

# 水中身体活動における心血管血行動態の応答

花輪 啓一\*, 中川 喜直\*, 田野 有一\*  
浅沼 義英\*\*, 藤江 正\*\*\*

## I. はじめに

水中運動としての水泳は全身運動であるため健康の維持・増進のための様々な利点がある。また障害の発生率も他の運動種目に比較して少なく、比較的安全なスポーツであることから性・年齢を問わず親しまれている。しかし、一方では水中という特殊環境下での身体運動という特殊性から水死事故の危険性を有している。

我が国では、毎年、海、河川、用水・堀、湖沼、プールで年間2,000~3,000件の水死事故が発生しているという報告もある。一般に水死事故、特に溺死(death from drowning)は全く泳げない者や泳能力の低い初心者に起きると考えがちである。しかし、実際には泳げる者もしくは泳能力の高い経験豊富な者が、溺れるはずがない水深で多くの事故が発生している。

武藤<sup>1)</sup>は、公営屋内水泳場(50 m 競泳プール:9コース,水深1.2~2.2 m,飛び込み用プール:水深5 m)で、監視員が常時8人配置されている状況下で、過去5年間における水死事故発生状況について調査した結果、年間平均入場者数は、約43万人、年間平均事故発生件数は、122件(発生率0.03%)、そのうち溺水事故は平均108件(事故の89%)であった。溺水事故のうち、競泳プールで発生した件数は103件(溺水事故の95%)と大半を占めている。さらに、50 m プールにおける溺水事故の発生場所の分布では、いずれも水深

---

\* 保健体育, \*\* 保健管理センター, \*\*\* 元保健体育(名誉教授)

1.1~1.5 m の区域ではほとんど発生がみられないが、水深 1.5~2.2 m の区域にその発生が集中している。その発生要因については冷水刺激による反射 (diving reflex) および水の気管内誤吸入による迷走神経 (vagus nerve) (下喉頭神経: inferior laryngeal nerve, 反回神経: recurrent laryngeal nerve) を介しての心臓抑制反射 (cardio-inhibitory reflex) による急激な血圧下降, 心拍数の低下などが推測<sup>2,3,4,5)</sup> されているが, その詳細な機序は未だに明らかではない。以上のことから, 水中環境下での身体活動時の心臓・血管血行動態 (cardiovascular hemodynamics) を解明することは水死事故発生の予防, さらには水中身体活動による安全な健康の維持・増進のために大変有益と考える。

そこで, 本研究では水中身体活動時の心臓・血管血行動態および心理的負担について水泳能力の低い者 (水泳初心者) と水泳能力の高い者 (水泳競技者) の比較検討した。

## II. 実験方法

### A. 被検者

被検者は, プールでの泳能力が 5 m 以内の水泳初心者の健康な男子大学生 5 名を control 群とした。一方, 3 月から 10 月まで週 5 日間, 2 時間以上水泳トレーニングしている健康な男子大学水泳部員 5 名を swimmer 群とした。以上 10 名を対象とした。

### B. 実験方法

#### 1. 実験日および場所

実験は 1990 年 12 月 19 日から同年 12 月 20 日の 2 日間, 小樽市内の公営プール (25 m) にて行った。

#### 2. 温熱条件

実験プール内の乾球温  $30.3 \pm 0.8^{\circ}\text{C}$ , 湿球温  $26.0 \pm 0.4^{\circ}\text{C}$ , 相対湿度  $71.9 \pm 0.3\%$ , 気流  $0.5 \text{ m/sec}$  以下, 水温  $29.5 \pm 0.03^{\circ}\text{C}$  の温熱条件下で行った。

## 3. 測定項目

1) 心拍数 (HR; Heart rate) は, 独自に改良開発した4現象同時無線伝送多用途テレメータ 511 X (日本電気三栄社製) を用い<sup>6)</sup>, 各身体動作中連続的に測定した心電図 ( $V_5$  原波形) の R 棘を1分間数えて心拍数の値とした。

2) 血圧 (Blood pressure) は, Riva-Rocci 型血圧計 (聴診法) を用い, 各身体動作終了直後に収縮期血圧 (SBP; systolic blood pressure) および拡張期血圧 (DBP; diastolic blood pressure) を測定した。

3) 平均血圧 (MBP; mean blood pressure) および Double product の算出は, それぞれ次式より求めた。

$$\text{MBP (mmHg)} = (\text{SBP (mmHg)} - \text{DBP (mmHg)}) / 3 + \text{DBP (mmHg)}$$

$$\text{Double product} = \text{HR (beats} \cdot \text{min}^{-1}) \times \text{SBP (mmHg)} / 10^2$$

4) 体脂肪比率 (%Fat) および徐脂肪体重 (LBM; lean body mass) を次式より求めた。

$$\% \text{Fat} = (4.570/D - 4.142) \times 100$$

$$D = 1.0913 - 0.00116 (\text{上腕背部 (mm)} + \text{肩甲骨下部 (mm)})$$

$$\text{LBM (kg)} = W - (W \times \% \text{Fat} / 100)$$

W; weight (kg)

5) 温冷感 (Thermal sensation) は, Gagge et al.<sup>7)</sup> が作成した scale を

Table 1 Physical characteristics of the subjects.

	Control	Swimmer
n	5	5
Age (yrs)	19.4 ± 0.5	19.8 ± 0.8
Height (cm)	173.0 ± 1.9	170.6 ± 6.1
Weight (kg)	61.1 ± 6.9	64.7 ± 8.0
% Fat (%)	12.4 ± 2.3	12.0 ± 1.8
LBM (kg)	53.5 ± 5.2	56.9 ± 6.1
BSA (m <sup>2</sup> )	1.75 ± 0.09	1.76 ± 0.11

Values are mean ± SD.

LBM; lean body mass, BSA; body surface area.

日本語訳したものを一部改変した温冷感 scale (Table 2) を用い、各身体動作終了直後に申告してもらった。

Table 2 Category scales for thermal sensation.

scale

15.		
14.	暑い	(Hot)
13.		
12.	暖かい	(Warm)
11.		
10.	ぬるい	(Luke warm)
9.		
8.	暑くも寒くもない	(Netural)
7.		
6.	少し寒い	(Slightly cold)
5.		
4.	寒い	(Cold)
3.		
2.	かなり寒い	(Very cold)
1.		

6) 自覚的運動強度 (RPE; rating of perceived exertion) は、Borg<sup>8)</sup> が考案した 15 段階の category scale を小野寺と宮下<sup>9)</sup> が日本語表示に置き換えた RPE 表示 (Table 3) を用い、運動終了直後に申告してもらった。

Table 3 Category scales for rating of perceived exertion (RPE).

scale		
20.		
19.	非常にきつい	(Very very hard)
18.		
17.	かなりきつい	(Very hard)
16.		
15.	きつい	(Hard)
14.		
13.	ややきつい	(Somewhat hard)
12.		
11.	楽である	(Fairly light)
10.		
9.	かなり楽である	(Very light)
8.		
7.	非常に楽である	(Very very light)
6.		

#### 4. 実験手順

実験の手順は、まず水泳用パンツを着用させ、栄研式キャリパーにより皮下脂肪厚を測定した後、ベットに仰臥位休息させ心電図測定のための電極を装着した。

その後、①ベット仰臥位休息5分間、②立位姿勢5分間、③頸部までの浸漬3分間、④全身浸漬1分間、⑤運動（板キック運動）4分間の順に順次実施した（Fig. 1）。運動は各被検者の体力の最大努力で実施してもらった。

得られた全ての数値は、平均値と標準偏差を算出し、平均値の差の検定には student t-test で行った。

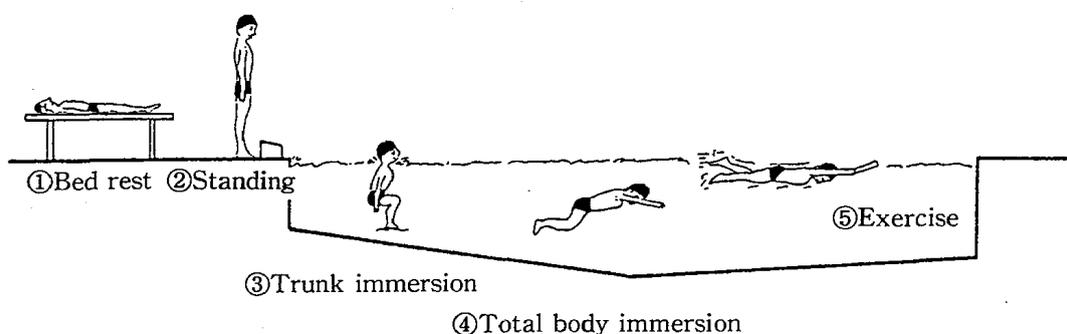


Fig. 1. Schematic of the experimental procedure.

### III. 実験結果

#### A. 被検者の身体特性

被検者の身体特性を Table 1 に示した。control 群では年齢  $19.4 \pm 0.5$  歳，身長  $173.0 \pm 1.9$  cm，体重  $61.1 \pm 6.9$  kg，%Fat  $12.4 \pm 2.3\%$ ，LBM  $53.5 \pm 5.2$  kg，BSA  $1.75 \pm 0.09$  m<sup>2</sup> であった。swimmer 群では年齢  $19.8 \pm 0.8$  歳，身長  $170.6 \pm 6.1$  cm，体重  $64.7 \pm 8.0$  kg，%Fat  $12.0 \pm 1.8\%$ ，LBM  $56.9 \pm 6.1$  kg，BSA  $1.76 \pm 0.11$  m<sup>2</sup> であった。いずれの項目においても control 群と swimmer 群との間には有意な差は認められなかった。

#### B. 非運動時の反応について

##### 1. 心拍数

陸上および水中での各身体動作時の心拍数の変動を Fig. 2 に示した。

心拍数は、仰臥位から立位へ姿勢変換するにともない control 群では  $31.2 \pm 16.7$  beats $\cdot$ min<sup>-1</sup> ( $p < 0.05$ )，swimmer 群では  $13.8 \pm 6.1$  beats $\cdot$ min<sup>-1</sup> ( $p < 0.05$ ) の心拍数の増加がみられ、いずれも有意な増加であった。立位時の心拍数は swimmer 群よりも control 群が有意 ( $p < 0.05$ ) に高かった。陸上から徐々に人体を水中に水没し、頸部までの浸漬した時の心拍数は、control 群では  $22.8 \pm 13.1$  beats $\cdot$ min<sup>-1</sup> の有意 ( $p < 0.05$ ) な低下がみられたが、swimmer 群では著しい低下はみられなかった。さらに、頭部を含めた全身浸

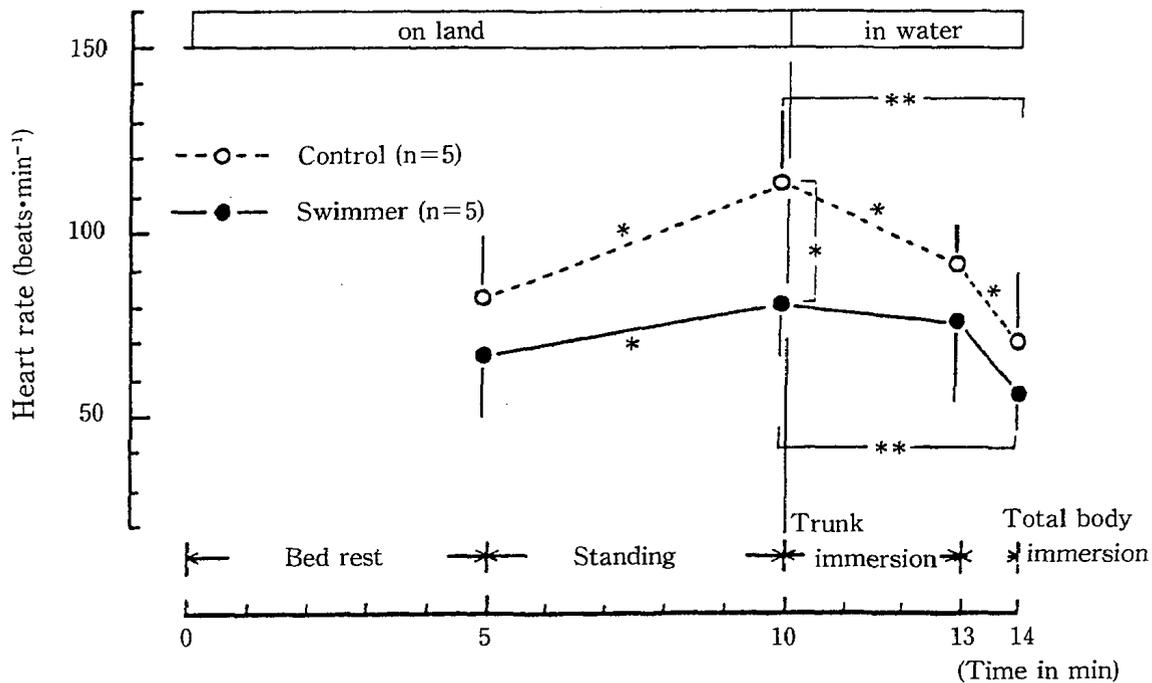


Fig. 2. Changes of heart rate during non exercise.

\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$

漬時の心拍数は、control 群では短時間に  $21.4 \pm 10.6$  beats·min<sup>-1</sup> の心拍数の有意 ( $p < 0.05$ ) な低下がみられた。一方、swimmer 群でも  $20.6 \pm 18.1$  beats·min<sup>-1</sup> の低下がみられたが有意ではなかった。両群とも陸上立位時の心拍数に比べて全身浸漬時の心拍数は有意 (control 群, swimmer 群:  $p < 0.01$ ) に低かった。

## 2. 血 圧

陸上および水中での各身体動作時の収縮期血圧 (SBP), 拡張期血圧 (DBP), 平均血圧 (MBP) の変動を Fig. 3 に示した。

SBP は、陸上において仰臥位から立位へ姿勢変換するにともない control 群, swimmer 群とも類似した変動がみられ、両群には有意な差はみられなかった。しかしながら、水中での身体動作時では control 群において陸上立位時  $118.6 \pm 9.3$  mmHg から頸部までの浸漬時  $137.0 \pm 6.0$  mmHg で有意 ( $p < 0.001$ ) に上昇し、その値は swimmer 群よりも有意 ( $p < 0.001$ ) に高かった。さらに control 群では頭部を含めた全身浸漬時 ( $143.6 \pm 11.8$  mmHg) でも上昇

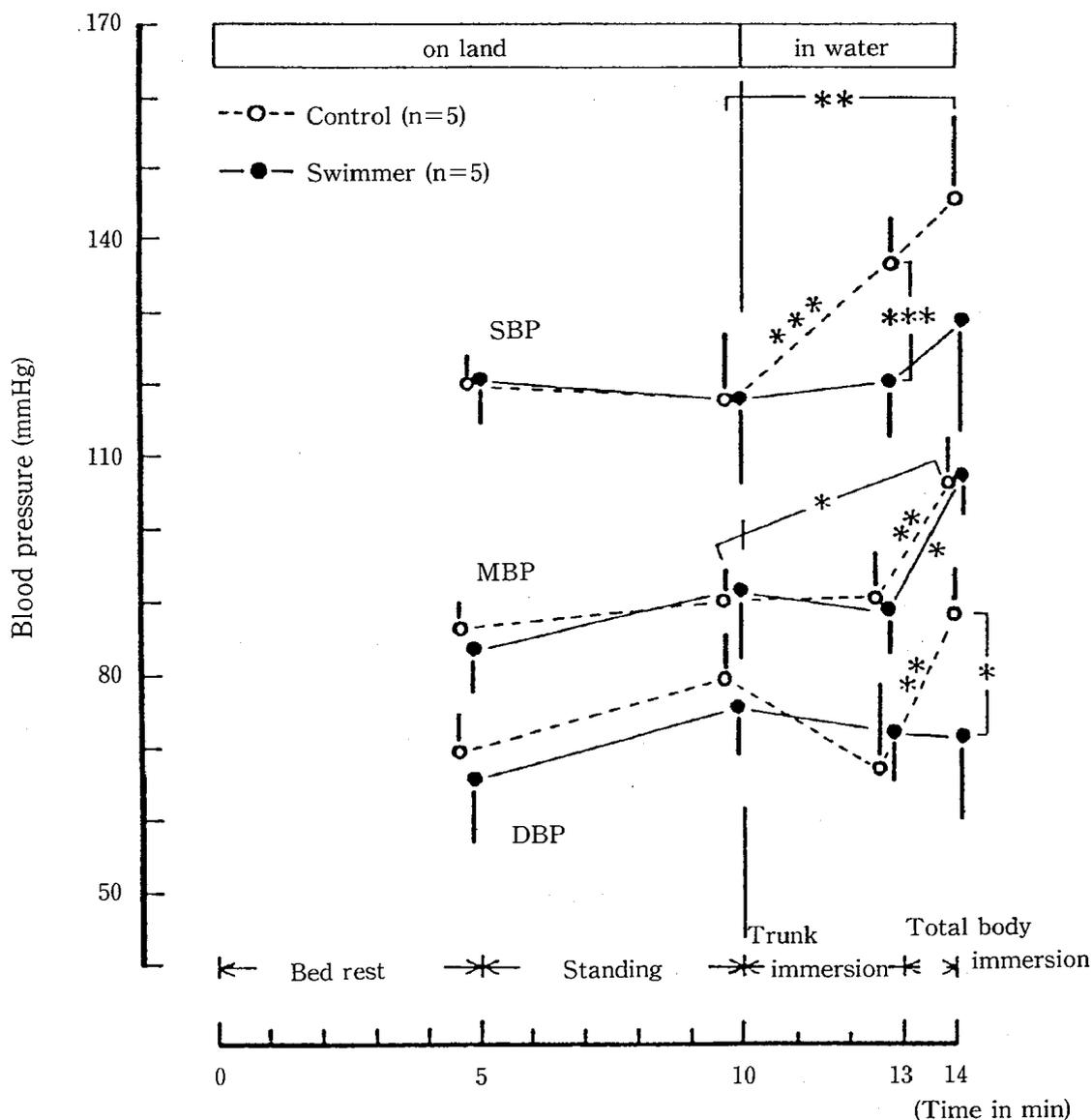


Fig. 3. Changes of systolic blood pressure (SBP), diastolic blood pressure (DBP) and mean blood pressure (MBP) during non exercise.

\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ , \*\*\* $p < 0.001$

する傾向であったが有意な上昇ではなかった。

DBP は、陸上において仰臥位から立位へ姿勢変換するにともない、両群とも平均 9.2~9.8 mmHg の上昇がみられたが有意ではなかった。一方、水中での身体動作時では control 群において頸部までの浸漬時には陸上仰臥位時と同レベル ( $68.4 \pm 11.5$  mmHg) まで低下したが、頭部を含めた全身浸漬時 ( $89.6 \pm 5.5$  mmHg) には急激に有意 ( $p < 0.01$ ) な上昇を示し、swimmer 群よりも有意 ( $p < 0.05$ ) に高かった。しかしながら、swimmer 群では頸部までの浸漬時

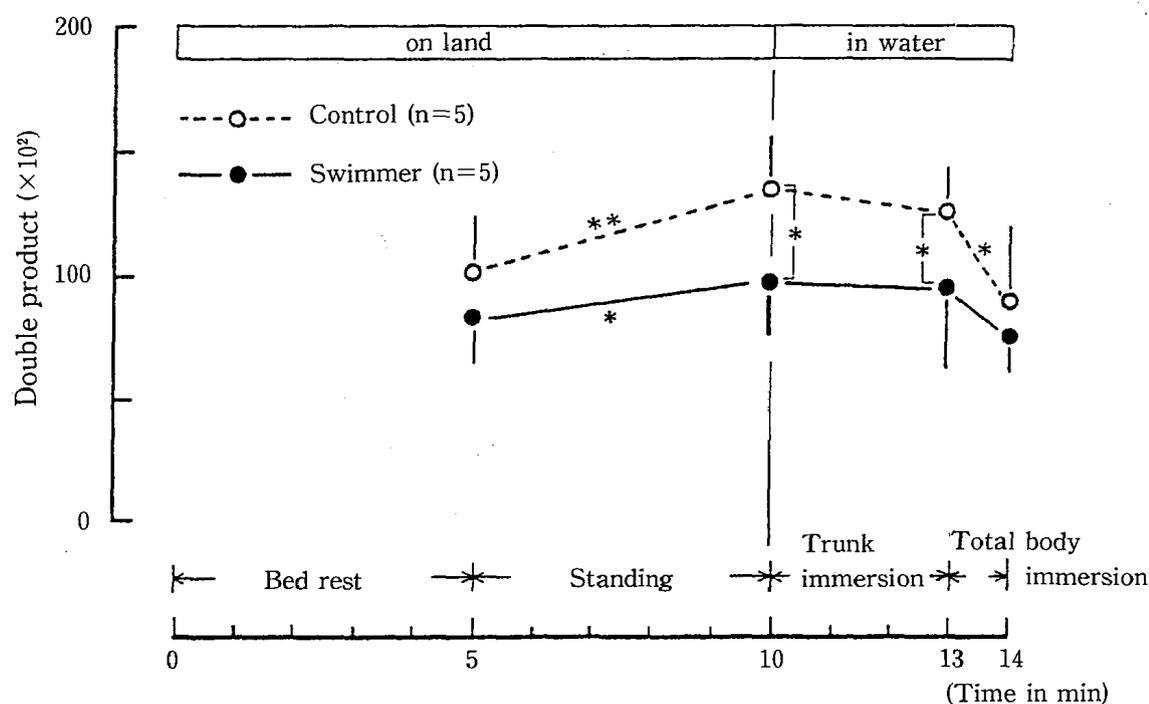


Fig. 4. Changes of double product during non exercise.

\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$

( $73.0 \pm 7.5$  mmHg), 頭部を含めた全身浸漬時 ( $72.2 \pm 12.6$  mmHg) と陸上立位時 ( $76.0 \pm 5.7$  mmHg) に比べて著しい変動はみられなかった。

MBP は、陸上において仰臥位から立位へ姿勢変換するにともない、両群とも上昇 (control 群 ;  $4.4$  mmHg, swimmer 群 ;  $7.8$  mmHg) する傾向がみられたが、頸部までの浸漬時では両群とも陸上立位時と大きな変動はなかった。一方、1分間の頭部を含めた全身浸漬時の値は、control 群では  $91.4 \pm 6.5$  mmHg から  $107.4 \pm 6.3$  mmHg ( $p < 0.01$ ), swimmer 群では  $89.4 \pm 6.1$  mmHg から  $108.6 \pm 6.5$  mmHg ( $p < 0.05$ ) へ、それぞれ短時間に急激に有意な上昇を示した。つまり、顔面を浸漬することにより MBP は短時間に著しい上昇を示すことが確認された。

### 3. Double product

陸上および水中での各身体動作時の double product の変動を Fig. 4 に示した。

double product は、陸上において仰臥位から立位へ姿勢変換するにともな

い, control 群では  $99.9 \pm 21.6 (\times 10^2)$  から  $134.3 \pm 20.2 (\times 10^2)$  ( $p < 0.01$ ), swimmer 群では  $81.3 \pm 17.8 (\times 10^2)$  から  $96.3 \pm 20.8 (\times 10^2)$  ( $p < 0.05$ ) にそれぞれ有意な上昇がみられ, 陸上立位時では swimmer 群に比べて control 群が有意 ( $p < 0.05$ ) に高かった。水中身体動作時では陸上立位から頸部までの浸漬時へ移行するにともない, 両群とも陸上立位時に比べて著しい差はみられなかったが, ここにおいても swimmer 群 ( $94.3 \pm 33.7 (\times 10^2)$ ) に比べて control 群 ( $125.0 \pm 14.9 (\times 10^2)$ ) が有意 ( $p < 0.05$ ) に高かった。ところが, 頸部までの浸漬時から頭部を含めた全身浸漬時へ動作が移行するにともない, 両群 (control 群では  $125.0 \pm 14.9 (\times 10^2)$  から  $89.0 \pm 30.1 (\times 10^2)$ , swimmer 群では  $94.3 \pm 33.7 (\times 10^2)$  から  $73.0 \pm 14.3 (\times 10^2)$ ) とも短時間に急激に陸上仰臥位時の値よりも低下した。特に, control 群では有意 ( $p < 0.05$ ) な低下であったが, 両群の間には有意な差は認められなかった。

#### 4. 温冷感

陸上および水中での各身体動作時の温冷感 (Thermal sensation) の変動を

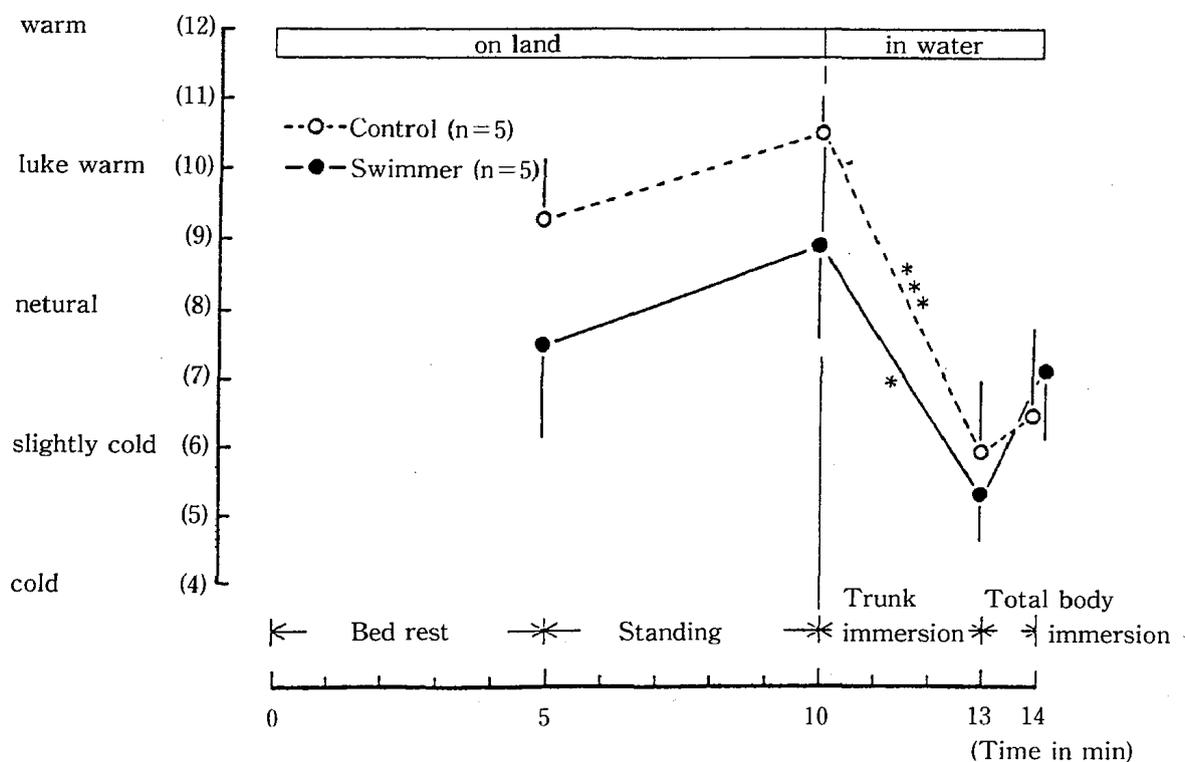


Fig. 5. Changes of thermal sensation during non exercise.

\* $p < 0.05$ , \*\*\* $p < 0.001$

Fig. 5 に示した。

なお、温冷感の変化は暑い方向への変化を上昇、寒い方向への変化を低下とした。

陸上において仰臥位から立位へ姿勢変換するにともなう温冷感の申告は、両群とも若干上昇を示すが大きな変化ではない。水中身体動作時では陸上立位から頸部までの浸漬時へ移行するにともない、両群とも急激な低下がみられ control 群では『ぬるい (luke warm)』から『少し寒い (slightly cold)』 ( $p < 0.001$ )、swimmer 群では『暑くも寒くもない (netural) : 中性』から『少し寒い (slightly cold)』 ( $p < 0.05$ ) へ、それぞれ有意な申告の低下がみられたが、両群の間には著しい差はなかった。さらに、全身浸漬時へ動作が移行するにともない、両群とも申告の上昇する傾向がみられたが、いずれも有意な上昇ではなかった。

### C. 運動時の反応について

身体運動時 (板キック運動) の心拍数、血圧、double product、温冷感、自覚的運動強度 (RPE) について control 群と swimmer 群との比較を Fig.

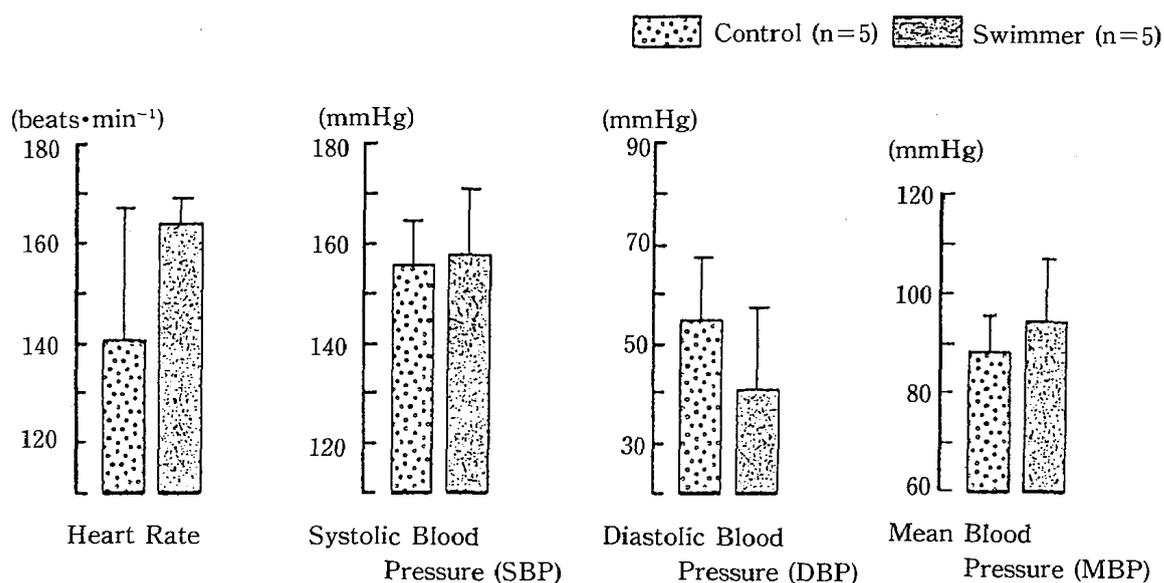


Fig. 6. Changes of heart rate, systolic blood pressure (SBP), diastolic blood pressure (DBP) and mean blood pressure (MBP) during exercise in water.

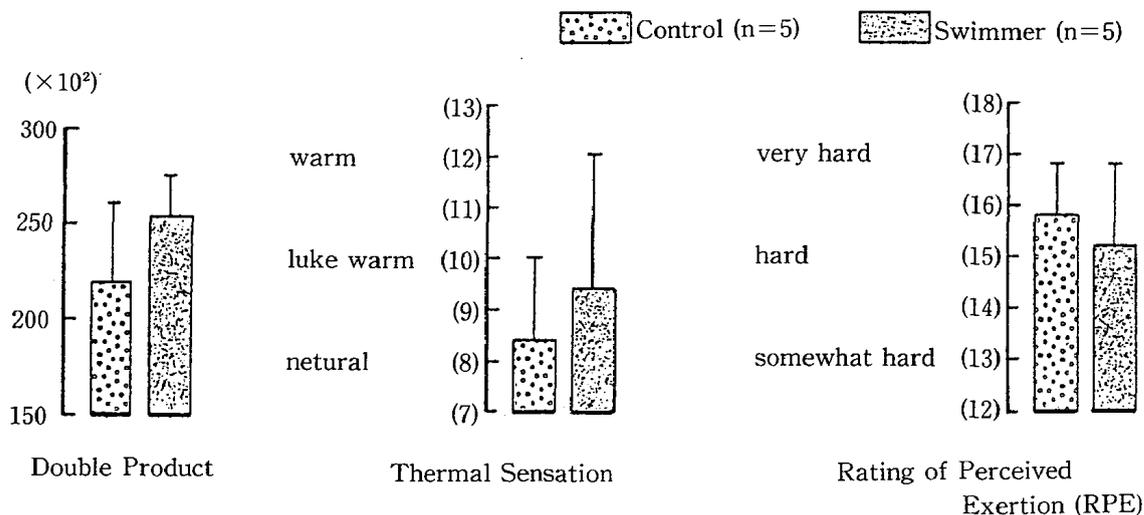


Fig. 7. Changes of double product, thermal sensation and rating of perceived exertion (RPE) during exercise in water.

6, 7 に示した。

心拍数は、control 群では  $140.4 \pm 26.4 \text{ beats} \cdot \text{min}^{-1}$ , swimmer 群では  $163.8 \pm 4.6 \text{ beats} \cdot \text{min}^{-1}$ , control 群は平均  $23.2 \text{ beats} \cdot \text{min}^{-1}$ , swimmer 群よりも低いが無差ではなかった。

SBP は、control 群では  $156.4 \pm 9.0 \text{ mmHg}$ , swimmer 群では  $158.4 \pm 12.9 \text{ mmHg}$  で、両群には著しい差はなかったが、swimmer 群の値は頸部までの浸漬時 ( $p < 0.01$ ) および全身浸漬時 ( $p < 0.05$ ) のそれぞれの値に比べて有意に高かった。一方、DBP は control 群では  $54.8 \pm 12.0 \text{ mmHg}$ , swimmer 群では  $40.8 \pm 16.4 \text{ mmHg}$  で、control 群が swimmer 群よりも平均  $14.0 \text{ mmHg}$  高かったが無差ではなかった。運動時の DBP は全身浸漬時の値に比べて、control 群で平均  $34.8 \text{ mmHg}$  ( $p < 0.01$ ), swimmer 群で平均  $31.4 \text{ mmHg}$  ( $p < 0.05$ ) の著しい低下がみられた。また、MBP では両群の間には著しい差はみられない。しかしながら、control 群では運動時の値は全身浸漬時  $107.4 \pm 6.3 \text{ mmHg}$  から  $88.6 \pm 6.9 \text{ mmHg}$  へ著しい低下 ( $p < 0.05$ ) がみられたが、swimmer 群では  $94.2 \pm 12.8 \text{ mmHg}$  で全身浸漬時  $108.6 \pm 6.5 \text{ mmHg}$  と著しい差はみられなかった。double product は、control 群では  $219.1 \pm 41.3 (\times 10^3)$ , swimmer 群では  $252.3 \pm 22.1 (\times 10^3)$  で、control 群は swimmer 群よりも平均  $33.2 (\times 10^3)$

低かったが、その値は有意な差ではなかった。

温冷感は、両群とも『暑くも寒くもない (netural) : 中性』・『ぬるい (luke warm)』との間の申告であった。control 群は swimmer 群に比べて低く、同一水温下 ( $29.0 \pm 0.03^{\circ}\text{C}$ ) で最大努力の運動でも両群において温度感覚に差がある傾向がみられたが有意な差ではなかった。また、全身浸漬時と比べて、それぞれ control 群では平均 1.4 category, swimmer 群では平均 2.2 category の上昇がみられ、特に swimmer 群で有意 ( $p < 0.05$ ) な上昇であった。

自覚的運動強度の申告は、control 群では  $15.8 \pm 1.1$  category, swimmer 群では  $15.2 \pm 1.5$  category で、『きつい (hard)』よりもやや上昇したところにあり、両群とも自覚的にはほぼ同一レベルの運動強度であったことが確認された。

#### IV. 考 察

温熱環境下における諸研究では、とりわけ対象となる者の体格および組織学的な体脂肪量が大きな影響を及ぼすことが考えられる。もちろん体力の増進・増強にともない温熱順化が向上することも知られている。しかしながら、温熱環境暴露等に関する研究では皮下脂肪量が生体応答に及ぼす影響は無視できない。本研究で対象とした被検者は Table 1 に示したように、体格的(身長, 体重, BSA)にも, 組織学的(%Fat, LBM)にも, control 群と swimmer 群との間には、いずれの項目においても有意な差が認められなかったことから、両群とも同一の皮下脂肪比率をもった集団であると考えられる。

##### 1. 非運動時について

本研究において心拍数は、陸上では仰臥位時から立位時に姿勢変換することにより両群とも明らかに心拍数が増加する。このことは、定期的に水泳トレーニングをしている者としていない者では姿勢変換にともなう心拍数応答には著しい相違がないことが確認されたが、その値には水泳トレーニングによる差が大きい。つまり、同じ仰臥位から立位に姿勢変換に対して、水泳トレーニングをしていない者は心拍数の増加によって一定の血液循環を維持

し、一方、水泳トレーニングをしている者は同じ姿勢変換でも少ない心拍数で血液循環を維持していることになる。このことについて、Reeves et al.<sup>10)</sup>は安静時の仰臥位時と立位時の心拍出量 (cardiac output) を測定した結果、酸素摂取量はいずれの体位でも変わらなかったのに対して、心拍出量は立位時で仰臥位時よりも 30%低下するが、肺動静脈血酸素較差 (pulmonary A-V O<sub>2</sub> difference) では仰臥位時に比べて立位時で 1.43 倍に増大したことを報告している。したがって、水泳トレーニングをしていない者は心臓から駆出される血液量 (cardiac output) が少ないため駆出回数の増加で、水泳トレーニングをしている者では心拍出量が多いため少ない駆出回数で、それぞれ体血液循環を維持していることが推察される。

水温  $29.0 \pm 0.03^{\circ}\text{C}$  の水中での心拍数応答では、足先から徐々に大腿部、腰部の順に頸部まで完全に 5 分間浸漬した時の心拍数は、水泳トレーニングをしていない control 群において明らかに徐脈反応 (bradycardia) が出現することが確認されたが、水泳トレーニングをしている swimmer 群では bradycardia は観察されなかった。また、頭部を含めた全身浸漬時では、両群とも頸部までの浸漬時よりもさらに心拍数が低下する潜水徐脈反応 (diving bradycardia) が観察され、Song et al.<sup>17)</sup>、山地ら<sup>18)</sup> の報告と非常に一致している。しかし、水泳トレーニングをしていない control 群では、その低下の度合いには明らかに水泳トレーニングをしている swimmer 群よりも大きいことがわかった。これらの一連の水中での心拍数の応答について、眞野と芝山<sup>11)</sup>の研究によれば  $24^{\circ}\text{C}$  の水槽で頸部まで水浸させた場合と全身 (頭部まで) の水浸における息こらえ (breath hold diving) では、両条件ともに徐脈現象が出現する。また、水温が  $37^{\circ}\text{C}$ 、 $24^{\circ}\text{C}$ 、 $4^{\circ}\text{C}$  と異なる条件下での息こらえでは、水温  $4^{\circ}\text{C}$  水浸で 20 秒経過した時点で徐脈現象が最大となる。これらのことにより、潜水徐脈はまず息こらえが絶対の条件となり、水圧変化はあまり影響せず、頭部が水浸することで徐脈が出現し、寒冷要因が徐脈の程度を増大させるとしている。しかしながら、本研究では水泳トレーニングをしていない control 群で息こらえおよび頭部を水浸しなくても徐脈現象が出現してい

る。これは、からだを頸部まで水浸することによって頸動脈圧受容体の感受性が水泳トレーニングをしている swimmer 群よりも水泳トレーニングをしていない control 群のほうが鋭敏に応答したものと考えられる。しかしながら、両群とも息こらえおよび頭部水浸により顔面冷感受容体刺激による潜水徐脈反応が起こるが、その反応には大差がなかった。

姿勢変換（仰臥位から立位）にともなう血圧変動では、運動鍛練者ほどその変動が少ないという報告もあるが、今回の研究対象者では陸上においては収縮期血圧（SBP）、拡張期血圧（DBP）および平均血圧（MBP）の変動には両群とも明らかな相違はみられなかった。一方、水中における血圧の報告では、著者が知る限り国内外とも極めて少なく、その実態はよくわかっていないのが現状である。その理由は、水中での血圧測定には水圧、雑音等の障害が多く現在においても水中血圧を測定することは非常に困難であることが挙げられる。そのため本研究では、水中身体動作終了直後に素早く上腕を水面に浮上させて測定する方法をとった。このような測定条件下から間接的に水中身体動作時の血圧変動を評価することにした。その結果、SBP は陸上立位から頸部までの浸漬時、全身浸漬時へと順次身体動作が移行するにともない、control 群では明らかに上昇することが認められた。特に、頸部までの浸漬時では swimmer 群に比べて高い。これは、水圧により静脈還流量(venous return)の増大が、心室内腔圧を上昇させ、それが心筋の伸長を過度にしたため心臓収縮力が増強、つまり、Frank-Starling 機構が働いたものと推察する。さらに、入水することにより血管への物理的圧力（水圧）が急激に動脈圧（頸動脈反射）が上昇させたためであると考えられる。これらの応答は水泳トレーニングをしている swimmer 群よりも水泳トレーニングをしていない control 群に鋭敏に生じたものと考えられる。しかし、swimmer 群では全身浸漬時の SBP の値に個人差がみられる。

今回、非運動時の水中での DBP では、陸上立位から頸部までの浸漬、全身浸漬へと順次身体動作が移行するにともない swimmer 群では大きな変動みられず、ほぼ一定の血圧であった。ところが、control 群では頸部までの浸漬

時で低下する傾向がみられるが、全身浸漬への移行とともに急激に上昇し、swimmer 群よりも高い値を示した。陸上での DBP においては大きな変動がみられないのが一般的である。しかし、極度に激しい運動時では若干低下する程度の変動がみられるにすぎない。今回、水泳トレーニングをしていない control 群で観察された現象は、頸部までの浸漬により末梢血管（毛細血管）抵抗が一時的に低下し、息こらえの状態でも頭部を含めた全身浸漬時には短時間に急激に末梢血管抵抗が増大することを示す。つまり、突然、頭部から潜水することは急激に末梢血管収縮の上昇を招くことが推察される。ところで、心臓の収縮期から拡張期にいたるまでの動脈内圧は刻々と変化している。この一相の動脈内圧の平均値が MBP（平均血圧＝平均動脈圧 mean arterial pressure）である。この MBP では、両群とも息こらえの状態でも頭部を含めた全身浸漬時に有意な上昇がみられたことは、水泳トレーニングをしていない control 群はもちろんのこと、SBP、DBP においてさほど大きな変動がみられていない swimmer 群においても動脈血管内圧の上昇が起きていることが示唆される。

安静時、運動時を問わず心筋の酸素供給量を知ることは、心臓を養っている冠血流の状態を間接的に評価することかできる。一般に、心筋の酸素消費はいくつかの因子によって決定されるが、その中で臨床的に測定がやさしく、かつ重要なものは血圧と心拍数である。これまでに、心筋酸素消費量（myocardial oxygen consumption）の指標として TTI（tension time index）<sup>12)</sup>、Triple Product（三重積）<sup>12)</sup>、Double Product（二重積）<sup>15)</sup> が提唱されている。いずれも実測した心筋酸素消費量とよく相関するが、その中でも double product が最も簡便で、また精度的にも非常に優れているため頻繁に臨床に用いられている<sup>13,14,19,20)</sup>。本研究では、この double product を用いて、各身体活動時の心筋酸素消費量を間接的に評価した結果、陸上では両群とも立位に比べて仰臥位において明らかに低い double product である。これは、仰臥位の方が心容量が大きいためと考えられているが<sup>16)</sup>、両群には差はない。陸上立位時および頸部までの浸漬時とも水泳トレーニングをしていない

control 群は水泳トレーニングをしている swimmer 群よりも明らかに高値を示している。このことは、仰臥位から立位に姿勢変換および頸部までの浸漬することにより心室の DBP が高まり心室が拡張し、さらに収縮期の心室内圧上昇が心筋酸素消費量を結果的に増大しているものと推察される。Sarnoff et al.<sup>12)</sup> によると、心拍出量を一定に保ち、大動脈圧のみを上昇させると心筋酸素消費量はこれと平行して上昇し、大動脈圧 50% の増加に対し、心筋酸素消費量の増加も 50% 増加した。これに対して、大動脈圧を変化させずに心拍出量を 50% 増加させた場合には、心筋酸素消費量の増加は 4% にすぎなかったことを報告している。したがって、水泳トレーニングをしていない control 群は水泳トレーニングをしている swimmer 群に比べて仰臥位から立位に姿勢変換および頸部までの浸漬することにより心拍数を高め、さらに静脈環流血増量による心室内圧および大動脈圧の上昇に対して心拍出量を維持する仕事は、一定の心室内圧および大動脈圧時の心拍出量を維持する仕事をするよりもはるかに多量の酸素を心筋が消費していることを示唆するものである。つまり、水泳トレーニングをしていない control 群は上昇した内圧に対して、一定の体血液循環の維持のために、明らかに心臓に大きな負担がかかっていることを意味する。

しかしながら、頭部を含めた全身浸漬時では、両群とも短時間に急激に double product が低下し、両群の間に差はない。また、その値は陸上仰臥位時よりも低かった。特に、水泳トレーニングをしていない control 群において顕著であった。以上のことは、前述の考察から、水中に全身を埋没することにより心室内圧および大動脈圧が著しく下降することにより心筋酸素消費量が低下していることが考えられる。このことは、血行力学的には無重力状態時の血行動態に非常によく似ている。このような環境下では心臓の収縮要素の内部的および外部的仕事量は極端に減少していることが推察される。また、心筋酸素消費量と冠血流量の間には極めて密接な直線的な関係<sup>16)</sup> がみられることから、double product の低下は冠血流量の低下も意味し、心臓自身への血流の減少が考えられる。心筋の酸素供給を規定する因子としては、冠血流

が最も重要である。心筋のエネルギー産生（心臓の収縮，拡張運動）は好気性代謝に依存している。骨格筋では短時間ならば酸素の供給がされなくても嫌気性代謝によってエネルギーを補給することができるのに対して，心筋は絶えず酸素が供給され続けないとエネルギー産生が止まり，心筋は虚血状態になる。それゆえ，心筋のエネルギー代謝を考えた場合，一定以上の冠血流の維持が重要となる。

一方，この機序について，水中に全身を埋没することにより多量の venous return により心臓拡大（心室，心房内圧の極度の上昇，心容量の増大）の影響が大とする研究者もいる。この点についての詳細は，今後の研究課題である。

温冷感（温熱ストレス）に関する研究は被服学的，建築学的小および気象学的に古くから幅広く行われている。いずれも快適な生活環境の追及を目的とした内容である。一方，生体の生理的測定が不可能に近い現場調査では，温冷感を知ることは間接的に温熱ストレスおよび温熱環境下での生理的現象を推察する上で大変重要である。そこで，本研究では，水中環境下における水泳トレーニングをしていない control 群と水泳トレーニングをしている swimmer 群に対する温冷感の違いを探ることにした。

小川ら<sup>21)</sup>は裸体での中性の温冷感（暑くも寒くもない）は実効温度（感覚温度：effective temperature） $24.0^{\circ}\text{C}$  より少し高いところで得られるとしている。本研究で得られた室内の気温，湿度，気流から求めた実効温度は  $27.2^{\circ}\text{C}$  であった。その時の陸上仰臥位時の温冷感の申告は両群とも大差はなく中性の category にあり，小川ら<sup>21)</sup>，Hardy et al.<sup>22)</sup>，Gagge et al.<sup>7)</sup> の報告と一致している。また，小川ら<sup>21)</sup>，Winslow and Herrington<sup>25)</sup> によれば，温冷感 は平均皮膚温と密接な関係にあり，中性の温冷感 は平均皮膚温  $33.0^{\circ}\text{C}$  を中心して得られるとしている。したがって，両群とも仰臥位の平均皮膚温がおおよそ  $33.0^{\circ}\text{C}$  前後にあったものと推察される。しかし，同じ陸上で，同じ実効温度の環境下でありながら仰臥位から立位に姿勢変換することにより両群とも若干上昇する傾向を示すことは，仰臥位の位置が床からおおよそ  $60\text{ cm}$  の高さ

で行ったため、測定的位置の高低による温度差の影響が考えられる。

水中では熱放散能力が陸上よりも増加し、強制対流伝導によって多量の熱が失われるため実効温度の低下<sup>23,24)</sup>、さらに水中では水圧、血管収縮によって皮膚血流量 (skin blood flow) の減少が平均皮膚温を低下させることが知られている。以上の機構の働きにより両群とも温冷感が低下したと思われる。つまり、比較的暖かい水温 29.5°C の水中に入っても両群とも温熱に対するストレスの変動が大きいことが考えられる。このことは水泳トレーニングしているか否かに関係ないことが本研究から示唆することができる。

## 2. 運動時について

一般に、心拍数は年齢、性、身体鍛練度、精神状態、環境温度等によって大きく影響をうける。これらの要因を充分考慮したうえで、運動強度の指標として心拍数を用いることは大変有益である。陸上での運動中の心拍反応は物理学的負担強度<sup>26)</sup>、心理学的負担度<sup>27)</sup>等と密接に関係がある。また、心臓・血管系の機能との関連性においても非常に密接に関係があることもよく知られている<sup>28,29)</sup>。このことは、運動中の心拍数を知ることにより絶対的仕事量<sup>26)</sup>、精神的負担度<sup>27)</sup>、生理的運動強度(酸素摂取量)<sup>30)</sup>および心血管動態を知り得る手掛かりにもなる。

本研究では、両群とも水中運動(板キック運動)は各被検者の最大能力で行った。その結果、水中運動中の心拍数では水中運動トレーニングをしていない control 群は水中運動トレーニングをしている swimmer 群よりも平均 23.2 beats $\cdot$ min<sup>-1</sup> 低い有意な差ではなかった。運動中の心拍数は、同じ運動量の場合、一般的に非鍛練者ほど心拍数が高く、鍛練者ほど心拍数が低いことが知られているが、今回の研究では非鍛練者が低く、鍛練者が高い傾向がみられる。自覚的運動強度(RPE)では、両群ともほぼ同レベルにあり、著しい差はみられない。つまり、精神的負担度は両群ともほぼ同レベルでありながら、心拍数からみた運動強度は、水中運動トレーニングをしていない control 群において低い傾向にあり、尚かつ固体間に著しく心拍数応答に差がみられる。水中運動トレーニングをしていない control 群の中には、実際に

精神的に緊張および負担が極度に高揚しているのにもかかわらず、身体がそれに対応して充分応答していないこと、さらに、その身体応答には個人差が著しいことが示唆される。

陸上における運動中の血圧は、運動強度が増強するにともない、SBP、MBP は上昇、DBP は若干下降するのが一般的である。今回の水中運動中の血圧では、SBP、DBP、MBP とも両群間には著しい差はみられない。一方、SBP では全身浸漬時の血圧に比べて水中運動トレーニングをしている swimmer 群において著しい上昇がみられるが、水中運動トレーニングをしていない control 群では著明な上昇はみられない。MBP では両群とも全身浸漬時の血圧とほとんど変わらない。しかしながら、DBP では両群とも水中運動中の血圧は非運動時のいずれの身体動作より低く、仰臥位安静時の血圧よりもさらに低かった。以上、水中運動中の血圧は両群とも SBP は上昇、MBP は全身浸漬時と変化なし、DBP は極度に低下することがわかった。この DBP の変動は、高血圧者への薬物療法時によくみられる現象であるが、一般の陸上運動時にはみられない。

水中運動時の心血管血行動態は心臓収縮力は増加し、平均動脈圧は全身浸漬時の圧と変わらなく、末梢性血管反射 (peripheral vascular reflex) により末梢血管抵抗 (peripheral resistance) が低下していることが考えられる。さらに、水中運動時には熱産生に対して深部体温と平均皮膚温の差が小さいため、皮膚血流 (skin blood flow) のわずかな調節によって体熱量が少し増加したレベルで熱平衡が維持される。そのために末梢血管拡張 (peripheral vasodilation) によって皮膚血流量を増加させる機構が働いているもの考えられる。

心筋酸素消費量は、安静時では心拍数と SBP で決定されるが、運動時では心拍数、心筋の収縮性、血圧、1 回拍出量の因子が関与している。とりわけ心拍数の関与が非常に大きい<sup>31)</sup>。水中運動時の心拍数と double product は両群とも非常に一致した変動がみられたことは、Ross et al.<sup>31)</sup> の報告と一致している。double product、つまり、心筋酸素消費量および冠血流量からみた

心臓負担度は、心拍数と同様、精神的負担度が同レベルでありながら心臓への負担は水中運動トレーニングをしていない control 群よりも水中運動トレーニングをしている swimmer 群の方が生理的負荷が高いことが考えられる。その傾向は、温熱ストレスにおいても同様のことが考えられる。

陸上における運動中の温冷感は心拍数、酸素摂取量、平均体温、平均皮膚温、直腸温と密接な関係にあるが、運動中に気流により全身を冷却すると心拍数と直腸温のみに密接な関係がみられるにすぎないことを著者ら<sup>32,33,34)</sup>が報告した。本研究での水中運動時の温冷感が、水中運動トレーニングをしていない control 群よりも水中運動トレーニングをしている swimmer 群で『暑い』方へ上昇していることは、水中運動トレーニングをしている swimmer 群では水中での放熱量よりも運動による産熱量が大きいため、深部体温が上昇し、その上昇の差が意識にのぼる感覚においても両群に差が生じたものとする<sup>35)</sup>。

陸上での運動中の自覚的運動強度 (RPE) は、運動中の心拍数、酸素摂取量と非常に密接な関係にあることはよく知られている。これは精神的負担度の評価はもちろんのこと、生理的に測定が不可能の場合には RPE の申告をもとにその時の負担度を推定することが可能である。一般的に RPE から運動中の心拍数を推定する場合は、RPE の category scale の数値を 10 倍した値とほぼ一致する。本研究では、このことについて水中運動時で検討した結果、水中運動トレーニングをしていない control 群では RPE からおよそ  $158 \pm 11 \text{ beats} \cdot \text{min}^{-1}$  と推定されたが実際には  $140 \pm 26 \text{ beats} \cdot \text{min}^{-1}$  で、平均  $18 \text{ beats} \cdot \text{min}^{-1}$  高く推定される。ところが、水中運動トレーニングをしている swimmer 群では RPE から  $152 \pm 15 \text{ beats} \cdot \text{min}^{-1}$  と推定されたが実際には  $163 \pm 4 \text{ beats} \cdot \text{min}^{-1}$  で、平均  $11 \text{ beats} \cdot \text{min}^{-1}$  低く推定された。このように、RPE の申告から推定した心拍数と実際の心拍数では両群において著しい相違がみられ、RPE から水中運動時の生理的運動強度を間接的に推定する場合には、今後、充分検討する必要がある。

本研究は、平成2年度小樽商科大学教育研究学内特別経費により行われたものである(プロジェクト代表者：藤江 正，元保健体育・名誉教授)。

## V. 参考文献

- 1) 武藤芳照他：屋内プールにおける各種事故の発生状況について。健康づくり事業財団「安全な運動実践のシステムづくりに関する総合研究」, 6-11, 1986.
- 2) 鈴木康夫他：プールでの溺れ, 法医学の实践と研究, 27: 133-138, 1984.
- 3) 鈴木康夫他：背の立つ浅いプールで溺れる原因。指導者のためのスポーツジャーナル, 2-8, 1985.
- 4) Strauss M.S., et al.: The no panic syndromes in underwater diving. *Phys. Sport-med.*, 10: 89-99, 1982.
- 5) 上野正彦：溺死, からだの科学. 34: 31-35, 1970.
- 6) 花輪啓一：水中運動時の標準心電図の測定. 小樽商科大学人文研究, 84: 167-189, 1992.
- 7) Gagge, A.P., et al.: Comfort and thermal sensations and associated physiological responses at various ambient temperatures. *Environ. Res.*, 1: 1-20, 1967.
- 8) Borg, G.: A note on category scale with "ratio properties" for estimating perceived exertion. *Reports from the institute of applied psychology, the University of Stockholm*, No.36, 1973.
- 9) 小野寺孝一, 宮下充正：全身持久性運動における主観的強度と客観的強度の対応性～Rating of perceived exertionの観点から～. *体育学研究*, 12: 191-203, 1973.
- 10) Reeves, J.T., et al.: Cardiac output response to standing and treadmill walking. *J. Appl.Physiol.*, 16: 282-288, 1961.
- 11) 眞野喜洋, 芝山正治：スクーバ(SCUBA)潜水とスポーツ医学. *臨床スポーツ医学*, 2(4): 364-374, 1985.

- 12) Sarnoff, S.J., et al.: Hemodynamic determinants of oxygen consumption of the heart with special reference to the tension-time index. *Am. J. Physiol.*, 192: 148, 1958.
- 13) Katz, L.N. and Feinberg, H.: The relation of cardiac effort to myocardial oxygen consumption and coronary flow. *Circ. Res.*, 6: 656-669, 1958.
- 14) Nelson, R.R., et al.: Hemodynamic predictors of myocardial oxygen consumption during static and dynamic exercise. *Circulation*, 50: 1170-1189, 1974.
- 15) Gobel, F.L., et al.: The rate pressure product as an index of myocardial oxygen consumption during exercise in patients with angina pectoris. *Circulation*, 57: 549-556, 1979.
- 16) Rubio, R., et al.: Regulation of coronary blood flow. *Prog. Cardiovasc. Dis.*, 18: 105, 1975.
- 17) Song, S.H., et al.: Mechanism of apneic bradycardia in man. *J. Appl. Physiol.*, 27: 323-327, 1969.
- 18) 山地啓司他：顔を水につけた時の水温に対する心拍数と息こらえ時間反応。富山大学教育学部紀要, 37 : 13-18, 1985.
- 19) Kitamura, K., et al.: Hemodynamic correlates of myocardial oxygen consumption during upright exercise. *Circulation*, 48: 1173-1182, 1972.
- 20) Jorgensen, C.R., et al.: Effects of propranolol on myocardial oxygen consumption and its hemodynamic correlates during upright exercise. *Circulation*, 49: 1173-1182, 1973.
- 21) 小川庄吉他：至適温度条件の季節差について。公衛院研報, 24 : 221-231, 1975.
- 22) Hardy, J.D., et al.: Basal metabolism and heat loss of young women temperature from 22°C to 35°C. *J. Nutr.*, 21: 383-404, 1941.
- 23) Nadel, E.R., et al.: Energy exchanges of swimming man. *J. Appl.*

- Physiol., 36: 465-471, 1974.
- 24) Witherspoon, J.M.: Heat transfers of human in cold water. *Physiol.*, Paris, 63: 459-462, 1971.
- 25) Winslow, C.E.A. and Herrigton, L.R.: Temperature and human life. Princeton univ. Press. 1949. [北・竹村 (訳) : 温度と人間, 人間と技術社 (1974)]
- 26) Strandell, T.: Heart rate, arterial lacted concentration and oxygen uptake during exercise in old men compared with young men. *Acta Physiol. Scand.*, 60: 197-216, 1954.
- 27) Borg, G. and Linderholm, H.: Perceived exertion and pulse rate during graded exercise in various age groups. *Acta Med. Scand. Suppl.*, 472: 194-206, 1967.
- 28) 北村和夫他 : スポーツ心臓。呼吸と循環, 7 : 880-892, 1959.
- 29) Wirth, A., et al.: Cardiopulmonary adjustment and metabolic response to maximal and submaximal physical exercise of boys and girls at different stages of maturity. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 39: 229-240, 1978.
- 30) Åstrand, P.-O., and Rhyning, I.: A nomogram for calculation of aerobic capacity from pulse rate during submaximal work. *J. Appl. Physiol.*, 7: 218-221, 1954.
- 31) Ross, J.Jr., et al.: Factor regulating the oxygen consumption of the heart. *Williams & Wikins*, 20-31, 1972.
- 32) Hanawa, K.: Some physiological responses by exercise under wind. 2. The relation between the mean skin temperature and thermal sensation. *Int. J. Biometeorolgy*, 25(1): 99, 1981.
- 33) 花輪啓一他 : 有風下運動時の体温と主観的温冷感。日本生気象学会雑誌, 20 (3) : 41, 1983.
- 34) 花輪啓一他 : 有風下運動時の心理・生理的反応。体力科学, 33 (6) : 444,

1984.

- 35) 花輪啓一：運動中の体温変動並びに主観的温冷感に対する気流の影響。  
日本体育大学紀要，14(2)：29-36，1985.