

# 入浴に伴う体温、循環機能および温熱性快適感の変化 －室温の影響－

## Changes in body temperature, circulatory function, and thermal comfort during and after bathing : Effect of room temperature

山崎文夫\*

Fumio Yamazaki

### 要約

入浴中は湯温に依存して生体に温熱負荷がかかる上に静水圧の影響によっても循環動態が大きく変化する。さらに冬季における浴室温の低下は入浴関連事故を引き起こす原因になり得る。しかし入浴時の室温が生理心理機能に及ぼす影響については不明な点が少なくない。そこで本研究では、若年男性を対象として湯温40℃での15分間の入浴時の体温、循環および心理的パラメーターの変化に及ぼす室温（10、20、および30℃）の影響を検討した。その結果、食道温は入浴により10℃条件では上昇しなかったが（ $0.0 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ ）、20℃条件では $0.3 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 、30℃条件では $0.7 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 、それぞれ上昇した。入浴前の血圧と総末梢血管抵抗は室温が低いほど高かった。血圧はいずれの室温条件においても入浴中に変化しなかったが、30℃条件での入浴直後には一過性に低下する傾向がみられた。30℃条件での入浴中の心拍出量は他の室温条件でのそれらよりも有意に高かった。温冷感の入浴に伴う皮膚温の変化に依存して変化した。快適感の入浴により10℃条件では増加し、30℃条件では減少し、20℃条件では変化しなかった。これらのことより入浴時の心血管系や温熱性不快感は浴室の温熱条件に強く影響されることが明らかとなった。四季を通じて安全で快適な入浴ができるように浴室温を適切に管理することが望ましいと考えられた。

キーワード：血圧、深部体温、心拍出量、快適感、温冷感

Key words : blood pressure, core temperature, cardiac output, thermal comfort, thermal sensation

### Abstract

Bathing induces a marked hemodynamic change due to the effects of external hydrostatic pressure in addition to the thermal load depending on the water temperature. Furthermore, a lower bathroom temperature in the winter season can potentially cause a bathing-related incident. However, information regarding the influence of the bathroom temperature on the psychophysiological function during bathing is limited. In the present study, therefore, we examined the influence of the bathroom temperature (10, 20, and 30℃) on the changes in body temperature, as well as circulatory and psychological parameters during 15-min bathing at a 40℃ water temperature in young male adults. The esophageal temperature remained unchanged during bathing under the 10℃ condition ( $0.0 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ ), but it increased by  $0.3 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$  under the 20℃ condition and by  $0.7 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$  under the 30℃ condition. The blood pressure and total peripheral vascular resistance before bathing increased depending on the bathroom temperature. The blood pressure remained unchanged during bathing under all temperature conditions, but it tended to decrease transiently just after bathing under the 30℃ condition. The cardiac output during bathing under

\*山口県立大学看護栄養学部看護学科運動生理学研究室

\*Yamaguchi Prefectural University Faculty of Nursing and Human Nutrition Department of Nursing Exercise Physiology Laboratory

the 30°C condition was significantly higher than under the other temperature conditions. The thermal sensation changed depending on changes of the skin temperature on bathing. Thermal comfort increased on bathing under the 10°C condition and decreased under the 30°C condition, but did not change under the 20°C condition. These results show that the cardiovascular system and thermal discomfort during bathing were markedly affected by the thermal conditions of a bathroom. To take a bath safely and comfortably in all seasons, it is desirable to appropriately manage the bathroom temperature.

## I. 緒言

入浴は多くの日本人にとって欠かせない日常行動の1つである。入浴には体を清潔にしたり、心身をリフレッシュするなどの効用があるが、その一方で入浴中は湯温<sup>1)-3)</sup>や入浴時間<sup>4),5)</sup>に依存して生体に温熱負荷がかかる上に静水圧の影響によっても循環動態が大きく変化する。さらに日本では冬季に脱衣所の温度が10°C位まで低下する地域もあり、寒冷刺激に伴う血圧上昇反応により循環器障害を起こしやすい<sup>6)</sup>。そのため入浴中の事故死は、季節別に見ると室温が低下する冬季に圧倒的に多い<sup>7),8)</sup>。浴室での死亡者数は年間に約17,000人であると推計されており、その約9割が65歳以上の高齢者であると報告されている<sup>9),10)</sup>。したがって特に循環器系疾患を有する者や高齢者が安全に入浴するためには室温の管理が重要となる<sup>8),11)</sup>。

柄原と輿水<sup>12)</sup>は、入浴時の室温が生理心理反応に及ぼす影響を検討するために、健康な成人男性に37°C、40°Cあるいは43°Cの湯温での入浴を8分間行ってもらった後、15°C、20°C、25°Cのいずれかの室温環境下で安静を50分間維持させた。その結果、室温が20°C以上であれば湯温にかかわらず体温が低下しにくいこと、そして40°C以上の熱い湯に入った後は室温が低くても血圧上昇や不快感を起こしにくいことを示した。美和ら<sup>13)</sup>は、健康な成人男性を対象として入浴時の室温の影響を検討し、浴室温28°Cの方が14°Cよりも入浴中の鼓膜温の上昇と前腕部の皮膚血流量 (SkBF) の増加が大きいことを示した。さらに入浴直後 (被験者を体操座りの姿勢で維持させたまま浴槽の湯を排水後) の血圧低下は28°Cの方が小さいことを観察し、その理由として浴室温と湯温の差が小さいためであると考察している。健康な若年成人を対象として浴室および脱衣所の温度を10°C、17.5°Cおよび25°Cの3条件で比較した研究では、室温が低い程入浴後の血圧上昇が大きいことが示されている<sup>14),15)</sup>。健康高齢者を対象として湯温

41°Cで計10分間の入浴を行った場合には、室温27°Cの方が20°Cよりも入浴後の血圧低下は大きいものの気分の変動には室温間に差がないことが報告されている<sup>16)</sup>。このように浴室温の生体影響についての研究報告は散見されるものの十分な検討はなされておらず、また室温を含む入浴条件の違いや入水や出水時の動作の影響<sup>2)</sup>等のために、必ずしも実験結果が一致しているわけではない。

本研究では、入浴時の生理心理反応に及ぼす室温の影響についての理解を深めるために、広範囲 (10~30°C) の室温での入浴時の体温、循環動態および温熱性感覚の変化を検討した。生理的パラメーターに及ぼす入浴動作の影響を除外するために、入水および出水時には電動リフトを用いて被験者を移動させた。

## II. 方法

### 1. 対象

被験者は健康な男子大学生6名 [年齢22±0歳、身長172±7cm、体重67.4±18.0kg、体格指数 (BMI) 22.6±4.4] であった。研究の実施にあたり被験者には口頭および文書で、研究の目的、方法、危険性について十分な説明を行った。その上で被験者には実験参加の同意書を提出してもらった。実験のプロトコルは大学生命倫理委員会の承認を得た。

### 2. プロトコルと実験条件

実験はS大学の人工気候室内に設置されたステンレス水槽 (幅100cm、長さ165cm、深さ150cm) を用いて行った。実験当日に被験者は2時間以上の絶食状態で実験室に来て、健康状態に関する問診を受けた。その後水着に着がえて形態測定を行った。続いて人工気候室に入って椅座位安静を保ち、その間に電極等の装着を行った。被験者の水槽内外への移動には電動リフトを用い、実験を通して同じ座位姿勢を保てるようにした。測定は入浴前10分間、続いて腋窩の高さまで15分間湯に浸かり、その後出水させて

入浴後の測定を20分間行った。出水直後には検者が被験者の体表面の水滴をタオルで素早く拭き取った。人工気候室の室温は10℃、20℃および30℃の3条件とし、いずれの室温条件でも湯温は40℃とした。実験の順序は無作為とし、それぞれ別の日に実施した。

### 3. 測定と解析

実験中に皮膚温 (Tsk)、食道温 (Tes)、血圧、心拍数 (HR)、1回拍出量 (SV)、皮膚血流量 (SkBF)、温冷感および快適感を測定した。平均Tskは身体7ヶ所 (前額、胸、前腕、手背、大腿、下腿、足背) に銅-コンスタンタン熱電対を貼付し、Hardy and Dubois<sup>17)</sup>の式を用いて算出した。Tesはポリエチレン (直径1 mm) で被覆した熱電対を口腔から食道内に身長<sup>18)</sup>の4分の1の長さを目安に挿入し、温度の最も高い位置で固定して測定した。血圧は左手中指に指用カフを巻いてフィノメーター (Finometer MIDI, Finapres Medical Systems) を用いて連続的に測定した。さらに専用ソフトウェア (BeatScope Easy) を用いて1拍毎の指動脈血圧波形よりモデルフロー法を用いてSVを推定した<sup>18),19)</sup>。HRはテレメーター心電計 (ライフスコープ BSM-2401、日本光電) で測定した心電図をカルジオタコメーター (日本電気三栄) に入力して求めた。心拍出量 (CO) はHRとSVの積から算出し、総末梢血管抵抗 (TPR) は平均血圧 (MAP) をCOで除して求めた。全身性の温冷感と快適感はビジュアル・アナログスケール (VAS) を用いて、実験中5分間隔で測定した。VASは左右150mmの長さの線を引き、線の左端から12.5mmの位置に「寒い」あるいは「不快」、線の右端から12.5mmの位置に「暑い」あるいは「快適」と表記した。線の中心部を0として、そこから右方向を正の値、左方向を負の値で示した。各生理的パラメーターはデータロガーを用いて5秒毎にパソコンのハードディスクに格納した。

### 4. 統計処理

各パラメーターの5秒毎のデータから5分毎の平均値を求めた。室温と入浴の影響は2要因分散分析とFisher's PLSD法を用いて検討した。回帰式の算出には最小二乗法を用いた。統計処理の危険率は全て5%水準で有意とした。測定値はすべて平均値±標準誤差 (SE) で示した。

## III. 結果

### 1. 体温の変化

入浴前の平均Tskは室温が低いほど低かったが (ANOVA,  $P < 0.001$ )、Tesは室温に関係なくほぼ一定の値に維持された (図1)。入浴中はいずれの室温条件においても湯に浸かった部位の皮膚の加温によって平均Tskの上昇が見られた。Tesは入浴によって10℃条件と20℃条件では一旦低下してから上昇に転じた。入浴によるTesの上昇は室温が高いほど大きく (ANOVA,  $P < 0.01$ )、20℃条件では  $0.3 \pm 0.2^\circ\text{C}$ 、30℃条件では  $0.7 \pm 0.1^\circ\text{C}$  ( $P < 0.05$ ) それぞれ上昇した。入浴後、平均Tskは入浴前よりも低下する傾向がみられ、10℃条件におけるその低下は統計的に有意であった。入浴後のTesはいずれの室温条件においても20分間でほぼ入浴前のレベルまで回復した。

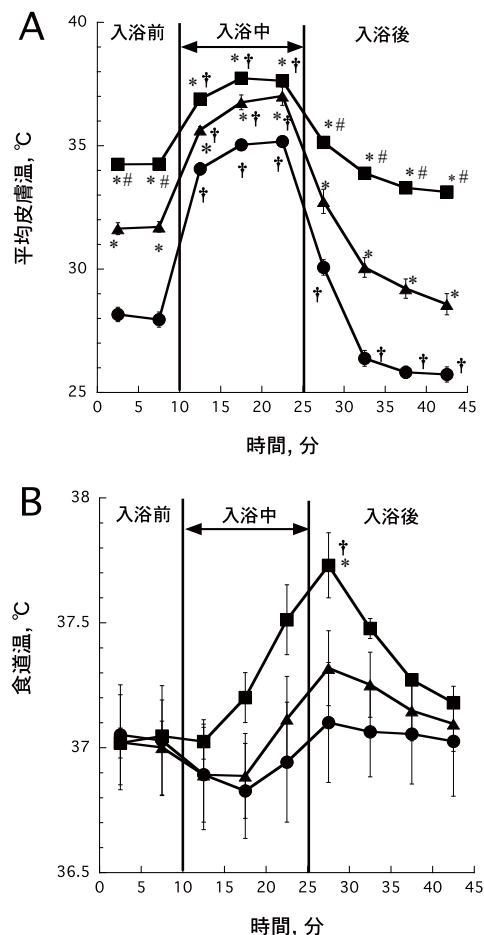


図1 入浴に伴う平均皮膚温 (A)と食道温 (B)の変化

● : 10℃, ▲ : 20℃, ■ : 30℃.

\*  $P < 0.05$  vs 10℃, #  $P < 0.05$  vs 20℃, †  $P < 0.05$  vs 入浴前

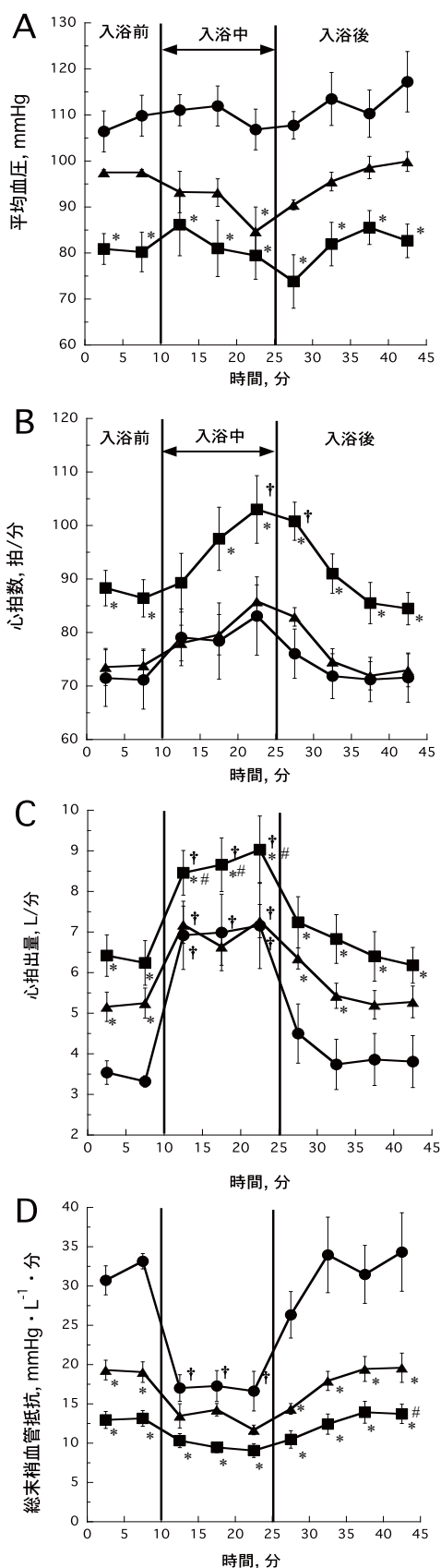


図2 入浴に伴う平均血圧(A)、心拍数(B)、心拍出量(C)および総末梢血管抵抗(D)の変化  
 ●: 10°C, ▲: 20°C, ■: 30°C. \* P<0.05 vs 10°C  
 # P<0.05 vs 20°C, † P<0.05 vs 入浴前.

## 2. 中心循環動態

入浴前のMAPは室温が低いほど高く、10°C条件と30°C条件の間に有意差が認められた(図2A)。一方、入浴前のHRは30°C条件において最も高く、10°C条件との差は有意であった(図2B)。入浴前のCOは、室温が低いほど少なく、反対にTPRは室温が低いほど大きかった(ANOVA, P<0.001)(図2C、2D)。いずれの室温条件においても入浴によってMAPは変化しなかった。入浴に伴いCOは増加したのに対してTPRは減少し、入浴中のTPRは室温が高いほど小さな値を示した(ANOVA, P<0.001)。

入浴直後に、1名の被験者において15-20mmHgの血圧低下が一過性に認められた(図3)。この入浴直後のMAP低下時点でSVの低下とともにHRと

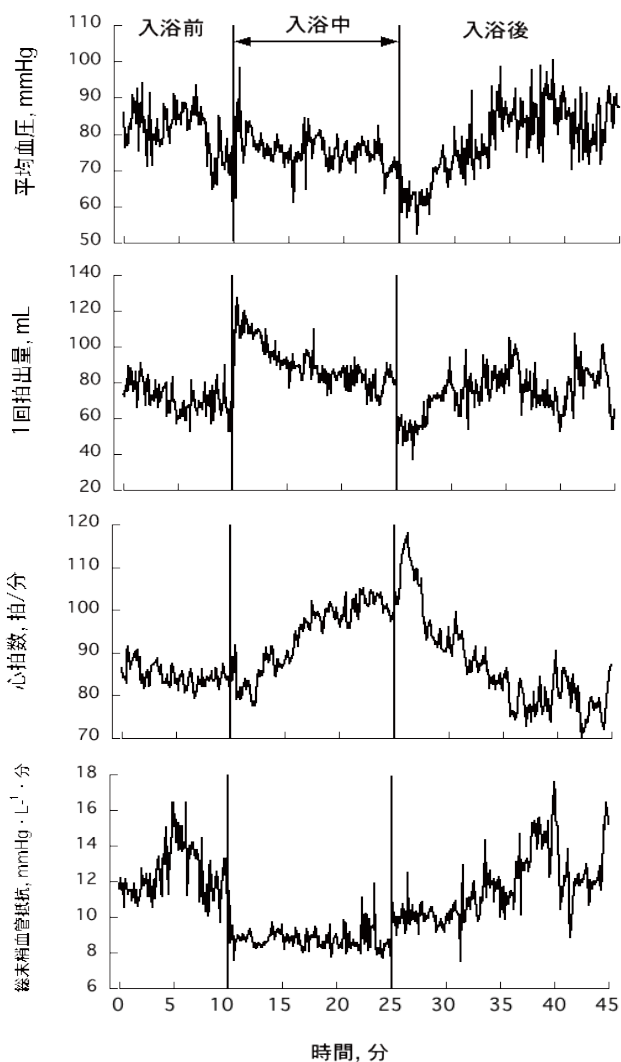


図3 室温30°Cでの入浴中の平均血圧、1回拍出量、心拍数および総末梢血管抵抗の変化の1例



TPRの上昇がみられた。6名の平均値でみると(図2)、入浴に伴って変化したCOとTPRは入浴後に緩やかに入浴前の値まで回復した。

### 3. 皮膚循環動態

入浴前のSkBFはいずれの部位においても室温条件間に差はみられなかった(図4)。入浴中に前額部SkBFは30℃条件においてのみ有意に増加し、入浴後においても他の2条件より高い値を維持した(図4A)。下腿部SkBFはいずれの室温条件においても入浴中に増加し(P<0.001)、その増加は30℃条件において最も顕著であった(図4B)。入浴後の下腿部SkBFは入浴前のレベルまで緩やかに回復した。

### 4. 心理状態の変化

入浴前の温冷感、快適感、不快感は室温に単純に依存していた(図

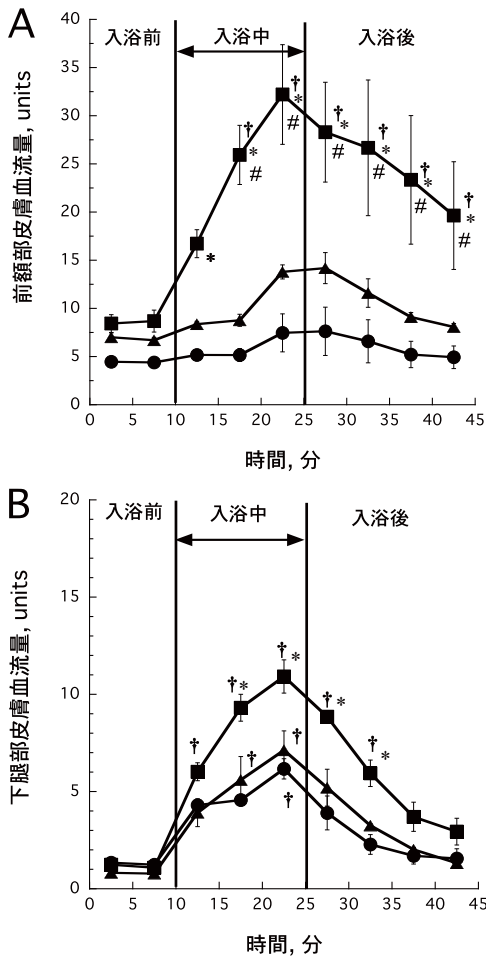


図4 入浴に伴う前額部皮膚血流量 (A)と下腿部皮膚血流量 (B)の変化  
 ●: 10℃, ▲: 20℃, ■: 30℃. \* P<0.05 vs 10℃ # P<0.05 vs 20℃, † P<0.05 vs 入浴前.

5A)。入浴前の快適感、10℃条件ではやや不快であると感じており、他の2条件との間に有意差が見られた(図5B)。いずれの室温条件においても、温冷感、不快感は入浴によって温かい方へ変化した(P<0.0001)。快適感、不快感は入浴によって10℃条件では増加し(P<0.0001)、30℃条件では反対に減少し(P<0.0001)、そして20℃条件では変化は見られなかった。入浴後に温冷感の値は減少し、いずれの室温条件でも入浴前よりもやや寒いと感じていた。入浴後の快適感、不快感は、20℃と30℃条件では入浴前のレベルまで緩やかに回復したが、10℃条件では入浴前以上に不快となる傾向が見られた(P<0.1)。

### IV. 考察

入浴は多くの日本人にとって欠かせない生活習慣であるが、入浴時には循環動態が大きく変化するため生体負担は小さくない。特に冬季における入浴は浴室温と湯温との差が増大するため心血管系に障害を起しやすく、心筋梗塞や脳血管障害の誘因とな

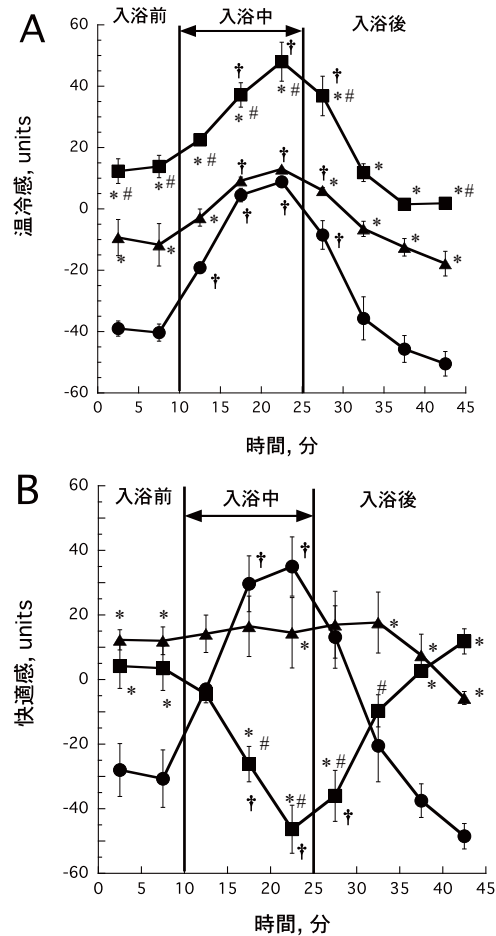


図5 入浴に伴う温冷感 (A)と快適感 (B)の変化  
 ●: 10℃, ▲: 20℃, ■: 30℃. \* P<0.05 vs 10℃, # P<0.05 vs 20℃, † P<0.05 vs 入浴前



### 3. 皮膚循環動態

入浴中の前額部SkBFは30℃条件においてのみ有意に増加した(図4A)。湯温40℃での10分間の入浴中に湯に浸けていない前腕部のSkBFは、室温が28℃であれば増加するが、14℃では変化しないことが報告されている<sup>13)</sup>。SkBFは深部体温あるいはTskの上昇によって増加するが、その増大効果は深部体温の方がTskよりも20倍以上大きい<sup>25)</sup>。したがって高い室温条件下で湯に浸けていない前額や前腕のSkBFの増加は、上昇した平均Tskの影響よりも深部体温の変化に依存していたと考えられる。SkBFは中枢を介した反射性反応だけでなく局所性の血管拡張反応によっても増加することができる<sup>26)</sup>。したがって、入浴中に湯に浸けた下腿部のSkBFがすべての室温条件下で増加したのは、深部体温の影響に加えて血流測定部の局所温度の上昇によると考

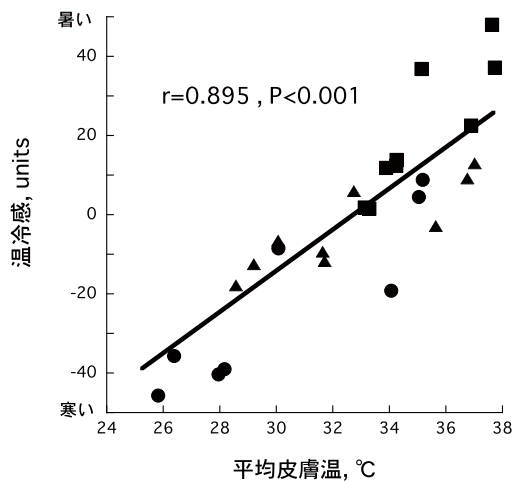


図6 入浴に伴う平均皮膚温の変化に対する温冷感の応答  
●: 10℃, ▲: 20℃, ■: 30℃

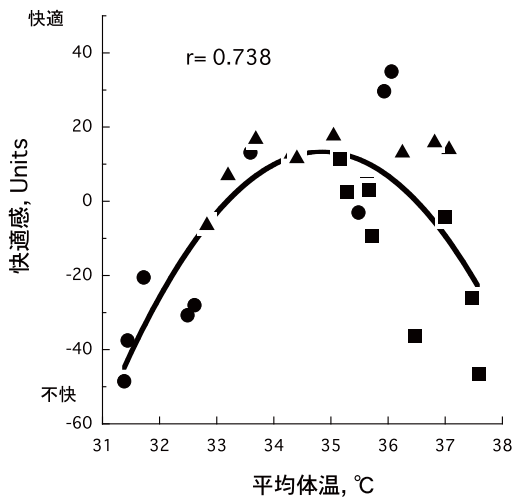


図7 入浴に伴う平均体温の変化に対する快適感の応答  
●: 10℃, ▲: 20℃, ■: 30℃

えられる。

### 4. 心理状態の変化

温冷感はいずれの室温条件においても入浴中に増加した(図5A)。上述した皮膚血流調節における深部体温の大きな貢献度とは対照的に、温冷感深部体温よりもTskに強く依存する<sup>27)</sup>。そこで入浴中の平均Tskの変化に対する温冷感の変化の関係をみたところ、両者の間には有意な直線関係(温冷感=-199.43+6.05×平均Tsk, r=0.895, P<0.001)が認められた(図6)。この結果は、10-25℃の室温条件下での入浴前後において両者の間に有意な相関関係をみたKanda et al.の報告<sup>15)</sup>と一致した。

一方、快適感入浴によって10℃条件では増加し、30℃条件では反対に減少し、そして20℃条件では大きな変化は見られなかった(図5B)。深部体温の上昇を生じない低室温環境での温浴は快をもたらし、温暖な室温環境での温浴は深部体温の上昇に伴って不快をもたらしたと考えられる。温熱性快適感の変化には深部体温とTskがほぼ同等に影響するとされている<sup>28)</sup>。そこで(食道温+平均皮膚温)/2として平均体温(Tb)を算出し、そのTb変化に対する快適感の変化の関係をプロットしたところ(図7)、34.8℃のTbを快適感のピークにしてTbが高くても低くても不快な方に変化する二次曲線の関係(快適感=-5884.3+338.54×Tb-4.8584×Tb<sup>2</sup>, r=0.738)が認められた。低室温下での入浴前後や高室温下での入浴中のように心理的に不快と感じる状況では、血圧上昇やCO増加が起こって心血管系に負荷がかかっており、上述した安全な入浴方法を取りながら心理的にも無理をしないことが肝要であると考えられる。今後の課題としては高齢者を対象にして検討する必要があるだろう。

### V. 結論

入浴時の循環動態や心理状態は室温によって左右される。すなわち寒く不快を感じる室温環境では末梢血管収縮により血圧が上昇し、暑く不快を感じる室温環境では末梢血管拡張により血圧の低下傾向がみられる。入浴時に不快と感じる室温条件下では心血管系に普段以上のストレスがかかるために、室温調節に注意を払うとともに心理的にも無理をしないことが肝要である。



## 謝辞

本研究に参加して頂いた被験者の皆様に深く感謝いたします。さらに実験中に技術的支援や測定の補助をして頂いた曾我部靖博氏、蘭春樹氏、今土耀平氏に謝意を申し上げます。

## 引用文献

- 1) 樗木晶子, 長弘千恵, 長家智子, 赤司千波, 小島夫美子, 久保山直巳, 安達隆博, 小野順子, 堀田昇, 藤島和孝, 増本賢治: 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, 39, 9-14, 2004.
- 2) 道広和美, 竹森利和, 稲森義雄: 入浴動作に伴う血圧・脈拍数の変化, 生理心理, 18, 205-217, 2000.
- 3) Yamazaki F, Endo Y, Torii R, Sagawa S, Shiraki K: Continuous monitoring of change in hemodilution during water immersion in humans: effect of water temperature, Aviat Space Environ Med, 71, 632-639, 2000.
- 4) 藤村明子, 松田宜美子, 大野静枝: 成人女子の入浴が生理反応ならびに感覚量に及ぼす影響 (第1報), 夏期における入浴時間の差異について, 日本家政学会誌, 46, 177-183, 1995.
- 5) 堀井雅恵, 鏡森定信, 麻野井英次, 山田邦博: 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, 日温気物医誌, 68, 141-149, 2005.
- 6) 重臣宗伯, 佐藤ワカナ, 円山啓司, 吉岡尚文: 高齢者の入浴中突然死に関する調査研究, 日救急医会誌, 12, 109-120, 2001.
- 7) 秋山久尚, 相馬一亥, 大和田隆, 今井寛, 栗原克由: 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, 日救急医会誌10, 132-140, 1999.
- 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, 日本老年医会誌, 31 (7), 532-537, 1994
- 9) 厚生労働省: 人口動態統計年報—家庭内における主な不慮の事故の種類別にみた年齢別死亡数・構成割合—, 2009.
- 10) 東京都健康長寿医療センター: 東日本における入浴中心臓機能停止者 (CPA 状態) の発生状況, —東日本 23 都道府県の救急搬送事例 4264 件の分析報告書—, 2013.
- 11) 白倉卓夫: 温泉と高齢者, Geriat Med, 48, 507-510, 2010.
- 12) 柝原裕, 輿水ヒカル: 入浴時の湯温及び室温が生理心理反応に及ぼす影響, 人間工学, 32, (Supplement), 14-15, 1996.
- 13) 美和千尋, 岩瀬敏, 小出陽子: 入浴時の浴室温が循環動態と体温調節機能に及ぼす影響, 総合リハ, 27 (4), 353-358, 1999.
- 14) Hashiguchi N, Ni F, Tochiyama Y: Effects of room temperature on physiological and subjective responses during whole-body bathing, half-body bathing and showering. J Physiol Anthropol 21, 277-283, 2002.
- 15) Kanda K, Ohnaka T, Tochiyama Y, Tsuzuki K, Shodai Y, Nakamura K: Effects of the thermal conditions of the dressing room and bathroom on physiological responses during bathing. Appl Human Sci: J Physiol Anthropol, 15, 19-24, 1996.
- 16) 長弘千恵: 健常高齢者の入浴時における浴室温が循環動態に及ぼす影響, 日本公衆誌, 53, 178-186, 2006.
- 17) Hardy JD, Du Bois EF: The technic of measuring radiation and convection, J Nutr, 15, 461-475, 1938.
- 18) Matsukawa K, Kobayashi T, Nakamoto T, Murata J, Komine H, Noso M: Noninvasive evaluation of cardiac output during postural change and exercise in humans: comparison between the model flow and pulse dye-densitometry, Jpn J Physiol, 54, 153-160, 2004.
- 19) Wesseling KH, Jansen JR, Settels JJ, Schreuder JJ: Computation of aortic flow from pressure in humans using a nonlinear, three-element model, J Appl Physiol, 74, 2566-2573, 1993.
- 20) Nakamitsu S, Sagawa S, Miki K, Wada F, Nagaya K, Keil LC, Drummer C, Gerzer R, Greenleaf JE, Hong SK, Shiraki K: Effect of water temperature on diuresis-natriuresis: AVP, ANP, and urodilatin during immersion in men, J Appl Physiol, 77, 1919-1925, 1994.



- 21) Sagawa S, Miki K, Tajima F, Tanaka H, Choi JK, Keil LC, Shiraki K, Greenleaf JE : Effect of dehydration on thirst and drinking during immersion in men, *J Appl Physiol*, 72, 128-134, 1992.
- 22) Risch WD, Koubenec HJ, Beckmann U, Lange S, Gauer OH : The effect of graded immersion on heart volume, central venous pressure, pulmonary blood distribution, and heart rate in man, *Pflügers Arch*, 374, 115-118, 1978.
- 23) 美和千尋, 杉村公也, 川村陽一, 出口晃, 岩瀬敏 : 40℃入浴時の循環動態と体温調節機能の変化における加齢の影響, *日温気物医誌*, 65, 187-193, 2002.
- 24) 浅川康吉, 高橋龍太郎, 遠藤文雄 : 高齢者における浴槽入浴中の心・血管反応, *理学療法科学*, 21, 433-436, 2006.
- 25) Wyss CR, Brengelmann GL, Johnson JM, Rowell LB, Niederberger M : Control of skin blood flow, sweating, and heart rate: role of skin vs. core temperature, *J Appl Physiol*, 36, 726-733, 1974.
- 26) Johnson JM, Kellogg DL Jr : Local thermal control of the human cutaneous circulation, *J Appl Physiol*, 109, 1229-1238, 2010.
- 27) Gagge AP, Stolwijk JAJ, Saltin B : Comfort and thermal sensations and associated physiological responses during exercise at various ambient temperature. *Environment Res*, 2, 209-229, 1969.
- 28) Frank SM, Raja SN, Bulcao CF, Goldstein DS : Relative contribution of core and cutaneous temperatures to thermal comfort and autonomic responses in humans, *J Appl Physiol*, 86, 1588-1593, 1999.