

## 腕クランキング運動時の心拍応答に及ぼす浸水の影響

木村真規\*, 鈴木政登\*\*, 矢澤 誠\*\*\*, 村岡 功\*\*\*

### Effect of Water Immersion on Heart Rate Responses During Arm Cranking Exercise

Masaki KIMURA\*, Masato SUZUKI\*\*, Makoto YAZAWA\*\*\* and Isao MURAOKA\*\*\*

#### Abstract

The purpose of this study was to examine the influence of water immersion on heart rate (HR) during arm cranking exercise. Six men performed the exercises with (WI-condition) or without water immersion (C-condition) to the xiphoid process on incremental loads. Constant rate exercises for 10 min were performed in both WI- and C-conditions at each work load corresponding to 10, 30 and 50% of the maximal work rate ( $W_{max}$ ).

Compared with C-condition, no difference was observed in  $W_{max}$  and the parameters of respiratory functions under WI-conditions, while water immersion-induced bradycardia (WIB) was observed at rest, 10, 30, 50, and 100%  $W_{max}$ , by  $-10.4 \pm 1.9$ ,  $-12.3 \pm 4.0$ ,  $-9.5 \pm 3.7$ ,  $-13.2 \pm 4.8$ , and  $-7.7 \pm 3.4$  bpm, respectively.

These results suggested that the WIB was similar (average  $-8 \sim -13$  bpm) at rest and at any level of exercise intensities in water immersion.

**Key Words:** water immersion, arm cranking exercise, heart rate (HR), water immersion-induced bradycardia (WIB)

#### I. 緒言

一般に水中運動で利用されるプールでは、トレッドミルや自転車エルゴメータなどの負荷装置を用いることは困難であり、水中運動時に生体負担度やエネルギー消費量を把握することは容易ではない。近年では、水中でも測定可能な心拍数 (HR) の記録

装置が利用されている。ACSMの「運動処方指針」<sup>20)</sup>では、水泳運動時にHRを利用して生体負担度を把握するための指針があり、その中では、水泳運動の特性として平均20(5~50)拍/分の徐脈反射について考慮する必要性が示されている。

腰部位以上の中立温浸水では、静水圧によって静

- 
- \* 早稲田大学大学院 人間科学研究科 生命科学専攻 (〒359-1192 埼玉県所沢市三ヶ島2-579-15)  
Department of Life Science, Graduate School of Human Science, Waseda Univ. (2-579-15 Mikajima, Tokorozawa-shi, Saitama 359-1192, Japan)
- \*\* 東京慈恵会医科大学 臨床検査医学教室 (〒105-8461 東京都港区西新橋3-25-8)  
Department of Laboratory Medicine, School of Medicine, Jikei Univ. (3-25-8 Nishi-shinbashi, Minato-ku, Tokyo 105-8461, Japan)
- \*\*\* 早稲田大学 人間科学部 (〒359-1192 埼玉県所沢市三ヶ島2-579-15)  
School of Human Science, Waseda Univ. (2-579-15 Mikajima, Tokorozawa-shi, Saitama 359-1192, Japan)

脈還流が増加し、HRは減少傾向を示す<sup>4,7,12,15,21</sup>。この頸下浸水に伴う徐脈反射 (Water Immersion-induced Bradycardia: WIB) は、この環境で行われる水中運動時にも観察される<sup>2,5,12,21,23,24</sup> ことから、HRを利用して水中運動時の生体負担度を把握する際には、このWIBについて考慮する必要がある。しかし、ACSMの指針で示された徐脈反射には、Diving reflexや姿勢変化に伴う徐脈反射なども混在していると考えられ、頸下浸水によって惹起されるWIBとは徐脈の出現機序が異なる可能性が考えられる。近年、高齢者や低体力者を対象とした運動処方では、この頸下浸水環境を利用した水中運動が盛んに行われており、HRを利用して生体負担度を把握するための新たな指針が求められている。

しかし、今日までに報告された先行研究では、高強度運動時<sup>2,5,23,24</sup> もしくは低強度運動時<sup>12,21</sup> にのみWIBを観察した研究や、運動時にWIBが全く観察されなかった研究<sup>11,17</sup> など、各研究においてWIBの出現傾向に差がみられ、考慮すべきWIBの指針は未だに定まっていない。この要因の一つとして、陸上と水中における運動条件の差異が考えられる。

上記の先行研究では、陸上と水中において歩行・走運動<sup>12,17</sup> や自転車運動<sup>2,5,11,21,23,24</sup> が行われており、両環境においてエネルギー消費量 ( $\dot{V}O_2$ ) が等しくなるように、負荷方法やプロトコルが工夫されている。しかし、WIBは体性感覚受容器や前庭受容器、筋内の機械受容器からの求心性入力によって変化することから<sup>15</sup>、運動条件のわずかな違いによっ

て影響される可能性が考えられる。従って、運動時のWIBについてより詳細な検討を行うためには、浸水によって負荷や動作が変化しない運動様式を用いる必要があると思われる。

そこで本研究では、運動時のHR応答に与える浸水の影響について検討するために、剣状突起位までの浸水時に水面上での腕運動を負荷し、浸水を行わない条件との間でHR応答の比較を行った。

## II. 方法

### A. 対象

被験者は健康成人男性6名であり、被験者の年齢、身長、体重の平均値 ( $\pm$  SEM) は、それぞれ  $25.8 \pm 1.3$  歳、 $171.8 \pm 3.2$  cm、 $65.2 \pm 3.7$  kgであった。各被験者は予め実験の目的、内容などについて詳しく説明を受けた後、任意に本実験へ参加した。

### B. 実験方法

実験時の室温は  $29.8 \pm 0.3$  °C、水温は  $33.6 \pm 0.1$  °C であり、浸水試行 (WI 試行) および浸水を伴わない対照試行 (C 試行) とも、被験者は水着のみ着用して運動を行った。椅座位での腕クランキング運動は、電磁ブレーキ式自転車エルゴメータ (Iso-power Ergometer, 竹井機器) を、被験者の肩峰とペダル回転軸の高さが一致するように設置し、ペダル回転数50回/分で行った (図1)。また、身体は浮力やブレの影響を受けるため、腰部 (腸骨稜位) にベルトを装着して体幹部を椅子に固定した。浸水

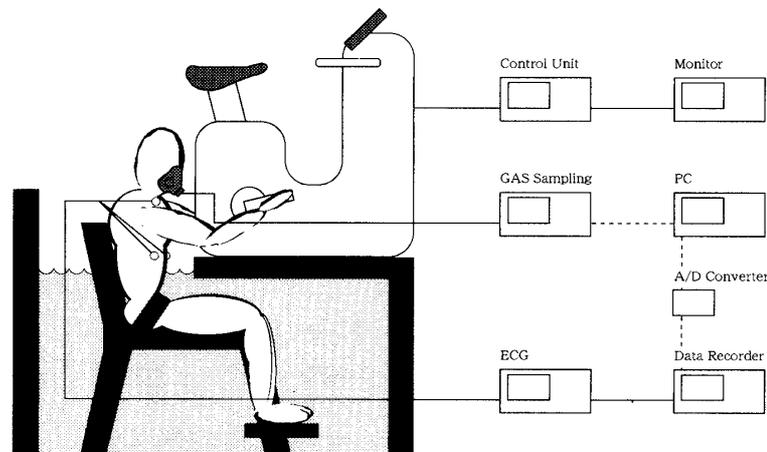


Fig. 1. Experimental systems of arm-cranking exercise during water immersion. Dashed lines mean offline analysis after the experiment.

時の水位は剣状突起位とし、各被験者ごとに調節した。実験中は、呼気ガス分析装置 (Sensor Medics 2900, 日本光電) および心電計 (Life Scope 6, 日本光電) を用いて、酸素摂取量 ( $\dot{V}O_2$ ), 分時換気量 ( $\dot{V}E$ ), 呼吸数 (RR), 一回換気量 (TV) および HR を測定した。

実験のプロトコルを図 2 に示した。WI 試行と C 試行では、いずれも10分間の陸上椅座位安静 (Rest-1) の後、水槽内 (C 試行は水を抜いた状態) に設置された椅子に移動して、再び10分間の椅座位安静 (Rest-2) を行った。安静時測定終了後、腕クランキング運動を漸増負荷法および各種強度での一定負荷法で行った。

漸増負荷法による運動では、始めに3分間の W-up を10ワット (W) で行い、続いて Ramp 負荷法 (+12W/分) による漸増負荷運動を exhaustion (ペダル回転数が40回/分以下となる時点) まで行った。また、予備実験の結果、10分間の一定負荷運動において、運動中の  $\dot{V}O_2$  および HR が定常に達する負荷強度が、漸増負荷運動時に得られた最大仕事量 ( $W_{max}$ ) の50%以下であったことから、一定負荷運動を10, 30および50%  $W_{max}$  で行った。

全8種目の運動プロトコルは1日1種目のみ行

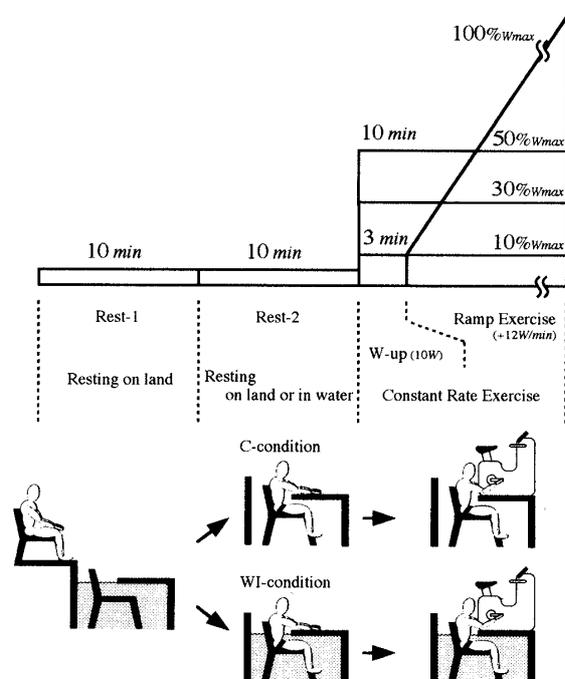


Fig. 2. Experimental protocols of constant rate and incremental arm-cranking exercises with (WI) or without (C) water immersion.

い、初めに漸増負荷運動を、次いで一定負荷運動をそれぞれ順序無作為に行った。

最大運動時の換気パラメータは、呼気ガス分析装置によって20秒毎に得られた測定値から1分毎に平均値を求め、 $\dot{V}O_2$ が最大となった時点の諸測定値とした。また、最大心拍数 (HRmax) は、心電図波形の RR 間隔から1分毎に平均 HR を求め、その最大値とした。一方、安静時および一定負荷運動時の測定値は、全ての被験者において定常応答が確認された各測定期間の終了前2分間の平均値とした。Rest-1 および Rest-2 の諸測定値は、各強度間に差がなかったことから、各被験者ごとに平均値を求め、全被験者の平均値とした。

### C. 実験結果の統計処理方法

各測定値の変化が、測定条件 (C vs. WI) および運動強度に依存したものの有無かの検定には、重複測定法による二元配置分散分析を用いた。各運動強度における測定条件間の比較には、対応のある Student の t 検定を用い、確率水準 5% 未満で有意性があると判断した<sup>21)</sup>。

## III. 結果

### A. 椅座位安静時における諸測定値の比較

Rest-1 では、全ての試行で各換気パラメータ ( $\dot{V}O_2$ ,  $\dot{V}E$ , RR, TV) および HR には有意差を認めなかった (表 1, 図 3)。一方、Rest-2 では、WI 試行と C 試行の間で各換気パラメータに差はなかったが、WI 試行時の HR には有意な低値が観察された ( $p < 0.01$ )。

### B. 漸増負荷運動時における諸測定値の比較

漸増負荷時の運動持続時間 (C:  $12.2 \pm 1.6$ , WI:  $12.3 \pm 1.7$ 分) および最大仕事量 (C:  $120.0 \pm 18.9$ , WI:  $121.0 \pm 20.2$ W) に、C 試行と WI 試行間で有意差はなかった (表 1)。また、最大運動時の各換気パラメータにも両試行間に差はなかったが、WI 試行時の HRmax は C 試行と比較して有意な低値となった ( $p < 0.05$ )。

### C. 一定負荷運動時における諸測定値の比較

10, 30および50%  $W_{max}$  で行われた一定負荷運動時の各換気パラメータに、両試行間で差は認められなかった (表 1, 図 3)。一方、WI 試行時の HR は

全ての負荷強度で低値となり、C 試行との間に有意差が認められた ( $p < 0.05$ ).

#### D. $\dot{V}O_2$ g-HR 回帰の比較

安静時 (Rest-2) および運動時の  $\dot{V}O_2$  と HR の関係では、C 試行および WI 試行とも高い相関関係が認められた (C :  $r=0.995$ , WI :  $r=0.999$ , 両者とも  $p < 0.001$ ). それぞれの回帰式では C 試行と比較して WI 試行でより低い HR 側へシフトする傾向が観察された (図 4).

#### IV. 考察

本研究では、剣状突起位までの浸水 (WI 試行) 時に水面上での腕クランキング運動を負荷し、浸水を行わない条件 (C 試行) との間で換気パラメータ ( $\dot{V}O_2$ ,  $\dot{V}E$ , RR, TV) および HR 応答の比較を行った. 漸増負荷運動では exhaustion 時の最大仕事量および最大酸素摂取量 ( $\dot{V}O_{2max}$ ) に、C 試行と WI 試行の間で差は認められなかった (表 1). そこで、最大下強度での一定負荷運動は、両試行で得られた最大の仕事量 ( $W_{max}$ ) を基準に、その 10, 30 およ

Table 1. Changes in cardiorespiratory parameters during rests, submaximal and maximal exercises with (WI) or without (C) water immersion.

	Rest-1	Rest-2	10%Wmax	30%Wmax	50%Wmax	100%Wmax
$\dot{V}O_2$ (ml/min)						
C-condition	243 ± 21	281 ± 17	526 ± 69	935 ± 45	1493 ± 90	2163 ± 149
WI-condition	247 ± 17	275 ± 20	572 ± 38	876 ± 61	1468 ± 74	2172 ± 131
HR (beats/min)						
C-condition	68.5 ± 4.8	68.4 ± 4.9	90.3 ± 6.1	107.1 ± 6.5	147.9 ± 7.8	169.9 ± 4.7
WI-condition	67.7 ± 4.6	58.1 ± 3.7 **	78.0 ± 4.5 *	97.6 ± 6.4 *	134.7 ± 5.9 *	162.2 ± 4.9 *
$\dot{V}E$ (l/min)						
C-condition	8.3 ± 0.7	9.2 ± 0.5	15.0 ± 2.0	26.2 ± 0.9	45.6 ± 2.3	79.9 ± 4.3
WI-condition	8.5 ± 0.5	9.0 ± 0.4	15.9 ± 0.9	25.2 ± 1.5	44.1 ± 2.3	76.3 ± 4.0
TV (l)						
C-condition	0.50 ± 0.04	0.55 ± 0.03	0.72 ± 0.10	1.06 ± 0.03	1.49 ± 0.07	1.75 ± 0.12
WI-condition	0.52 ± 0.03	0.55 ± 0.04	0.81 ± 0.06	1.03 ± 0.06	1.50 ± 0.05	1.63 ± 0.12
RR (breaths/min)						
C-condition	17.1 ± 0.7	17.3 ± 0.8	21.2 ± 1.1	24.9 ± 0.7	30.8 ± 1.0	46.4 ± 2.5
WI-condition	16.9 ± 0.7	16.7 ± 0.7	20.1 ± 1.4	24.8 ± 1.3	29.7 ± 1.7	47.3 ± 1.8

$\dot{V}O_2$ ; oxygen uptake, HR; heart rate,  $\dot{V}E$ ; minute ventilation, TV; tidal volume, RR; respiratory rate. Values are means ± SEM (n=6). Significance of differences between WI- and C-conditions represent, " \*":  $p < 0.05$ , "\*\*":  $p < 0.01$ ."

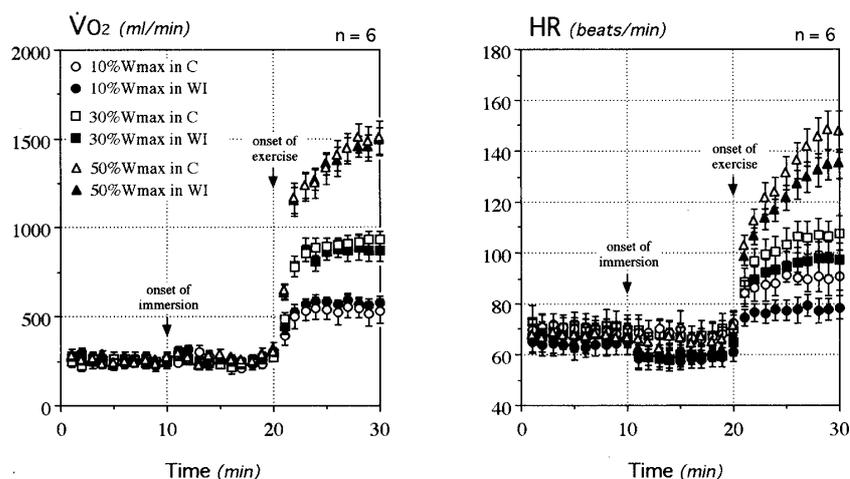


Fig. 3. Changes in  $\dot{V}O_2$  (left) and HR (right) during rest and submaximal constant rate exercises with (WI) or without (C) water immersion. Symbols and bars represent means ± SEM.

び50%の強度で行った。

本研究の結果、椅座位安静時 (Rest-1 および Rest-2) および腕運動時の各換気パラメータに WI 試行と C 試行との間で差はみられなかった (表 1)。先行研究<sup>3, 4, 6)</sup>では、中立温での浸水安静時に各換気パラメータの変化は観察されておらず、本研究の結果と一致している。一方、水中運動では粘性抵抗によって過負荷が生じる<sup>19)</sup>ことから、多くの先行研究<sup>1, 2, 5, 17, 21, 23, 24)</sup>において陸上と同じ $\dot{V}O_2$ となるように水中運動の負荷が調節されており、運動時の $\dot{V}O_2$ に与える浸水の影響について検討を行うことは困難であった。しかし、本研究で用いた腕運動では、生体に加わる仕事量が WI 試行と C 試行においてほぼ同一であったと考えられ、運動中の $\dot{V}O_2$ およびその他の換気パラメータに両試行間で差は認められなかった。従って、中立温での浸水は一定負荷運動時および最大運動時の $\dot{V}O_2$ およびその他の換気パラメータに影響しないと考えられた。

次に、Rest-2 の HR は WI 試行で有意な低値を示し ( $p < 0.01$ )、C 試行との間に $-10.4 \pm 1.9$ 拍/分の差がみられた (表 1)。浸水安静時における WIB は多くの先行研究で報告されており<sup>4, 5, 7, 12, 14, 15, 16, 17, 21)</sup>、本研究の結果もこれらと一致するものであった。Miwa ら<sup>16)</sup>は、心拍変動の周波数解析によって、浸水時に副交感神経活動の賦活化および交感神経活動の減弱化が惹起される可能性を示している。浸水に伴う自律神経活動の変化は、中心静脈圧の増加に伴う心房伸展受容器反射や、一回拍出量の増加に伴う

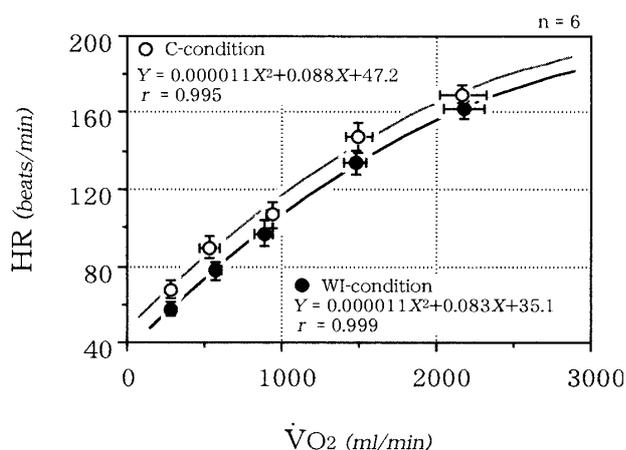


Fig. 4 Relationships between  $\dot{V}O_2$  and HR during rest and exercises with (WI) or without (C) water immersion. Symbols and bars represent means  $\pm$  SEM.

動脈圧受容器反射によって惹起され、結果として WIB を生じる<sup>14, 15, 16)</sup>と考えられており、本研究で観察された WIB も先行研究と同様の機序によって惹起された可能性が考えられた。

また本実験では、浸水安静時にみられた WIB が一定負荷時および最大運動時にも観察され、全ての負荷強度において C 試行との間に有意差が認められた (表 1)。C 試行と WI 試行における HR の差は、10, 30, 50 および 100%  $W_{max}$  強度において、それぞれ $-12.3 \pm 4.0$ ,  $-9.5 \pm 3.7$ ,  $-13.2 \pm 4.8$  および  $-7.7 \pm 3.4$  拍/分であり、Rest-2 を含めた $\dot{V}O_2$ -HR 回帰は、浸水に伴ってより低い HR 側へシフトした (図 4)。Ng ら<sup>18)</sup>は、下肢への加圧装置によって静脈還流を増加させた状態で腕クランキング運動を行った結果、本研究とほぼ同様の $\dot{V}O_2$ -HR 関係を観察している。従って、静脈還流の増加によって惹起される HR の減少は、運動強度によらずほぼ一定に生じる可能性が示唆された。

一方、Perini ら<sup>21)</sup>は、低強度運動時の HR が浸水によって有意に減少したことを報告しており、その機序として心拍変動の周波数解析から、浸水に伴う一回拍出量の増加によって動脈圧受容器反射が惹起された可能性を示唆している。また、彼ら<sup>21)</sup>の報告では、高強度運動時に WIB は観察されず、心拍変動にも陸上と水中で差がなかったことから、運動時の心機能亢進状態では、浸水に伴う血液シフトの影響は減弱化される可能性についても言及されている。

この様に、自転車運動を用いた Perini ら<sup>21)</sup>の結果は、腕運動を用いた本研究の HR 応答と異なるものであった。この要因の一つとして腕運動と脚運動における筋ポンプ作用の差異が考えられる。陸上での脚運動時には、活動筋の筋ポンプ作用によって静脈還流が増加し、下肢での血液貯留は運動強度の増加に伴って減少する<sup>22)</sup>。一方、水中での脚運動時には、運動強度に拘わらず、浸水に伴う静脈還流の増加によって下肢から胸腔内への血液シフトが生じる<sup>2)</sup>。従って、筋ポンプ作用の弱い低強度運動時には、陸上と水中で静脈還流の増加に差が生じ、WIB が顕著に観察されるが、運動強度の増加に伴って陸上での筋ポンプ作用が顕著となり、陸上と水中で静脈還流および HR 応答の差が僅少化した可能性が考えられた。

また、腕運動では筋ポンプ作用は殆ど機能しない

と考えられることから、浸水を伴わない腕運動では、運動強度に依らず常に多くの血液が下肢に貯留する可能性が考えられる<sup>1)</sup>。従って、本研究のC試行では、筋ポンプ作用による静脈還流の増加は惹起されず、HRの減少は生じなかったと考えられ、高強度運動時にもWI試行との間でHR応答に差が生じた可能性が示唆された。

一方、Christieら<sup>2)</sup>は、高強度運動時のHRが浸水によって有意に減少したことを報告しており、その機序として浸水による交感神経活動の減弱化が、高強度運動時のHR調節においてより強く作用した可能性について述べている。また、Connellyら<sup>5)</sup>は、高強度運動時の血漿ノルアドレナリン濃度が浸水によって低値となったことから、Christieら<sup>2)</sup>の仮説を間接的に支持している。しかし、彼ら<sup>2,5)</sup>の研究は、同じ運動(自転車エルゴメータ)を用いたPeriniら<sup>21)</sup>の研究と異なる結果が得られており、WIBの機序についての解釈はお互いに矛盾する説明となっている。これらの先行研究の結果に不一致が生じた原因は定かでないが、理由の一つとして負荷の増加方法における相違が考えられる。

Periniら<sup>21)</sup>は一定のペダル回転数(60回/分)における水の粘性抵抗が25Wであることを求め、この値を差し引いた負荷を水中運動時に用いている。一方、Christieら<sup>2)</sup>およびConnellyら<sup>5)</sup>は、WI試行時の負荷増加法にペダル回転数の増加を用いている。運動のリズムはその時のHR応答に影響を及ぼすことが知られており<sup>13)</sup>、彼ら<sup>2,5)</sup>の報告に示されたHR応答には、陸上と水中におけるペダル回転数の差が影響している可能性が考えられた。

また、これらの研究<sup>2,5,21)</sup>では、いずれも3~6分のステップ負荷法を用いており、本研究における各負荷とも独立した10分間の一定負荷法とは異なっていた。浸水時には、運動時の $\dot{V}O_2$ 応答が遅延する<sup>9)</sup>ことや時間経過に伴って血漿量の増加に伴う血液希釈が惹起される<sup>8,10)</sup>ことなどから、比較的短時間のステップ負荷法は水中運動の特性を検討する条件として望ましくない。

以上、運動時のHR応答に及ぼす浸水の影響について検討した先行研究では、一致した結果が得られておらず、陸上と水中でほぼ同一の運動を負荷した本研究の結果とも異なるものであった。従って、先行研究において検討されたWIBの出現機序には、運動様式の変化など浸水以外の要因が関与している

可能性が指摘される。いずれにしても、運動時のHR応答に及ぼす浸水の影響について、その機序を明らかにするためには、陸上と水中で同一の運動を負荷することが重要であり、WIBの機序については、本研究と同様な方法を用いて再検討し直す必要があると思われる。

本研究の結果から、運動時のHRは浸水によって平均8~13拍/分ほど低下し、このWIBは運動強度に依らず常に一定に出現すると考えられた。しかし、WIBは運動の種類やそのプロトコールによって変化すると考えられ、先行研究において運動強度とWIBの結果に不一致を生じた可能性が示唆された。

## V. まとめ

運動時のHR応答に対する浸水の影響について検討するために、中立温における剣状突起位までの浸水時に水面上での腕クランキング運動を負荷し、浸水を行わない条件との間で各種の換気パラメータおよびHR応答について比較したところ、以下の知見が得られた。

1. 浸水環境は安静時および運動中のエネルギー消費量( $\dot{V}O_2$ )に影響せず、また最大運動時の $\dot{V}O_{2\max}$ や $W_{\max}$ にも影響を及ぼさなかった。
2. 浸水環境は安静時および運動中の $\dot{V}E$ 、RRおよびTVなどの換気パラメータにも影響を及ぼさなかった。
3. 浸水環境は安静時のHRを減少させ、運動中にも同じ程度のHRの減少が惹起された。この浸水によるHRの減少には運動強度に依存した変化は観察されず、 $\dot{V}O_2$ -HR回帰は平均8~13拍/分ほどより低いHR側へとシフトした。

以上の結果から、本研究で用いた腕クランキング運動では浸水性徐脈(WIB)に対する運動強度の影響は認められず、運動強度とWIBとの関係は運動様式やプロトコールによって変化する可能性が示唆された。

## 引用文献

- 1) Bevegard S, Freyschuss U and Strandell T (1966) Circulatory adaptation to arm and leg exercise in supine and sitting position. *J Appl Physiol* 21: 37-46
- 2) Christie J L, Sheldahl L M, Tristani F E, Wann L S, Sagar K B, Levandoski S G, Ptacin M J,

- Sobocinski K A and Morris R D (1990) Cardiovascular regulation during head-out water immersion exercise. *J Appl Physiol* 69 : 657-664
- 3) Choukroun M-L, Kays C and Varene P (1989) Effects of water temperature on pulmonary volumes in immersed human subjects. *Respir Physiol* 75 : 255-266
  - 4) Choukroun M-L and Varene P (1990) Adjustments in oxygen transport during head-out immersion in water at different temperatures. *J Appl Physiol* 68 : 1475-1480
  - 5) Connelly T P, Sheldahl L M, Tristani F E, Levandoski S G, Kalkhoff R K, Hoffman M D and Kalbfleisch J H (1990) Effect of increased central blood volume with water immersion on plasma catecholamines during exercise. *J Appl Physiol* 69 : 651-656
  - 6) Derion T, Guy H J B, Tsukimoto K, Schafartzik W, Prediletto R, Poole D C, Knight D R and Wagner P D (1992) Ventilation-perfusion relationships in the lung during head-out water immersion. *J Appl Physiol* 72 : 64-72
  - 7) Farhi L E and Linnarsson D (1977) Cardiopulmonary readjustments during graded immersion in water at 35°C. *Respir Physiol* 30 : 35-50
  - 8) Greenleaf J E, Morse J T, Barnes P R, Silver J and Keil L C (1983) Hypervolemia and plasma vasopressin response during water immersion in men. *J Appl Physiol* 55 : 1688-1693
  - 9) Hayashi N and Yoshida T (1999) Water immersion delays the oxygen uptake response to sitting arm-cranking in humans. *Eur J Appl Physiol* 80 : 132-138
  - 10) Johansen L B, Foldager N, Stadeager C, Kristensen M S, Bie P, Warberg J, Kamegai M and Norsk P (1992) Plasma volume, fluid shifts, and renal responses in humans during 12 h of head-out water immersion. *J Appl Physiol* 73 : 539-544
  - 11) Kame V D Jr. and Pendergast D R (1995) Effects of short term and prolonged immersion on the cardiovascular responses to exercise. *Aviat Space Environ Med* 66 : 20-25
  - 12) 木村真規, 田中さくら, 矢澤 誠, 久我晃広, 寺田佳代, 瀧間久俊, 永田 晟 (1998) 陸上および水中に於ける歩行・走運動時の心拍数と換気応答の変化. *ヒューマンサイエンス リサーチ* 7 : 25-35
  - 13) Kirby R L, Nugent S T, Marlow R W, MacLeod D A and Marble A E (1989) Coupling of cardiac and locomotor rhythms. *J Appl Physiol* 66 : 323-329
  - 14) 木住野孝子, 松田光生 (1997) 短時間の安静水浸が心臓自律神経系活動に及ぼす影響—水温25°C, 30°C および34°C における自然呼吸下での検討—. *臨床スポーツ医学* 14 : 1317-1322
  - 15) Krasney J A (1996) Head-out water immersion : animal studies. In Fregly M J and Blatteis C M *Handbook of Physiology, Sect. 4, Environmental Physiology, Vol. II, Chap. 38, 855-887, Oxford University Press, New York*
  - 16) Miwa C, Sugiyama Y, Mano T, Iwase S and Matsukawa T (1996) Spectral characteristics of heart rate and blood pressure variabilities during head-out water immersion. *Environ Med* 40 : 91-94
  - 17) Nagashima K, Nose H, Yoshida T, Kawabata T, Oda Y, Yorimoto A, Uemura O and Morimoto T (1995) Relationship between atrial natriuretic peptide and plasma volume during graded exercise with water immersion. *J Appl Physiol* 78:217-224
  - 18) Ng A V, Hanson P, Aaron E A, Demment R B, Conviser J M and Nagle F J (1987) Cardiovascular responses to military antishock trouser inflation during standing arm exercise. *J Appl Physiol* 63 : 1224-1229
  - 19) 小野寺昇, 宮地元彦, 木村一彦, 米谷正造, 中村由美子 (1993) 水中トレッドミルを用いた水中歩行運動時の粘性抵抗と水位の変化がエネルギー代謝量へ与える影響. *デサントスポーツ科学* 14 : 100-104
  - 20) Pate R R, Blair S N, Durstine J L, Eddy D O, Hanson P, Painter P, Smith L K and Wolfe L A (1991) Metabolic calculations. In *Guidelines for Exercise Testing and Prescription, 4 th Ed, Appendix D, 285-300, Lea & Febiger, Philadelphia · London*
  - 21) Perini R, Milesi S, Biancardi L, Pendergast D R and Veicsteinas A (1998) Heart rate variability in exercising humans : effect of water immersion. *Eur J Appl Physiol* 77 : 326-332
  - 22) Rowell L B (1983) Cardiovascular adjustments to thermal stress. In Shepherd J T and Abboud F M *Handbook of Physiology, Sect. 2, The Cardiovascular System, Vol. III, Peripheral circulation and organ blood flow, Part 2, Chap. 27, 967-1023, Waverly Press, Maryland*
  - 23) Sheldahl L M, Tristani F E, Connelly T P, Le-

木村真規・鈴木政登・矢澤 誠・村岡 功

vandoski S G, Skelton M M and Cowley A W Jr. (1992) Fluid-regulating hormones during exercise when central blood volume is increased by water immersion. *Am J Physiol* 262 : R779-R785  
24) Sheldahl L M, Wann L S, Clifford P S, Tristani

F E, Wolf L G and Kalbfleisch J H (1984) Effect of central hypervolemia on cardiac performance during exercise. *J Appl Physiol* 57 : 1662-1667  
(平成12年8月30日受付, 11月9日訂正, 12月7日受理)