

調整した分析が求められる。

謝辞

本研究は厚生労働科学研究費補助金（健康科学総合研究事業）の支援を得て行われた。調査にご協力いただいた関係各位に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) Deguchi A, Nakamura S, Hamaguchi H, Kawamishimoto Y, Tani Y, Deguchi K : The effect of spa bathing on infirm individuals receiving home care. Spa bathing available through day service and day care programs. 日温気候物理医学会誌 1996 ; 59 : 99-10.
- 2) 国民健康保険中央会 : 温泉を活用した保健事業のあり方に関する研究報告書 . 国民健康保険中央会 . 東京、2000年3月 .
- 3) 国民健康保険中央会 : 医療・介護保険制度下における温泉の役割や活動方策に関する研究報告書 . 国民健康保険中央会 . 東京、2001年3月 .
- 4) 柳川 洋編 : 疫学マニュアル、南山堂、東京、1996 ; p35-37.
- 5) 田崎美弥子、野地有子、中根允文 : WHOのQOL. 診断と治療 1996 ; 21 : 83-98.
- 6) Hanson BS, Isacsson S-O, Janzon L, Lindell S-E: Social network and social support influence ; Mortality in elderly men. Am J Epidemiol;1989; 130:100-11.
- 7) 時田章史 : 成人期の骨の健康に対する運動と栄養の影響 . 牛乳栄養学術研究会 第16回国際学術フォーラム報告書, p36-57. (社) 全国牛乳普及協会 . 東京、2002.
- 8) Ferriss AL: Does material well-being affect non-material well-being. In :Advances in quality of life research 2001, p275-280. Zumbo BD (ed), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands, 2002.

ORIGINAL ARTICLE

Improvement of daytime rapid eye movement parameters following a hot bath in night-shift workers

Alexandru GAINA, Miao ZHANG, Michikazu SEKINE, Shimako HAMANISHI, Hongbin WANG, A. NASERMOADELI and Sadanobu KAGAMIMORI

Department of Epidemiology and Welfare Promotion, Toyama Medical and Pharmaceutical University

ABSTRACT

The sleep-promoting effect of a hot bath on daytime sleep after night-shift work was assessed by polysomnography. Having an unlimited daytime sleep opportunity, healthy middle-aged male subjects ($n = 9$, mean age 38.8 years) undertook either a hot bath or no bath (control) treatment. The polysomnography revealed that a hot bath significantly ($P < 0.05$) increased rapid eye movement (REM) sleep parameters. Also, the number of REM cycles increased from 1.7 to 3.7 ($P < 0.05$) while REM density increased from 7.31 to 15.13 ($P < 0.05$). In addition to the sleep-promoting effects, a hot bath significantly improved the subjective emotional evaluation score assessed by a profile of mood states (POMS) questionnaire, especially decreasing confusion, anger and hostility ($P < 0.05$). The data suggests that a hot bath may be an effective and practical method of promoting sleep for night-shift workers and trans-meridian travelers attempting to sleep during the day.

Keywords: diurnal sleep, hot bath, night-shift workers, REM, sleep structure.

INTRODUCTION

Non-disturbed sleep is essential for normal biological and social well-being and for adequate work performance. Shift work leads to deteriorated sleep architecture and excessive daytime somnolence by disrupting circadian rhythms and activity patterns, which are geared towards activity during the day and rest at night. Night-shift work is accompanied by a statistically significant reduction of sleep quality and quantity of sleep.^{1,2} Daytime sleep after night work is less efficient in comparison with the normal pattern of nocturnal sleep following an active day. Sleep deficits accumulate and sleep difficulties are a common complaint among shift workers.²

Night-shift work has various negative consequences:¹ biological, by disturbing normal circadian rhythms and shifting the sleep-wake cycle;² increased morbidity and mortality, by deteriorating health status, increasing sleep disturbances, in parallel with long lasting effects on cardiovascular, gastrointestinal and neuro-psychological functions;³ social, by damaging familial relations and social interactions;⁴ decreased work productivity; and increased risk of serious accidents.³

As the number of shift workers increases, practical and effective interventions are needed. Hot water baths represent an easy, accessible and effective practical choice. Reports suggest that the warm water improves sleep quality by adjusting the body temperature nadir and increasing slow wave sleep (SWS).⁴

Although daytime sleep in night-shift workers has been studied extensively, there are limited reports exploring the effects of natural interventions which may improve the sleep. Based on the influence of body temperature change on sleep quality,⁴ hot water baths could have sleep-inducing properties. We hypothesized that

Correspondence: Dr Alexandru Gaina, Department Of Epidemiology and Welfare Promotion, Faculty of Medicine, Toyama Medical and Pharmaceutical University, 2630, Sugitani, Toyama 930-0194, Japan. Email: md026002@st.toyama-mpu.ac.jp

Accepted for publication 26 April 2004.

sleep in shift workers after a hot bath would be improved in qualitative and quantitative aspects. The purpose of this study was to analyze the effects of hot baths on shift workers daytime sleep and to generate reproducible scientific evidence.

MATERIALS AND METHODS

Subjects

Nine male subjects who had engaged in full-time, regular night-shift work for five continuous nights per week (with a three week rotation cycle interval) for a period over 8 years, were selected after medical examination. All participants had been employed in the field of aluminum manufacturing, from 23:00 hours until 07:00 hours with a one-hour break (at 03:00 hours) with no possibility for sleep or dozing. All subjects were in good general health and were not taking any medication. They were asked to avoid alcohol 48 h before the experiment. Written informed consent was obtained according to the ethics guidelines of our institution. The mean age of participants was 38.8 years (\pm SD 8.2) and mean body mass index (BMI) was 22.2 kg/m² (\pm SD 1.7).

Study protocol

The experiment was carried out in a special air-conditioned, sound-proof and light-controlled room. The air temperature was set at 25° and humidity at 55%. Each subject was tested for three days. The first familiarization and adaptation day was followed by two randomly selected days with no bath and with bath. Preparation for the experiment commenced at 09:00 hours in the morning. A standard breakfast was provided before the experiment at the same time and similar to the food that subjects usually consumed. Before- and after-bath skin and tympanic temperature were measured. After completing a short questionnaire, subjects took a hot water bath, at around 10:00–10:15 hours (water temperature 40°, normal tap water, full emersion) for 10 min, or had no bath (control). At around 11:15–11:30 hours subjects were tucked in for an unrestricted sleep. They started to sleep at approximately the same time (sleep latency). NB The usual home sleep time ranged from 10:30 to 11:30 hours. The experiment ended at around 17:00–18:30 hours. At the termination of the data recording, the subjects completed the same questionnaire.

Sleep analysis

Polysomnography was performed using the Alice@3 digital polysomnography system (Respironics, Murrysville, PA, USA).⁵ Sleep data was scored at 30-s intervals using Rechtschaffen and Kales criteria. On this basis, the following parameters were quantified: TST (min), total sleep time (NREM + rapid eye movement (REM) + movement from sleep onset to the end of last sleep); TIB, time in bed (total duration from lights out to lights on); SOL, sleep latency (time between going to bed and sleep onset); REM latency (time between sleep onset and the onset of the first episode of REM sleep); SE₁, sleep efficiency (TST/TIB); SE₂, sleep efficiency (SWS + REM/TST); inter-sleep wake, wake in sleep divided by sleep period time; stages 1 and 2; SWS (min and percentage), slow wave sleep; number of REM cycles, (the time between two consecutive REM period ending points e.g. the first REM cycle starts at lights out and goes to the end of the first REM period; the second REM cycle starts at the end of the first REM cycle and goes to the end of the second REM period, etc.); REM (min and percentage); and REM density (REM time/TST \times 100%), SMI, sleep maintenance index (TST/TIB–SOL).⁵

Subjective estimation

The Stanford Sleepiness Scale⁶ (SSS) questionnaire and a Japanese sleep questionnaire, Oguri, Shirakawa, Azumi⁷ (OSA) were used to assess the subjective sleep quality of participants. In order to examine the behavioral and psychological changes we used the profile of mood states questionnaire (POMS).⁶ The OSA includes questions regarding sleepiness, sleep maintenance, anxiety, synthetic sleep and falling asleep. A higher score indicates a better sleep perception. POMS includes questions concerning tension and anxiety, depression, anger and hostility, vigor, fatigue and confusion. All questionnaires were completed in two sessions, before bath and after sleep.

Statistical analysis

All results are expressed as mean (\pm SD). Paired *t*-test was performed to analyze data on sleep stages. Repeated ANOVA were used to test the differences between the first, middle and last third of the sleep fractions (time \times conditions). The number of REM cycles was analyzed by Wilcoxon test. Values of *P* < 0.05 were considered statistically significant.

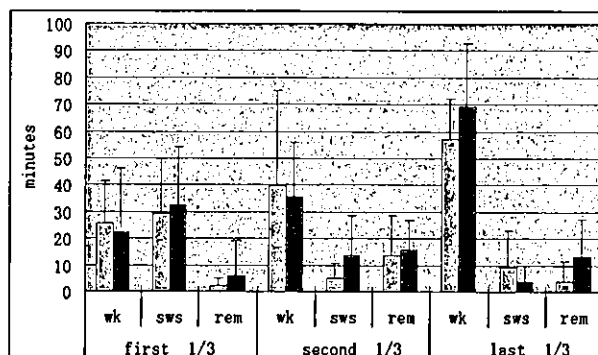
RESULTS

Polysomnography findings

REM parameters increased significantly after a hot bath (Table 1). We found a significant increase in the number of REM cycles, from 1.67 in control to 3.78 after a hot bath. REM density also increased from 7.31 to 15.13 ($P < 0.05$). There was a significant difference in the SE_2 (SWS + REM/TST) due to the above-mentioned increase in REM stages. The sleep maintenance index was low in both groups, without significant difference.

To compare the differences between the two conditions (Fig. 1), the total sleep time was divided into three equal fractions, with a mean average of 115.5 (22.3) min for control and 118.4 (21.5) min for bath. There were significant differences in wake time in all fractions ($P < 0.05$). Waking gradually increased from a minimum level in the first third of sleep time to maximum in the last third of sleep time. SWS showed significant difference among fractions with higher values in the first third of sleep time in both conditions. In the middle third of sleep time, SWS decreased in both groups, with the lowest value in the control group. In the last third of sleep time, SWS increased in the control

group but decreased in the bath group. REM showed significant difference within fractions with the lowest level in the first third in both groups and gradually increased in both conditions with maximum REM in the second third of sleep time, and finally decreased in the last third of sleep time. REM increased significantly in



All data are represented as mean (\pm SD).

Abbreviation: wk-wakefulness; sws-slow wave sleep; rem-rapid eye movement

Figure 1 Comparison of total sleep time (TST) distribution by fractions between control and bath groups. (▨) control; (■), bath; wk, wakefulness; sws, slow wave sleep; rem, rapid eye movement.

Table 1 Values for daytime sleep parameters in both groups. Sleep parameters comparison between control and hot water groups; mean (SD)

Parameters	Control mean (SD)	Bath mean (SD)	Difference	P-value
TST min	221.1 (81.9)	226.3 (70.8)	5.2	0.834
SOL min	13.3 (12.8)	9.2 (8.2)	-4.1	0.453
REM latency min	114.3 (36.5)	126.6 (68.5)	12.3	0.190
SE1%	62.5 (17.1)	62.8 (12.0)	0.3	0.957
SE2%	30.2 (19.7)	36.3 (16.5)	6.0	0.036
Inter sleep wake percentage	26.3 (17.3)	22.5 (8.2)	-3.8	0.478
Stage 1%	12.4 (9.0)	11.6 (8.4)	-0.8	0.796
Stage 2%	41.3 (17.5)	36.2 (11.1)	-5.1	0.294
SWS percentage	7.7 (6.3)	8.4 (5.6)	0.7	0.893
Stage 1 min	36.6 (28.6)	32.9 (16.1)	-3.7	0.629
Stage 2 min	123.8 (57.7)	110.2 (50.2)	-13.6	0.412
SWS min	21.7 (16.2)	23.8 (16.5)	2.1	0.445
Number of REM cycles	1.7 (1.4)	3.8 (3.5)	2.1	0.042
REM percentage	7.5 (7.3)	13.8 (7.9)	6.3	0.049
REM min	22.0 (22.1)	38.9 (26.8)	16.9	0.045
First REM duration min	5.2 (7.0)	9.1 (7.4)	3.8	0.324
REM density	7.3 (7.3)	15.1 (9.7)	7.8	0.024
SMI	65.3 (18.2)	64.4 (10.9)	-0.9	0.868

Values are expressed as means (\pm SD). CI = 95% confidence interval. TST (min), total sleep time, NREM + rapid eye movement (REM) + movement from sleep onset to the end of last sleep; SOL, sleep latency, time between going to bed and sleep onset; REM latency, time between sleep onset and the onset of the first episode of REM sleep; SE_1 - sleep efficiency (TST/TIB); SE_2 - sleep efficiency (SWS + REM/TST); inter-sleep wake, wake in sleep divided by sleep period time; REM, rapid eye movement; SMI, sleep maintenance).

Table 2 Profile of the mood states questionnaire

POMS questionnaire	Before sleep			After sleep		
	control	bath	P-value	control	bath	P-value
Tension and anxiety	50.33 (8.4)	50.44 (5.8)	0.958	48.22 (9.5)	46 (7.8)	0.164
Depression	56.33 (11.7)	55.33 (6.5)	0.724	55.56 (12.1)	51.89 (8.2)	0.125
Anger and hostility	51.22 (9.6)	51.56 (8.4)	0.913	53.11 (13.4)	47.119	0.038
Vigor	45.22 (9.6)	45.44 (8.2)	0.926	47.22 (10.6)	45.11 (10.4)	0.153
Fatigue	56.67 (8.7)	52.78 (6.6)	0.212	53.33 (12.1)	48.118	0.088
Confusion	53.56 (7.7)	52 (6.1)	0.415	53.67 (7.9)	48.89 (8.4)	0.003

All data are expressed as mean (\pm SD). CI = 95% confidence interval.

the hot bath group in comparison with control in the last fraction. REM was higher in all three episodes in the bath group.

Subjective sleep evaluation

The subjective sleep evaluation scores (Table 2) in the control group were lower than in the bath group. In particular, using the POMS questionnaire, we observed improvement in the majority of parameters with accent on a significant ($P < 0.05$) decrease in anger and hostility, fatigue ($P = 0.088$) and confusion ($P < 0.01$). The OSA (Table 3) also showed a significant ($P < 0.05$) decrease in anxiety in the bath group. Although the indicators for sleepiness, sleep maintenance, synthetic sleep and falling asleep improved after a hot bath, these results did not reach statistical significance. The scores for SSS were 3.22 in control and 3.11 in the bath group.

Skin and tympanic temperature

Skin temperature did not show any statistical significant change both in control and bath conditions. Instead, tympanic temperature level increased significantly ($P < 0.001$) after a hot bath, from 37.25° (0.22) to 38.09° (0.16).

DISCUSSION

Our experiment supports our hypothesis that a hot bath improves the quality of daytime sleep in shift workers. According to previous researchers, the diurnal sleep in shift workers is reduced by 2–4 h.⁸ The same finding also was observed in our study, in which the total sleep time constituted only 3.7 h concomitant with a high level of inter-sleep wake and low level of sleep maintenance index. Because sleep loss during daytime sleep in

Table 3 Oguri, Shirakawa, Azumi (OSA) and Stanford Sleepiness Scale (SSS) questionnaire

	Control	Bath	P-value
Sleepiness	49.7 (10.5)	51.3 (8.0)	0.562
SM	41.9 (6.6)	43.9 (6.0)	0.471
Anxiety	46 (6.9)	53.1 (6.8)	0.042
SS	43.7 (10.0)	44.1 (8.6)	0.848
Falling asleep	48.7 (8.8)	50 (7.8)	0.410
SSS	3.2 (1.1)	3.1 (1.3)	0.731

All data are expressed as mean (\pm SD). CI = 95% confidence interval. SM, sleep maintenance; SS, synthetic sleep; SSS, Stanford Sleepiness Scale.

night-shift workers mostly affects stage 2 and the REM component,⁸ our results confirm that a hot bath before sleep may increase REM. Horne^{9,10} found that a warm bath in the late afternoon does increase SWS. The same finding was reported by Jordan,¹¹ but after passive body heating before sleep. Moreover, Sung⁴ reported improved SWS and REM following immersion of the legs in a hot water bath for half an hour before bedtime. However, in our study we found a statistically significant increase in REM percentage, density and frequency of REM cycles after bathing. The duration of the first REM period was also longer in the group which was allowed to take a hot bath. This suggests that the differences observed between the two groups in respect to REM, could actually be attributed to the beneficial and sleep-inducing effects of a hot water bath.

Our results are relevant to the mechanisms by which hot bathing could affect sleep in shift workers. Augmented REM reflects an interaction between the circadian pacemaker and a homeostatic process that induces compensatory REM. Sleep improvement after body warming appears to be related to an enhanced and/or prolonged decrease in core temperature during sleep, which is due to increased heat dissipation with the

concomitant increase in skin temperature. In addition, some researchers^{12,13} suggest that in the heated body the rate of production of sleep-inducing factors are increased. Probably, all of the above factors have an impact on the increase in REM during diurnal sleep in night-shift workers following a hot bath.

Objective findings are supported partially by subjective findings especially in POMS, which improved after hot baths. This result is important because it is well established that a more troublesome effect of sleep perturbation is its effect on mood and cognitive performance, resulting in reduced concentration, increased depression and fatigue together with reduced reaction time.

In reference to stage distribution by fractions, an increase in delta sleep primarily in the first cycle was observed in our study, coupled with a reduction in the duration of first REM. The same finding was reported in the case of passive comfortable heating without a hot water bath.¹² Sleep displacement to daytime hours in rotating night-shift workers is manifested by sleep disruption. In general, day sleep in night-shift workers is characterized by being shorter than night sleep, by being more fragmented, and by having a different sleep structure, particularly with respect to REM parameters.^{8,14} The principal cause of the sleep disruption is its displacement to daytime hours during which the circadian rhythm in sleep pressure is at its minimum. In reference to adjustment to a new circadian phase, only very superficial adjustment occurs in shift workers.^{12,15}

In this study, the most prominent effect of sleep inversion in shift workers was a significant increase in wakefulness, particularly toward the end of sleep. In parallel, we found that the REM period was shifted to a later period (REM retard) in both groups and REM latency was reached almost in two hours. Also, we observed an interesting phenomenon studied earlier,^{13,16} that all subjects experienced spontaneous sleep terminations. The sleep maintenance index was low in both groups, thus sleep was truncated. All findings suggest that even after the beneficial effects of a hot water bath, sleep in shift workers is still under the great influence of sleep-wake cycle inversion and some of the sleep parameters cannot recover in quantitative or qualitative aspects.¹⁴

As a limitation of the present study, this experiment included a relatively small number of subjects and some sleep parameters (subjective and objective) could not reach statistical significance. Another limitation is the absence of zeitgebers due to the laboratory conditions, even though we tried to create a similar environment.

In conclusion, our findings demonstrate that daytime sleep after a hot bath in night-shift workers can promote sleep by increasing REM parameters and improve subjective feelings. A hot bath is a feasible, effective and safe way of treating many common ailments, especially related to sleep disturbances. A promising perspective would be to understand the mechanisms of sleep improvement after the hot bath, in order to cope better with shift work.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors wish to thank, and express their special gratitude to, Vitalie LUPU, MD, Department of Neurology, Georgetown University, Washington, DC for his helpful comments and assistance with the manuscript. This project was supported in part by Health Science Research Grants (H 15 – Cancer Prevention – 034) from the Ministry of Health Labor and Welfare.

REFERENCES

- 1 Frese M, Horwich C. Shift work and the length and quality of sleep. *J. Occup. Med.* 1984; 26: 561–6.
- 2 Tepas DI, Carvalhais AB. Sleep patterns of shift workers. *Occup. Med.* 1990; 5: 199–208.
- 3 Costa G. The impact of shift and night work on health. *Appl. Ergonomics* 1996; 27: 9–16.
- 4 Sung EJ, Tochihara Y. Effects of Bathing and Hot Footbath on Sleep in Winter. *J. Physiol. Anthropol. Appl. Human Sci* 2000; 19: 21–7.
- 5 Alice 3. *Instruction Manual*. Atlanta: Publisher? 2001.
- 6 The Japanese Society of Sleep Research, eds, *Handbook of Sleep Science and Sleep Medicine*, Tokyo: The Japanese Society of Sleep Research, 1994.
- 7 Oguri M, Shirakawa S, Azumi K. A development of OSA sleep questionnaire. *Seishin Igaku*. 1985; 27: 791–9 (in Japanese).
- 8 Akerstedt T. Shift work and disturbed sleep/wakefulness. *Sleep Med Rev* 1998; 2: 117–28.
- 9 Horne JA, Reid AJ. Night-time sleep EEG changes following body heating in a warm bath. *Electroen. Clin. Neurophys.* 1985; 60: 33–8.
- 10 Horne JA, Shackell BS. Slow wave sleep elevations after body heating. proximity to sleep and effects of Aspirin. *Sleep* 1987; 10: 383–92.
- 11 Jordan J, Montgomery I, Trinder J. The effect of afternoon body heating on body temperature. *Psychophysiology* 1990; 27: 560–6.
- 12 Van Someren EJW. More than a marker: interaction between the circadian regulation of temperature and sleep, age-related changes, and treatment possibilities. *Chronobiol. Intern.* 2000; 17: 313–54.

- 13 Bunnell D, Agnew J, Horvath S, Jopson L, Wills M. Passive body heating and sleep: influence of proximity to sleep. *Sleep* 1988; **11**: 210-9.
- 14 Akerstedt T. Work hours, sleepiness and underlying mechanism. *J. Sleep Res.* 1995; **4**: 15-22.
- 15 Tepas DI. Shiftworker sleep strategies. *J. Hum. Ergol.* 1982; **11**: 325-36.
- 16 Akerstedt T. Shift work and disturbed sleep/wakefulness. *Occup. Med.* 2003; **53**: 89-94.

脳血流を主とした入浴中の血行動態から見た安全な入浴法の検討

堀井雅恵¹⁾、鏡森定信¹⁾、麻野井英次²⁾、山田邦博²⁾

1) 富山医科薬科大学医学部保健医学教室

2) 富山医科薬科大学医学部第二内科学教室

Studies on Safe Bathing Based on the Measurement of Cerebral Hemodynamics during Bathing

Masae HORII, Sadanobu KAGAMIMORI, Hidetsugu ASANOI, Kunihiro YAMADA

1) Department of Epidemiology and Welfare Promotion, School of Medicine, Toyama Medical and Pharmaceutical University

2) Second Department of Internal Medicine, School of Medicine, Toyama Medical and Pharmaceutical University

連絡先：〒930-0194 富山市杉谷 2630 (TEL 076-434-7274 FAX 076-434-5022)

富山医科薬科大学医学部保健医学教室 堀井雅恵

e-mail: horiims@eng.toyama-u.ac.jp

脳血流を主とした入浴中の血行動態から見た安全な入浴法の検討

堀井雅恵¹⁾、鏡森定信¹⁾、麻野井英次²⁾、山田邦博²⁾

1) 富山医科薬科大学医学部保健医学教室

2) 富山医科薬科大学医学部第二内科学教室

Studies on Safe Bathing Based on the Measurement of Cerebral Hemodynamics during Bathing

Masae HORII, Sadanobu KAGAMIMORI, Hidetsugu ASANOI, Kunihiro YAMADA

1) Department of Epidemiology and Welfare Promotion, School of Medicine, Toyama Medical and Pharmaceutical University

2) Second Department of Internal Medicine, School of Medicine, Toyama Medical and Pharmaceutical University

Summary

Frequently occurred sudden deaths in the bath have become to serious problem in Japan. Sudden death in the bath possibly concerned with neurally mediated syncope. During and after bathing, bather is possibly tended to occur orthostatic intolerance by thermal stress to the circulatory dynamics. The experiment was performed focused on changes in cerebral and cardio vascular hemodynamics by postural change in the bathing to discuss the safe way of bathing.

On 9 healthy young subjects, $41 \pm 1^\circ\text{C}$ bathing was performed 15 minutes, change in oxidized hemoglobin (ΔOxyHb) on the forehead as an indicator of cerebral blood flow was monitored by near-infrared spectroscopy method at interval of 0.5 s through the experiment. In sitting and upright position, Blood pressure and heart rate were measured before bathing, at 5 minutes, 10 minutes and 15 minutes (upright with head down) after immersion and after bathing.

Some subjects felt dizziness at upright during and/or after bathing. It suggests that orthostatic stress under heat stress is implicative even for healthy young. ΔOxyHb for subjects with dizziness at upright during bathing is significant lower below the baseline than it for subject without dizziness.

Degrees of depression of systolic blood pressure, elevation of heart rate and depression of cerebral blood flow by standing at 10 minutes after starting immersion were significant larger than their values before bathing. Degree of elevation of heart rate and depression of cerebral blood flow by standing with head down were significant

smaller than their value at standing without head down. It suggests that upright with head down reduce the orthostatic stress to the cerebral cardiovascular hemodynamics.

抄録原文

日本では入浴死亡事故が多発しており、大きな問題となっている。入浴中の急死には神経調節性失神が関わっている可能性が指摘されている。入浴中、入浴後は温熱の循環動態への効果により、起立性失調を起こしやすい状態にあると考えられる。本研究では出浴時の起立による心・脳循環動態の変化に着目して実験を行い、安全な入浴法を検討した。若年者を対象として、 $41\pm 1^{\circ}\text{C}$ 、15分の入浴を行い、脳血流の指標として前額部の ΔOxyHb を入浴前から入浴後まで0.5秒間隔でモニターした。入浴前と入浴開始後5分と10分の時点で起立、15分後の出浴時は頭位を低くした姿勢で起立し、更に出浴後にも起立を行った。起立時とその直前の座位時に血圧、心拍数を測定した。入浴中と入浴後の起立で立ちくらみの症状を呈した被験者が少なからずおり、若年者でも温熱刺激がある状態での起立は負担が大きいことがわかった。立ちくらみ症状があった被験者における起立時の ΔOxyHb の低下は症状なしの被験者に比べて有意に大きかった。入浴開始後10分の時点における起立で、収縮期血圧の低下、心拍数の上昇、 ΔOxyHb の低下が入浴前の起立によるものより大きく、心・脳血管系の負担が大きくなることが示された。また、頭位を低くした状態で起立した場合、心拍数の上昇、 ΔOxyHb の低下が有意に小さく、心血管系の負担が軽減されることがわかった。

Key words: Sudden Death in the bath, Thermal Stress, Orthostatic Stress, Cerebral Blood Flow

I 緒言

日本においては、健康増進やリハビリテーションなどに温浴が利用されている一方で、高齢者の入浴死亡事故の多発が問題となっている。2003年における厚生労働省人口動態統計によると、浴槽内での溺死、及び溺水は2936人で、65歳以上が88%を占めていた¹⁾。この分類には入浴中の死亡であっても病死とされたものは含まれていない。東京都における病死を含めた入浴中急死の全体数と溺死の比率から、全国の入浴中急死者数は年間約10000-14000人と推定されている^{2,3)}。入浴中急死の特徴は65歳以上の高齢者に多く、冬季に発生が多いことであり、これらの点については入浴中急死を扱った殆ど全ての文献で一致している^{2,9)}。入浴中急死の死因は心疾患、脳血管障害、溺水が主なものであるが、その内訳は県によって大きな差がある⁴⁾。死体検案のみで死因が決定されている例が多く、また剖検が行われている場合でも監察医によって死因確定基準が異なり¹⁰⁾、法医学のデータからは実際の病態の把握は難しい。

入浴中急死あるいは急病の発生場所について言及している文献では死亡、あるいは心肺

停止の90%が浴槽内で起こっていると報告している^{2,5)}。諸外国では入浴中の死亡事故は日本に比べると少なく、サウナ浴の盛んなフィンランドでも入浴中の死亡事故は日本ほど多くないこと³⁾を考慮すると深い浴槽につかる日本独特の入浴姿勢が入浴中急死に関連しており、死因には溺水の関与が大きいと考えられる。アメリカ合衆国においてサウナよりスパ、ジャグジー、ホットタブでの死亡が多い¹⁰⁾という報告もある。

入浴中急死者の多くは自力で入浴が出来る健康状態であったと考えられるため、溺水に至るまでには、失神・意識消失が起こっているとの考えが現在有力となっている^{2,3)}。失神の原因については熱中症と血圧低下によるもの^{2,3)}、脳血管障害の発作によるもの^{6,10)}などが挙げられている。

入浴中に心肺停止あるいは一過性意識障害となり救命し得た症例では、失神に至る器質的、薬物的原因が見あらず、起立性低血圧が高頻度に認められるという報告がある^{2,12,13)}。

最近、失神やその前駆症状のモニタリングとして脳血流測定が使われている¹⁴⁾。実際に入浴実験を行って、入浴中の出浴後の心循環を中心とした血行動態を調べ、入浴の負荷について検討した研究例^{7,15-19)}は多いが、入浴中の脳血流について定量的に調べたものは少ない²⁰⁾。脳血流の定量的な測定は難しいが、最近、足浴の研究で近赤外分光法による血流測定が使われており²¹⁾、近赤外分光法を用いた連続的な血流測定は可能と考えられる。

本研究では、入浴から出浴後までの動作と浴槽中での起立、出浴後の起立に着目して、脳血流の連続測定を行い、起立動作の前後で血圧、心拍数を測定した。入浴中、出浴後の心脳循環動態を健康な若年者において実験的に調べることで、入浴中急死・入浴事故の機序及び安全な入浴法を検討することを目的として研究を行った。

II 対象と方法

1. 対象

年齢 28.7 ± 6.2 歳、身長 171.4 ± 4.5 cm、体重 66.9 ± 6.9 kg (平均 \pm 標準偏差) の健康な若年男性 9 名を対象とした。被験者には実験の手順と目的を説明し、実験の参加に対する同意を得た。

2. 測定項目及び使用機器

(1)脳血流の指標として、前額部の酸化型ヘモグロビンの相対変化 (Δ OxyHb) を NIRO300(浜松ホトニクス)によって近赤外分光法で連続的に測定した。

血圧と心拍数は、それぞれの入浴、出浴、起立動作の前後にカフ式の自動血圧計 Kenz45G (SUZUKEN)を用いて左上腕部で測定した。

3. 実験手順

実験は富山医科薬科大学保健医学教室内の環境制御室及び付置されたユニットバスにて室温 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ 、湿度 $50 \pm 5\%$ で行われた。被験者は水着を着用し、前額部に脳血流のセンサーをつけ、左前腕部に自動血圧計のマンシェットを巻いた。入浴前、バスルームの外で座位の安静な状態で、NIRO300 をイニシャライズし、その後、一連の実験の終わりまで、 Δ

OxyHb を 0.5 秒間隔で連続測定した。入浴前の安静時に座位と立位で血圧、心拍数を測定した(U0)。その後、浴室に移動し、 $41\pm 1^{\circ}\text{C}$ の温度で、座位にて腋下部までの水位で入浴を開始した。入浴開始から約 5 分後に血圧、心拍数を測定した後、被験者を浴槽中で起立させ、起立した状態で血圧、心拍数を測定し (U5)、その約 1 分後再び浴槽につからせる。入浴開始から約 10 分後に血圧、心拍数を測定した後、再び被験者を浴槽中で起立させ、起立した状態で血圧、心拍数を測定する(U10)。約一分後、再び浴槽につからせる。約 15 分後に血圧、心拍数を測定した後、頭位を低くしたまま起立し、血圧、心拍数を測定した(UD)。その後出浴し、風呂の縁に座って約 5 分間安静な状態を保った。その後、浴槽の縁に座った状態で、血圧、心拍数を測定した後、起立して血圧、心拍数を測定した (UA)。U0、U5、U10、UD、UA の動作の前後における血圧、心拍数測定時に ΔOxyHb の記録上にタイムマークを入れた。参考測定として 4 人の被験者で $36^{\circ}\text{C}\pm 1$ の入浴も行った (例数が少ないため、統計解析には含めていない)。

4. 統計処理

入浴前の起立(U0)、入浴開始 5 分後の起立 (U5)、入浴開始 10 分後の起立 (U10)、頭位を低くした起立 (UD)、出浴後の起立 (UA) のそれぞれの動作における座位時の収縮期血圧(SBP)、拡張期血圧(DBP)、心拍数(HR)、脳血流(ΔOxyHb)の値について欠損値のある被験者を除き、repeated measure ANOVA で解析し、その後、Dunnnett の多重比較を行った。また、U0、U5、U10、UD、UA のそれぞれの動作における SBP、DBP、HR、 ΔOxyHb の座位時と立位時の差について repeated measure ANOVA で解析し、その後、Tuckey の多重比較を行った。P<0.05 を統計的有意差ありとみなした。

Ⅲ成績

1. 入浴中の脳血流の経時変化

それぞれ、入浴前に起立 (U0)、入浴開始 5 分後に起立(U5)、10 分後に起立(U10)、15 分後に脳血流の低下を防ぐ目的で頭位を低くして起立(UD)後出浴し、出浴 5 分後に起立 (UA) の動作を行った結果、すべての被験者において、入浴中の座位時は時間と共に ΔOxyHb が上昇するが、起立時は急な下降が見られ、入浴前の起立(U0)、頭位を低くした起立(UD)に比べて入浴中の起立(U5, U10)による ΔOxyHb の下降はるかに大きいことが観察された。Fig.1 に同一被験者の 36°C 入浴と 41°C 入浴における ΔOxyHb 測定の例を示す。入浴前の立位に比べて入浴中の立位 (U5, U10) で顕著な ΔOxyHb の低下が見られ、入浴温度による比較では 36°C 入浴より 41°C 入浴の方が入浴中の ΔOxyHb の上昇が大きく、立位による ΔOxyHb の低下の程度が大きいことが見受けられた。Fig. 2 に 41°C 入浴と 37°C 入浴について入浴前、入浴開始後 5 分、10 分、15 分、出浴後 5 分における平均値を示す。

また、9 人中 4 人の被験者に入浴中の立位時あるいは出浴後の立位時に立ちくらみの自覚症状があった。Fig.3 は、入浴中の立位時(U5,U10)、出浴後の立位時 (UA) に立ちくらみの症状があった被験者の ΔOxyHb の経時変化を示す。立ちくらみの症状がなかった Fig. 1 の例に比べて立位時の ΔOxyHb の下降が大きく、入浴前のベースラインを下回る傾向が見

受けられた。

座位時の Δ OxyHb、立位時の Δ OxyHb、立位時と座位時の Δ OxyHbの差について、立ちくらの症状があった被験者となかった被験者の比較をTable 1に示す。立ちくらみ症状のあった被験者については立ちくらを起こした起立時の平均、なかった被験者については入浴中の起立(U5, U10)、出浴後の起立(UA)を平均したデータを用いた。検定は対応のないt検定を行った。座位時の Δ OxyHbは両者で有意差がないが、立位時の Δ OxyHbは、立ちくらみありの被験者においてベースラインを下回って負の値となっており、立ちくらみなしの被験者と有意差が認められた ($P<0.05$)。立位時と座位時の Δ OxyHbの差についても立ちくらみありとなしで有意差があった ($P<0.05$)。

2. 座位における血圧、心拍数、脳血流の変化

Table 2に入浴前、入浴開始5分後、10分後、15分後、出浴5分後の座位時における収縮期血圧(SBP)、拡張期血圧(DBP)、心拍数(HR)、脳血流(Δ OxyHb)の repeated measure ANOVA 及び Dunnett の多重比較の結果を示す。

SBPは入浴中上昇する傾向があり、入浴前値と入浴15分後の値に有意差があった ($P<0.05$)。SBPは出浴5分後には入浴前値に戻っていた。DBPは入浴中下降する傾向があり、入浴前値と入浴開始10分後 ($P<0.01$)、15分後 ($P<0.001$)、出浴5分後 ($P<0.05$) に有意差があった。HRは入浴中上昇する傾向があり、入浴前値と入浴開始10分後 ($P<0.01$)、15分後 ($P<0.001$)、出浴5分後 ($P<0.05$) に有意差があった。 Δ OxyHbは入浴中上昇する傾向があり、入浴前値と入浴開始5分後 ($P<0.05$)、入浴開始10分後 ($P<0.001$)、15分後 ($P<0.001$)、出浴5分後 ($P<0.001$) に有意差があった。

3. 血圧、心拍数、脳血流の座位時と立位時の差

Table 3に入浴前(U0)、入浴開始5分後(U5)、入浴開始10分後の起立(U10)、頭位を低くした起立(UD)、出浴後の起立(UA)のそれぞれの動作における収縮期血圧(SBP)、拡張期血圧(DBP)、心拍数(HR)、脳血流(Δ OxyHb)の起立時と座位時の差についての repeated measure ANOVA と Tukey の多重比較の結果を示す。SBPは、入浴開始5分後(U5)と10分後(U10)で大きな低下を示し、頭位を低くした立位(UD)でも依然低下が大きい。出浴5分後にはかなり回復している。SBPについては、U0とU10の間に有意な差があった ($P<0.05$)。DBPは、U0、UD、UAでは上昇したが、入浴中の起立のU5、U10では、下降していた。しかし、DBPについては、統計的に有意な変化は見られなかった。HRは、入浴の時間が長くなるほど起立による上昇が大きくなり(U5, U10)、UDでも依然上昇が大きく、UAでかなり回復する。HRについては、U10とU0 ($P<0.001$)、U10とU5 ($P<0.05$)、U10とUD ($P<0.05$)、U10とUA ($P<0.001$) に有意差があった。 Δ OxyHbについては、座位時の Δ OxyHbが入浴時に上昇し続けるため、差も次第に大きくなる傾向があるが、頭位を低くした起立(UD)では、低下の程度がU0と同じ程度に小さくなっていった。 Δ OxyHbについては、U0とU10 ($P<0.05$)、U0とUA ($P<0.01$)、U10とUD ($P<0.05$)、UDとUA ($P<0.01$) に有意差があった。

IV 考察

1. 入浴中の脳血流の経時変化

本実験では脳血流の指標として Δ OxyHbを用いた。脳血液の酸素飽和度、血液Hb濃度、脳細胞の代謝が変化しなければ、起立時におけるOxyHbの低下は脳血流の減少を意味すると考えられる¹⁴⁾。入浴前(U0)に比べて入浴中の起立(U5、U10)、出浴後の起立による Δ OxyHbの低下が大きく、36℃より41℃の方が入浴中の起立による Δ OxyHbの低下が大きかった(Fig. 1)。座位時の Δ OxyHbは41℃入浴中上昇する傾向が見られ、36℃より上昇の程度が大きかった(Fig. 2)。温熱効果による血管拡張反応のために起立時に血液が下肢へ移動し、静脈還流が減少し、血圧が低下することと関連すると考えられる。

Δ OxyHbは脳の比較的表層に近い部分を測定しているため、皮膚血流の増大の影響も含まれている可能性があり、このデータから41℃入浴による脳血流の上昇を結論付けることはできないが、42℃の足浴において血液量の増大と脳圧の亢進が示唆されており²¹⁾、40度以上の温浴では脳血流は上昇している可能性がある。今後、表層の影響を受けにくい空間分解分光法(SRS)のパラメータ²²⁾も併せて考慮し、確認する必要がある。

本研究の実験において立ちくらみ症状を自覚した事例が少なからずあった。40℃以上での入浴中、入浴後は若年者でも起立性失調を起こしやすい状況にあると言える。立ちくらみを起こした事例では起こしていない事例に比べて Δ OxyHbの低下の程度が大きく(P<0.05)、起立時の Δ OxyHbもベースラインを下回り、有意に低い値を示した(P<0.05)(Table 1)。 Δ OxyHbの測定は失神やその前駆症状の診断に有効である可能性がある。

2. 座位における血圧、心拍数、脳血流の変化

入浴時の座位におけるSBPは上昇する傾向にあり、15分後の値は入浴前値と有意差があった(P<0.05)。先行文献では血管拡張のため入浴中、下降し続けるか^{7,15)}、入浴直後に静水圧による静脈や胸郭の圧迫で一時的に上昇した後、血管拡張のため下降する例が多く¹⁶⁻¹⁹⁾、本研究の結果と矛盾する。本実験では、入浴中に起立を繰り返しているため、そのことが座位時の値に影響しているのかもしれない。

DBPは下降する傾向にあり、10分後(P<0.01)、15分後(P<0.01)、出浴後(P<0.05)の値に入浴前値と有意差があった。このDBPの下降する傾向については従来文献と矛盾しない^{7,15-19)}。

HRは上昇する傾向にあり、10分後(P<0.01)、15分後(P<0.01)、出浴後(P<0.05)の値に入浴前値と有意差があった。心拍数の上昇は交感神経の亢進によって40℃以上の入浴で通常観察される現象である^{7,15-19)}。

Δ OxyHbについては入浴中上昇する傾向が見られ、5分後(P<0.05)、10分後(P<0.001)、15分後(P<0.001)、出浴後(P<0.001)の値に入浴前値と有意差があった。 Δ OxyHbのデータの考察については前項でふれた。

3. 血圧、心拍数、脳血流の座位時と立位時の差

1) 入浴時間による比較(U5, U10)

SBP、HR、 Δ OxyHb について入浴前値と入浴開始 10 分後の間に有意差が見られ (それぞれ $P<0.05$ 、 $P<0.001$ 、 $P<0.05$)、入浴後 10 分で起立による収縮期血圧の低下、心拍数の上昇、脳血流の低下が大きく、入浴前より起立の負荷が大きくなっていると考えられる。特に心拍数では入浴開始後 5 分の値と 10 分の値にも有意差が見られ ($P<0.05$)、5 分間の入浴より 10 分間の入浴の方がより負荷が高いことがわかった。

2) 起立の姿勢による比較(U10, UD)

HR と Δ OxyHb について入浴開始 10 分後の起立と 15 分後の頭位を低くした起立に有意差が見られ(それぞれ $P<0.05$)、頭位を低くすることで心拍数の上昇と脳血流の低下が抑えられ、起立の負荷が軽減されることがわかった。 Δ OxyHb については頭位を低くした起立と出浴後 5 分での起立にも有意差があった($P<0.01$)。

V まとめ

1) 入浴中の Δ OxyHb の測定から入浴中の起立によって起こる脳血流の低下は入浴前より大きく、 37°C より 41°C での入浴の方が低下の程度が大きかった。出浴から 5 分程度経過しても温熱の効果が残っており、起立による脳血流の低下は入浴前より大きい傾向がある。

2) 他のパラメーターも考慮する必要があるが、 Δ OxyHb の座位時の測定によると入浴中の脳血流は上昇している可能性がある。

3) 被験者はすべて若年者であるが、入浴中の起立実験で立ちくらみ症状を呈した被験者が少なからずあった。立ちくらみ症状があった被験者となかった被験者の Δ OxyHb を比較すると立ちくらみ症状があった被験者では起立時の値が入浴前のベースラインより下がる傾向があり、座位時と起立時の Δ OxyHb の差が立ちくらみのなかった被験者に比べて有意に大きかった。近赤外分光法を用いた Δ OxyHb 測定は失神やその前駆症状の診断に有効である可能性がある。

4) 41°C 入浴 10 分で起立による収縮期血圧の低下、心拍の上昇、脳血流の低下の程度が大きくなり、入浴時間が長くなると起立負荷が大きくなることがわかった。

5) 起立の際に頭位を低く保つと心拍の上昇、脳血流の低下を軽減できることがわかった。

40°C 以上の高温浴、長時間の入浴は、循環動態に与える影響が大きく、心事故の危険を増すことが従来から指摘されているが²⁾⁹⁾、入浴中の起立の実験から 40 度以上の高温浴、長時間の入浴は起立による負荷も増大させることがわかった。また、入浴後 5 分経過しても温熱の起立負荷に対する効果は続いていると考えられる。頭位を低くした姿勢は体位変化による脳循環への負担を軽減するのに有効であり、頭位を低くして出浴し、出浴後しばらく休息が取ることが必要であると考えられる。

本研究では若年者を対象として実験を行ったが、入浴事故の多くを占める高齢者においては、起立性低血圧の傾向や自律神経機能の低下、動脈硬化の影響などを考慮すると、温熱効果がある状態での起立は、より心・脳循環に対する負担が高いと考えられる。

謝辞

本研究は厚生労働科学研究補助金（健康科学総合研究事業）の一環として実施された。

参考文献

- 1) 厚生労働省: 人口動態統計. 2003.
- 2) 堀進吾, 中村岩男, 鈴木昌, 他: 寒冷期における中高年者の入浴中の事故 救急医学の面から. 日本医事新報 2000; 3996: 15-20.
- 3) 中村岩男: 失神と入浴急死. Heart View 2002; 6: 1163-1168.
- 4) 吉岡尚文, 二部恒美, 丸山啓司, 他: 浴室での内因性急死例の実態調査と問題点について. 法医学の実際と研究 1998; 41: 353-359.
- 5) 秋山久尚, 相馬一玄, 大和田隆, 他: 老年者の入浴中に発生した心肺機能停止症例の最近10年間の臨床的検討. 日救急医学会誌 1999; 10: 132-140.
- 6) 稲村啓二: 高齢者の入浴中の急死の検討. 法医学の実際と研究 1995; 38: 349-351
- 7) 重臣宗伯, 佐藤ワカナ, 円山啓司, 他: 高齢者の入浴突然死に関する調査研究. 日救急医学会誌 2001; 12: 109-120.
- 8) 奈良昌治, 谷源一, 小松本悟: 高齢者の入浴事故死の医学的および社会的検討. 日本老年医学会雑誌 1994; 31: 352-357.
- 9) 舟山真人, 山口吉嗣, 徳留省吾, 他: 東京都監察医務院で扱った最近の入浴急死. 法医学の実際と研究 1989; 32, 301-307.
- 10) 黒崎久仁彦, 栗岩ふみ, 原修一, 他: 入浴中急死例における死因決定の現状と問題点. 法医学の実際と研究 2002; 45: 175-180.
- 11) Press, E: The Health Hazards of Saunas and Spas and How to Minimize Them. American Journal of Public Health 1991; 81, 1034-1037.
- 12) 副島京子, 堀進吾, 藤島清太郎, 他: 入浴中急死の原因として神経調節性失神の関与が考えられた2症例. 日本救命医療研究会雑誌 1997; 11: 57-62.
- 13) 鈴木昌, 堀進吾, 藤島清太郎, 他: 入浴中に意識障害が発生し救助された1例. 日救急医学会関東誌 1999; 20, 102-103.
- 14) 田中英高, 松島礼子, 山口仁: 小児科領域における近赤外線脳酸素モニタの臨床応用-起立性調節障害における脳循環動態の評価について-. 臨床医のための近赤外分光法(脳代謝モニタリング研究会編), 新興医学出版社, 東京, 2002; p134-139.
- 15) 桑島巖: 寒冷期における中高年者の入浴中の事故 循環動態の面から. 日本医事新報 2000; 3996: 1-4.
- 16) 美和千尋, 岩瀬敏, 小出陽子, 他: 入浴時の湯温が循環動態と体温調節に及ぼす影響, 総合リハ 1998; 26, 355-361.
- 17) 樗木晶子, 長弘千恵, 長家智子, 他: 入浴中の循環動態の変化に関する基礎的研究-高齢者を対象に-. 日循予防誌 2004; 39, 9-14.
- 18) Nagasawa Y, Komori K, Sato M, et al.: Effects of Hot Bath Immersion on

- Autonomic Activity and Hemodynamics -Comparison of the Elderly Patient and the Healthy Young-. Jpn Circ J 2001; 65, 587-592.
- 19) Allison TG, Miller, TD, Squires, RW, et al.: Cardiovascular Responses to Immersion in a Hot Tub in Comparison With Exercise in Male Subjects With Coronary Artery Disease. Mayo Clin Proc 1993; 68, 19-25.
- 20) 渡邊弘美, 頼住孝二: 健康成人において温水浴が脳血流量に及ぼす影響 -Technetium-99m ethyl cysteinate dimmer 使用の Patlak plot 法による定量的検討-. 日温気物医誌 1997; 60: 96-100.
- 21) Xu FH, Uebaba K: Temperature Dependent Circulatory Changes by Footbath -Changes of Systemic, Cerebral and Peripheral Circulation-. J Jpn Assoc Phys Med Balneol Climatol 2003; 66: 214-226.
- 22) 酒谷薫: 基礎原理 Q&A. 臨床医のための近赤外分光法 (脳代謝モニタリング研究会編), 新興医学出版社, 東京, 2002; p1-9.

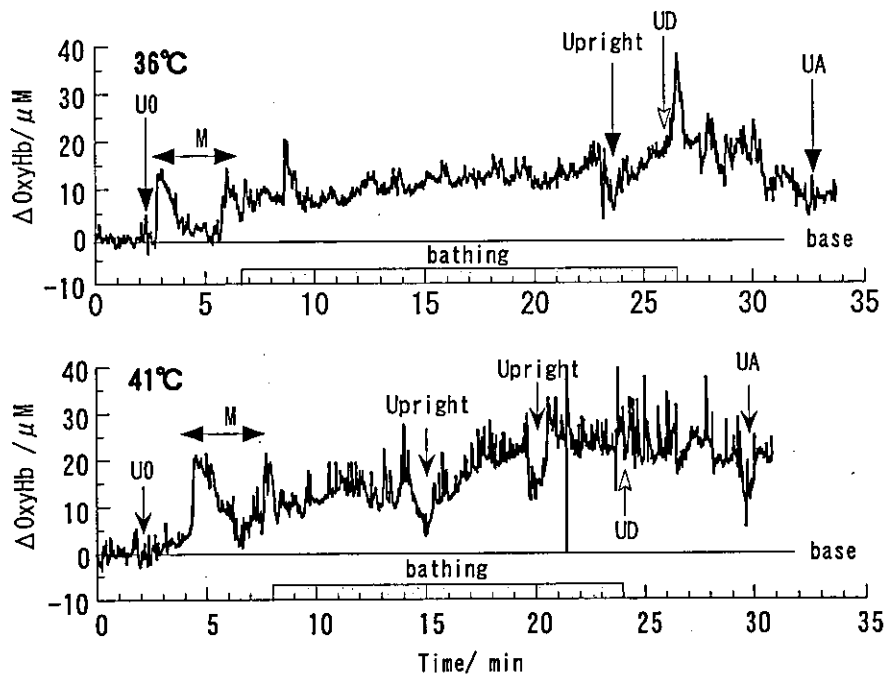


Fig. 1 Time profile for ΔOxyHb of the forehead of a subject on 36°C (upper) and 41°C (lower) bathing. U0: Upright before bathing, UD: Upright with head down and step out from bathtub UA: Upright after bathing.

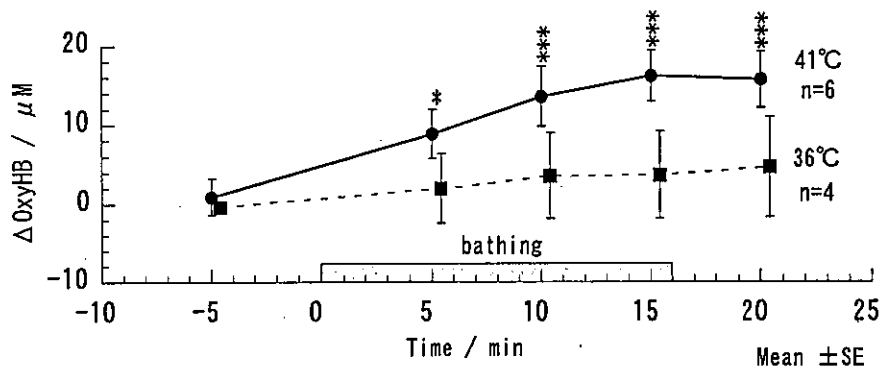


Fig. 2 Changes in OxyHb of the forehead during bathing (41°C and 36°C). * : P<0.05 compared with baseline, *** : P<0.001 compared with baseline (Dunnett's multiple comparison).

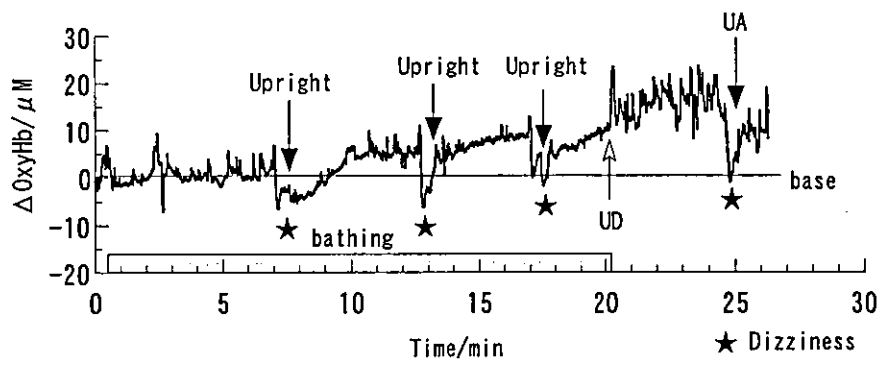


Fig. 3 Time profile for ΔOxyHb of the forehead of the subject with dizziness at uprights during and after bathing. UD: Upright with head-down and step out from bathtub, UA: Upright on 5 minutes after bathing.