

— 原 著 —

高塩分濃度海水温浴時の心機能および一般血液動態

丸 山 徹^{1)*} 大 柿 哲 朗¹⁾ 藤 野 武 彦²⁾
白 川 太 郎³⁾ 小 倉 理 一⁴⁾

Cardiohemodynamic Responses to Bathing in Concentrated Seawater

Toru MARUYAMA^{1)*}, Tetsuro OGAKI¹⁾, Takehiko FUJINO²⁾,
Taro SHIRAKAWA³⁾ and Michihito OGURA⁴⁾

Abstract

Since investigations to examine the cardiohemodynamic effects of seawater immersion are rare, we conducted the electrocardiographic and echocardiographic examinations of healthy male during bathing in concentrated seawater with its salt concentration of 7%. Fresh water immersion under the same temperature (i.e., 39°C) and duration (10 min) served as a control. In addition, routine blood and serum laboratory test was performed in this cross-over trial before, during and 30 min after the immersion. Left atrial and diastolic left ventricular dimensions were increased during the bathing in concentrated seawater as well as fresh water. Ejection fraction, but not stroke volume, was augmented slightly but significantly ($p < 0.05$) during concentrated seawater immersion compared with fresh water immersion. Electrocardiographic monitoring indicated no observable arrhythmias or no significant ischemic changes. Blood and serum laboratory test showed no significant abnormalities in the two kinds of bathing at all. In conclusion, bathing in concentrated seawater (i.e., 7%) is safe at least in 10 min period without any significant cardiohemodynamic adverse effects. Moreover, mild positive inotropic effect expected in the concentrated seawater immersion may have an important future clinical implication.

Key words: blood laboratory test, echocardiogram, electrocardiogram, seawater bathing

(Journal of Health Science, Kyushu University, 25: 31-35, 2003)

はじめに

逆浸透膜装置による海水の淡水化は、純水と同時に濃縮された海水、すなわち濃縮塩水を生成する。この濃縮塩水は塩蔵食品の製造や高浸透圧による果汁の濃

縮など、一般に食品工学への応用が期待されている反面、医学的な臨床応用は全くなされていない。

この濃縮塩水の生理作用が解明されれば、淡水に比して高い静水圧と浮力を利用した高齢者や肢体不自由者の入浴や諸種慢性疾患のリハビリテーション、さら

1) 九州大学健康科学センター Institute of Health Science, Kyushu University

2) レオロジー機能食品研究所 (株) Institute of Rheological Function of Foods Co. Ltd.

3) 京都大学大学院社会健康医学健康増進行動学 Department of Health Promotion & Human Behavior, Kyoto University Graduate School of Public Health

4) ジャパンアクアテック (株) Japan Aqua-Tec Co. Ltd.

* 連絡先: 九州大学健康科学センター 〒816-8580 福岡県春日市春日公園6-1 Tel/fax: 092-583-7863

Correspondence to: Institute of Health Science, Kyushu University 6-1 Kasuga-koen, Kasuga, Fukuoka 816-8580, Japan
Tel/fax: +81-92-583-7863 E-mail: maruyama@ihs.kyushu-u.ac.jp

には一般的なリラクゼーションに応用して、広く健康増進に寄与することが期待される。実際に海水中には塩化ナトリウム以外に塩化マグネシウム、塩化カルシウム、塩化カリウム、臭化マグネシウム、硫酸カルシウムなど多種類の塩類が含まれ、これらは経験的に人体に好影響を与える観点からヨーロッパでは古くから海水を用いた入浴施設が利用されてきた。しかし海水の心血管系に及ぼす生理作用の詳細は明らかでなく、その効果を淡水と比較検討した報告は極めて少ない¹⁾。

本研究はこのような広い臨床応用が期待されている濃縮塩水による温浴を健康若年者に試み、本誌の別報と合わせて²⁾ 心血管動態や自律神経系を中心とした神経体液性因子を含む血液生化学検査に及ぼす影響を検討した。

対象と方法

1. 対象

本研究は九州大学健康科学センターの倫理委員会の承認を得て実施した(課題番号: HIS-2001-5)。被験者は研究内容と実験にともなう危険性について十分な説明を受け、実験に参加することに文書で同意した健康成年男性8名(27.1±3.6才)とした。対象者は毎年行なわれる定期健康診断にて明らかな疾患は指摘されず、心電図および血液生化学検査にても異常は指摘されず、常用薬の服用はなかった。

2. 実験方法

実験方法の詳細は本誌の別報に譲る²⁾。温浴は淡水または濃縮塩水に10分間入浴とした。温浴時の水温は微温浴とされる39℃に設定し、実際の浴槽内での測定温は濃縮塩水が39.1±0.2℃、淡水が39.1±0.4℃であり、有意差はなかった。濃縮塩水(塩分含有量7%)は海水(塩分含有量4~5%)の淡水化の際に生成されたもので、福岡地区水道企業団から「海水淡水化濃縮塩水活用等事業化検討委員会」の承認を得て供給を受けた。

浴槽はFRP製の浴槽「アクアエレガンス」(ジャパンアクアテック社)を使用した。被験者は陸上で20~30分間の半仰臥位での椅座位安静を保った後、10分間の温浴をし、さらに出浴後に30分間の安静を保った。温浴前後、被験者はバスタオルで身体を被った。温浴時の水位は鎖骨部位が浸水する位置とし、温浴時の姿勢は両脚を少し曲げた半仰臥位とした。温浴前の姿勢も温浴中と同じ姿勢を保った。また出浴後も被験

者が各自タオルで身体清拭し、温浴時と同じ姿勢を保った。

温浴実験は2日に分けて行なった。被験者は温浴前6時間は絶食とし、温浴は男性用水着を装着して行なった。8名の被験者のうち4名は濃縮塩水温浴を、他の4名は淡水温浴を1日目に行ない、2日目にはクロスオーバー方式で1日目と同時刻に残りの温浴実験を行なった。最初の被験者の温浴開始時刻は午前9時15分であり、最後の被験者の温浴開始時刻は4時15分であった。実験は空調の効いた室温24~25℃の部屋で行なった。

3. 測定項目

別報のように²⁾、温浴の直前、温浴中、および出浴後30分目に体温(直腸温、鼓膜温)を測定し、心エコー図を記録し、血圧を聴診法にて測定した。また同時に呼気ガス分析と採血を行ない、前者で酸素摂取量と換気量を評価し、後者で血液学および血液生化学的検査を行なった。ホルター心電図(デジタル型ホルター心電図記録装置SM50, フクダ電子)はこの間連続的にモニターして心拍数の評価を行なった。

被験者には椅座位安静状態で肘静脈に採血用のサーフプロ留置針(20Gx11/4, SR-OT2032C, テルモ社)を刺入し、これをヘパリンを含む生理食塩水で充填した三方活栓付きの延長チューブ(テルモ社)を介して、採血用シリンジに接続した。温浴中心エコー検査と血圧測定は1分、5分、9分目に施行した。心エコー検査(Sonolayer α, SSH-140A, 東芝)は超音波プローブをビニール袋で密封してMモードおよびBモードを傍胸骨(parasternal)アプローチ法で記録した。ホルター心電図記録および心エコー記録の解析は循環器専門医が後日盲検で解析した。心エコー検査による左室駆出率(ejection fraction: EF)の算出はTeichholz法によった。

採血された血液の一部は直ちに冷却遠心器(05PR-22, 日立)により血清分離してドライアイスで-70℃に保存して、後日血液生化学的検査を行なった。また他はEDTA採血管に移し、自動血球計測装置(KX-21, シスメックス)で血液学的検査を行なった。血液生化学的検査はエス・エム・ブリストル社に依頼して行なった。そこでの血液生化学的検査は自動分析装置でルーチンワークとして行なわれ、測定項目は総タンパク、アルブミン、アルブミン/グロブリン比、総ビリルビン、直接ビリルビン、尿素窒素、クレアチニン、尿酸、ナトリウム、カリウム、クロール、カルシウム、

無機リン, 総コレステロール, 中性脂肪, AST, ALT, γ -GTP, アルカリフォスファターゼ, 乳酸脱水素酵素 (LDH), コリンエステラーゼ, クレアチンフォスフォキナーゼ, グルコースであった。

4. 統計処置

測定値はすべて平均値±標準偏差で示した。時系列的に測定した両温浴間の測定値の比較は反復測定分散分析 (repeated measure ANOVA) にて解析した。時間要因に有意差を認めた場合は Fisher's PLSD 検定を用いて多重比較検定を行なった。有意差は $p < 0.05$ とした。

結 果

1. 心エコー指標の変化

温浴前後を通じての左心房径 (left atrial dimension: LAD) の変化を図 1 に示す。LAD は淡水温浴, 濃縮塩水温浴ともに温浴により有意に増大し ($p < 0.05$), 温浴中はほぼ一定値であった。出浴後にはいずれも温浴前値に戻った。また両温浴の間で温浴中の LAD の増大の程度に有意差はなかった。また図 2 に示すように, 左室拡張末期径 (left ventricular diastolic dimension: LVDd) も左心房径と同様の経時変化を示した。すなわち両温浴で有意に ($p < 0.05$) LVDd は増大したが, その程度には両温浴間で差は認めなかった。また出浴後には LVDd はいずれも温浴前値に戻った。

2. 心機能の変化

淡水温浴, 濃縮塩水温浴により, ともに左室駆出率 (ejection fraction: EF) は有意に ($p < 0.05$) 増大し, 出浴後には入浴前値に戻った (図 3)。両温浴間では, 淡水温浴より濃縮塩水温浴で入浴開始 5 分後の EF の増加の程度が有意に ($p < 0.05$) 大きかった。一回心拍出量 (stroke volume: SV) は両温浴により同様に増加し ($p < 0.05$), 出浴後には前値に戻った。両温浴間で入浴中の SV の増加の程度に有意差は認めなかった (図 4)。

3. 心電図の変化

ホルター心電図では入浴前後を通じて連続記録中に, 明らかな上室性および心室性期外収縮などの不整脈や, 虚血性の ST-T 変化などは認めなかった。これは淡水温浴, 濃縮塩水温浴に共通していた。

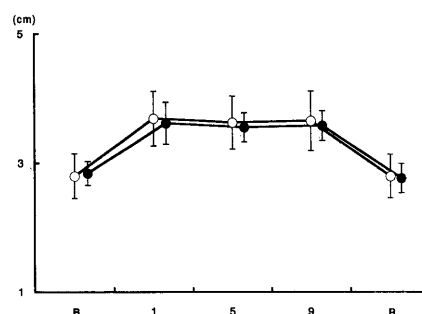


Fig. 1 Serial changes of echocardiographic left atrial dimension (LAD) in bathing. Open circles indicate fresh water immersion, whereas closed circles show concentrated seawater (i.e., 7%) immersion. Significant ($p < 0.05$) and steady increase in LAD was observed in 1, 5 and 9 min after starting the fresh water as well as seawater immersion. B, before bathing; R, recovery indicating 30 min after terminating bathing.

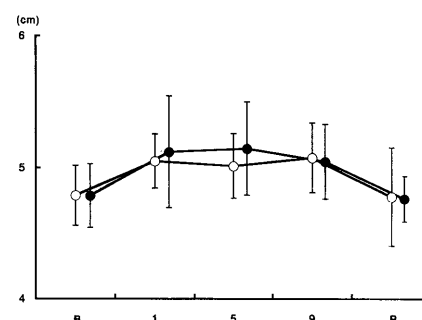


Fig. 2 Serial changes of echocardiographic diastolic-left ventricular dimension (LVDd) in bathing. Significant ($p < 0.05$) and reversible increase in LVDd was observed by two kinds of water immersion. Symbols are as in Figure 1.

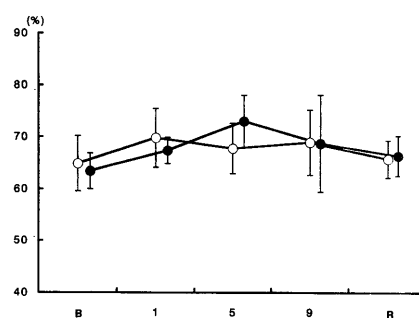


Fig. 3 Serial changes of echocardiographic left ventricular ejection fraction (EF) in bathing. EF was estimated by method of Teichholz¹¹⁾. EF estimated 5 min after starting immersion was significantly ($p < 0.05$) greater in bathing in seawater than in fresh water. Symbols are as in Figure 1.

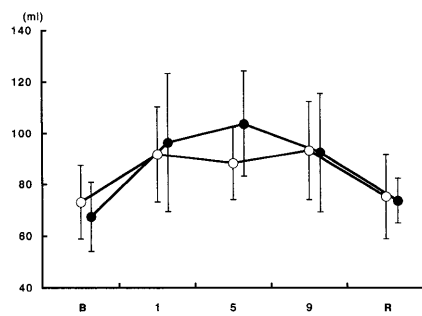


Fig. 4 Serial changes of stroke volume (SV) in bathing. Difference in SV between the two kinds of water immersion was not significant. Symbols are as in Figure 1.

4. 血液検査と一般生化学検査

血液学的検査では白血球数, 赤血球数, ヘモグロビン濃度, ヘマトクリット値, 血小板数に両温浴ともに, 入浴前後を通じた変化は見られなかった。血漿カテコラミン以外の血液一般生化学検査でも両温浴で入浴前後の有意な変化は認めなかった。

考 察

今回, 濃縮塩水の将来的な臨床応用を見据えてその生理作用を解明する一端として, 淡水浴とのクロスオーバーによる比較試験で濃縮塩水浴が健常若年者の心行動態や血液生化学検査に及ぼす影響を検討した。

以前われわれは今回と同様の健常若年者において異なる温度で20分間の淡水温浴を行ない, その際の心行動態の解析を試みた。その結果, LADとLVDdは浴温に関係なく温浴中に一様に増大し, その機序として静水圧効果による静脈還流量の増加が考えられた反面, 平均血圧の変化や心拍応答性に関しては著しい温度依存性があった³⁾。すなわち血圧は低温浴で不変, 微温浴で低下し, 高温浴で一旦低下後に上昇する二相性を示した。これは血圧と同様に推移する末梢血管抵抗の変化で解釈された⁴⁾。

今回の39℃という微温浴での心行動態の変化は前回の結果に矛盾するものではない。すなわち, 前回同様の淡水温浴中の可逆性のLADとLVDdの増大は確認されたが, 濃縮塩水温浴中にも淡水温浴時と同程度のLADとLVDdの増大をきたすことが今回新たに明らかになった。濃縮塩水浴では淡水浴より高い静水圧が作用するため, より静脈還流量が増加してLADとLVDdの一層の増大が観察されることが予想されたが, 実際には両温浴間でこれらの有意差は認め

られなかった。これにはいくつかの理由が考えられるが, 静脈還流量が増加してもこれが直接LADやLVDdの増大に反映されない可能性も否定はできない。換言するとLADとLVDdが静脈還流量の直接的な指標になるためには, 心筋の伸展性が良好でかつ対象間でその明らかな相違がないという前提条件が必要である。また, 仮にこの前提条件を満たしたとしても, 今回の温浴で使用した7%の濃縮塩水では実際生体においては淡水以上の明らかな静脈還流量の増加を血行動態的に引き起こさない可能性もあり, これを引き起こすにはより高濃度の濃縮塩水を使用して死海レベルの塩分含有量(25%)に近づける必要があるのかもしれない。しかし今回の結果は7%の濃縮塩水浴でも淡水温浴と心臓への容量負荷の程度は同等であることを意味しており, 少なくとも淡水微温浴が可能な心疾患患者では同温で10分間の濃縮塩水浴も安全に実施できることを示唆する。

LADとLVDdの入浴時の増大が今回両温浴でほぼ等しかったにもかかわらずEFが濃縮塩水温浴中一時的にでも淡水温浴中よりも増加した現象は注目すべきと考えられた。すなわちLADやLVDdを心エコーで非観血的に評価しうる簡便な左室の前負荷(preload)の指標とみなすと, この濃縮塩水浴中の陽性変力作用を示唆する現象はFrank-Starlingの法則では解釈されない。心筋の収縮性はカテコラミンなどの神経体液性因子により生理的に調節されているが, 別報のように血漿カテコラミン濃度は両温浴間で変化はなく²⁾, 上記の現象を説明できない。さらに心筋の収縮性には心拍数が影響した温度依存性もあるが, 今回39℃の微温浴では別報のように両温浴中に体温と心拍応答の明らかな経時的変化の違いは認めなかったため²⁾, この観点からの解釈も困難である。以上のように明らかな機序は不明であるが, 今回の心エコーの結果は濃縮塩水温浴が淡水温浴時より心行動態に有利に作用する可能性を含む現象として注目される。温浴が低心機能に対して改善効果を有することが提唱されているが^{5), 6)}, 濃縮塩水温浴での今後のさらなる検討が望まれる。

今回, 血液学および血液生化学的検査では明らかな両入浴間での, また各入浴時の経時的な変化を認めなかった。前回20分間の入浴では一般血液生化学的検査のなかで, 血清カリウム(K)濃度が温浴中に漸時上昇して, 出浴後に急に低下する現象を見出した³⁾。このような急激な血清電解質の変化は高齢者や心予備能の低下した例では決して好ましい現象ではなく, と

りわけ血清 K 濃度の低下は心筋細胞膜の K 透過性を減少させて不整脈の発生を容易にしたり⁷⁾、血管平滑筋細胞膜上の Na-K ポンプを抑制することにより血管抵抗の上昇をきたすことが考えられる⁸⁾。冠血管抵抗の上昇は心筋虚血を誘発する可能性もあり、これらの一連の生理反応は入浴中の心血管事故の一因になりうることも考えられる^{9), 10)}。しかし今回はこの K 濃度の変化は明らかではなかった。これは今回の10分間という比較的短い入浴時間に一部起因するかもしれない。いずれにしても今回の10分間の微温浴においては、濃縮塩水温浴は淡水温浴と同様に、特に有害事象は認めず安全な入浴方法と考えられた。また機序は不明ではあるが心行動態的にはむしろ濃縮塩水温浴は淡水温浴より有利に作用する可能性も一部示唆された。

謝 辞

本実験の遂行に協力頂いた臨床検査技師の真崎玲子氏、河本桂子氏、戸嵩裕子氏に深謝する。本研究の一部は鈴木謙三記念財団の平成13年度調査研究助成金および福岡地区水道企業団の平成13年度海水淡水化濃縮塩水活用等健康産業計画助成金（新規）の補助によった。

文 献

- 1) 清水富弘, 藤島和孝, 大柿哲朗, 堀田昇, 金谷庄蔵, 右田孝志, 吉水浩, 増田卓二, 青山秀幸, 富田真理子 (1995): 海水による温浴時の体温変動および心拍応答. 健康科学 17: 103-108.
- 2) 大柿哲朗, 丸山徹, 藤野武彦, 白川太郎, 小倉理一 (2003): 高塩分濃度海水温浴時の生理的応答. 健康科学 25: 21-29.
- 3) 平松伸一, 丸山徹, 加治良一, 金谷庄蔵, 藤野武彦, 高杉紳一郎, 仁保喜之 (1999): 健常男性における温浴中の心行動態および自律神経機能の変化に関する検討. 日本生理人類学誌 4: 27-34.
- 4) 丸山徹, 仁保喜之 (2000): 入浴, その他の動作による血圧変動. 日本臨床 58: 402-406.
- 5) 鄭忠和, 堀切豊, 朴鍾春, 東郷伸一, 田中信行, 外山芳史 (1991): 慢性心不全患者に対する新しい治療法: 温浴による血管拡張療法. Ther Res 12: 1256-1262.
- 6) 道場信孝 (1994): 慢性心不全のリハビリテーションと QOL. 呼と循 42: 659-665.
- 7) 中須賀一太, 岡本和彦, 久保田聡子, 有田武史, 古賀英幸, 安田雄一郎, 林田晃寛, 山形康洋, 久間文明, 伊東裕幸, 丸山徹, 加治良一, 金谷庄蔵, 藤野武彦, 原田実根 (2002): 特発性の心室性期外収縮の運動負荷試験における変化: 運動後低カリウム血症の重要性. 心電図 22: 242-249.
- 8) Nagaoka R, Yamashita S, Maruyama T, Akaike N (1987): Active sodium-potassium transports in skeletal muscles of deoxycorticosterone hypertensive rats. Brain Res 410: 283-291.
- 9) 舟山真人, 山口吉嗣, 徳留省悟, 中村俊彦, 松尾義裕 (1989): 東京都監察医務院で扱った最近の入浴死例. 法医学の実際と研究 32: 301-307.
- 10) 舟山真人, 山口吉嗣 (1990): 高齢者の入浴中の死亡: 東京都23区内の分析より. 保健婦雑誌 46: 54-59.
- 11) Teichholz LE, Kreulen T, Herman MV, Gorlin R (1976): Problems in echocardiographic volume determinations: echocardiographic-angiographic correlations in the presence or absence of asynergy. Am J Cardiol 37: 7-11.