

原 著

## 心臓副交感神経系の動脈圧受容器反射による上昇性および下降性の血圧調整機能は入浴時に増大する

奥田泰子<sup>\*1,2</sup> 大槻 毅<sup>\*3</sup> 長尾光城<sup>\*4</sup> 松嶋紀子<sup>\*5</sup>

### 要 約

浸水により心臓左室の1回拍出量は増大するが、入浴による血圧上昇は顕著ではない。我々は心臓副交感神経系の動脈圧受容器反射感受性(Baroreflex Sensitivity, BRS)は入浴時に増大して血圧の変化を抑制するという仮説を設定した。この仮説を検証するために、上昇性および下降性のBRS, 血圧, および体温を、女性を対象に入浴もしくはシャワー浴の前後と浴中に測定した。BRSは頸動脈スティフネスに関連すると考えられているので、頸動脈スティフネスの指標である頸動脈脈波伝播速度も測定した。BRSは、上昇性および下降性のいずれにおいても入浴中に上昇したが、シャワー浴による変化は認められなかった。入浴中に上昇したBRSは、出浴後に入浴前の水準に回復した。浴中の血圧の変化に、入浴とシャワー浴との間の有意差は認められなかった。鼓膜温は入浴後に上昇したが、シャワー浴後には有意の変化は認められなかった。BRSと頸動脈脈波伝播速度との間に負の相関関係が認められた。これらの結果は、心臓副交感神経系のBRSによる上昇性および下降性の血圧調節機能は入浴時に増大することを示唆する。入浴時とシャワー浴時で血圧の応答に違いが生じないのは、BRSの増大が入浴時の血圧の変化を抑制するためかもしれない。保温効果も考慮すると、シャワー浴よりも入浴の方が有用な浴式なのかもしれない。入浴時のBRSの変動を予測することは困難であるが、頸動脈スティフネスが増大している場合には少なくとも入浴前のBRSは低い傾向にあるので、入浴時の血圧の急峻な変動に注意が必要である。

### 1. 緒言

身体が浸水すると、静水圧により中心静脈や心房の容量および内圧は上昇する<sup>1-3)</sup>。この左室前負荷の増大は浸水時の左室1回拍出量や心拍出量を増大させる<sup>1,4)</sup>。血管抵抗が一定であれば、左室1回拍出量の増大は血圧を上昇させるはずなので、入浴時に血圧は上昇すると予測される。しかしながら、我々が高齢者と若年者を対象に入浴時(40.5℃, 10分間)の血圧変動を観察したところ、血圧に有意の変動は認められなかった<sup>5)</sup>。また、Ohnakaらは10分間の入浴時(40℃)には、若年者および中年者の収縮期血圧は低下したと報告している<sup>6)</sup>。Nagasawaらは、入浴時(40℃, 10分間)の収縮期血圧は、若年者では低下し、高齢者では入浴の開始直後に上昇したが後半には入浴前の水準に回復したと報告した<sup>7)</sup>。Allisonらも、若年者および中年者における21分間

の入浴モデル(40.0℃)を用い、収縮期血圧は入浴直後に低下するが、時間経過に伴って入浴前の水準に回復することを示した<sup>8)</sup>。これらの先行研究<sup>5-8)</sup>から、入浴時には必ずしも顕著な血圧上昇は認められないと考えられる。入浴時には何らかのメカニズムが作用して、血圧の変動を抑制しているのかもしれない。

血圧は主に自律神経機能、内分泌機能、および腎臓による体水分量の調節機能により調節されている。これらの中で、短時間の血圧調節に対する貢献度が最も大きいのは自律神経系である。心臓副交感神経系の動脈圧受容器反射は血圧調節を担う自律神経系機能の1つである。大動脈壁や頸動脈壁に存在する動脈圧受容器は、血圧変動に伴う動脈壁の歪みを感じて、循環中枢へ求心性の信号を送り、心拍数を増加もしくは減少させて血圧を調節する。圧受

\*1 川崎医療福祉大学大学院 医療福祉学部 保健看護学専攻 \*2 宇部フロンティア大学 人間健康学部 看護学科

\*3 聖カタリナ大学 人間健康福祉学部 健康福祉マネジメント学科 \*4 川崎医療福祉大学 医療技術学部 健康体育学科

\*5 川崎医療福祉大学 医療福祉学部 保健看護学科

(連絡先) 奥田泰子 〒755-0805 山口県宇部市文京台2丁目1番1号 宇部フロンティア大学

E-Mail: okuda@frontier-u.jp

容器の神経の発火頻度は動脈径の変化に比例するので<sup>9)</sup>、心臓副交感神経系の動脈圧受容器反射感受性 (Baroreflex Sensitivity, BRS) は大動脈や頸動脈のスティフネスに関連すると考えられている<sup>10-12)</sup>。加えて、摘出頸動脈を用いて異なる温度毎に描出された血管内径と内圧の関係曲線は、温熱刺激により動脈スティフネスが低下する可能性を指摘している<sup>13)</sup>。従って、入浴による体温の上昇が頸動脈スティフネスを低下させ、心臓副交感神経系の BRS が亢進する可能性が考えられる。既に、短時間の熱ストレス (46.0-48.0°C, 5 分間) により骨格筋交感神経系の BRS が亢進することは報告されているが<sup>14)</sup>、入浴時の心臓副交感神経系の BRS の変化は明らかにされていない。

我々は、心臓副交感神経系の BRS は入浴時に亢進して、血圧の変動を抑制するという仮説を設定した。この仮説を検証するために、心臓副交感神経系の BRS、血圧、および心拍数を入浴の前後と浴中に測定した。心臓副交感神経系の BRS を評価するために、先行研究<sup>15,16)</sup> に従い BRS を連続法により測定し、上昇性 (血圧の上昇に伴い RR 間隔が遅延する) と下降性 (血圧の下降に伴い RR 間隔が短縮する) に分けた検討を行った。対照試技として、シャワー浴試技を行った。これらに加え、入浴およびシャワー浴の前後における体温 (腋窩温および鼓膜温) の測定と安静時における頸動脈脈波伝播速度 (Pulse Wave Velocity, PWV; 動脈スティフネスの指標) の測定を行った。なお、薬理学的手法やいきみにより人為的に血圧を変動させて評価される BRS と区別するために、人為的介入を行わない安静状態の血圧と RR 間隔の変動から評価される BRS は、一般的に自発性 BRS と記述される。本研究では後者の方法により BRS を評価しているため、先行研究<sup>15,16)</sup> に従って、BRS の測定方法および測定結果に関する記述においては、自発性 BRS という用語を用いている。

## 2. 方法

### 2.1. 対象者

本研究の対象者は11名の女性である (年齢 $36.8 \pm 7.0$  [19-69] 歳, 身長 $158 \pm 2$  [147-169] cm, 体重 $53.1 \pm 2.1$  [39.3-62.7] kg, BMI  $21.3 \pm 0.8$  [16.2-25.4] kg/m<sup>2</sup>)。本研究の対象者に糖尿病患者, 心疾患患者, および高血圧者は含まれていない。閉経前の女性を対象にする場合には, 月経の前後3日間を避けて実験が行われた。実験の開始に先立ち, 全ての対象者に実験内容と何時でも実験を辞退できることを文書と口頭により説明し, 文書により実験参加の同意を得た。

### 2.2. プロトコル

入浴試技とシャワー試技は, 同日に, 2時間以上の間隔を空けて, ランダムな順番で行われた。

最初に被験者は仰臥位になり, PWV 測定装置 (formPWV/ABI, オムロンコーリン) を用い, 先行研究<sup>17,18)</sup> に従って頸動脈 PWV が測定された。心音記録用のマイクが胸骨左縁の第2肋間レベルに, トノメトリーセンサーが総頸動脈上に, それぞれ設置された。大動脈弁から頸動脈の圧波形記録部位までの脈波の伝播時間は, 心臓第2音の開始時から頸動脈血圧波形の重拍切痕出現時までの時間差として算定された。脈波の伝播距離を対象者の身長から推定し, 頸動脈 PWV を脈波の伝播距離と伝播時間の比として算定した<sup>17,18)</sup>。

次いで, 被験者は座位に姿勢を変え, アブラネーショントノメトリー (BP-508SD, オムロンコーリン) を用いて橈骨動脈血圧波形を連続記録した。血圧波形の記録開始時には, オシロメトリー (BP-508SD, オムロンコーリン) による上腕動脈血圧の測定を行った。電子体温計による腋窩温 (CT513, シチズンシステムズ) と鼓膜温 (CT820, シチズンシステムズ) の測定も行われた。

これらの浴前測定が終了した後に, 対象者は10分間の座位での入浴 (腋窩まで水浸) もしくはシャワー浴 (12.5L/min) を行った。これらの際に, 橈骨動脈血圧波形の連続記録と上腕動脈血圧の測定が浴前と同様の方法で行われた。入浴もしくはシャワー浴の終了後の10分間に, 浴前と同様にして橈骨動脈血圧波形の記録と上腕動脈血圧および体温の測定が行われた。

### 2.3. 自発性 BRS の測定方法

自発性 BRS は先行研究<sup>15,16)</sup> に従って以下の手順で測定された。橈骨動脈の血圧波形の記録においては, トノメトリーセンサー (BP-508SD, オムロンコーリン) は第4肋間の高さに設置された。トノメトリーセンサーにより記録された橈骨動脈血圧波形はコンピューターに保存され, オシロメトリーにより測定された拡張期血圧と平均血圧を用いて上腕動脈の値に補正された。脈拍間隔と RR 間隔は等しいという前提で, 脈拍間隔から RR 間隔 (連続する心電図 R 波の間隔) と心拍数 (1分間あたりの心臓の拍動回数) が算定された。収縮期血圧が最低2拍以上連続して上昇あるいは下降し, それに対応した RR 間隔が延長あるいは短縮した部分を抽出し, その回帰直線を算出した。浴前, 浴中, 浴後のそれぞれの後半5分間から, 回帰直線の相関係数が0.85以上の部分を抽出し, 上昇性 (収縮期血圧と RR 間隔はそれぞれ増大) と下降性 (両者はそれぞれ減小)

に分け、それぞれの回帰直線の傾きの平均値を算定して自発性BRSとした。

#### 2.4. 統計解析

数値は全て平均±標準誤差で示されている。入浴およびシャワー浴の影響は繰り返しのある2元配置の分散分析とフィッシャーの方法による多重比較検定法を用いて検討した。頸動脈PWVと自発性BRSとの関係は直線回帰分析により検討した。有意水準は5%未満に設定された。

#### 3. 結果

##### 3.1. 湯温, 室温, 湿度

浴槽およびシャワーの湯温はそれぞれ $40.6 \pm 0.1^\circ\text{C}$  および $40.6 \pm 0.2^\circ\text{C}$ であった。浴室の温度と湿度は、入浴試技ではそれぞれ $27.8 \pm 0.1^\circ\text{C}$  および $61.4 \pm 1.5\%$ 、シャワー浴試技ではそれぞれ $27.4 \pm 0.2^\circ\text{C}$  および $66.5 \pm 1.0\%$ であった。

##### 3.2. 自発性BRS

入浴とシャワー浴による自発性BRSの変化は図1に示されている。分散分析では、上昇性および下降性のそれぞれで、試技(入浴もしくはシャワー浴)と時間経過との統計学的な交互作用が認められた。多重比較検定では、上昇性および下降性の自発性BRSは、入浴中で入浴前に比べて増大した。しかしながら、自発性BRSのシャワー浴による統計学的な変動は認められなかった。また、入浴時ではシャワー浴時に比べて、上昇性および下降性の自発性BRSは、それぞれ統計学的に高い値を示した。入浴時に増大した上昇性および下降性の自発性BRSは、出浴後に、入浴前の水準に回復しており、入浴の前後に統計学的な有意差は認められなかった。

##### 3.3. 血圧, 心拍数

表1には各試技中の循環動態がまとめられている。これらの指標に試技と時間経過との交互作用は認められなかった。また、循環動態における試技間の統計学的な有意差は認められなかった。収縮期血圧, 平均血圧, 拡張期血圧, 心拍数および心臓左室後負荷の指標である二重積(収縮期血圧と心拍数の積)は時間経過に伴う統計学的な変動が認められた。多重比較検定において、収縮期血圧は入浴およびシャワー浴の後で浴前に比べて増大した。平均血圧は入浴およびシャワー浴の浴中と浴後で浴前に比べて統計学的な高値を示した。拡張期血圧は入浴およびシャワー浴の浴後で浴前に比べて統計学的に高い値を示した。心拍数は入浴およびシャワー浴の浴中に浴前および浴後に比べて統計学的に増加した。浴中および浴後の二重積は浴前に比べて高い値を示した。脈圧に時間経過に伴う統計学的な変動は認められなかった。

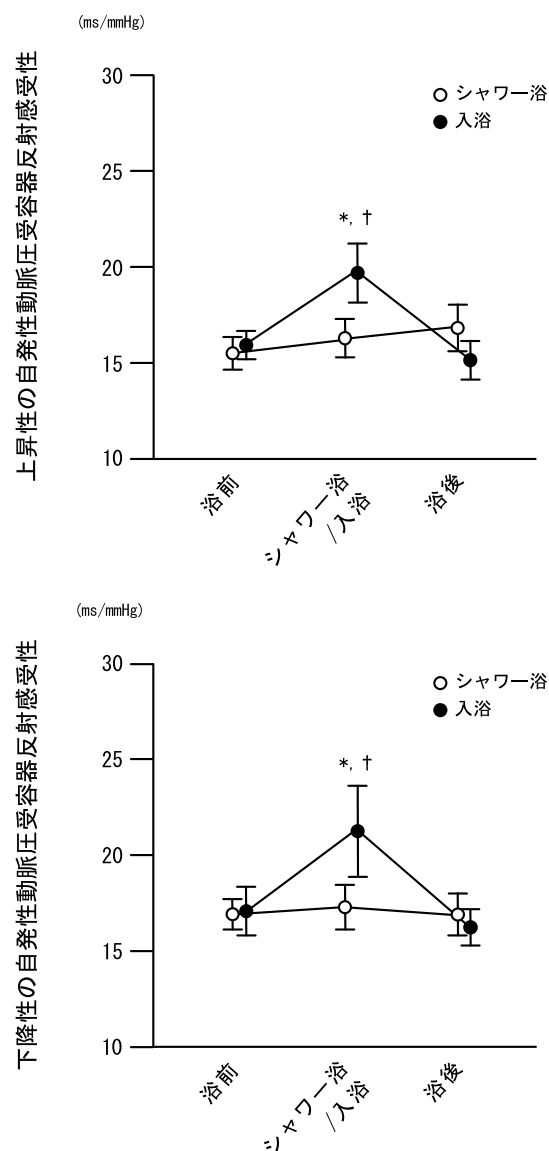


図1 シャワー浴と入浴の浴前, 浴中, および浴後における上昇性(上図)と下降性(下図)の自発性動脈圧受容器反射感受性  
平均値±標準誤差。\* $P < 0.05$  v.s. 浴前および浴後, † $P < 0.05$  v.s. シャワー浴。

##### 3.4. 体温

入浴およびシャワー浴前後の体温は表2に示されている。腋窩温に試技と時間経過との統計学的な交互作用および試技間の差は認められなかった。ただし、腋窩温においては時間経過に伴う統計学的変動が認められ、入浴およびシャワー浴の後には、浴前に比べて上昇することが示された。一方で、鼓膜温には試技と時間経過との間の交互作用が検出された。多重比較検定の結果、入浴後には鼓膜温の上昇が認められたが、シャワー浴後の鼓膜温の変動は認められなかった。

表1 シャワー浴と入浴の浴前，浴中，および浴後の循環動態

		浴前	浴中	浴後	交互作用
収縮期血圧, mmHg	シャワー浴	101 ± 3	103 ± 3	106 ± 2	$F=0.1, P=0.90$
	入浴	98 ± 3	101 ± 2	102 ± 3	
平均血圧, mmHg	シャワー浴	71 ± 2	72 ± 2	73 ± 2	$F=1.2, P=0.32$
	入浴	67 ± 3	72 ± 2	73 ± 3	
拡張期血圧, mmHg	シャワー浴	56 ± 2	56 ± 2	57 ± 2	$F=2.2, P=0.13$
	入浴	52 ± 3	58 ± 3	58 ± 3	
脈圧, mmHg	シャワー浴	45 ± 2	48 ± 2	49 ± 3	$F=2.2, P=0.12$
	入浴	46 ± 2	44 ± 3	44 ± 2	
心拍数, bpm	シャワー浴	68 ± 1	68 ± 1	67 ± 2	$F=2.4, P=0.11$
	入浴	66 ± 2	70 ± 2	69 ± 2	
二重積, mmHg bpm	シャワー浴	6,790 ± 180	7,030 ± 130	7,090 ± 150	$F=2.2, P=1.2$
	入浴	6,490 ± 240	7,230 ± 330	7,090 ± 310	

平均値±標準誤差

表2 シャワー浴と入浴の浴前および浴後の体温

		浴前	浴後	交互作用
腋窩温, °C	シャワー浴	36.3 ± 0.1	36.6 ± 0.2	$F=0.8, P=0.39$
	入浴	36.3 ± 0.2	36.6 ± 0.2	
鼓膜温, °C	シャワー浴	37.0 ± 0.1	36.9 ± 0.1	$F=7.4, P=0.01$
	入浴	36.9 ± 0.1	37.1 ± 0.1*	

平均値±標準誤差. \* $P < 0.05$  v. s. 浴前.

### 3.5 . 頸動脈 PWV と自発性 BRS との関連性

安静時の頸動脈 PWV を独立変数とし，安静時，入浴時，および入浴後の自発性 BRS を従属変数として相関分析を行った．その結果，安静時の頸動脈 PWV は上昇性の自発性 BRS ( $r=-0.52, P < 0.01$ ) および下降性の自発性 BRS ( $r=-0.51, P < 0.01$ ) のいずれとの間においても，負の相関関係が認められた．

### 4 . 考察

上昇性および下降性の自発性 BRS は入浴時にそ

れぞれ増大したが，シャワー浴による変動は認められなかった．以上の結果は，上昇性および下降性の心臓副交感神経系の動脈圧受容器反射感受性，すなわち血圧の上昇に応じて RR 間隔を遅延させたり血圧の下降に応じて RR 間隔を短縮したりして血圧の変動を抑制する機能は，入浴時に亢進することを示唆する．このために入浴時の血圧の変動は抑制され，入浴とシャワー浴で血圧や二重積の変動は同程度だったのかもしれない．頸動脈スティフネスが大きいほど動脈圧受容器反射感受性は低い傾向にあ

るので、動脈スティフネスの大きな者では入浴時の血圧変動に注意が必要だと考えられる。しかしながら、本研究では心血管系の危険性を理由に入浴を避けてシャワー浴を選択する理由は見つからなかった。鼓膜温の変化が示唆する入浴の保温効果を加味すると、入浴はシャワー浴よりも利点が多いのかもしれない。

水浸は静脈還流量の増加により心室前負荷を増大させる<sup>1-3)</sup>。その結果、水浸時には左室の1回拍出量および心拍出量が増加する<sup>1,4)</sup>。従って、理論的には収縮期血圧および脈圧は入浴時に上昇すると予想される。しかしながら、我々や他の研究者らによる先行研究<sup>5-8)</sup>の結果は必ずしもこの仮説を支持しない。本研究においても、入浴とシャワー浴との間に血圧変動の差は認められなかった。先行研究<sup>5-8)</sup>と本研究の結果を合わせると、入浴が血圧に及ぼす影響は顕著ではないと結論付けることができる。入浴時に血流量は上昇するのに血圧は上昇しないという矛盾が生じる理由は、これまでには明らかにされていなかった。本研究は心臓副交感神経系のBRSが入浴時に亢進することを示した。BRSの亢進は入浴時の血圧変動、ひいては心血管系の危険性の低下に貢献するのかもしれない。

心臓副交感神経系のBRSは頸動脈と大動脈に存在する圧受容器の影響を受ける。圧受容器は血圧変動に伴う動脈壁の歪みを感じし、歪みの程度に応じた求心性の信号を循環中枢に送信する。従って、頸動脈や大動脈のスティフネスは心臓自律神経系のBRSの重要な規定因子だと考えられている<sup>10-12)</sup>。実際にMonahanらは、血管エコーと血圧波形記録により評価した頸動脈スティフネスと薬理学的方法(オックスフォード法)により評価したBRSとの間に密接な関連性があることを示している<sup>11)</sup>。本研究においても、PWVにより評価した頸動脈スティフネスと自発性BRSとの間に負の相関関係が認められた。動脈スティフネスは加齢<sup>19-22)</sup>や非活動的な生活習慣<sup>23,24)</sup>によって増大する。本研究において顕著な血圧の上昇を認めた被験者はいなかったが(例えば、収縮期血圧の最大の上昇幅は16mmHg[安静時98mmHg,入浴時114mmHg]であった)、極度に動脈スティフネスが増大している場合には血圧の変動に注意して入浴する必要があるのかもしれない。

体温は入浴およびシャワー浴の前後に腋窩と鼓膜で測定された。腋窩温はいずれの浴式後にも上昇し

たが、鼓膜温の変化は浴式により異なっていた。すなわち、入浴では鼓膜温は上昇したが、シャワー浴では鼓膜温は変化しなかった。腋窩よりも鼓膜の方が身体の中心部に近く、この結果は入浴により身体の表面温だけではなく深部温も上昇することを示唆する。少なくとも、温熱効果はシャワー浴よりも入浴の方が大きいと考えられる。

本研究では比較的短時間の入浴(10分間,40.6°C)により心臓自律神経系のBRSが亢進することが示唆された。また、Kellerらは研究用に作成したボディースーツにより身体に熱ストレス(5分間,46.0-48.0°C)を負荷したところ、骨格筋交感神経系のBRSは上昇したと報告している<sup>14)</sup>。一方で、Leeら<sup>25)</sup>は下肢を44.0°Cの湯に30分間浸漬したところ、自発性BRSは低下したと報告している。心臓自律神経系のBRSが亢進する入浴時間と低下する入浴時間との境界は不明であるが、長時間の入浴は避けるべきであろう。

入浴時における心臓副交感神経系のBRS上昇のメカニズムは明らかにされていない。可能性として考えられるのは、温熱による動脈スティフネスの低下である。Guineaらは温熱により頸動脈の内径-内圧曲線は右側に移動したと報告しており<sup>13)</sup>、温熱刺激により頸動脈スティフネスは低下する可能性が考えられる。頸動脈圧受容器は動脈の伸展を感知する受容器である。スティフネスが低下した動脈は、わずかな血圧の変動で伸展するようになり、BRSが亢進するのかもしれない。本研究では、入浴の温熱効果はシャワー浴に比べて顕著であり、入浴の温熱効果による頸動脈スティフネスの低下が心臓副交感神経系のBRSの亢進に関連する可能性が考えられる。他にも、深部温の上昇がBRSの信号伝達経路に直接作用する可能性が考えられる。視床下部には熱感受性を持つ神経線維が存在し、温熱により神経の発火頻度が上昇する<sup>26)</sup>。先行研究<sup>26)</sup>における検討は一部の神経に限られているが、心臓副交感神経系のBRSの信号伝達経路にも熱感受性を持つ神経が存在し、入浴の温熱効果によりBRSが亢進するのかもしれない。

以上のことから、心臓副交感神経系の動脈圧受容器反射による上昇性および下降性の血圧調節機能は入浴時に亢進すると考えられる。この亢進により入浴時の血圧変動は抑制されるのかもしれない。

## 文 献

- 1) Arborelius M , Jr. , Ballidin UI , Lilja B and Lundgren CE : Hemodynamic changes in man during immersion with the head above water . *Aerospace Medicine* , **43**( 6 ) , 592-8 , 1972 .
- 2) Gabrielsen A , Johansen LB and Norsk P : Central cardiovascular pressures during graded water immersion in humans . *Journal of Applied Physiology* , **75**( 2 ) , 581-5 , 1993 .
- 3) Onodera S , Miyachi M , Nishimura M , Yamamoto K , Yamaguchi H , Takahashi K , In JY , Amaoka H , Yoshioka A , Matsui T and Hara H : Effects of water depth on abdominal [correction of abdominails] aorta and inferior vena cava during standing in water . *Journal of Gravitational Physiology* , **8**( 1 ) , P59-60 , 2001 .
- 4) Ueno LM , Miyachi M , Matsui T , Takahashi K , Yamazaki K , Hayashi K , Onodera S and Moritani T : Effect of aging on carotid artery stiffness and baroreflex sensitivity during head-out water immersion in man . *Brazilian Journal of Medical and Biological Research* , **38**( 4 ) , 629-37 , 2005 .
- 5) 奥田泰子 , 陶山啓子 , 田原康玄 , 小原克彦 : 入浴とシャワー浴における高齢者と若年者の循環と体温への影響 . 日本看護学会誌 , **14**( 2 ) , 2-13 , 2005 .
- 6) Ohnaka T , Tochiara Y , Kubo M and Yamaguchi C : Physiological and subjective responses to standing showers , sitting showers , and sink baths . *Applied Human Science* , **14**( 5 ) , 235-9 , 1995 .
- 7) Nagasawa Y , Komori S , Sato M , Tsuboi Y , Umetani K , Watanabe Y and Tamura K : Effects of hot bath immersion on autonomic activity and hemodynamics: comparison of the elderly patient and the healthy young . *Japanese Circulation Journal* , **65**( 7 ) , 587-92 , 2001 .
- 8) Allison TG and Reger WE: Comparison of responses of men to immersion in circulating water at 40.0 and 41.5 degrees C . *Aviation, Space, and Environmental Medicine* , **69**( 9 ) , 845-50 , 1998 .
- 9) Aars H: Relationship between aortic diameter and aortic baroreceptor activity in normal and hypertensive rabbits . *Acta Physiologica Scandinavica* , **75**( 3 ) , 406-14 , 1969 .
- 10) Kingwell BA , Cameron JD , Gillies KJ , Jennings GL and Dart AM : Arterial compliance may influence baroreflex function in athletes and hypertensives . *American Journal of Cardiology* , **268**( 1 Pt 2 ) , H411-8 , 1995 .
- 11) Monahan KD , Tanaka H , Dinunno FA and Seals DR : Central arterial compliance is associated with age- and habitual exercise-related differences in cardiovagal baroreflex sensitivity . *Circulation* , **104**( 14 ) , 1627-32 , 2001 .
- 12) Rowe JW : Clinical consequences of age-related impairments in vascular compliance . *American Journal of Cardiology* , **60**( 12 ) , 68G-71G , 1987 .
- 13) Guinea GV , Atienza JM , Elices M , Aragoncillo P and Hayashi K : Thermomechanical behavior of human carotid arteries in the passive state . *American Journal of Physiology: Heart and Circulatory Physiology* , **288**( 6 ) , H2940-5 , 2005 .
- 14) Keller DM , Cui J , Davis SL , Low DA and Crandall CG : Heat stress enhances arterial baroreflex control of muscle sympathetic nerve activity via increased sensitivity of burst gating , not burst area , in humans . *Journal of Physiology* , **573**( Pt 2 ) , 445-51 , 2006 .
- 15) Bertinieri G , Di Rienzo M , Cavallazzi A , Ferrari AU , Pedotti A and Mancia G : Evaluation of baroreceptor reflex by blood pressure monitoring in unanesthetized cats . *American Journal of Physiology* , **254**( 2 Pt 2 ) , H377-83 , 1988 .
- 16) Hayashi K , Miyachi M , Seno N , Takahashi K , Yamazaki K , Sugawara J , Yokoi T , Onodera S and Mesaki N : Fluctuations in carotid arterial distensibility during the menstrual cycle do not influence cardiovagal baroreflex sensitivity . *Acta Physiologica* , **186**( 2 ) , 103-10 , 2006 .
- 17) Kobayashi K , Akishita M , Yu W , Hashimoto M , Ohni M and Toba K : Interrelationship between non-invasive measurements of atherosclerosis : flow-mediated dilation of brachial artery , carotid intima-media thickness and pulse wave velocity . *Atherosclerosis* , **173**( 1 ) , 13-8 , 2004 .
- 18) Kimoto E , Shoji T , Shinohara K , Inaba M , Okuno Y , Miki T , Koyama H , Emoto M and Nishizawa Y : Preferential stiffening of central over peripheral arteries in type 2 diabetes . *Diabetes* , **52**( 2 ) , 448-52 , 2003 .

- 19) Avolio AP ,Deng FQ ,Li WQ ,Luo YF ,Huang ZD ,Xing LF and O'Rourke MF : Effects of aging on arterial distensibility in populations with high and low prevalence of hypertension : comparison between urban and rural communities in China . *Circulation* , **71**( 2 ) , 202-10 , 1985 .
- 20) Otsuki T , Maeda S , Kesen Y , Yokoyama N , Tanabe T , Sugawara J , Miyauchi T , Kuno S , Ajisaka R and Matsuda M : Age-related reduction of systemic arterial compliance induces excessive myocardial oxygen consumption during sub-maximal exercise . *Hypertension Research* , **29**( 2 ) , 65-73 , 2006 .
- 21) Otsuki T , Maeda S , Sugawara J , Kesen Y , Murakami H , Tanabe T , Miyauchi T , Kuno S , Ajisaka R and Matsuda M : Age-related reduction of systemic arterial compliance relates to decreased aerobic capacity during sub-maximal exercise . *Hypertension Research* , **29**( 10 ) , 759-65 , 2006 .
- 22) Vaitkevicius PV , Fleg JL , Engel JH , O'Connor FC , Wright JG , Lakatta LE , Yin FC and Lakatta EG : Effects of age and aerobic capacity on arterial stiffness in healthy adults . *Circulation* , **88**( 4 Pt 1 ) , 1456-62 , 1993 .
- 23) Iemitsu M , Maeda S , Otsuki T , Sugawara J , Tanabe T , Jesmin S , Kuno S , Ajisaka R , Miyauchi T and Matsuda M : Polymorphism in endothelin-related genes limits exercise-induced decreases in arterial stiffness in older subjects . *Hypertension* , **47**( 5 ) , 928-36 , 2006 .
- 24) Sugawara J , Otsuki T , Tanabe T , Hayashi K , Maeda S and Matsuda M : Physical activity duration , intensity , and arterial stiffening in postmenopausal women . *American Journal of Hypertension* , **19**( 10 ) , 1032-6 , 2006 .
- 25) Lee K , Jackson DN , Cordero DL , Nishiyasu T , Peters JK and Mack GW : Change in spontaneous baroreflex control of pulse interval during heat stress in humans . *Journal of Applied Physiology* , **95**( 5 ) , 1789-98 , 2003 .
- 26) Boulant JA : Cellular mechanisms of temperature sensitivity in hypothalamic neurons . *Progress in Brain Research* , **115** , 3-8 , 1998 .

(平成20年5月31日受理)

## Up- and Down-sequence Cardiovagal Baroreflex Sensitivity Increases during Bathing

Yasuko OKUDA, Takeshi OTSUKI, Mitsushiro NAGAO and Noriko MATSUSHIMA

(Accepted May 31, 2008)

Key words : arterial stiffness, bathing, blood pressure, cardiovagal baroreflex sensitivity, showering

### Abstract

Water immersion increases stroke volume. However, the effects of bathing on blood pressure are unlikely to be marked. We hypothesized that cardiovagal baroreflex sensitivity (BRS) increases during bathing to attenuate bathing-induced blood pressure changes. To test this hypothesis, up- and down-sequence spontaneous cardiovagal BRS, blood pressure, and body temperature in women were measured before, during, and after showering/bathing periods. Since cardiovagal BRS is associated with carotid arterial stiffness, carotid arterial pulse wave velocity (PWV; an index of arterial stiffness) was measured at rest. Up- and down-sequence spontaneous BRS did not change during showering but increased during bathing. The increased spontaneous BRS recovered after the cessation of bathing. There were no differences in changes in blood pressure between showering and bathing sessions. Tympanic temperature did not change after showering but increased after bathing. Spontaneous BRS was negatively correlated with carotid arterial PWV. We concluded that up- and down-sequence cardiovagal BRS increases during bathing. Elevated cardiovagal BRS may attenuate the blood pressure changes during bathing, leading to comparable blood pressure changes between showering and bathing. Taking into consideration the hyperthermic effects, bathing may be more beneficial than showering, although caution may be required for women with stiffened carotid arteries.

Correspondence to : Yasuko OKUDA

Department of Nursing, Faculty of Health Sciences  
Faculty of Health and Welfare Services Administration  
Ube Frontier University  
Ube, 755-0805, Japan  
E-Mail: [okuda@frontier-u.jp](mailto:okuda@frontier-u.jp)  
(Kawasaki Medical Welfare Journal Vol.18, No.1, 2008 129-136)