水中運動習慣の有無が仰臥位フローティング時の 心拍数，酸素摂取量，直腸温および 主観的溫度感覚スケールに及ぼす影響

Effects of Habitual Water Exercise on Heart Rate, Oxygen Uptake, Rectal Temperature and Thermal Sensation Scale

小宮山真世 (Mayo KOMIYAMA)
西村 一樹 (Kazuki NISHIMURA)
小野寺 昇 (Sho ONODERA)

財団法人北陸体力科学研究所
川崎医療福祉大学大学院健康科学専攻
川崎医療福祉大学健康体育学科

〔abstract〕

The purpose of this study was to investigate the effects of habitual water exercise on heart rate, oxygen uptake, rectal temperature and thermal sensation scale. Thirty healthy males volunteered to participate in this study. Subjects were divided into the habitual water exercise group (WE-group) and the control group (C-group). After resting in a supine position on a land, subjects were moved into water and performed a supine floating for 20 minutes. After the immersion, they were moved to a land and rested for 10 minutes in a sitting position for a recovery. Water temperature was 30 degrees Celsius. Heart rate, oxygen uptake, rectal temperature, blood pressure and thermal sensation scale were measured. Oxygen uptake was significantly low ($p < 0.05$) in WE-group in comparison of the C-group during a recovery. Thermal sensation scale of WE-group was significantly lower ($p < 0.05$) than that of the C-group during a supine floating. These results suggest that the habitual water exercise significantly influenced oxygen uptake and thermal sensation scale.

〔和文要旨〕

本研究は、水中運動習慣の有無が仰臥位フローティング時の心拍数，酸素摂取量，直腸温および主観的溫度感覚スケールに及ぼす影響を明らかにした。被験者は、30名とした。被験者は、水中運動習慣群および対照群の2つのグループに分けられた。陸上仰臥位安静の後に、仰臥位フローティングを20分間行った。その後、陸上座位回復を10分間行った。水温は30℃とした。測定項目は、心拍数，直腸温，酸素摂取量，血圧および主観的溫度感覚スケールとした。陸上座位回復期の水中運動習慣群の酸素摂取量は、対照群と比較して有意に低値を示した ($p < 0.05$)。仰臥位フローティング時の水中運動習慣群の主観的溫度感覚スケールは、対照群と比較して有意に低値を示した ($p < 0.05$)。これらのことから、水中運動習慣は、酸素摂取量および主観的溫度感覚スケールに影響を及ぼすことが示唆された。

Key words: supine floating, habitual water immersion, oxygen uptake, thermal sensation scale

1. 緒言

水中において生体は、水の持つ物理的特性である水温、水圧、浮力および抵抗の影響を受け、陸上とは異なる生理学的反応を示すことが明らかになっている^{6), 7), 9)}。Pugh¹¹⁾らは、異なる水温における水泳時の直腸温変化を観察し、21.8℃から24.2℃間の水温において直腸温が著しく低下することを報告した。加えて、一定時間の体温の低下割合は、体温と水温の差に比例することも明らかにした。体温と水温の差が大きい場合、短時間にヒトの体温が低下することを示唆している。

西村と小野寺⁷⁾は、仰臥位フローティングのリラクゼーション効果について報告し、水温30℃における仰臥位フローティングは、心拍数を有意に低下させ、心臓副交感神経系活動を有意に亢進させることを明らかにした。西村ら⁶⁾は、異なる水温下における仰臥位フローティングが直腸温および酸素摂取量に及ぼす影響について報告し、水温25℃における仰臥位フローティング時の直腸温の低下は、体脂肪率と負の相関関係にあることを報告した。しかし、これらの浸水に関する先行研究は、水中環境に対する一過性の変化を観察したものであり、水中環境に対する適応については検討していない。例えば、水中運動習慣の有無に着目した仰臥位フローティング時の生理学的応答等は明らかにされていない。習慣的な水泳および水中運動の実践によって、水の物理的特性への適応が生じ、初心者と異なる応答を示すことが予想されることから、水中運動習慣の影響を明らかにすることは、初心者への運動処方という観点からも有用であると考えられる。そこで、本研究では仰臥位フローティング時の生理学的応答等には、水中運動習慣の有無によって差異が生じるものと仮説立てし、検証を行った。本研究では、心拍数、酸素摂取量、直腸温、血圧および主観的温度感覚スケールを指標として用い、仮説の検証を行った。

2. 方法

1) 被験者

被験者は、健康な男性30名とした。そのうち、過去1年以上、週1回2時間以上の頻度で水泳あるいは水中運動を実施している被験者15名を水中運動習慣有群（水中運動群）とし、水泳あるいは水中運動習慣のない被験者15名を水中運動習慣無群（対照群）とした。水中運

Table1. Characteristics of subjects

	habitual water exercise	Control	
Age (years)	20.8±2.0	21.8±2.8	n.s.
Height (cm)	169.9±4.8	172.6±5.7	n.s.
Body Weight (kg)	61.7±6.6	66.2±6.5	n.s.
% Body Fat (%)	20.9±5.0	20.0±4.4	n.s.

動群および対照群の被験者特性を表1に示した。被験者には、ヘルシンキ宣言の趣旨に沿い、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、そして個人情報に関することについて説明を行い、書面にて研究参加の同意を得た。

2) 測定手順

陸上仰臥位安静、仰臥位フローティングおよび陸上座位回復を設定した。陸上仰臥位安静は、陸上での5分間の仰臥位とした。仰臥位フローティング条件は、頸部にエアークッション、手足にアクアブロック、腰部にフローティングベルトを用い、水槽（縦2,196×横996×高さ655mm）に浸水させ（図1）^{6), 7), 13)}、20分間の仰臥位フローティングとした。陸上座位回復は、陸上での10分間の座位回復とした。なお、条件を統一するために、仰臥位フローティング後は、体表面の水分の拭き取りは行わなかった。水温は30℃とし、着衣は競泳用水着（ショートタイプ）とした。室温および湿度は、23.1±1.4℃および77.0±3.5%であった。実験は、体温の日内変動を考慮し、午前

Figure1. An example of the Supine Floating

中 (9-12 時) に行った。被験者には、前日のアルコール摂取不可、22 時以降絶食を課した。

3) 測定項目

測定項目は、心拍数、酸素摂取量、直腸温、血圧および主観的温度感覚スケールとした。心拍数は、胸部双極誘導から得られた心電図の 1 分間の R 波の数とし、実験開始から終了まで経時的に測定した。酸素摂取量は、ダグラスバッグ法を用いて測定した。呼気ガスは、陸上安静 5 分間、仰臥位フローティング時 3-5、8-10、13-15、18-20 分の各 2 分間、座位回復期 3-5、8-10 分の各 2 分間採取した。採取した呼気ガスの酸素および二酸化炭素濃度の分析は、呼気ガスの偏りを取り除いた後に質量分析器 (ウェストン:WASR-1400) を用いて測定した。ガス量およびガス温は、乾式ガスメーター (品川製作所:DC-5) で測定した。なお、水中では浮力の影響を受け、水中負荷体重が減少する⁹⁾。このことから、酸素摂取量の値は絶対値で表した⁶⁾。直腸温は、感熱部直腸温計 (日機装ワイエスアイ;YSI4000 サーモメータ) を肛門から約 10cm 挿入し、経時的に測定し、実験開始から 1 分毎に記録した。直腸温の個人差を考慮し、陸上安静に対する変化量で示した。血圧は、アネロイド血圧計を用いて測定し、実験開始から、5 分毎に測定した。主観的温度感覚スケールは、Tanaka ら¹²⁾ の指標 (表 2) を用い、5 分毎に被験者に申告させた。

-3	
-2	warm
-1	
0	neutral
1	
2	cool
3	
4	
5	cold
6	
7	
8	
9	severe cold
10	
11	
12	
13	intolerable cold

Tanaka et. al. (1985)

Table2. Thermal sensation scale

4) 統計処理

各測定値は、平均値±標準偏差 (mean ± SD) で示した。水中運動群および対照群における各測定値の比較には分散分析、対応ありの t 検定および対応なしの t 検定を用いた。いずれの検定も危険率 5% 未満 ($p < 0.05$) を有意な差とした。

3. 結果

図 2 に水中運動群と対照群の心拍数の経時変化の比較を示した。心拍数の経時変化には両群間に有意な差は観察されなかった。また、仰臥位フローティング時の心拍数は、両群とも陸上仰臥位安静と比較して有意な差が無く推移した。陸上座位回復期の心拍数は、両群とも仰臥位フローティング時と比較して有意に高値を示した ($p < 0.05$; 仰臥位フローティング時の平均 (水中運動群: 55.0 ± 6.9 拍/分, 対照群: 57.7 ± 10.5 拍/分) VS 座位回復期の平均 (水中運動群: 60.8 ± 7.7 拍/分, 対照群: 61.8 ± 10.6 拍/分))。

図 3 に水中運動群と対照群の酸素摂取量の経時変化の比較を示した。仰臥位フローティング時の酸素摂取量は、対照群と比較して水中運動群において低値を示す傾向が確認された。陸上座位回復期 8-10 分の酸素摂取量は、対照群と比較して水中運動群において有意に低値を示した ($p < 0.05$)。陸上座位回復期に酸素摂取量は、両群と

Figure2. Changes in heart rate between the habitual water exercise group and the control group

●; habitual water exercise, ○; control group

Figure3. Changes in oxygen uptake between the habitual water exercise group and the control group

■; habitual water exercise, □; control group

※: $p < 0.05$, habitual water exercise VS control group

も仰臥位フローティング時と比較して有意に高値を示した ($p < 0.05$; 仰臥位フローティング時の平均 (水中運動群: $0.21 \pm 0.02 \text{ l/min.}$, 対照群: $0.23 \pm 0.05 \text{ l/min.}$) VS 座位回復期の平均 (水中運動群: $0.26 \pm 0.06 \text{ l/min.}$, 対照群: $0.31 \pm 0.08 \text{ l/min.}$)).

陸上安静時の直腸温 (水中運動群: $36.95 \pm 0.24^\circ\text{C}$, 対照群: $37.11 \pm 0.28^\circ\text{C}$) に有意な差が観察されなかったことから, 図 4 に水中運動群と対照群の直腸温の経時的变化 (陸上安静からの差) の比較を示した. 20 分間の仰臥位フローティングによって両群とも直腸温に約 0.3°C の低下が確認された. 水中運動群および対照群の両群間に有意な差は, 観察されなかった.

時間経過に伴う収縮期および拡張期血圧の変化を図 5 に示した. 収縮期および拡張期血圧の経時的变化に両群間に有意な差は観察されなかった. 陸上座位回復期の収縮期血圧は, 仰臥位フローティング時と比較して両群とも有意に高値を示した ($p < 0.05$; 仰臥位フローティング時の平均 (水中運動群: $106.5 \pm 8.6 \text{ mmHg}$, 対照群: $111.5 \pm 8.2 \text{ mmHg}$) VS 座位回復期の平均 (水中運動群: $113.3 \pm 9.1 \text{ mmHg}$, 対照群: $117.3 \pm 10.5 \text{ mmHg}$)). また, 陸上座位回復期の拡張期血圧においても, 仰臥位フローティング時と比較して両群とも有意に高値を示した ($p < 0.05$; 仰臥位フローティング時の平均 (水中運動群: $62.6 \pm 7.1 \text{ mmHg}$, 対照群: $64.6 \pm 7.3 \text{ mmHg}$) VS 座位

Figure4. Changes in delta rectal temperature between the habitual water exercise group and the control group

●; habitual water exercise, ○; control group

Figure5. Changes in blood pressure between the habitual water exercise group and the control group

●; habitual water exercise (SBP), ○; control group (SBP)

▲; habitual water exercise (DBP), △; control group (DBP)

回復期の平均 (水中運動群: $66.4 \pm 8.7 \text{ mmHg}$, 対照群: $72.3 \pm 7.6 \text{ mmHg}$)).

図 6 に水中運動群と対照群の主観的温度感覚スケールの経時的变化の比較を示した. 仰臥位フローティング時の主観的温度感覚スケールは, 対照群と比較して水中運動群において有意に低値を示した ($p < 0.05$). 陸上座位回復期に主観的温度感覚スケールは, 両群とも仰臥位フローティング時と比較して有意に高値を示した ($p < 0.05$;

Figure6. Changes in thermal sensation scale between the habitual water exercise group and the control group

●; habitual water exercise, ○; control group

※: $p < 0.05$, habitual water exercise VS control group

仰臥位フローティング時の平均（水中運動群： 1.75 ± 1.41 ，対照群： 2.82 ± 1.50 ）VS 座位回復期の平均（水中運動群： 5.43 ± 1.21 ，対照群： 5.20 ± 1.27 ）。

4. 考察

本研究は、水温 30°C での仰臥位フローティングが生体に及ぼす影響について、水中運動群および対照群を比較検討した。その結果、酸素摂取量および主観的温度感覚スケールにおいて両群間に有意な差が確認された。

仰臥位フローティング時の心拍数は、陸上安静と比較して有意な差が観察されなかった。この結果は、水温 30°C での仰臥位フローティングは、心拍数を有意に低下させると報告した西村と小野寺⁷⁾の結果とは一致していない。その要因として、仰臥位フローティング時の室温の違いが考えられる。つまり、西村と小野寺⁷⁾の報告は、仰臥位フローティング時の室温を 30°C に設定している。しかしながら、本研究の仰臥位フローティング時の室温は $23.1 \pm 1.4^{\circ}\text{C}$ であり、「温熱的中性域」である $29-31^{\circ}\text{C}$ の範囲²⁾ 以下の室温であった。このことから、皮膚の冷感刺激による心臓交感神経系活動が亢進し、心拍数が低値を示さなかったものと考えられる。今後、仰臥位フローティング時の室温を温熱的中性域である $29-31^{\circ}\text{C}$ に設定し、検討する必要がある。

仰臥位フローティング時の酸素摂取量は、対照群と比

較して水中運動群において低値を示す傾向が確認された。仰臥位フローティング時の酸素摂取量の増加は、交感神経系活動および甲状腺ホルモン活動に起因する nonshivering（非ふるえ）によるものであると考えられる¹⁰⁾。対照群と比較して水中運動群が低値を示したことは、水中運動群は習慣的に水中運動を実施していることから、身体が水温（一般的な温水プールの水温である 30°C ）に対して適応しており、酸素摂取量が低値を示したものと考えられる。つまり、習慣的な水中運動実施者は、浸水に伴う交感神経系活動および甲状腺ホルモン活動の亢進が対照群と比較して抑制されている可能性が推測される。陸上座位回復期 8-10 分における酸素摂取量は、対照群と比較して水中運動群において有意に低値を示した ($p < 0.05$)。陸上座位回復期の酸素摂取量の増加は、骨格筋の不随意的収縮である shivering（ふるえ）に起因するものであると考えられる⁵⁾。本研究においても、ふるえが観察された被験者や実験後の寒さを訴えた被験者がいた。陸上座位回復期における対照群と比較して水中運動群の酸素摂取量が低値を示したことは、習慣的な水中運動による身体への適応は、仰臥位フローティング時のみならず仰臥位フローティング後にまで影響を及ぼしている可能性を示唆するものである。

時間経過に伴う直腸温の相対値（陸上安静からの差）は、水中運動群および対照群に有意な差は観察されなかった。西村ら⁶⁾は、水温 25°C における仰臥位フローティング時の直腸温の低下と体脂肪率との間には負の相関関係が観察されることを明らかにしている。さらに、水温 30°C においても有意ではないものの体脂肪率に依存する傾向があることを報告している。本研究の被験者の体脂肪率は、両群間において有意な差が観察されなかったことから、仰臥位フローティング時の直腸温において水中運動群および対照群に有意な差は観察されなかったものと考えられる。

仰臥位フローティング時の収縮期および拡張期血圧は、有意な差が観察されずに推移した。浸水時の血圧変化についての報告は、収縮期および拡張期血圧ともに低下する¹⁾、変化しない⁴⁾、上昇する⁸⁾など様々である。この要因として、年齢、皮脂厚、浸水している体表面積等が考えられる。今後は、浸水時の血圧変化に対する、これらの要因の関与について検討していく必要がある。

仰臥位フローティング時の主観的温度感覚スケールは、

対照群と比較して水中運動群において有意に低値を示した ($p < 0.05$). 入来³⁾は、環境温の変化に伴う皮膚からの温度感覚に順応性が存在することを報告している。水中運動群は、習慣的な水中運動によって皮膚からの温度感覚が水温に対して適応し、同一水温に対して対照群と比較して寒さを感じないことを示唆している。また、陸上座位回復期の主観的温度感覚スケールに有意な差が観察されなかったことから、水中運動群の温度感覚の適応は水温に対するものである可能性が考えられる。

以上のことから、習慣的な水中運動が仰臥位フローティング時の主観的温度感覚および陸上座位回復期の酸素摂取量に有意な影響を及ぼすことが明らかになった。

5. まとめ

本研究は、仰臥位フローティングが生体に及ぼす影響について、水中運動習慣有群および水中運動習慣無群を比較検討した。

以下の2つが明らかになった。

- 1) 陸上座位回復期における水中運動習慣群の酸素摂取量は、有意に低値を示した。
- 2) 仰臥位フローティング時の主観的温度スケールは、水中運動習慣群において有意に低値を示した。

以上のことから、仮説が検証され、習慣的な水中運動の実施者は、陸上座位回復期の酸素摂取量を低値で維持させ、同一水温において寒さを感じないことが示唆された。

謝辞

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12期生井上慧氏、岸本隆志氏、佐々井瞳氏、中川進也氏、吉田さと子氏、原田幸子氏、同大学院石田恭生氏、関和俊氏、西岡大輔氏、岡本武志氏、小柳えり氏、小野くみ子氏に多大なる協力を得た。ここに記して感謝の意を表する。

【参考文献】

- 1) Craig AB, Dvorak M (1969) Comparison of exercise in air and water of different temperatures. *Med. Sci. Sports*, 1: 124-130.
- 2) 平田耕造, 井上芳光, 近藤徳彦 (2002) 体温-運動時の体温調節システムとそれを修飾する要因-ナツプ: 東京, pp.6-16.

- 3) 入来正躬 (2003) 体温生理学テキスト〜わかりやすい体温のおはなし〜文光堂: 東京, pp.98-109.
- 4) 真崎玲子, 金谷庄蔵, 守田俊一, 右田孝志, 堀田昇, 大柿哲郎, 藤島和孝, 丸山徹, 加治良一, 藤野武彦 (1995) 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.
- 5) 中山昭雄 (1981) 温熱生理学. 理工学社: 東京, pp.73-121.
- 6) 西村一樹, 山口英峰, 中西洋平, 小野寺昇 (2004) 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.
- 7) 西村正広, 小野寺昇 (2000) 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リラクゼーション効果. 宇宙航空環境医学, 37(3): 49-56.
- 8) 岡田暁宣, 早野順一郎, 向井誠治, 秋田佑枝, 坂田誠一郎, 松原充隆, 竹島伸生, 高田和之, 藤浪隆夫 (1996) Water immersion に対する循環調節系の反応の加齢による変化. 自律神経, 33(4): 371-376.
- 9) 小野寺昇, 宮地 元彦 (2003) 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.
- 10) 朴晟鎮, 日高一郎, 武藤芳照 (1996) 人体に及ぼす水温の影響. 体育の科学, 46(7): 534-539.
- 11) Pugh LGC, Edholm OG (1955) The physiology of channel swimmers. *Lancet* 2: 761-768.
- 12) Tanaka M, Yamazaki S, Ohnaka T, Harimura Y, Tochi-hara Y, Matsui J, Yoshida K (1985) Effects of feet cooling on pain, thermal sensation and cardiovascular responses. *J. Sports Med. Phys. Fitness*, 25: 32-39.
- 13) Weiss M, Hack F, Stehle R, Pollert R, Weicker H (1988) Effects of temperature and water immersion on plasma catecholamines and circulation. *Int. J. Sports Med.* 9: 113-117.