

# 中高年者の循環器系自律神経調節に及ぼす 入浴および運動後入浴の影響

吉備国際大学 松井 健  
(共同研究者) 川崎医療福祉大学 宮地 元彦  
京都大学大学院 Linda Massako Ueno  
川崎医療福祉大学 小野寺 昇

## Effects of Bathing and Post-exercise Bathing on Autonomic Cardiovascular Regulation in Middle-aged and Older men

by

Takeshi Matsui

*Kibi International University*

Motohiko Miyachi, Sho Onodera

*Kawasaki University of Medical Welfare*

Linda Massako Ueno

*Kyoto University*

### ABSTRACT

We have investigated the characteristics of autonomic cardiovascular regulation to bathing and post-exercise bathing (40 degrees C, 20min) in healthy middle-aged and older men (MO,  $55 \pm 10$  years, range: 40-71 years) compared with that in young men (Y,  $22 \pm 3$  years). During bathing, heart rate (HR) of MO and Y were similarly increased, and were parallel to the decreases of heart rate variability (logHF, vagal modulation) and spontaneous cardiac baroreflex sensitivity (logSBRS). The systolic blood pressure (SBP) in MO temporarily increased at the beginning of bathing, and then significantly decreased in the last phase of bathing as well as Y. The MO also showed significant decrease in SBP and diastolic blood pressure (DBP) at the beginning of the recovery phase after post-exercise

bathing. In both groups, stroke volume (SV) and cardiac output (CO) significantly increased, and total peripheral resistance (TPR) significantly decreased in both bathing trials. However, TPR in MO was greater, and dilation of carotid artery diameter (systolic - diastolic) was smaller than those in Y. From these results, it was suggested that bathing attenuates spontaneous cardiac baroreflex sensitivity, and affects the regulation of fluctuations in blood pressure response in MO. Furthermore, greater attenuation of the sensitivity observed during post-exercise bathing in MO seemed to affect the blood pressure regulation in after-bath recovery phase.

## 要 旨

本研究は、安静後および運動後の40℃入浴(20分間)における中高年者(平均55歳)の循環器系自律神経調節の特徴について、若年者(平均22歳)との比較から明らかにした。入浴によって中高年者の心拍数は若年者群と同様に上昇する傾向にあり、入浴中期の心臓迷走神経活動(logHF)と圧受容器反射感受性(logSBRs)の有意な低下と対応していた。収縮期血圧においては、安静後入浴直後に中高年者で一過性の上昇がみられ、入浴の後半には両年齢群とも有意に低下し、拡張期血圧も同様に低下した。また、運動後入浴の出浴時においては中高年者群に有意な血圧低下が認められた。両年齢群で一回拍出量と心拍出量の有意な増加と全末梢血管抵抗の有意な減少が両入浴条件でみられたが、中高年者は若年者に比べて全末梢血管抵抗が大きく、頸動脈血管径の拡張性(収縮期血管径-拡張期血管径)が低いという特徴がみられた。これらのことから、入浴は圧受容器反射感受性を減弱させ、とくに中高年者の入浴時の血圧変動に対する調節に大きな影響を与えると考えられた。また、運動後入浴は、より大きく圧受容器反射感受性を低下させ、出浴時の血圧調節にも影響することが示唆された。

## 緒 言

中高年者では若年者に比べて水中での圧反射感受性が減弱することが示唆されており<sup>14,20)</sup>、水浸時の中心血液量の増加が血圧の上昇や心血管系の事故につながる可能性が若年者に比べて高いと考えられる。2002年の厚生労働省の人口動態統計年報<sup>15)</sup>によると、浴槽内での溺死または溺水事故の大部分は中高年者による事故であり(45-64歳:350件,65-79歳:1,455件,80歳以上:1,402件)、この可能性を裏付けるものである。入浴(約40℃)においては、水浸負荷に温熱負荷が加わるため、心臓・胸部への血液シフトが中等度水温での水浸に比べて増大する<sup>4,21)</sup>。そのため、入浴時により速やかな自律神経調整によって循環器系の恒常性を保つことが要求される。そこで本研究では、入浴中の中高年者突然死の背景にあると考えられる循環器系自律神経調節における中高年者の入浴時循環調節の特徴を頸動脈の拡張性、圧反射応答、循環動態等の側面から明らかにすることを目的とした。また、運動施設と温泉が併設されている、いわゆるクアハウスでは、運動後に温泉に入ることが多く、安静状態で入浴する場合と異なる循環応答が引き起こされると考えられる。本研究ではこの点にも着目して、運動後入浴が循環器系応答に及ぼす影響をあわせて明らかにしたい。

## 1. 実験方法

### 1. 1 被験者

被験者は健康な若年男子8名（年齢 $22.4 \pm 2.8$ 歳）および中高年男子8名とした（年齢 $54.8 \pm 9.9$ 歳 範囲40-71歳）。若年者群の身長は $171.3 \pm 4.8$ cm, 体重は $76.4 \pm 10.0$ kgであった。また, 中高年者群の身長は $171.2 \pm 7.8$ cm, 体重は $70.2 \pm 10.7$ kgであった。すべて平均値±標準偏差で示した。すべての被験者は健康で, 心臓血管系の治療薬を服用しているものはいなかった。被験者に対して24時間内の高強度運動の実施, アルコール類, カフェイン類の刺激物の摂取を禁止した。研究に先立って被験者に研究の詳細を説明し, 実験参加への同意書を得た。

### 1. 2 実験手順

被験者は, 室内プールサイドに到着してから10分以上の座位安静状態を保った。室温は $29.1 \pm 1.0$ ℃, 室内の相対湿度は $78.4 \pm 6.2$ %であった。その後の実験条件は, 安静状態から入浴する条件（安静後入浴）および中等度の持久的運動を行ってからのただちに入浴する条件（運動後入浴）の2条件とし, それぞれを日を変えて同時間帯に行った。いずれの条件においても入浴終了後ただちに水槽脇で5分間の座位安静を保った。なお, 若年者群は試行順をランダムに配置したが, 中高年者群については, 基本となる入浴時の循環器系応答を確認するため, 安静後入浴を先行して行った。入浴は, プールサイドに設置した水槽（縦 $2,196 \times$ 横 $996 \times$ 高さ $655$ mm）を用いて行い, 被験者は両腕を前方のビート板上に置いた長座位で20分間入浴した。水浸水位は腋窩とした。水温は $39.8 \pm 0.3$ ℃であった。運動後入浴における運動は, 自転車エルゴメータを用いた20分間の定常負荷運動とし, 負荷強度は推定最高心拍数（20-年齢）の60%強度（ $60\%HR_{max}$ ）とした。

なお, 負荷の設定は, あらかじめ別の日に行った最大下負荷運動（3分×3段階）で得られた負荷強度-心拍数関係式を用いて行った。

### 1. 3 測定項目

測定項目は, 心拍数（heart rate; HR）, 心拍数変動より求めた心臓迷走神経活動（heart rate variability with vagal modulation）, 一回拍出量（stroke volume; SV）, 心拍出量（cardiac output; CO）, 頸動脈血管径（carotid artery diameter）, 血圧（systolic blood pressure; SBP, diastolic blood pressure; DBP）, 圧受容器反射感受性（spontaneous cardiac baroreflex sensitivity; SBRS）とした。

HRは, 心電図法により測定した。実験中, すべての時間帯でCM5誘導による心電図をテレメトリー装置（フクダ電子, AU-10101）にてモニターし, 1分ごとに数値を記録した。同時に同装置からの心電図出力信号をデータ記録ユニット（ADInstruments, PowerLab / 8sp）と信号解析ソフト（ADInstruments, Chart v 3.4.6 for Windows）を用いて1kHzのサンプリング周波数でデジタル化し, パーソナルコンピュータにて記録した。実験後にオフラインで高速フーリエ変換による心拍変動解析を行い, HRVの指標である高周波領域（HF; 0.15-0.4Hz）のパワーを算出した。さらに, この値を正規化させるために自然対数変換した（ $\log HF$ ）。なお, 一回換気量および呼吸数によって心拍変動が影響を受けないよう, 心拍変動解析の対象となる時間帯には被験者にメトロノームによる呼吸調節を行わせ, 呼吸数が15回/分（0.25Hz）になるように規定した。HRVの解析は, 陸上での安静5分間と入浴の5～10分, 10～15分の3区間を対象とした。

SVおよびCOは, 超音波心臓検査装置（Aloka SSD-870）を用いたMモード心エコー法にて求めた左心室の形態測定値から推定した。すなわち,

心室の収縮末期径 (left ventricular end systolic diameter; LVESD) および拡張末期径 (left ventricular end diastolic diameter; LVEDD) を測定した。その際、2.5Hzの探触子を第3から第4肋間胸骨左縁にあて、Bモード画像を確認しながらMモード画像を記録した。PC上で画像解析ソフト (NIH Image ver1.62) を用いて得られたLVESDとLVEDDの値からSVを算出し、HRとの積をCOとした。陸上安静時 (1回) と各入浴条件において1回ずつ測定した。入浴時の測定は、入浴15分目から20分の終了時にかけて測定した。

SBPとDBPは、被験者の左上腕部にカフを巻き、アネロイド式血圧計を用いた聴診法によって測定した。陸上安静、入浴直後 (およそ1分以内)、入浴15分目、入浴終了直後 (およそ1分以内) および入浴終了5分後に測定した。得られたSBPおよびDBPの値から平均血圧 (mean blood pressure = (SBP-DBP) / 3 + DBP; MBP) を算出した。また、MBPをCOで除して全末梢血管抵抗 (TPR) を求めた。

頸動脈血管径は超音波診断装置 (SonoSite 180PLUS) を用いて、探触子を右総頸動脈の位置にあて、Bモード画像を記録し、得られた画像をPC上で画像解析ソフト (NIH Image ver1.62) を用いて分析した。内頸動脈および外頸動脈との分岐点から約1cmの付近で3箇所を選択し、左心室の拡張末期と収縮末期のそれぞれの時相で血管径を測定した。また、拡張末期と収縮末期の差を求めた。値は、5拍分の3箇所の平均値とした。

SBRSはシーケンス法 (sequence method)<sup>2,3,11)</sup> を用いて1拍ごとの心電図RR間隔とSBP値の変動から推定した。1拍ごとのSBPの測定は、連続血圧測定装置 (Ohmeda Finapres 2300) を用いて右手中指にて測定した。連続的に3拍以上SBP値が上昇または下降し、同様なRR間隔の変動がみられる区分 (segment) を同定し、それぞれの区分における両項目のプロットから回帰直線の傾き

を求めた。HRVと同様に呼吸調節を行った陸上での安静5分間と入浴の5~10分、10~15分の3区間を分析の対象とし、それぞれの5分間で得られた傾きの平均値をSBRSの指標とした。なお、正規化させるために値を自然対数変換した (log SBRS)。

## 1. 4 統計解析

各測定値は平均値±標準偏差で表した。各測定時点における入浴条件間の差および年齢群間の差をStudent-tテストにより検定した。危険率5%未満を有意とした。

## 2. 結果

### 2. 1 心拍数 (HR) の変化

安静後入浴における入水直後には、水槽内への移動動作に伴う増加 (10~20拍/分) が両群においてみられた (図1)。若年者群は、入浴中に、入浴終了時まで漸増した。中高年者群においても漸増傾向がみられたが、初期値が高く漸増率が若年者に比べて少なかった (図1の1次回帰式の傾きを参照)。出浴後の回復期においては、若年者群に比べて中高年者群で回復が遅かった。

運動後入浴においては、HRの増加率もほぼ等しく、両群で差がみられなかった。出浴後の回復期においては、安静後入浴と同様に、中高年者群で回復が遅かったが、若年者群においても観察期間中は安静値への回復に至らなかった。

### 2. 2 心臓迷走神経活動 (log HF) の変化

心臓迷走神経活動の指標 (log HF) は、陸上安静時で若年者群に比べて有意に中高年者群の方が低値を示した ( $P < 0.05$ , 図2)。入浴時には、5~10分と10~15分の2区間で測定したが、安静後入浴の若年者群、および運動後入浴の両年齢群において陸上安静より有意に低い値が示された ( $P < 0.05$ ,  $P < 0.01$ )。また、安静後入浴の両年齢群に

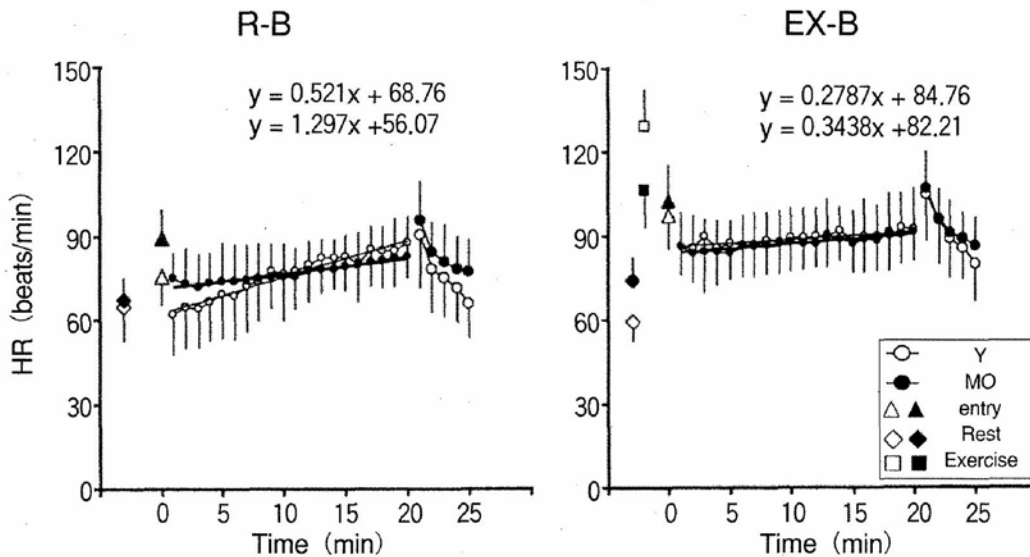


図1 Changes in heart rate (HR) during rest on land, bathing (0-20min) and recovery on land (20-25min) in R-B (left) and EX-B (right) trials. R-B indicates bathing trial after rest, and EX-B indicates bathing trial after endurance exercise (60%HRmax intensity). Y indicates the young group, and MO indicates the middle-aged and older group. The symbols  $\triangle$  and  $\blacktriangle$  (entry) show the immediate data at the beginning of bathing. The symbols  $\diamond$  and  $\blacklozenge$  (Rest) show the resting values on land. The symbols  $\square$  and  $\blacksquare$  show the immediate data at the end of exercise. Values are mean  $\pm$  SD. Linear regression was used to calculate the slope of HR changes.

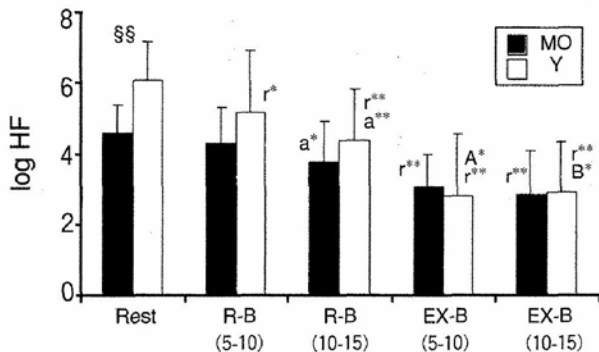


図2 Comparison of logarithmic indicators for vagal modulation in HR (log HF) between young (Y; control) and middle-aged and older (MO) during rest, 5-10 min and 10-15 min of bathing in R-B and EX-B trials. Definitions of R-B and EX-B are shown in Figure 1. Values are mean  $\pm$  SD. Significant differences; § § :  $P < 0.01$  between MO and Y group.  $r^*$ :  $P < 0.05$ ,  $r^{**}$ :  $P < 0.01$  vs rest value.  $a^*$ :  $P < 0.05$ ,  $a^{**}$ :  $P < 0.01$  between R-B (5-10) and R-B (10-15) values in the same group.  $A^*$ :  $P < 0.05$  between R-B (5-10) and EX-B (5-10) values in the same group.  $B^*$ :  $P < 0.05$  between R-B (10-15) and EX-B (10-15) values in the same group.

において、5～10分区間に比べて10～15分区間のほうが有意に低くなり ( $P < 0.05$ ,  $P < 0.01$ )、入浴時間経過に伴う log HF の低下が観察された。安静後入浴と運動後入浴の比較においては、若年者群の運動後入浴で有意な低値 ( $P < 0.05$ ) を示したが、中高年者群では差がなかった。これらの入浴

にともなう心臓迷走神経活動の低下傾向に年齢群間の差はみられなかった。

### 2. 3 血圧 (SBP, DBP) の変化

両年齢群の被験者個人における血圧変動を図3および図4に示した。また、各群間の平均値による血圧変動の比較は表1に示した。いずれの入浴条件においても収縮期 (SBP)、拡張期 (DBP) とともに有意に低下した ( $P < 0.05$ ,  $P < 0.01$ )。

中高年者群の SBP は、安静後入浴における入浴直後に高くなる傾向がみられたが、個人差が大きく、平均値では有意な変化がみられなかった (表1)。しかし、入浴15分後には陸上安静に比べて有意に低下した ( $P < 0.05$ )。また、出浴時には入浴時の値に対する有意な上昇がみられ ( $P < 0.01$ )、5分間で陸上安静値に戻った。若年者群においても同様な傾向が見られ、入浴15分後において陸上安静に比べて有意に低い値が得られた ( $P < 0.01$ )。運動後入浴においては、両年齢群とも運動の影響により、入浴直後の値が安静後入浴および陸上安静に比べて、有意に高かった ( $P < 0.05$ ,  $P < 0.01$ )。中高年者の回復期においては、出浴直

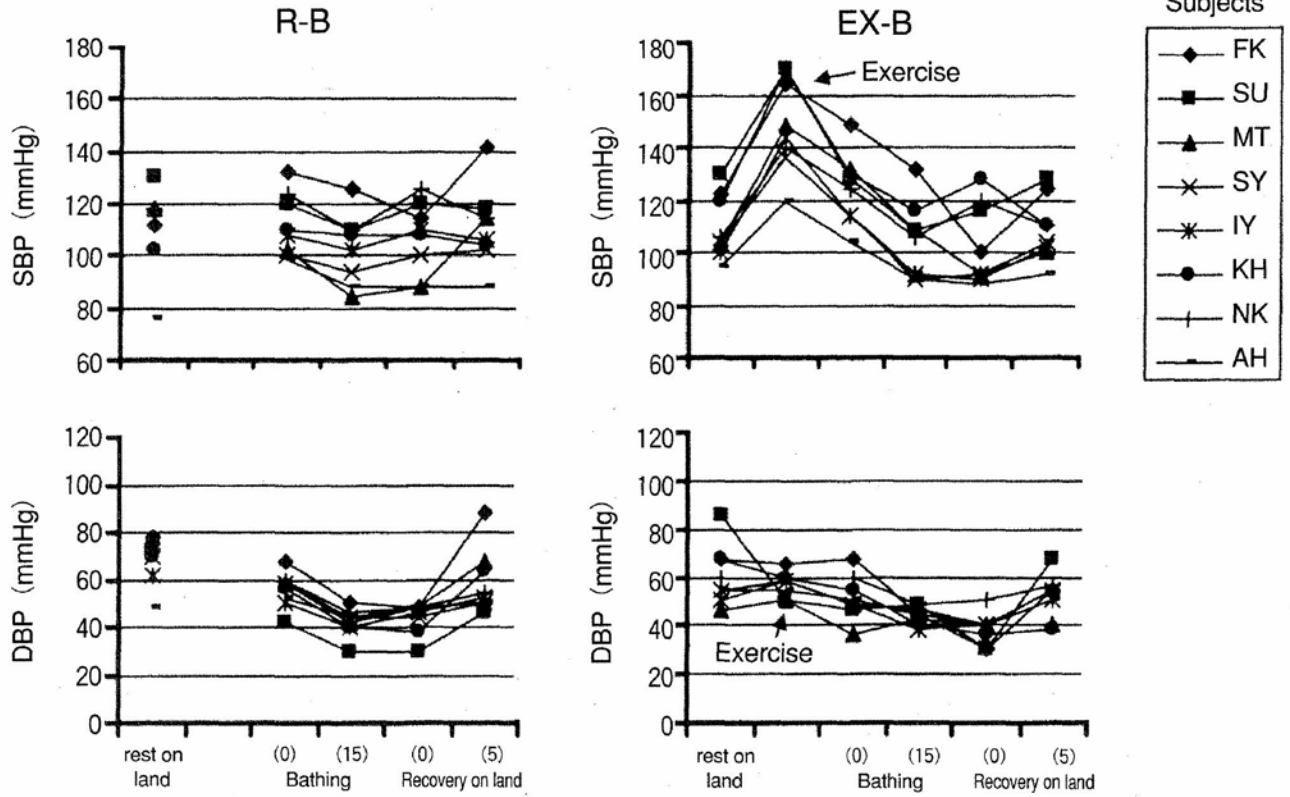


図3 Changes in blood pressure (SBP, DBP) in Young subjects during rest on land, bathing (0, 15min) and recovery on land (0, 5 min) in R-B (left) and EX-B (right) trials.

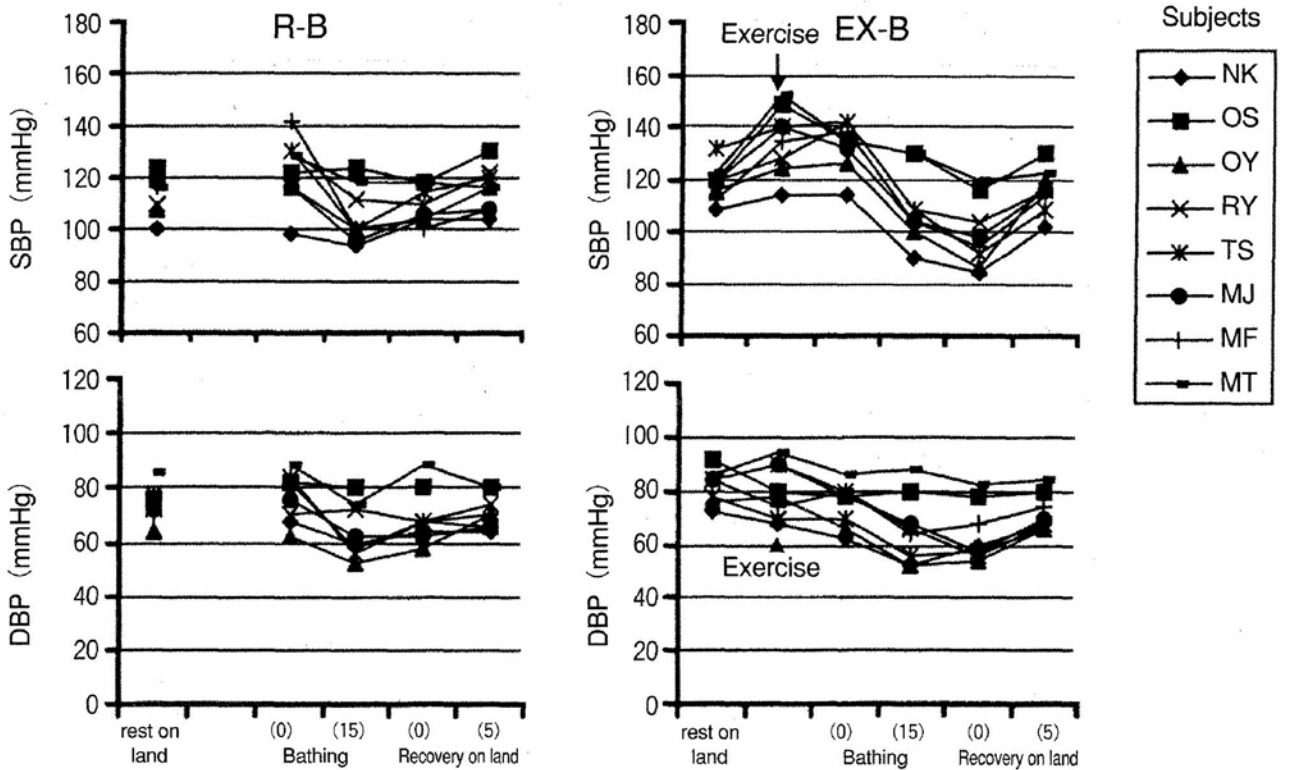


図4 Changes in blood pressure (SBP, DBP) in middle-aged and older subjects during rest on land, bathing (0, 15min) and recovery on land (0, 5 min) in R-B (left) and EX-B (right) trials.

表1 Comparison of systolic (SBP) and diastolic (DBP) blood pressure responses between young (Y; control) and middle-aged and older (MO) in R-B and EX-B trials.

		Rest on land	Post exercise	Bathing		Recovery on land			
				0	15 (min)	0	5 (min)		
				SBP (mmHg)	MO	114.5 ± 8.2	—	122.8 ± 13.1	105.5 <sup>r*</sup> ± 11.1 <sup>a*</sup>
	R-B	Y	110.5 ± 16.0	—	111.8 ± 12.4	102.8 <sup>a**</sup> ± 13.7	106.8 ± 13.9	111.0 ± 15.6	
		MO	118.8 ± 7.2	135.0 <sup>r**</sup> ± 12.6	132.8 <sup>r**</sup> ± 9.3 <sup>A**</sup>	109.3 <sup>a**</sup> ± 14.0	99.3 <sup>r** a**</sup> ± 13.2 <sup>b** A*</sup>	116.0 <sup>a**</sup> ± 8.6 <sup>c**</sup>	
		EX-B	Y	110.0 ± 12.5	149.0 <sup>r**</sup> ± 17.8	124.3 <sup>r**</sup> ± 13.6 <sup>A*</sup>	105.3 <sup>a**</sup> ± 14.6	103.3 <sup>a**</sup> ± 15.7	108.8 <sup>a**</sup> ± 12.1
		MO	74.0 ± 6.4	—	76.5 ± 9.1	64.3 <sup>r*</sup> ± 9.9 <sup>a*</sup>	69.5 <sup>a*</sup> ± 9.8	71.3 <sup>b*</sup> ± 6.2	
		R-B	Y	68.8 ± 9.8	—	55.5 <sup>r**</sup> ± 7.7	42.0 <sup>r**</sup> ± 5.9 <sup>a**</sup>	43.8 <sup>r**</sup> ± 6.5 <sup>a**</sup>	59.0 <sup>b**</sup> ± 13.9 <sup>c*</sup>
		MO	82.0 ± 6.3	80.5 ± 9.8	75.0 <sup>r**</sup> ± 8.1	65.8 <sup>r**</sup> ± 13.0 <sup>a**</sup>	64.3 <sup>r**</sup> ± 10.6 <sup>a** A**</sup>	72.0 <sup>r** b*</sup> ± 6.8 <sup>c*</sup>	
		EX-B	Y	§ 60.8 ± 12.9	§§ 57.0 ± 5.5	§§ 51.3 ± 9.6	§§ 43.8 <sup>r**</sup> ± 3.6	§§ 38.3 <sup>r**</sup> ± 6.5 <sup>a**</sup>	§§ 51.3 <sup>r* b*</sup> ± 9.4 <sup>c*</sup>

Values are mean ± SD. Significant differences; §: P < 0.05, § §: P < 0.01 between MO and Y groups. r\*: P < 0.05, r\*\*: P < 0.01 vs rest value. a\*: P < 0.05, a\*\*: P < 0.01 vs bathing-0 value. b\*: P < 0.05, b\*\*: P < 0.01 vs bathing-15 value. c\*: P < 0.05, c\*\*: P < 0.01 vs recovery-0 value. A\*: P < 0.05, A\*\*: P < 0.01 between R-B and EX-B trials with the same time course in the same group.

後にさらに低下したが (P < 0.01), 5分後には初期の陸上安静値に戻った。

中高年者群のDBPは, 安静後入浴における入浴15分後に初期陸上安静値より低くなった (P < 0.05)。一方, 若年者群のDBPは入浴直後からの低下がみられ, 陸上安静に比べて, 有意に低い値を示した (P < 0.01)。若年者群のDBPは入浴直後から回復5分後までのすべての測定時点で中高年者群より有意に低かった (P < 0.05, P < 0.01)。運動後入浴においては, 両年齢群とも入浴中期に安静後入浴と同程度の有意な低下がみられた (P < 0.01)。中高年者群においては, 運動後入浴の方が, 安静後入浴に比べて, 出浴直後に有意に低い値を示した (P < 0.05)。若年者群のDBPは, 運動後入浴においても各測定時点で中高年者群に比べて有意に低い値を示した (P < 0.05, P < 0.01)。

#### 2. 4 心拍出量 (SV, CO) と全末梢血管抵抗 (TPR) の変化

陸上安静時の一回拍出量 (SV) は, 若年者群

に比べて中高年者群の方が有意に低かった (P < 0.01, 図5)。入浴時の若年者群のSVは, 安静後入浴で陸上安静に比べて有意 (P < 0.05) に高い値を示した。一方, 中高年者群では両入浴で, 陸上安静に比べて有意 (P < 0.01) に高い値を示した。SV測定時のHRを用いて算出した心拍出量 (CO) は, SVと同様な傾向を示し, 陸上安静時には若年者群の方が中高年者群に比べて有意に大きく (P < 0.01), 入浴時には安静後および運動後にかかわらず, 陸上安静より有意に高い値が示された (P < 0.01)。

SV測定時の全末梢血管抵抗 (TPR) を, 平均血圧 (MBP) をCOで除して求めた。陸上安静時および各入浴時においてTPRは, 若年者群に比べて中高年者群で有意に高い値を示した (P < 0.01)。入浴時には, 血圧の低下とCOの増加が相まってTPRが有意に減少し (P < 0.01), 両年齢群および両入浴条件とも陸上安静に比べて低い値が示された。また, 入浴条件の違いによる低下の差は認められなかった。

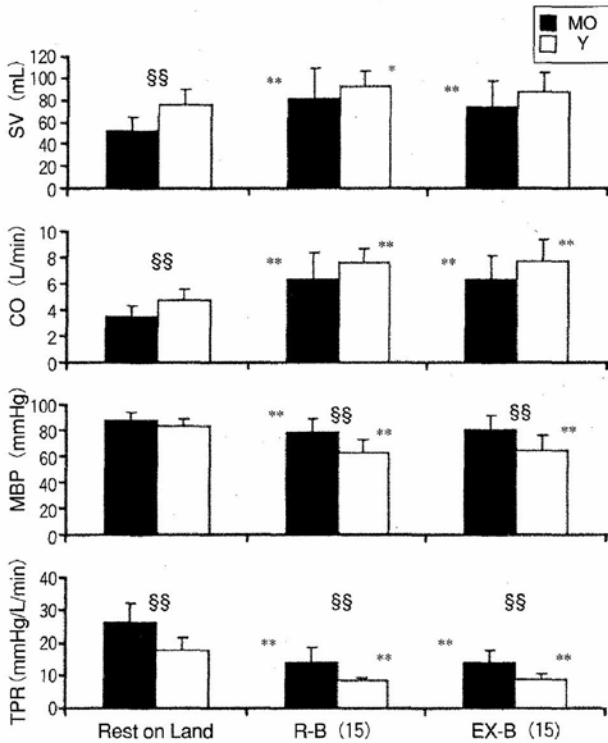


図5 Comparisons of stroke volume (SV), cardiac output (CO), mean blood pressure (MBP) and total peripheral resistance between young (Y; control) and middle-aged and older (MO) during rest, and at 15 min of bathing. Definitions of R-B and EX-B are shown in Figure 1. Values are mean  $\pm$  SD. Significant differences; § §:  $P < 0.01$  between MO and Y group. \*:  $P < 0.05$ , \*\*:  $P < 0.01$  vs rest value.

### 2. 5 頸動脈血管径の変化

安静後入浴の入浴直後には両年齢群とも陸上安静に比べて、有意に収縮期血管径が増大した ( $P < 0.01$ , 表2)。また、中高年齢者群においては、拡張期血管径も有意に増大していた ( $P < 0.05$ )。そのため、中高年齢者における頸動脈血管の拡張性(収縮期血管径-拡張期血管径)は、陸上安静値と差がなかったが、若年者群では入浴によって拡

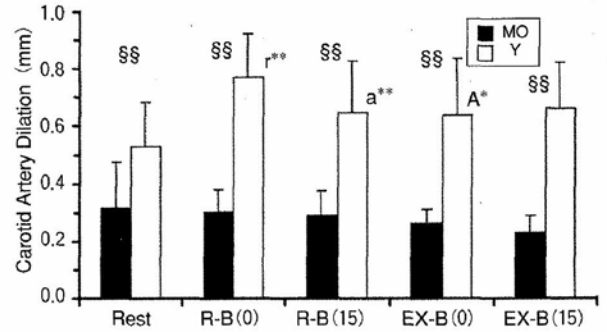


図6 Comparison of carotid artery dilation (systole diameter - diastole diameter) between young (Y; control) and middle-aged and older (MO) during rest and bathing (0, 15min) in R-B and EX-B trials. Definitions of R-B or EX-B are shown in Figure 1. Values are mean  $\pm$  SD. Significant differences; § §:  $P < 0.01$  between MO and Y groups. r\*\*:  $P < 0.01$  vs rest value. a\*\*:  $P < 0.01$  vs values. A\*:  $P < 0.05$  between R-B (0) and EX-B (0) values in the same group.

張性が有意に増大した ( $P < 0.01$ , 図6)。しかし、この若年者における変化は、入浴15分目には有意に低下し ( $P < 0.05$ )、安静時と差のないレベルまで戻った。運動後入浴時には、中高年齢者群の収縮期血管径が入浴直後に比べて有意に減少した ( $P < 0.05$ , 表2)。また、陸上安静、安静後入浴、運動後入浴のすべての測定条件において中高年齢者群は若年者群に比べて有意に低い血管拡張性を示した(図6)。

### 2. 6 圧受容器反射感受性 (log SBRS) の変化

圧受容器反射感受性 (log SBRS) は、陸上安静時、両入浴条件のいずれの測定区間においても年齢群間の差はみられず、両群とも安静後入浴の10~15分区間で、5~10分区間に比べて、有意

表2 Comparison of carotid artery diameter in the systole and diastole phase between young (Y; control) and middle-aged and older (MO) in R-B and EX-B trials.

Diameter Phase	Group	Rest	R-B (0)	R-B (15)	EX-B (0)	EX-B (15)
Systole	MO	6.68 $\pm$ 0.65	7.07 $\pm$ 0.68 r**	6.91 $\pm$ 0.66	7.05 $\pm$ 0.76	6.85 $\pm$ 0.70 b*
	Y	6.46 $\pm$ 0.72	6.75 $\pm$ 0.60 r**	6.84 $\pm$ 0.63 r*	6.61 $\pm$ 0.51	6.74 $\pm$ 0.73
Diastole	MO	6.36 $\pm$ 0.64	6.76 $\pm$ 0.63 r*	6.61 $\pm$ 0.63	6.79 $\pm$ 0.76	6.62 $\pm$ 0.67
	Y	5.93 $\pm$ 0.74	5.98 $\pm$ 0.61	6.20 $\pm$ 0.61 r*a*	5.97 $\pm$ 0.49	6.08 $\pm$ 0.67

Values are mean  $\pm$  SD. Significant differences; § §:  $P < 0.05$  between MO and Y groups. r\*:  $P < 0.05$ , r\*\*:  $P < 0.01$  vs rest value. a\*:  $P < 0.05$  vs R-B (0) value. b\*:  $P < 0.05$  vs EX-B (0) value.



に低い値を示した ( $P < 0.05$ ,  $P < 0.01$ , 図7). また, 運動後入浴では両年齢群とも陸上安静に比べて10~15分区間で有意に低い値を示し ( $P < 0.05$ ), とくに, 中高年者群では5~10分区間においても有意に低い値が得られた ( $P < 0.05$ ). 入浴条件で比較すると, 両年齢群とも安静後入浴に比べて運動後入浴で有意に低い値を示した ( $P < 0.05$ ,  $P < 0.01$ ). すなわち, 両年齢群とも運動後入浴時には圧受容器反射感受性が低下することを示した.

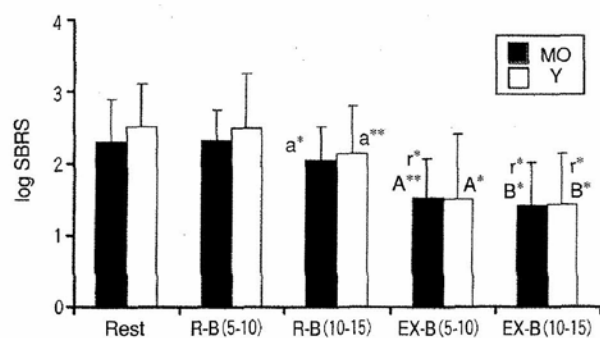


図7 Comparison of logarithmic indicators for spontaneous cardiac baroreflex sensitivity (log SBRS) between young (Y; control) and middle-aged and older (MO) during rest, 5-10 min and 10-15 min of bathing in R-B and EX-B trials. Definitions of R-B and EX-B are shown in Figure 1. Values are mean  $\pm$  SD. Significant differences; r\*:  $P < 0.05$  vs rest value. a\*:  $P < 0.05$  between R-B (5-10) and R-B (10-15) values in the same group. A\*:  $P < 0.05$ , A\*\*:  $P < 0.01$  between R-B (5-10) and EX-B (5-10) values in the same group. B\*:  $P < 0.05$  between R-B (10-15) and EX-B (10-15) values in the same group.

### 3. 考察

#### 3.1 安静後入浴時の循環器系応答

中等度水温下で胸部付近の水位で水浸すると, 心臓・胸部の血液量の増加<sup>1,13)</sup>, 中心静脈圧の上昇<sup>6,7,13)</sup>, SV<sup>1,10,12)</sup>の増加, 全末梢血管抵抗の低下<sup>12)</sup> およびHRの低下<sup>7,8,12)</sup>といった循環器系応答が引き起こされることが知られている. また, 松井ら<sup>17)</sup>は, 運動後の30℃水温下での水中回復においても, SVやCOを高いレベルに保つことができることを示している. 一般的な入浴時

には, これらの水浸(水圧)の影響に加えて高水温の影響が加わるため, SVの増加と温熱作用によるHRの増加によって, より大きなCOとなり, 循環器系の速やかな応答が要求されると考えられる.

HRの結果において, 中高年者は入浴初期に増加し, その後の増加が少なく, 若年者は入浴初期には陸上安静との差がないが, その後1分につき約1.3拍/分の増加率で出浴時まで増加した(図1). 心拍調節に関連する心臓迷走神経活動レベルをlog HF値から見ると(図2), 初期陸上安静値に対する心臓迷走神経活動レベルの低下が大きい若年群においては, 温熱作用に対する交感神経活動の亢進の度合いが大きい可能性が示唆され, その結果, 心拍数の増加率が高くなったと考えられる. 美和ら<sup>19)</sup>も本研究と同様に高齢者に比べて若年者で入浴時の心拍数増加が大きいことを報告しており, 高齢者は若年者に比べて発汗量の増加が少なく, 温熱作用に対する体温調節機能の反応性が低くなる可能性を指摘している. また, このことが身体を暖まり難くし, 熱い湯や長湯を好むことにつながり, 結果として入浴時の血圧変動の幅が拡大して入浴時突然死が高まることを指摘している.

平均値では有意な差は認められなかったが, 中高年者群では入浴直後にSBPが上昇する者が5名おり, そのうち3名が12mmHg以上(12~26mmHg)の上昇を示した(図4). 水温40℃で同様に20分間の入浴実験を行い高齢者(平均73歳)の入浴時の循環動態を観察した美和ら<sup>19)</sup>の報告においては, 入浴初期の収縮期血圧が安静値に比べて有意に上昇することが示されており, 40℃入浴の初期に収縮期血圧が上昇することは, 中高年者における入浴時循環器系応答の特徴の一つであると考えられる. この原因の一つとして, 中高年者においては水浸による心臓・胸部への血液移動に対して末梢の抵抗血管を拡張させて対応

することが、若年者に比べてできにくいことがある。すなわち、中高年者の高い安静TPR値(図5)と入浴DBP値(表1)が、入浴初期の心臓・胸部への血液移動の影響を緩衝できず、入浴初期にSBPが上昇し易くなると考えられる。

本研究では、水浸負荷が高圧系圧受容器に及ぼす影響をみるため、入浴直後と入浴15分目に、頸動脈の血管径を測定し、血管径が増大する傾向を認めた。このことから入浴によって引き起こされる心臓・胸部への血液移動が、入浴直後に大動脈弓の血管壁や頸動脈洞の高圧系圧受容器に対して有力な入力刺激となっていた可能性が示唆された。とくに、中高年者は、若年者と比較して陸上安静で有意に低いSVやCOを示していたが、入浴によって若年群と差がないレベルまで上昇したことから、中高年者においては相対的により大きな入力刺激となっていたと考えられる。

圧受容器反射感受性の指標であるlogSBRSは、呼吸による影響を受ける心電図RR間隔を用いるため、呼吸数制御を行う必要があること、安定した5分間に測定する必要があることなどの点から、入浴5分後から10分間(5-10, 10-15分)測定した。そのため、入浴直後における圧受容器反射感受性は不明であるが、測定した区間の前半は両年齢群とも陸上安静と同様な値を示し、後半に感受性が有意に低下していた( $P < 0.05$ ,  $P < 0.01$ )。このことは、両年齢群における入浴15分目のSBPおよびDBPが安静および、あるいは入浴直後の値に比べて有意に低い値となっていることから判断できる。また、このことは入浴直後に比べて入浴15分目に若年者における頸動脈拡張性が低下していること、および両年齢群の収縮期血管径が入浴直後に比べて入浴15分目には陸上安静値との差がなくなることなどの結果と一致していると思われる。すなわち、入浴時間経過に伴い、末梢血管が拡張し、皮膚血流量<sup>18)</sup>や筋血流量<sup>4)</sup>が上昇した結果、中心の動脈にかかる圧力が減少してこ

これらの反応が観察されたと考えられる。

### 3. 2 運動後入浴時の循環器系応答

温水プールやトレーニングジムを併設した温泉施設(クアハウス)の利用者は年間320万人とされており(1998, 日本クアハウス協会報告)、運動後に熱い温泉に入浴する利用者が多いと考えられる。本研究では、このような背景から、持久的運動後に入浴を行って入浴時の循環器系応答を観察し、とくに、中高年者が運動後に入浴した場合の特徴について明らかにした。

HRの結果は、中等度の持久的運動の影響が、入浴中のHR増加パターンにおける加齢の違いを打ち消すことを示唆するものであり、また、通常の安静後入浴に比べてエネルギー代謝量を増大させると考えられた。

心拍調節に関連する心臓迷走神経活動レベル(log HF値)においても、年齢群間の差がみられず、また、安静後入浴の同じ測定時点と比較して、有意に低い値を示した(図2)。Matsui et al.<sup>16)</sup>は、若年者を対象に、水温30℃で座位で剣状突起まで水浸した時の循環器系応答を報告し、中等度持久運動後の回復過程におけるlogHF値が陸上回復に比べて有意に高いこと、および陸上安静レベルへと速やかに回復することを示した。このことから判断すると、一般的なプール水温の30℃に比べると、40℃の高温浴では運動後回復期の心臓迷走神経活動を亢進させることがなく、逆に交感神経活動のレベルを上昇させていることが容易に推測できる。本研究の陸上安静においては、中高年者の心臓迷走神経活動レベルは若年者に比べて低いという一般的な報告と同様な結果が示されたが、安静入浴や運動後入浴においては差がなくなることが確認された。このことは、40℃の高温浴によって心臓交感神経活動の亢進が両年齢群で起こることは確かであるが、その度合いが若年者ほど大きいことを示していると考えられる。あるいは、

別の見方をすれば、運動後入浴直後の血圧値が大きい中高年者においては若年者に比べて交感神経活動亢進の度合いが抑えられ、迷走神経活動抑制の度合いも少なかったという可能性も示唆される。

運動後入浴の入浴時の血圧は、SBPの入浴直後を除き、SBPとDBPの両方において両年齢群とも安静後入浴と同様な変化を示した(表1, 図3, 図4)。しかし、回復期においては両入浴条件間で相違がみられ、中高年者の運動後入浴時の回復直後においては、安静後入浴と比べて、SBPとDBPの両方に有意な低下がみられた( $P < 0.05$ ,  $P < 0.01$ )。長時間の高温水浴によって、皮膚や筋肉などの末梢血管が過度に拡張し、末梢の血流量が増大する。そして、水圧の影響がなくなる出浴時には静脈環流量が減少して一時的な低循環状態が引き起こされると考えられる。中高年者群の血圧変動から判断すると、運動後入浴の出浴直後にこのような長時間高温浴と同様な状態を招いていたことが推察される。回復5分目にはSBP値はおおむね陸上安静値まで回復したが、DBPは両年齢群とも、安静レベルへの完全な回復に至っていなかった。このことから運動後入浴は、安静後入浴に比べて循環器系応答に対してより大きな影響を及ぼすことが明らかである。

入浴15分目のSV, CO, MBPおよびTPRにおいては両年齢群とも安静後入浴と同様な値が示された(図5)。このことは、運動後入浴と安静後入浴の15分目の血圧値において差がみられなかったことと関連していると考えられる。血圧変動が激しい入浴直後や出浴直後におけるSVやCOなどのパラメータの経時的変化は、大変興味深いのが、現状の方法では測定が難しく、今後の課題としたい。

運動後入浴時の頸動脈血管径においては、両年齢群の収縮期および拡張期とも、陸上安静値との差が認められなかった(表2)。しかし、入浴直後の拡張期においては、安静後入浴と同様に、中

高年者群で有意に高い値が示された。このことは、中高年者群は、若年者群に比べて、全末梢血管抵抗が有意に高く( $P < 0.01$ )、そのため、入浴直後に増加した静脈環流量が頸動脈に多く流入したためと推察された。また、血管の拡張性においては、若年者の入浴直後の値が安静後入浴に比べて有意に低い値を示したが、入浴15分目の値と比較すると、ほぼ同じ値を示していた(図6)。運動が入浴と同様に末梢レベルの血管拡張をもたらすと考えられるので、頸動脈径へも入浴と同様な影響をもたらす、その結果、入浴直後にすでに入浴15分目と同様な値を示したものと思われる。

圧受容器反射感受性指標であるlogSBRsは、両年齢群で差がなかった。しかし、陸上安静値や安静後入浴の同時帯の値よりも有意に低い値を示した( $P < 0.05$ ,  $P < 0.01$ , 図6)。Davy et al.<sup>5)</sup>は、日常生活の活動レベルが閉経後の圧受容器反射感受性に影響することを報告し、Monahan et al.<sup>9)</sup>は、血圧上昇薬であるphenylephrineを用いて血圧(SBP)を上昇させたときの圧受容器反射感受性と年齢および体力レベルの関係を調べ、体力レベルが低い高齢者ほど感受性が低いことを報告した。しかし、本研究では、陸上安静時に中高年者群の方がやや低い値を示したものの、運動後入浴においては年齢による差はなく、条件間のみの差がみられ、陸上安静や安静後入浴条件に比べて有意に低い値が示された。本研究においては、両年齢群の持久力を測定していないので、体力レベルによる影響がlogSBRsの年齢群間の比較に反映されているかどうかは不明であるが、運動後入浴においては、運動と入浴が圧受容器反射のリセットイングに参与し、圧受容器反射感受性が低下することが推察された。

#### 4. まとめ

40℃, 20分間の入浴における中高年者の循環動態とそれにとりまなう循環器系自律神経調節を観

察し、以下のような特徴が確認された。

・心拍数 (HR) は入浴の時間経過とともに増加し、入浴終了時の値は、安静後入浴に比べて運動後入浴で高かった。HR の漸増率は、より低い入浴初期値が示された若年者群の安静後入浴において最も高かった。

・心臓迷走神経活動 (logHF) は入浴によって増加することではなく、安静後入浴では心拍数の増加に呼応して、時間経過とともに減少する傾向にあった。運動後入浴では安静後入浴よりも有意に低い値が得られ、時間変動はみられなかった。中高年者群は若年者群に比べて陸上安静時に有意に低い値を示したが、入浴時には年齢群間の差はみられなかった。

・中高年者群の安静後入浴においては直後の収縮期血圧 (SBP) が安静値に比べて上昇する傾向にあったが、終期には有意に減少し、安静値より低い値を示した。運動後入浴の SBP も終期にはほぼ安静値に戻っていた。運動後入浴における特徴は、中高年者群の出浴直後のデータにみられ、有意な顕著な低下がみられた。しかし、回復5分後には、おおむね安静値に回復した。一方、拡張期血圧 (DBP) においては、いずれの入浴条件においても入浴直後の上昇はみられず、終期に有意に減少した。SBP と異なり、DBP 値はおおむね回復5分目には陸上安静値まで回復したが、両年齢群とも、安静レベルへの完全な回復に至っていなかった。入浴時のすべての時間帯で年齢群間の差がみられ、若年者群が有意に低い値を示した。

・一回拍出量 (SV) と心拍出量 (CO) は、陸上安静時には中高年者の方が若年者に比べて有意に低い値を示したが、入浴時には差がなくなり、両群とも有意に増加した。平均血圧 (MBP) は、安静時には群間の差はなかったが、入浴によって両群とも有意に低下して、若年者の方がより低い値を示した。安静時の全末梢血管抵抗 (TPR) は中高年者で有意に高い値が示され、入浴時にも同

様な群間差が維持された。また、両群とも入浴によって有意に TPR が低下した。これらの変化はすべて、安静後入浴と運動後入浴で同様なものであった。

・頸動脈血管径 (carotid artery diameter) は、安静後入浴の入浴直後の収縮期において両年齢群で安静値からの有意な増加がみられた。中高年者群は拡張期においても同様に増加した。安静入浴の入浴直後の頸動脈血管拡張性 (収縮期-拡張期) は、若年者群においては有意に増加したが、中高年者群においては陸上安静との差がなかった。運動後入浴時には、中高年者の収縮期血管径が入浴終期に有意に低下した。

・圧受容器反射感受性 (logSBRS) は、年齢群間での差はみられなかったが、両群とも安静後入浴に比べて運動後入浴において logSBRS が有意に減少した。

以上のことから、入浴は圧受容器反射感受性を減弱させ、とくに中高年者の入浴時の血圧変動に対する調節に大きな影響を与えられた。また、運動後入浴は、より大きく圧受容器反射感受性を低下させ、出浴時の血圧調節にも影響することが示唆された。

## 謝 辞

本研究に対して研究助成を賜った財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団に深く感謝申し上げます。また、実験データの収集ならびに解析に多大な協力を頂いた川崎医療福祉大学大学院の河野寛さん、川崎医療福祉大学非常勤講師の西村正広さん、川崎医療福祉大学大学院の妹尾奈月さん、天岡寛さん、西村一樹さん、小坂多恵子さん、川崎医療福祉大学健康体育学科の学部生の皆さん、ならびに、実験に参加して頂いた被験者の方々に厚くお礼申し上げます。

## 文献

- 1) Arborelius M, Jr., Ballidin UI, Lilja B, Lundgren CE; Hemodynamic changes in man during immersion with the head above water. *Aerosp Med.*, 43, 592-598 (1972)
- 2) Blaber AP, Yamamoto Y, Hughson RL; Methodology of spontaneous baroreflex relationship assessed by surrogate data analysis. *Am. J. Physiol.*, 268, H1682-1687 (1995)
- 3) Blaber AP, Yamamoto Y, Hughson RL; Change in phase relationship between SBP and R-R interval during lower body negative pressure. *Am. J. Physiol.*, 268, H1688-1693 (1995)
- 4) Bonde-Petersen F, Schultz-Pedersen L, Dragsted N; Peripheral and central blood flow in man during cold, thermoneutral, and hot water immersion. *Aviat Space Environ Med.*, 63, 346-350 (1992)
- 5) Davy KP, DeSouza CA, Jones PP, Seals DR; Elevated heart rate variability in physically active young and older adult women. *Clin Sci.*, 94, 579-584 (1998)
- 6) Echt M, Lange L, Gauer OH; Changes of peripheral venous tone and central transmural venous pressure during immersion in a thermo-neutral bath. *Pflugers Arch.*, 352, 211-217 (1974)
- 7) Gabrielsen A, Johansen LB, Norsk P; Central cardiovascular pressures during graded water immersion in humans. *J. Appl. Physiol.*, 75, 581-585 (1993)
- 8) Larsen AS, Johansen LB, Stadeager C, Warberg J, Christensen NJ, Norsk P; Volume-homeostatic mechanisms in humans during graded water immersion. *J. Appl. Physiol.*, 77, 2832-2839 (1994)
- 9) Monahan KD, Tanaka H, Dinunno FA, Seals DR; Central arterial compliance is associated with age- and habitual exercise-related differences in cardiovagal baroreflex sensitivity. *Circulation*, 104, 1627-1632. Related Articles, Links (2001)
- 10) Norsk P, Bonde-Petersen F, Christensen NJ; Catecholamines, circulation, and the kidney during water immersion in humans. *J. Appl. Physiol.*, 69, 479-484 (1990)
- 11) Parlow J, Viale JP, Annat G, Hughson R, Quintin L; Spontaneous cardiac baroreflex in humans. Comparison with drug-induced responses. *Hypertension*, 25, 1058-1068 (1995)
- 12) Pump B, Shiraishi M, Gabrielsen A, Bie P, Christensen NJ, Norsk P; Cardiovascular effects of static carotid baroreceptor stimulation during water immersion in humans. *Am. J. Physiol. Heart Circ Physiol.*, 280, H2607-2615 (2001)
- 13) 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. *Pflugers Arch.*, 374, 115-118 (1978)
- 14) Ueno LM, Miyachi M, Matsui T, Takahashi K, Yamazaki K, Onodera S, Moritani T; Effects of aging on carotid artery distention and baroreflex sensitivity in response to water immersion. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 35, S119 (2003)
- 15) 厚生労働省大臣官房統計情報部編; 平成13年人口動態統計・下巻, 厚生統計協会, 東京, 314-315 (2002)
- 16) Matsui T, Miyachi M, Saito T, Nakahara H, Koeda M, Hayashi N, Onodera S; Cardiovascular responses during moderate water exercise and following recovery. Biomechanics and Medicine in Swimming VIII (eds. Keskinen, KL, Komi, PV, Hollander, AP) Gummerus Printing, Jyväskylä, Finland, 345-350 (1999)
- 17) 松井 健, 宮地元彦, 星島葉子, 高橋康輝, 山元健太, 吉岡 哲, 小野寺昇; 陸上定常負荷運動後の水中浸漬が全身循環の回復過程に及ぼす影響. 体力科学, 51, 265-274 (2002)
- 18) Miwa C, Matsukawa T, Iwase S, Sugiyama Y, Mano T, Sugeno Y, Yamaguchi H, Kirsch KA; Human cardiovascular responses to a 60-min bath at 40 degrees C. *Environ Med.*, 38, 77-80 (1994)
- 19) 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)
- 20) 杉山由樹, 美和千尋, 鈴木初恵, 薛 叶祥, 松川俊義, 岩瀬 敏, 間野忠明; 高齢者における中立温頸下水浸負荷時の循環動態. 環研年報: XLIV, 68-71 (1993)
- 21) Weston CFM, O' Hare JP, Evans JM, Corrall RJM; Haemodynamic changes in man during immersion in water at different temperatures. *Clin Sci.*, 73, 613-616 (1987)