

原 著

## 塩水を用いた水中リラクゼーションが 心臓自律神経系活動に及ぼす影響

西村正広\*<sup>1</sup> 小野寺 昇\*<sup>1</sup>

### 要 約

本研究の目的は、塩水・水中リラクゼーション及びコントロール条件が心臓自律神経系活動に及ぼす影響について明らかにすることとした。健康成人男性2名、女性4名を対象とした。水温・室温ともに30℃とした。各条件下において心拍数、血圧、酸素摂取量を測定した。心臓自律神経系活動はFFTを用いた心拍変動パワースペクトル解析にて評価した。周波数解析から得られた低周波帯域(0.04-0.15Hz)のパワー積分値(LF)と高周波帯域(0.15-0.40Hz)のパワー積分値(HF)を算出し、HFを心臓迷走神経活動、LF/HFを心臓交感神経活動の指標として用いた。血圧、酸素摂取量は、3条件間に有意な差は認められなかった。塩水及び水中条件のHFnuは、コントロール条件より有意に高値を示し、LF/HFは有意に低値を示した。以上のことから塩水及び水中リラクゼーションは、コントロール条件と比較し心臓迷走神経活動が高く、心臓交感神経活動が低くなることが明らかになった。塩水及び水中リラクゼーションは、無重力に近い環境、また静水圧などの水の持つ物理的特性の働きにより心臓迷走神経活動が亢進し、高いリラクゼーション効果を得ることが期待できると考えられた。

### 緒 言

水中において生体は、水の持つ物理的特性の影響を受け、陸上とは異なる生理的反応を示すことが明らかにされてきた。これまで水中運動時の酸素摂取量、心拍数、呼吸、体温などが測定され<sup>1-4)</sup>、水温<sup>2,5,6)</sup>、運動の速度<sup>2,4)</sup>、水深<sup>2)</sup>、粘性<sup>7)</sup>、浮力<sup>8)</sup>等などの運動強度を決定する要因に関する研究や負荷強度を決定する水中エルゴメーター、水中トレッドミルなどの器具や方法に関する研究<sup>1-3,5,9)</sup>も行われてきた。また水中安静時において日本では高温浴における循環動態の変化が報告され<sup>10)</sup>、西欧ではサウナ式入浴における影響が多く報告されている<sup>11,12)</sup>。

これらの水中運動に関する基礎的な資料に基づいて近年健康づくりのための水中運動が広く普及し、その1つとして水中リラクゼーションがプログラム化されている。具体的な方法として、浮き具を用いた仰臥位姿勢での浮き身(仰臥位フローティング)、補助者によるスイングなどがある。本研究のリラクゼーションは、自律訓練法や漸進的弛緩療法などの方法を用いずに、浮力、静水圧及び水温など水の物理的特性を活用し、これを水中リラクゼーションと定義した。

リラクゼーションの定義は様々であるが、原義は、弛緩・休養であり、心と体を弛緩、解放させることによって自律神経系の安定・平衡をもたらす効果的な方法とされており、広く活用されてきている<sup>13)</sup>。

本研究では手段としての塩水の効果を検証するものであり、浮力を高めた塩水での水中リラクゼーション時の心拍数、血圧および酸素摂取量の変化、心拍変動パワースペクトル解析を用いた心臓自律神経系活動の評価から、水中リラクゼーションに及ぼす塩水の効果について明らかにした。

### 方 法

#### 1. 対象

対象は、健康成人男性2名、女性4名とした。年齢は25.3±8.3歳(mean±SD)、身長は165.6±8.4cm、体重は65.4±9.9kg、体脂肪率は25.6±4.7%であった。測定にあたり、全対象者に研究の目的及び意義について説明し、同意を得たうえで行った。

#### 2. 測定条件

塩水(6%Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>水溶液、比重1.05)を用いた水中リラクゼーション(塩水条件)は、陸上での15分間の仰臥位安静後、浮き具を用いずに仰臥位になり

\*1 川崎医療福祉大学 医療技術学部 健康体育学科  
(連絡先)西村正広 〒701-0193 倉敷市松島288 川崎医療福祉大学

水に浮いている状態で、15分間リラクゼーションを行った。水中リラクゼーション（水中条件）は、陸上で15分間の仰臥位安静後、仰臥位になり、頸部、手足、腰部に浮き具を用いて仰臥位で15分間リラクゼーションを行った。コントロール条件は、陸上で15分間の仰臥位安静後、陸上で15分間仰臥位を行った。室温30℃、水温31℃とした。各条件とも食後2時間以上の間隔をとったのちに行った。

### 3. 測定項目

胸部双曲誘導により得られた心電図（FUKUDA電子；AU-1010）をデータレコーダ（TEAC；RD-111T）に記録し、1分毎のR波の数を心拍数とした。血圧は、リラクゼーション直前、開始5分時、10分時、15分時に測定した。酸素摂取量は、リラクゼーション開始10・15分時の5分間ダグラスバック法にて測定した。呼気ガス量は、乾式ガスメーター（品川精器；MODEL.DC-5）で、呼気ガス濃度は（ウエストロン社；WSMR-1400）で分析し、1分間当たりの酸素摂取量を算出した。

### 4. 心拍変動解析

収集された心電図のデータをデータレコーダ（TEAC；RD-111T）に記録し、そのデータを1000Hz/chのサンプリング周波数でA/D変換し（ADInstruments；Maclab/400）、パーソナルコンピュータ（Apple；Macintosh Performa 5260）に保存し、オフラインで解析を行った。3条件とも実験開始から9分までの心電図のデータから、R-R間隔のトレンドグラムを作成し、得られたトレンドグラムを平均R-R間隔で再サンプリングし、Hanning windowによる前処理を行った。その後高速フーリエ変換（FFT；Fast Fourier Transformation）を用いて心拍変動パワースペクトル解析（ADInstruments；HRV extensions）を行った。周波数解析から得られた低周波帯域（Low Frequency：0.04-0.15Hz）のパワー積分値（LF）と、高周波帯域（High Frequency：0.15-0.40Hz）のパワー積分値（HF）を算出した。HFnu（nu%：normalized unit）を心臓迷走神経活動、LF/HFを心臓交感神経活動の指標<sup>14,15</sup>として用いた。

$$nu(\%) = 100 \times power / (total\ power - \text{低周波ノイズの} power)$$

### 5. 測定条件

データは、平均値±標準誤差（mean±SE）で示した。各条件間の比較は、Wilcoxon signed-ranks testを用いて行い、危険率5%未満を有意な差とした。

## 結 果

図1に3条件下でのリラクゼーション時の心拍数の変化を示した。塩水、水中リラクゼーション条件、

コントロール条件とも開始から終了まで一定の状態推移し、大きな変化はみられなかった。コントロール条件と比較すると、塩水条件及び水中条件時の心拍数は、リラクゼーションを通して低値を示し、それぞれ5分時、7分時、及び6分時、8分時、9分時に有意に低値を示した（ $p < 0.05$ ）。

図2に3条件下でのリラクゼーション時の血圧の変化を示した。塩水条件時の収縮期血圧は、前値110.7±3.6mmHg、5分時110.5±3.0mmHg、10分時109.7±3.4mmHg、15分時107.0±3.5mmHg、水中条件時は、前値111.3±3.8mmHg、5分時112.3±4.4mmHg、10分時109.7±9.8mmHg、15分時113.0±5.1mmHg、コントロール条件では、前値110.7±3.3mmHg、5分時112.0±4.7mmHg、10分時110.0±4.2mmHg、15分時112.0±4.1mmHgであった。塩水及び水中条件時の収縮期血圧は、コントロール条件と比較し、わずかに低値を示したが、有意な差は認められなかった。塩水条件時の拡張期血圧は、前値62.3±3.5mmHg、5分時61.3±4.9mmHg、10分時64.3±4.9mmHg、15分時63.7±4.7mmHg、水中条件時は、前値68.3±4.5mmHg、5分時65.0±4.8mmHg、10分時65.0±4.2mmHg、15分時66.2±3.7mmHg、コントロール条件時は、前値59.7±2.6mmHg、5分時60.0±3.4mmHg、10分時61.7±2.3mmHg、15分時63.3±3.0mmHgであった。3条件ともリラクゼーション開始から終了まで大きな変化はなく、有意な差は認められなかった。

図3に3条件下でのリラクゼーション時の酸素摂取量を示した。これは、開始10分から15分までの5分間に採気した呼気ガスから算出し、1分間当たりの酸素摂取量とした。塩水条件時の酸素摂取量は、0.22±0.01l/min、水中条件時の酸素摂取量は、0.23±0.02l/min、コントロール条件時の酸素摂取量は、0.21±0.02l/minであった。塩水及び水中条件時の酸素摂取量は、コントロール条件時と比較するとわずかに高値を示したが有意な差は認められなかった。

図4にHFnuを示した。塩水条件時のHFnuは、54.0±6.8%、水中条件時は、53.0±6.9%、コントロール条件時は、45.9±7.2%であった。塩水、水中条件時のHFnuはコントロール条件時と比較して有意に高値を示した（ $p < 0.05$ ）。塩水条件時のHFnuは、水中条件時と比較し高値を示す傾向がみられたが有意な差は、認められなかった。

図5にLF/HFを示した。塩水条件時のLF/HFは、0.959±0.277、水中条件時は、1.018±0.296、コントロール条件時は、1.529±0.533であった。塩水及び水中条件時のLF/HFは、コントロール条件時

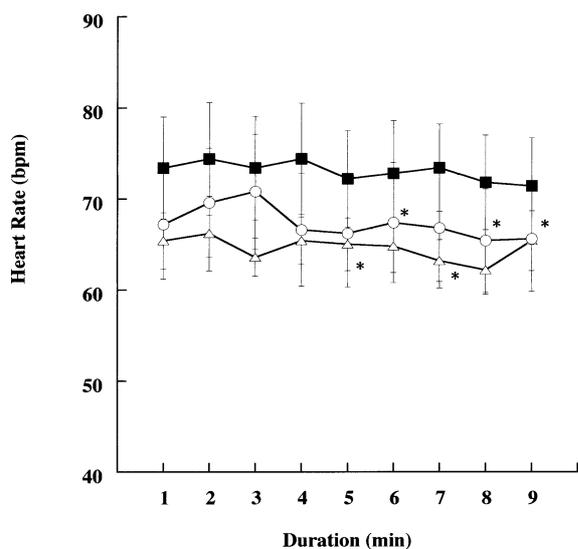


図1 Changes in heart rate during relaxation in salt water (SW) or water (W) or control (C) condition. Open triangle, SW; open circle, W; closed square, C condition. Values are means  $\pm$  SE.

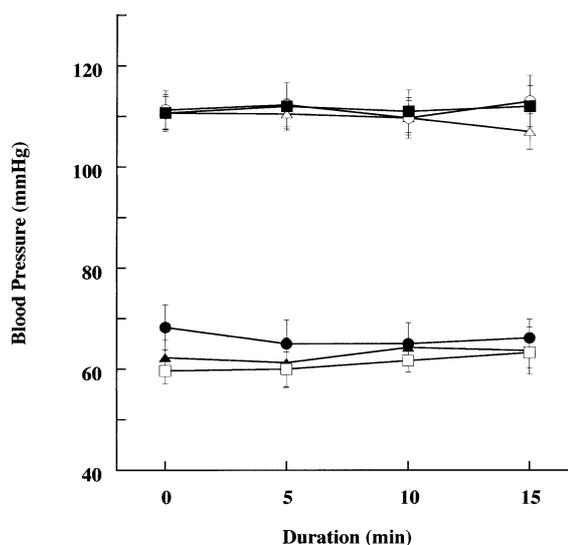


図2 Changes in blood pressure during relaxation in salt water (SW) or water (W) or control (C) condition. Open triangle, systolic blood pressure (SBP) at SW; open circle, SBP at W; closed square, SBP at C; closed triangle, diastolic blood pressure (DBP) at SW; closed circle, DBP at W; open square, DBP at C. Values are means  $\pm$  SE.

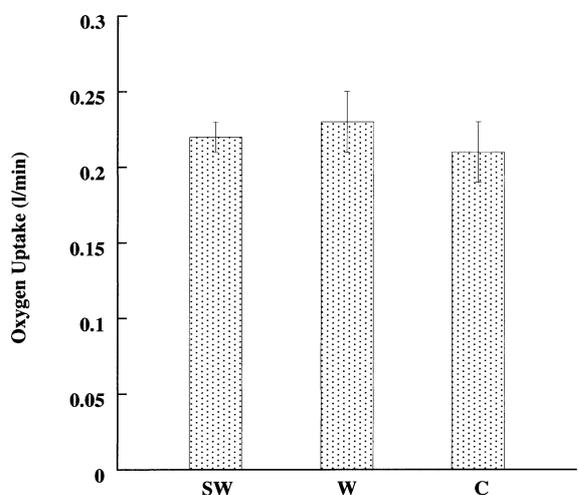


図3 Comparison of oxygen uptake during relaxation in salt water (SW) or water (W) or control (C) conditions. Values are means  $\pm$  SE.

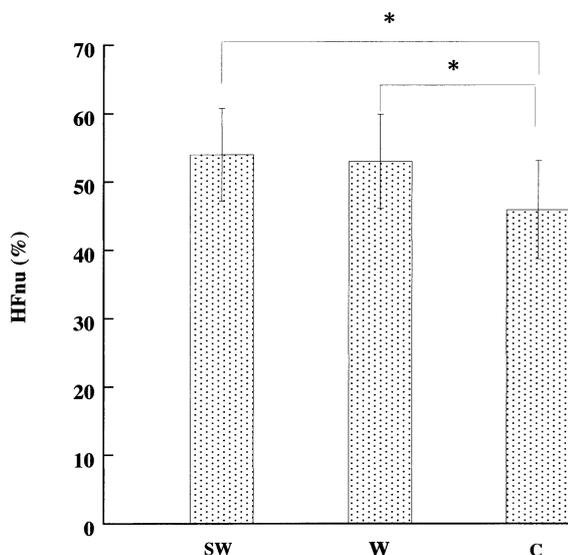


図4 Comparison of HFnu during relaxation in salt water (SW) or water (W) or control (C) conditions. Values are means  $\pm$  SE. \* $p$ <0.05 vs C condition.

と比較して有意に低い値を示した ( $p$ <0.05). 塩水条件時の LF/HF は, 水中条件時と比較し低値を示す傾向がみられたが有意な差は認められなかった.

考 察

コントロール条件と比較すると, 塩水条件及び水中条件時の心拍数は, リラクゼーションを通して低値を示し, それぞれ 5 分時, 7 分時, 及び 6 分時, 8 分時,

9 分時に有意に低値を示した. これは, トレッドミル歩行と水中トレッドミル歩行時の心拍数を比較すると, 水中トレッドミル歩行時に 10 拍低い傾向にあったという小野寺らの<sup>16)</sup> 報告や, 木住野と松田<sup>17)</sup> の陸上での長座位安静後の長座位腋下水準での安静浸水中に心拍数が低下するという報告と同様の結果であった. また, 水中立位での真崎ら<sup>8)</sup> の報告は, 30°C の水中立位時の静水圧による静脈還流量の増

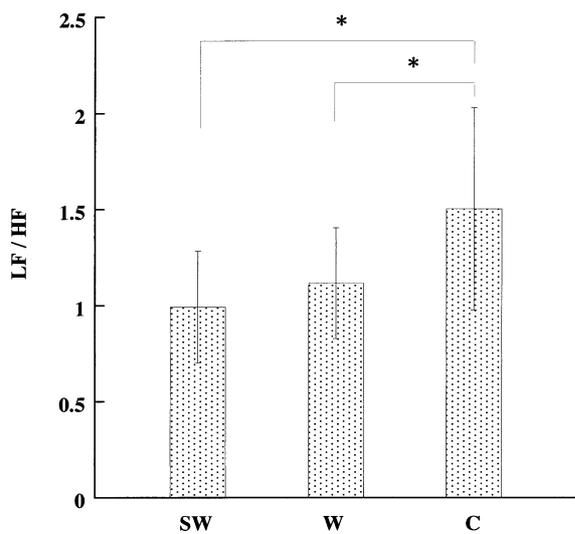


図5 Comparison of LF/HF during relaxation in salt water (SW) or water (W) or control (C) conditions. Values are means  $\pm$  SE. \* $p < 0.05$  vs C condition.

大, 左房径, 左室径の増大を認めている。本実験では, 仰臥位であるため立位で行った水中運動や安静時の報告<sup>16-19)</sup>と比較すると水圧の影響は少ないと考えられる。コントロール条件と比較すると, 塩水及び水中リラクゼーション時は水圧の影響を受けて静脈還流量が促進し, 心拍数が低値を示したと考えられる。

収縮期血圧は, 3条件ともリラクゼーション開始から終了まで大きな変化はなく, 有意な差は認められなかった。塩水及び水中条件時の収縮期血圧は, 陸上条件時と比較し, わずかに低い値を示した。これは, 副交感神経系活動の亢進に伴う交感神経系活動の抑制により血管が拡張し, 血圧を低く調節したと考えられる。さらに Ogiwara ら<sup>20)</sup>は, 静水圧は静脈還流量を通して右房圧を高め, 心房性ナトリウム利尿ペプチドを増加させることを報告している。つまり, カテコラミンやアンジオテンシン作用に拮抗して血圧を低く調節した可能性も考えられる<sup>21,22)</sup>。

拡張期血圧も, コントロール条件時と比較し有意な差は認められず, ほぼ同じ値を示した。水温 $31^{\circ}\text{C}$ での水中リラクゼーションによる浸水は, 拡張期血圧に大きな影響を与えないと考えられる。

酸素摂取量は, 各条件とも $0.21/\text{min}$ 前後で大きな差はなかった。水の熱伝導率は, 空気より25倍以上も高く, 比熱も空気より1000倍以上も高いため単に水中にいただけでも多くの熱が身体から奪われるが<sup>23-26)</sup>, 安静時の浸水中に皮膚温を一定に保つことのできる水温域は $28-35^{\circ}\text{C}$ であると報告されている<sup>27)</sup>。本実験の水温は $31^{\circ}\text{C}$ で, その温度域であり, 皮膚の冷感刺激により交感神経活動の亢進や皮膚の血管収

縮, 熱産性を高める働きが少なかったと考えられる。

塩水条件及び水中条件時の HFnu はコントロール条件時と比較して有意に高い値を示した。塩水及び水中条件時の LF/HF は, コントロール条件時と比較して有意に低い値を示した。心拍変動スペクトル解析により, 心拍の呼吸性変動に基づく HF は, 心臓迷走神経活動を反映する指標, 心拍の血圧調節リズムによる変動に基づく LF は, 心臓交感神経系活動と心臓迷走神経活動の両者を反映する指標とされている<sup>28)</sup>。先行研究では<sup>14-15)</sup> LF/HF を心臓交感神経活動の指標として用いている。水温 $31^{\circ}\text{C}$ の塩水および水中条件時の心臓交感神経活動は, コントロール条件と比較して低くなり, 心臓迷走神経活動が高くなることが示唆された。Yasue らは<sup>29)</sup> カテコラミンによる $\alpha$  受容体刺激が異型狭心症発作を誘発することを示し, 発作の程度は安静時の心臓迷走神経活動水準が高い者ほど激しい可能性を示唆している。従って, 浸水直後に心臓迷走神経活動水準が非常に高くなる者では, 運動の開始により心臓交感神経活動が亢進する際に冠動脈の痙攣が生じやすくなる可能性を考慮しなければならない。

塩水及び水中リラクゼーションは, 無重力に近い環境, また静水圧などの水の持つ物理的特性の働きにより心臓迷走神経活動が亢進し, 高いリラクゼーション効果を得ることが期待できると考えられた。

#### ま と め

塩水を用いた水中リラクゼーションは, 浮き具を使用しないで行うことが可能である。浮力を高めた塩水リラクゼーション時の心拍数, 血圧及び酸素摂取量の変化及び心臓自律神経系活動の評価から水中リラクゼーションの効果について検討した。

1. 心拍数は, 塩水及び水中リラクゼーション時においてコントロール条件時より低値を示し, それぞれ5分時, 7分時, 及び6分時, 8分時, 9分時に有意に低値を示した ( $p < 0.05$ ).
2. 血圧は, 塩水及び水中リラクゼーション時においてわずかにコントロール条件時より低値を示した。しかし, リラクゼーション開始から終了まで大きな変化はなく, 3条件間に有意な差は認められなかった。
3. 酸素摂取量は, 塩水及び水中リラクゼーション時においてわずかにコントロール条件時より高値を示した。しかし3条件間に有意な差は認められなかった。
4. HFnu は, コントロール条件時と比較して塩水及び水中リラクゼーション時に有意に高値を示した ( $p < 0.05$ ).

- 5) LF/HFは、コントロール条件時と比較して塩水及び水中リラクゼーション時に有意に低値を示した( $p < 0.05$ )。以上のことから塩水及び水中リラクゼーションは、コントロール条件と比較し心臓迷走神経活動が高く、心臓交感神経活動が低くなることが明らかになった。塩水リラクゼーションは、浮き具を用いずに行えることから水中リラクゼーションをより発展させることができる可能性があると考えられ、今後さらなる検討が必要であると考えられた。
- 本研究は、平成13年度文部科学省科学研究費補助金基盤研究(C)(2)課題番号13680071によった。

## 文 献

- 1) Bishop PA, Frazier S, Smith J and Jacobs D: Physiologic responses to treadmill and water running. *Phys. Sports Med.*, **17**, 87-94, 1989.
- 2) Gleim GW and Nicholas JA: Metabolic costs and heart rate responses to treadmill walking in water at different depths and temperatures. *Am. J. Sports Med.*, **17**, 248-252, 1989.
- 3) Ritchie SE and Hopkins WG: The intensity of exercise in deep-water running. *Int. J. Sports Med.*, **12**, 27-29, 1991.
- 4) Whitley JD and Schoene LL: Comparison of heart rate responses water walking versus treadmill walking. *Phy. Ther.*, **1**, 1501-1504, 1987.
- 5) Craig AB and Dvorak M: Comparison of exercise in air and water of different temperatures. *Med. Sci. Sports*, **1**, 124-130, 1969.
- 6) McArdle WD, Magel JR, Lesmes GR and Pechar GS: Metabolic and cardiovascular adjustment to work in air and water at 18, 25, and 33°C. *J. Appl. Physiol.*, **40**, 85-90, 1976.
- 7) 小野寺昇, 木村一彦, 宮地元彦, 米谷正造, 原英喜: 水の粘性抵抗が水中トレッドミル歩行中の心拍数と酸素摂取量に及ぼす影響. *宇宙航空環境医学*, **29**, 67-72, 1992.
- 8) Onodera S, Miyachi M, Yano H, Nakamura Y, Kimura K: Effect of differences in buoyancy of water on oxygen uptake and heart rate during swimming. *Med. Sports Sci.*, **39**, 126-130, 1994.
- 9) 小野寺昇, 山元健太, 西村正広, 宮地元彦: 新型水中エルゴメーターを用いた運動負荷時の心拍数と酸素摂取量の変化. *川崎医療福祉学会誌*, **7**, 205-209, 1997.
- 10) 美和千尋, 岩瀬敏, 松川俊義, 菅屋潤壹, 杉山由樹, 間野忠明, 山口浩司: 40°C入浴60分間がヒトの心血管機能と体温調節機能に及ぼす影響. *自律神経*, **31**, 38-46, 1994.
- 11) Adlercreutz H, Kuoppasalmi K, Narvanen S, Kosunen K and Heikkinen R: Use of hypnosis in studies of the effect of stress on cardiovascular function and hormones. *Acta Med. Scand.*, **660**, 84-94, 1982.
- 12) Brune M, Magnusson B, Persson H and Hallberg L: Iron losses in sweat. *Am. J. Clin. Nutr.*, **43**, 438-443, 1986.
- 13) McGuigan FJ: 三谷恵一, 森昭胤訳, *リラクソロジーの科学*. 第3版, 講談社, 東京, 46-56, 1988.
- 14) Arai Y, Saul P, Albrecht P, Hartley LH, Lilly LS, Cohen RJ and Colucci WS: Modulation of cardiac autonomic activity during immediately after exercise. *Am. J. Physiol.*, **256**, H132-141, 1989.
- 15) Pomeranz B, Macaulay RJB, Caudill MA, Kutz I, Adam D, Gordon D, Kilborn KM, Barger AC, Shannon DC, Cohen RJ and Benson H: Assessment of autonomic function in humans by heart rate spectral analysis. *Am. J. Physiol.*, **248**, H151-153, 1985.
- 16) 小野寺昇: 健康づくりのための水中運動に関する基礎的研究に関する研究報告書.(財)健康・体力づくり事業財団, 1995.
- 17) 木住野孝子, 松田光生: 短時間の腋下水準における水浸が心臓自律神経系活動に及ぼす影響-水温25°C, 30°C, 34°Cでの検討. *体力科学*, **46**, 101-112, 1997.
- 18) 真崎玲子, 金谷庄蔵, 守田俊一, 右田孝志, 堀田昇, 大柿哲朗, 藤島和孝, 丸山徹, 加治良一, 藤野武彦: 健康成人における温水プール入水時の血行動態に及ぼす影響—心エコー図法による検討—. *J. Health Sci.*, **17**, 109-114, 1995.
- 19) 木住野孝子, 松田光生: 水温27°C, 34°C, 38°Cにおける短時間浸水が心臓自律神経系活動に及ぼす影響. *日温気物医誌*, **61**(3), 148-156, 1998.

- 20) Ogiwara M, Shima J and Kumahara Y: Significant increase in immunoreactive atrial natriuretic polypeptide concentration during head-out water immersion. *Life Sci.*, **38**, 2413-2418, 1986.
- 21) 井川幸雄, 鈴木政登, 塩田正俊: カテコールアミン, レニン, アンギオテンシンおよび cAMP 反応に及ぼす運動負荷強度の影響. *体育科学*, **12**, 201-212, 1984.
- 22) 鈴木政登: 運動とレニン・アンギオテンシン・アルドステロン系. *Jap. J. Sports Sci.*, **3**, 443-449, 1984.
- 23) 甲斐美和子: 水中での体温変化. *Jpn. J. Sports Sci.*, **7**, 505-509, 1988.
- 24) 宮本博司, 山口久雄: 人体の潜水性応答. *体力科学*, **42**, 219-226, 1993.
- 25) 宮下充正, 石井喜八: 運動生理学概論. 大修館書店, 東京, 1983.
- 26) 中山照雄, 入来正躬編: エネルギー代謝・体温調節の生理学. 医学書院, 東京, 1987.
- 27) Harrison MH, Edwards RJ, Cochrane LA and Graveney MJ: Blood volume and protein responses to skin heating and cooling in resting subjects. *J. Appl. Physiol.*, **54**, 515-523, 1983.
- 28) Akselrod S, Gordon D, Ubel FA, Shannon DC, Barger AC and Cohen RJ: Power spectrum analysis of heart rate fluctuation; A quantitative probe of beat-to-beat cardiovascular control. *Science*, **213**, 220-222, 1981.
- 29) Yasue H, Touyama M, Shimamoto M, Kato H, Tanaka S and Akiyama F: Role of autonomic nervous system in the pathogenesis of Prinzmetal's variant form of angina. *Circulation*, **50**, 534-539, 1974.

(平成15年5月30日受理)

## Effects of Relaxation in Salt Water on Cardiac Autonomic Nervous System Activity

Masahiro NISHIMURA and Sho ONODERA

(Accepted May 30, 2003)

Key words : RELAXATION, CARDIAC AUTONOMIC NERVOUS SYSTEM ACTIVITY, HEART RATE,  
BLOOD PRESSURE, OXYGEN UPTAKE

### Abstract

The purpose of this study was to make clear the effects of relaxation on cardiac autonomic nervous system activity under three conditions: in salt water (SW), in water (W) or the control (C) conditions. Two males and four females served as subjects (n=6, mean age: 25.3yrs). Water temperature was 31 °C. Heart rate, blood pressure and oxygen uptake were measured during relaxation for each condition. Cardiac autonomic nervous system activity was estimated with power spectrum analysis of heart rate variability. High frequency (HF; 0.15-0.40 Hz) and areas and the ratio of low frequency (LF; 0.04-0.15 Hz) to HF (LF/HF) were used as an indicator of cardiac vagal activity and sympathetic nervous activity, respectively. There were no significant differences found in blood pressure and oxygen uptake for any of the conditions. Nu (normalized unit; %) of HF during SW and W were significantly higher than C. Heart rate and LF/HF during SW and W were significantly lower than C. These data suggested that cardiac vagal activity and sympathetic nervous activity during relaxation were affected by immersion.

Correspondence to : Masahiro NISHIMURA Department of Health and Sports Sciences, Faculty of  
Medical Professions, Kawasaki University of Medical Welfare  
Kurashiki, 701-0193, Japan  
(Kawasaki Medical Welfare Journal Vol.13, No.1, 2003 79-84)