

原 著

中高齢者の自転車エルゴメーター運動後の仰臥位浸水と心拍数および心臓副交感神経系調節との関連性

西村一樹^{*1} 吉岡 哲^{*2} 小野寺昇^{*3}

要 約

本研究は、安静時の心臓副交感神経系調節の活動水準が低値を示す中高齢者を対象とした運動後回復期の仰臥位浸水が、運動時に抑制された心臓副交感神経系調節の亢進を促進させるか否かの検証を行うことを目的とした。被験者は、健康成人女性7名(年齢 64.7 ± 8.7 歳)とした。陸上仰臥位安静を5分間保った後、15分間の運動を行った。運動終了直後から、仰臥位回復を30分間行った。運動課題は、推定最高酸素摂取量の50%強度の自転車エルゴメーター運動とした。仰臥位回復は、仰臥位浸水条件(W条件)および陸上での仰臥位条件(C条件)を設定した。W条件は、水温を 30°C とし、姿勢を仰臥位フローティングとした。測定項目は、心拍数(胸部双極誘導法)および心臓自律神経系調節(MemCalc法)とした。周波数解析から得られた高周波帯域(0.15-0.40Hz)のパワーの積分値(HF)を算出した。HF成分の分布に正規性を得るために常用対数変換した \log HFを心臓副交感神経系調節の指標とした。運動終了時の心拍数に両条件間に有意な差は観察されなかった。運動後のW条件の心拍数は、C条件と比較して有意ではないものの低値を示す傾向が確認された。運動後の \log HFは、C条件と比較しW条件において有意に高値を示した($p < 0.05$)。運動後回復期の仰臥位浸水における心臓副交感神経系の再亢進は、水圧による静脈還流量の増加および水温による皮膚からの冷刺激に起因し、促進されたものと考えられる。これらのことから、運動後回復期の仰臥位浸水は、中高齢者の運動後回復期の心臓副交感神経系調節に有意な影響を及ぼすことを示唆し、水の物理的特性が運動後回復期の生体における運動ストレスからの早期回復の入力となることが明らかになった。

1. 緒言

浸水時に生体は、浮力、水圧、粘性、水温、抵抗などの水の持つ物理的な特性の影響を受け、浸水に対応した生理的応答を示す¹⁻⁶⁾。水温 30°C における仰臥位浸水は、陸上仰臥位と比較し、一回拍出量および心拍出量の増加、心拍数の低下、心臓副交感神経系の亢進を促進させる^{3,5,6)}。水中運動中の収縮期血圧は、同一負荷の陸上運動と比較して低値を示す³⁾。若年者を対象とした運動後回復期の仰臥位浸水は、運動時に抑制された心臓副交感神経系の再亢進を促す¹⁾。これらの先行研究は、水の物理的特性が、安静時、運動時および運動後回復期の循環器系応答のアドバンテージとして作用することを示唆する。

加齢によって自律神経系調節は、安静時の心臓副交感神経系調節の亢進および心臓副交感神経系の活動水準低下を示す。若年者は浸水位の上昇に伴い一回

拍出量および心拍出量の増加を示す一方、高齢者は減少傾向を示すことが報告されている³⁾。これらのことから、浸水時の心臓副交感神経系応答は、若年者と必ずしも同様でないものと推測できる。本研究は、安静時の心臓副交感神経系調節の活動水準が低い中高齢者を対象とした運動後回復期の仰臥位浸水が、若年者と同様に運動時に抑制された心臓副交感神経系調節の亢進を促進させるか否かの検証を行うことを目的とした。

2. 方法

2.1. 被験者

被験者は、健康成人女性7名とした。被験者の特性は、年齢 64.7 ± 8.7 歳(mean \pm SD)、身長 150.3 ± 3.5 cm、体重 54.8 ± 10.7 kg、体脂肪率 32.7 ± 7.4 %であった。被験者には、ヘルシンキ宣言の趣旨に沿い、

*1 広島工業大学 環境学部 地球環境学科 *2 川崎医療福祉大学大学院 医療技術学研究所 健康科学専攻

*3 川崎医療福祉大学 医療技術学部 健康体育学科

(連絡先) 西村一樹 〒731-5193 広島市佐伯区三宅2-1-1 広島工業大学

E-Mail: k.nishimura.s7@it-hiroshima.ac.jp

研究の目的, 方法, 期待される効果, 不利益がないこと, 危険を排除した環境とすること, 個人情報保護について説明を行い, 書面にて研究参加の同意を得た。

2.2. 測定条件

陸上仰臥位安静を5分間保った後, 15分間の運動を行った。運動終了直後から, 仰臥位回復を30分間行った。運動課題は, 推定最大酸素摂取量の50%の自転車エルゴメーター運動とした。仰臥位回復は, 仰臥位浸水条件 (Water (W) 条件) および陸上でのコントロール条件 (Control (C) 条件) を設定した。W 条件は仰臥位浸水とし, C 条件は陸上での仰臥位姿勢とした。W 条件の水温は, 一般的な温水プールの水温である30°C に設定した。W 条件は, 水槽 (縦2,196×横966×高さ655mm) に頸部にエアークッション, 手および足部にアクアブロック, 腰部にフローティングベルトを用い, 仰臥位浸水とした (図1)^{1,2,5-7}。C 条件は, プールサイドの実験室に設置したベッドでの仰臥位姿勢とした。着衣は, 水着とした。実験は, 異なる日の同一時間帯に実施した。被験者には, 前日のアルコール摂取不可, 実験開始3時間前以降の絶食およびカフェイン摂取不可を指示した。室温および湿度は, 27.3±0.5°C および53.3±5.1%であった。

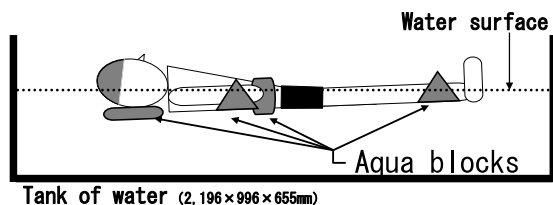


Fig. 1 View showing a frame format of supine floating

2.3. 測定項目

測定項目は, 心拍数および心臓自律神経系調節とした。心拍数は, 胸部双極誘導法から得られた心電図波形の1分間のR波の数とした (GMS: MemCalc/Tawara)。心臓自律神経系調節の測定に MemCalc 法 (修正型最大エントロピー法) を用いた。解析には, 心拍揺らぎリアルタイム解析システム MemCalc/Tawara (諏訪トラスト製) を用いて行った。実験中の R-R 間隔変動スペクトル解析は, 胸部双極誘導法にて採取・増幅された心電図データをサンプリング周波数250Hzにて12ビット Analog to Digital 変換 (CONTEC Crop. Ltd.: AD12-8PM) し, パーソナルコンピューター (IBM Corporation, Microsoft Windows XP) に取り込みを行った。心電図データの波形認識によって R 波のピーク位置を同定し, MemCalc 法を用い直近30秒間の R-R 間隔

データの周波数解析を行った。先行研究^{1,3-6,8}) に基づき周波数解析から得られた高周波帯域 (0.15-0.40Hz) のパワーの積分値 (High Frequency; HF) を算出した。HF 成分の分布に正規性を得るために常用対数変換した logarithms HF (log HF) を心臓副交感神経系調節の指標とした^{1,3-6,9}。先行研究^{10,11}) において, 心拍変動スペクトル解析によって求められるパワーは, 呼吸数の影響を受けることが明らかにされている。したがって, 呼吸数の影響を除外するため, 呼吸数を4秒に1回 (2秒吸気, 2秒呼気) に制御した。本実験は, 陸上安静および回復0-5分, 5-10分, 15-20分, 25-30分に呼吸数を4秒に1回の呼吸調節を行った¹⁾。

2.4. 統計処理

測定値は, 平均値±標準偏差値 (mean±SD) で示した。心拍数は, 各条件間の差を繰り返しのある二元配置分散分析を用いて検定した。呼吸調節を行った時間帯の各5分間の log HF の平均値も二元配置分散分析用いて検定した。これらの検定で有意な差が確認された場合には, Post-hoc test (Students-Newman-Keuls 法) を用いた。安静時仰臥位浸水時の log HF の増加率 (陸上仰臥位安静を基準) と運動後回復期における仰臥位浸水時の増加率 (陸上仰臥位を基準) との関係性を単相関および単回帰分析を用いて検定した。いずれの場合も危険率5%未満 ($p < 0.05$) を有意な差とした。

3. 結果

図2に時間経過に伴う心拍数の変化を示した。運動終了時の心拍数に両条件間 (C 条件: 131.1±9.9拍/分, W 条件: 132.9±11.9拍/分) に有意な差は観察されなかった。運動後の W 条件の心拍数は, C 条件と比較して有意ではないものの低値を示す傾向が確認された。図3に呼吸調節を行った陸上安静, 回復0-5分, 5-10分, 15-20分および25-30分の log HF の変化を示した。運動後回復期0-5分, 5-10分および15-20分における log HF は, C 条件と比較し W 条件において有意に高値を示した ($p < 0.05$)。25-30分において, 両条件の log HF に有意な差は観察されなかった。図4に同一被験者における安静時仰臥位浸水0-10分における log HF の陸上安静を基準とした増加率と運動後回復期の W 条件における仰臥位回復期 (0-10分) の C 条件を基準とした増加率との関係性を示した。安静時仰臥位浸水の log HF の増加率と運動後回復期の増加率との間に正の相関関係が観察された ($r = 0.756, p < 0.05$)。

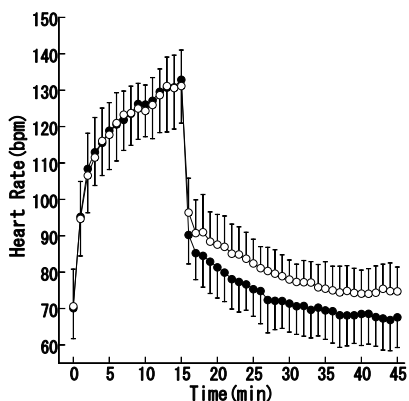


Fig. 2 Changes in heart rate between the control condition and the water condition shows control condition, shows water condition

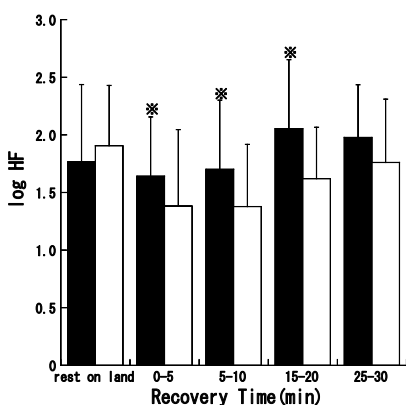


Fig. 3 Changes in log HF between the control condition and the water condition shows control condition, shows water condition
0-5, 5-10, 15-20, 25-30min.: ANOVA ; F=6.59, p<0.05 control condition vs water condition. ; p<0.05 vs control condition

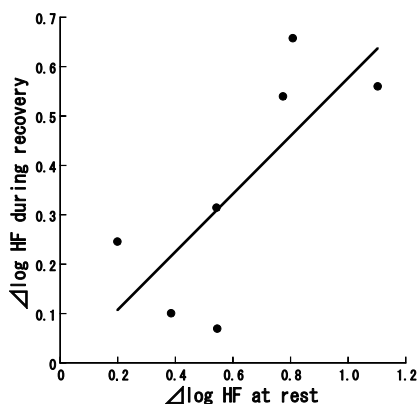


Fig. 4 Relationship between Δlog HF at rest and Δlog HF during recovery reference value is control condition p<0.05, Y=0.5868x-0.0098, r=0.756

4. 考察

本研究の結果は，中高齢者を対象とした自転車エルゴメーター運動後の仰臥位フローティングが，陸上仰臥位と比較して運動時に抑制された心臓副交感神経系調節の亢進を有意に促進させることを示唆する。

運動後回復期の仰臥位浸水における心臓副交感神経系の再亢進は，水圧による静脈還流量の増加および水温による皮膚からの冷刺激に起因し，促進されたものと考えられる。本研究の被験者を対象に安静時仰臥位浸水時の生理応答を観察し，中高齢女性における安静時仰臥位浸水は心拍数を有意に低下させ，心臓副交感神経系調節を有意に亢進させることを明らかにした⁶⁾。このことは，中高齢女性において若年者と同様に，水圧が血液希釈を引き起こし，静脈還流量を増大させることを示す。静脈還流の増大が，心拍数の低下および心臓副交感神経系調節を亢進させたものと推測する。運動後回復期の仰臥位浸水においても，静脈還流量の増加が中心静脈圧の増加に伴う心房伸展受容器反射および一回拍出量の増加に伴う動脈圧受容器反射によって引き起こされる徐脈反射の入力となり，心臓副交感神経系の再亢進が促進したものと考える。皮膚からの温度感覚刺激は，安静時浸水時の心臓自律神経系調節に有意な影響を及ぼすことから，皮膚からの冷刺激が運動後回復期の心臓副交感神経系の再亢進を促進させた可能性が考えられる。皮膚からの冷覚情報は，脊髓-外側結合腕傍核-視索前野という経路によって伝達¹²⁾されることから，水温による冷刺激が中枢へ伝達され，心臓副交感神経系調節が亢進したものと推測する。

中高齢者における安静時の心臓副交感神経系は，被験者間における活動水準の差異が大きい⁶⁾。本研究の仰臥位回復期において，すべての被験者の log HF は，同一時間における C 条件と比較して W 条件において高値を示した。このことは，運動後回復期の浸水による心臓副交感神経系の再亢進の促進がすべての被験者において観察されたことを示す。浸水による心臓副交感神経系の再亢進割合を観察するために運動後回復期 0-5 分における W 条件と C 条件の log HF の差を算出した。log HF の差分は 0.246±0.309 であり，変動係数は 125.6 であった。この変動係数は，若年者を対象とした運動後回復期仰臥位浸水時の変動係数 (67.2) と比較して高値であった。中高齢者女性における安静時仰臥位浸水時の log HF の変動係数は，若年者男性と比較して，高値を示す⁶⁾。このことから，中高齢者は，運動後回復期においても安静時浸水同様に被験者間の生理応

答の差異が大きいことが中高齢者の特徴である。

同一被験者における安静時仰臥位浸水0-10分における log HF の陸上安静を基準とした増加率と本研究の W 条件における仰臥位回復期(0-10分)の C 条件を基準とした増加率との間に正の相関関係が観察された($r=0.756$, $p<0.05$)。このことは、安静時浸水において log HF の亢進が顕著な被験者ほど運動後回復期の仰臥位浸水時の亢進が顕著であることを示唆する。

以上ことから、運動後回復期の仰臥位浸水は、若年者のみならず、中高齢者の運動後回復期の心臓自律神経系調節においても有意な影響を及ぼすことを示唆し、水の物理的特性が運動後回復期の生体における運動ストレスからの早期回復の入力となることが明らかになった。

5.まとめ

中高齢者の運動後回復期の仰臥位浸水は、運動時に抑制された心臓副交感神経系を再亢進させる。この傾向は、若年者と同様である。仰臥位浸水時の再亢進の割合(陸上仰臥位を基準とした割合)は、若年者と中高齢者において有意な差が観察されないことから、浸水による心臓副交感神経系の再亢進割合は、加齢および安静時の活動水準に依存しないものと考えられる。

本研究を遂行するにあたり、川崎医療福祉大学健康体育学科小野寺ゼミの諸氏に協力を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。また、ご助言を頂きました広島工業大学高本登先生に深く感謝致します。

文 献

- 1) 西村一樹, 関和俊, 小野くみ子, 小野寺昇: 自転車エルゴメーター運動後の仰臥位フローティングが直腸温および心臓副交感神経系活動に及ぼす影響. 宇宙航空環境医学, **43**(1), 11-18, 2006.
- 2) 西村一樹, 山口英峰, 中西洋平, 小野寺昇: 水温の違いが仰臥位フローティング中の直腸温および酸素摂取量に及ぼす影響. 水泳水中運動科学, **7**, 17-22, 2004.
- 3) 小野寺昇, 宮地元彦: 水中運動の臨床応用: フィットネス, 健康の維持・増進. 臨床スポーツ医学, **20**(3), 289-295, 2003.
- 4) 松井健, 宮地元彦, Linda Massako Ueno, 小野寺昇: 中高齢者の循環器系自律神経調節に及ぼす入浴および運動後の入浴の影響. デサントスポーツ科学, **25**, 145-157, 2004.
- 5) 西村正広, 小野寺昇: 仰臥位フローティングが心拍数, 血圧および心臓自律神経系活動に及ぼす影響. 宇宙航空環境医学, **37**(3), 49-56, 2000.
- 6) 西村一樹, 小宮山真世, 吉岡哲, 関和俊, 小野寺昇: 中高齢者における安静時仰臥位フローティングが心拍数および心臓副交感神経系調節に及ぼす影響. 日本水泳・水中運動学会2008年次大会論文集, 55-56, 2008.
- 7) Weiss M, Hack F, Stehle R, Pollert R and Weicker H: Effects of temperature and water immersion on plasma catecholamines and circulation. *International Journal of Sports Medicine*, **9**, 113-117, 1988.
- 8) Pomeranz B, Macaulay RJ, 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. *American Journal of Physiology*, **248**, H151-H153, 1985.
- 9) 橋本信行, 亀谷学, 加茂力, 佐々木俊雄, 三須一彦: 陳旧性心筋梗塞患者における神経性循環調節の日内変動に関する研究. 自律神経, **33**(6), 521-531, 1996.
- 10) Brown TE, Beightol LA, Koh J and Eckberg DL: Important influence of respiration on human R-R interval power spectra is largely ignored. *Journal of Applied Physiology*, **75**(5), 2310-2317, 1993.
- 11) Hayano J, Mukai S, Sakakibara M, Okada A, Takata K and Fujinami T: Effects of respiratory interval on vagal modulation of heart rate. *American Journal of Physiology*, **267**, H33-H40, 1994.
- 12) 中村和弘: 発熱及び体温調節の交感神経経路. 自律神経, **43**(1), 44-51, 2006.

(平成21年11月16日受理)

Relationship between Supine Floating after Cycle Exercise and Heart Rate and Cardiac Parasympathetic Nervous System Modulation in Middle-aged and Elderly Subjects

Kazuki NISHIMURA, Akira YOSHIOKA and Sho ONODERA

(Accepted Nov. 16, 2009)

Key words : middle-aged and elderly subjects, immersion after exercise, reactivation in cardiac parasympathetic nervous system

Abstract

The purpose of this study was to determine the relationship between supine floating after cycle exercise and heart rate and reactivation in the cardiac parasympathetic nervous system in middle-aged and elderly subjects. Seven middle-aged and elderly women (mean age; 64.7 ± 8.7 years) volunteered for this study. All subjects signed an informed consent form prior to participation in this study. Subjects maintained their supine position for 30 minutes on a bed (C-condition) or floating (W-condition), after exercise for 15 minutes. Exercise intensity was $50\% \text{peak} \dot{V}O_2$. Water temperature during W-condition was 30 degrees Celsius. Heart rate and cardiac autonomic nervous system activity assessed by heart rate variability (MemCalc method) were measured throughout the experimental period. Cardiac parasympathetic nervous system activity was evaluated by using high frequency (HF; 0.15–0.40Hz) in R-R intervals. HF domain was transformed into logarithmic (log) values. Heart rate post exercise showed no significant differences between W-condition and C-condition. During the recovery process, log HF was significantly increased under the W-condition, as compared to the C-condition ($p < 0.05$). These data suggest supine floating after exercise could increase the reactivation in the cardiac parasympathetic nervous system in elderly women.

Correspondence to : Kazuki NISHIMURA Department of Global Environment Studies
Hiroshima Institute of Technology
Hiroshima, 731-5193, Japan
E-Mail: k.nishimura.s7@it-hiroshima.ac.jp
(Kawasaki Medical Welfare Journal Vol.19, No.2, 2010 291–295)