵美, 浅野和仁 ; 足浴が体温に及ぼす影響について, 昭和学士会雑誌, 77(1), 82-87, 2017
- 6) 岡田ルリ子, 徳永なみじ, 昆和典 ; 足温浴がもたらす皮膚生理機能への影響, 角層水分量・水分蒸散量の見地から, 愛媛県立医療技術大学紀要, 3(1), 45-50, 2006
- 7) 瓜巢敦子, 下元美佳, 箕浦文枝 ; 足浴時間の違いが深部体温・睡眠に与える影響, 岐阜医療科学大学紀要, 7, 119-122, 2013
- 8) 安杖優子, 會津桂子, 工藤せい子, 西沢義子, 石岡薫, 工藤恵, 對馬明美, 松本光比呂 ; 足洗器による足浴の有効性についての検討 : 皮膚温・深部温と主観的温度感覚から, 弘前大学大学院保健学研究科紀要, 9, 1-10, 2010
- 9) 永坂鉄夫, 平田耕造, 田中香利, 平井敦夫, 平下政美, 動静脈吻合の体力医学的意義 : 局所加温による温熱皮膚血管収縮反応, デサントスポーツ科学, 19, 3-13, 1998
- 10) 平田耕造, 田中香利, 三井由希子, 下肢足温浴中全身皮膚に生じる温熱性皮膚血管収縮反応, 日生氣誌, 36(3), 49, 1999
- 11) 上馬場和夫, 許鳳浩 ; 足浴によるストレスマーカーの変化 : 唾液中 IgA, 尿中 8(OHdG), 自律神経バランスについて, 日本温泉気候物理医学会雑誌, 67(2), 109-118, 2004

第 8 章

総括

地球温暖化やヒートアイランドで加速した暑熱環境，また，生活環境や生活習慣の変化による冷涼環境は，人体に温熱負荷を与え，熱中症や冷え・冷え性として顕在化する．これらに対する対処方法として，局所冷却，局所加温が行われている．体幹，上腕，下肢，手足など局所への刺激は，全身に比べ身体への生理的負担が少なく，かつ手軽にできる優位性がある．中でも座位姿勢，安楽状態で行う足部への負荷は，身体拘束も少なく心理的に取り入れやすい手法である．局所冷却，局所加温は看護・介護，医療，生理，運動，作業などの場面で，各種症状のケア・改善，リラクゼーションなど効果が報告されている．

局所冷却は主に中立環境で行われ，人体生理反応の視点から研究がされている．更に，スポーツ時の疲労回復，筋肉痛・炎症軽減にもアイシングが行われている．暑熱環境では，熱中症予防に向けスポーツ，作業者を対象とし，プレクーリングが提案されているが，健康者を対象とした局所冷却が身体に及ぼす生理学的視点から研究は余りされていない．局所加温は主に中立環境で行われ，温熱生理反応の視点から研究がされている．また看護・介護や医療分野で，副交感神経活動の更新やリラクゼーション効果が明らかにされている．しかし，冷えや寒さが感じられる冷涼環境における生理学的視点からの研究は乏しい．特に，局所冷却・加温と環境条件に関する実施研究は不十分である．

以上のことから，本研究では，まず熱中症とその対策に関するアンケート調査を実施し，様々な環境で快適な衣生活を送るための基礎研究として，足部冷水浴，足部温水浴を，異なる3環境，即ち暑熱環境，中立環境，冷涼環境下で負荷した時の人体の生理・心理反応を検討した．

本論文は以下の8章により構成されている．

第1章「序論」では，本論文の社会背景と課題，研究文献の背景及び本論文の目的と構成について記述した．

第2章「日本及び中国の学生を対象とした熱中症に関する意識調査」では，日本と中国の大学生を対象に熱中症に関するアンケート調査を実施し，熱中症予防対策，冷却方法，冷却グッズなどを含む基礎資料の収集を行った．それらの利用状況と併せて，両国間の比較分析を行った．次のような結果を得た．

- 1) 熱中症の理解度について、日本は、女性より男性が高い理解度を示した。中国は、男女間に有意差は認められなかった。日中間では、中国が日本より高い理解度を示した。
- 2) 予防対策について、日本は、男女間に有意差は認められず、中国は、女性の方が多く対策を取っていた。日中間では、日本の方が多く対策を取っていた。
- 3) 身体冷却グッズについて、日本及び中国とも冷却スプレーや冷たいタオルなどが使われていた。特に、中国では冷涼感覚を高めるものが好まれる。
- 4) 冷却部位について、日本は動脈の冷却を重視し、中国では末梢血管の冷却を優先している。
- 5) 熱中症の発症について、日本の男女間には有意差が認められた。中国は、男女間に有意差が認められなかった。両国間では、日本の発症が有意に高かった。

以上の結果から、日本及び中国における熱中症対策に関する現状と基本的な国民の意識を把握することができた。また、予防対策を実践することにより、熱中症発症の軽減に繋がることが示唆された。

第3章「暑熱、中立、冷涼環境が身体に及ぼす生理学的影響」では、局所冷却・加温負荷なし条件下での体温調節反応や自律神経活動を把握する目的で、暑熱環境 34℃、70%RH、中立環境 27℃、60%RH、冷涼環境 20℃、50%RH の工気候室内に、0.4clo 着衣（半袖 T シャツとハーフパンツ）の健康な 20 代女性 13 名を対象に、安静座位で 80 分間滞在させた時の舌下温、皮膚温、指尖部皮膚血流量、背部発汗量及び心拍変動を測定した。次のような結果を得た。

- 1) 舌下温は暑熱環境下において、中立、冷涼環境より有意に高く、身体に温熱負荷を及ぼすことが示唆された。
- 2) 各部位皮膚温は異なる環境温度に対して、有意な温度差を示し、前額部と胸部は小で、手足末梢部は大であった。特に、暑熱環境と冷涼環境間では、足趾部の皮膚温度差は約 10℃であった。
- 3) 指尖部皮膚血流量及び背部発汗量は暑熱環境において増加し、冷涼環境において減少した。
- 4) 自律神経活動について、環境温度の低下に伴い R-R 間隔は有意に延長した。HF と LF/HF は有意な変化が認められなかった。

第4章「暑熱環境下の足部冷水浴が身体に及ぼす生理学的影響」では、暑熱環境 34℃、70%RH の人工気候室内に、0.4clo 着衣の健康な 20 代女性 13 名を対象に、15℃、15 分間の足部冷水浴を行い、舌下温、皮膚温、指尖部皮膚血流量、背部発汗量及び心拍変動を測定し、体温調節反応及び自律神経活動に及ぼす影響、並びに熱中症予防対策への可能性を検討した。次のような結果を得た。

- 1) 足冷浴は、舌下温の有意な低下をもたらした。その効果は冷水浴後も継続した。
- 2) 足冷浴により、各部位皮膚温は、冷水浴無しのコントロール群と比較して有意に低下した。冷水浴中、皮膚温の低下量は足部 > 下腿部 > 指尖部 > 胸部 > 大腿部 > 前額部の順であった。指尖部皮膚血流量及び背部発汗量は、足冷浴開始から抑制され、足冷浴後は、やや増加した。コントロール群と比較して、冷却効果は持続することが示唆された。
- 4) 自律神経活動について、R-R 間隔及び HF の増大、LF/HF の低下が認められ、副交感神経活動の亢進、交感神経活動の抑制が示唆された。
- 5) 本実験の結果より、暑熱時の足冷浴は深部体温である舌下温及び皮膚温の低下をもたらした。交感神経活動が抑制されることから、熱中症予防対策の手法としての可能性が示唆された。

第5章「中立環境下の足部冷水浴が身体に及ぼす生理学的影響－暑熱環境との比較－」では、中立環境 27℃、60%RH の人工気候室内に、0.4clo 着衣の健康な 20 代女性 13 名を対象に、15℃、15 分間の足部冷水浴を行い、暑熱環境における足部冷水浴を比較対象とし、異なる環境条件下の足部冷水浴が体温調節反応及び自律神経活動に及ぼす違いを検討した。次のような結果を得た。

- 1) 舌下温は、暑熱環境で低下したのに対し、中立環境では足冷浴中一旦上昇し、足冷浴後原状に回復した。
- 2) 足冷浴中から足冷浴後にかけて、暑熱環境では各部位皮膚温は、前額部、指尖部が低下し、胸部は変化無く、上腕部、大腿部は上昇した。一方、中立環境では前額部、胸部、上腕部、大腿部、指尖部の皮膚温はほとんど変化がなかった。
- 3) 指尖部皮膚血流量は足冷浴後、暑熱環境より中立環境の方が有意に高かった。
- 4) 自律神経活動は、暑熱環境では、副交感神経活動の亢進が認められたが、中立環境では認められなかった。

第 6 章 「冷涼環境下の足部温水浴が身体に及ぼす生理学的影響」では、冷涼環境下 20℃、50%RH に設定した人工気候室内に、0.4clo 着衣(半袖 T シャツとハーフパンツ)の健康な 20 代女性 13 名を対象に、42℃、15 分間の足部温水浴を行い、舌下温、皮膚温、指尖部皮膚血流量、背部発汗量及び心拍変動を測定し、体温調節反応及び自律神経活動に及ぼす影響を検討した。また、被験者を末梢部冷えやすい冷え群と冷えにくい非冷え群に分類し、冷え体質への影響を検討した。次のような結果を得た。

- 1) 足温浴により舌下温と指尖部皮膚温は両群とも有意に低下し、低下度は冷え群の方が大であった。
- 2) 足部及びその近位にある下腿部皮膚温は両群とも上昇し、その結果として平均皮膚温も有意に上昇した。
- 3) 指尖部皮膚血流量は、両群とも有意な減少が認められた。
- 4) 自律神経活動は、両条件とも副交感神経活動の亢進が認められなかった。
- 5) 本実験の結果より、冷涼環境の足温浴は感覚的には一時的な快感をもたらすが、深部体温である舌下温及び皮膚血流量の低下を招くことから、末梢部が冷えやすい人にとって、健康上のリスクが大きいことが示唆された。

第 7 章 「中立環境下の足部温水浴が身体に及ぼす生理学的影響－冷涼環境との比較－」では、中立環境 27℃、60%RH の人工気候室内に、0.4clo 着衣の健康な 20 代女性 13 名を対象に、42℃、15 分間の足部温水浴を行い、冷涼環境における足部温水浴を比較対象とし、異なる環境条件下の足部温水浴が体温調節反応及び自律神経活動に及ぼす違いを検討した。次のような結果を得た。

- 1) 舌下温は、冷涼環境下の低下に対し、中立環境では有意な上昇が認められた。
- 2) 各部位皮膚温は、中立環境では冷涼環境より高い皮膚温を示した。
- 3) 指尖部皮膚血流量及び背部発汗量は、冷涼環境で有意に低下し、中立環境ではやや上昇した。
- 4) 自律神経活動について、副交感神経活動の亢進は両環境とも見られなかったが、中立環境では交感神経活動の亢進が見られた。

第 8 章 「総括」では各章をまとめ、研究全体の結論と今後の課題を記述した。

地球規模での温暖化や人間の活動に伴うヒートアイランド現象は、暑熱化を増幅させ、その結果、熱中症は増加傾向にある。熱中症の発症は深部体温の上昇によることから、予防対策としては身体冷却が挙げられる。従って、本研究では身体冷却の手法として局所冷却、足部冷水浴を適用した。折しも2020年7月から8月東京オリンピックが開催され、暑熱時の熱中症予防対策は急務となっている。また、夏季の暑熱化は空調・冷房により、多くの女性が冷えを訴えている。冬季には更に冷えの発症や健康障害が引き起こされる。冷えは末梢部皮膚温低下により、基本的ケアとしては身体加温・保温である。本研究はその手法として局所加温、足部温水浴を適用した。

以上により、本研究は異なる温熱環境において、身体に局所冷却、局所加温を与えた時の人体生理反応を検討、快適な衣生活を送るための基礎研究を行った。実験条件は、暑熱環境、中立環境、冷涼環境とし、局所冷却に15℃足部冷水浴を、局所加温には42℃足部温水浴を採用し、環境因子、生理・心理反応を総合的に検討した。

足部冷水浴は、暑熱環境下では深部体温及び皮膚温の低下をもたらすことを明らかにし、熱中症予防対策の手法としての可能性が示唆された。これを生かした実用化には靴などが考えられよう。それには、接触冷感、吸水速乾、通気性やNASA(アメリカ宇宙局)宇宙服向けに開発された温度調節などの機能性素材やペルチャ素子など半導体熱電素子の活用、冷涼効果を有するデザイン開発及び着用感を含めた実用的な研究が更に想定される。また、足部冷水浴効果の応用として、人工水路、せせらぎの足部冷水浴や足部空冷スポットは夏季東京オリンピック会場などにおける実用的な身体冷却手法と言えよう。一方、中立環境下では、深部体温の低下が見られず、交感神経活動は上昇することから、身体に不快感を与えることが分かった。

足部温水浴は、冷涼環境下では深部体温及び皮膚血流量の低下に対し、平均皮膚温の上昇が見られた。感覚的には一時的な快適感をもたらすが、冷え体質の人には健康上の危惧があることが示唆された。この結果から、冬季温泉での足湯に際しては、体幹部を保温し肌寒さを感じさせないような衣服着用が求められる。また、足部温水浴が行われる看護・介護施設、医療現場、温泉などへの啓蒙も必要

である。一方，中立環境下では先行研究と同様に，深部体温や皮膚温を上昇させるが，リラクゼーション効果は見られなかった。

以上のことから足部冷水浴，足部温水浴は人体の生理に様々な影響を与えることが分かり，環境条件によっては，諸症状の改善・ケア手法としての可能性や安全対策を追求できた。また，熱中症，冷え予防対策に向けた局所冷却及び局所加温が身体に及ぼす生理学的影響を明らかにすることは，実用的な衣服設計，商品開発には重要なことだと思われる。今後は，本研究の実証実験で得られた結果を基礎とし，熱中症予防対策，冷え改善に関する機能的，快適な衣服設計及び商品開発に向けた研究が求められる。

謝辞

本論文の終わりに際して、研究の遂行及び本論文の作成において終始懇切丁寧な御指導及び校閲を賜りました文化学園大学大学院生活環境学研究科機能デザイン学研究室名誉教授田村照子先生、永井伸夫教授に、心より深く感謝の意を表します。初めて経験する学術分野の研究に無学である私に、研究の基礎知識からアプローチまでをご指導していただき、有意義なディスカッションもして下さいました。先生のもとで、研究の意義・考え方及び楽しさを味わうことができ、学問・研究への道を導いて下さいました。小柴朋子教授には、入学当初、私にとっては未知な温熱生理学の基礎をご指導いただき、有難うございました。元文化ファッション大学院大ファッションビジネス研究科閨間正雄教授には大学院大学在学以来、今日に至るまで教育・研究への励ましをいただき有難うございました。また文化学園健康管理センター所長本間博先生には、医学的見地から本研究にご助言をいただきありがとうございます。研究遂行、論文執筆に際しては、機能デザイン学研究室佐藤真理子教授、須田理恵准教授、松井有子助教、青木識子助教、皖西学院楊明講師からもご指導、応援をいただきありがとうございます。ここに感謝の意を表します。また、大学院生活を共に過ごし、支えていただいた竹満満さん、徐賢敏さん、危キキさんに対して、また、研究室の院生達に心より感謝申し上げます。皆様のお陰で、楽しい学生生活を過ごすことができ改めて感謝の気持ちでいっぱいです。有難うございました。更に、本研究の被験者を引き受けていただいた大学院院生の皆様に感謝致します。最後に、遠く離れた中国で私の学業を支えてくれた両親にも最大の感謝を捧げたいと思います。