

## 水中運動後の陸上時の筋組織血液動態

### Changes in the intramuscular oxygen hemodynamics at the land after water exercise

須 藤 明 治\*, 角 田 直 也\*\*, 渡 辺 剛\*\*\*

Akiharu SUDO \*, Naoya TSUNODA \*\* and Tsuyoshi WATANABE \*\*\*

#### ABSTRACT

It is known that venous return is increased by water pressure. Next, the amounts of cardiac output increase once, and it knows that heart rates decrease. When human comes out from the pool during water after the water exercise, it expects that the influence of the water pressure is stopped rapidly from these. It is afraid specially to influence the rhythm of elder's blood circulation from gravity's being added to the body more rapidly. Therefore, the purpose of the present study is to observe changes in the intramuscular oxygen hemodynamics at the land after water exercise. After the sensor of a laser tissue blood-oxygen monitor was installed over the right vastus medialis muscle of 12 subjects, tissue oxygen saturation (StO<sub>2</sub>) level, tissue hemoglobin (HbT) level, tissue deoxygenated hemoglobin (HbD) level, and tissue oxygenated hemoglobin (HbO<sub>2</sub>) level were measured. Measurements were made under each of 3 conditions: at the standing in water up to the xiphoid level process positions, during the water exercise of the knee joint extension & flexion (60times/sec), at the land out from the pool during water after the water exercise. An equilibration period was allowed for each subject, and measurements were taken only after heart rate stabilized ( $\pm 1$ ) for 30 sec. The condition of the pool seemed to be the following. As for the mean of the water temperature was at 31.2°C, the mean of the water level of the standing in water up to the xiphoid level process positions was 111.0cm and at 22.0°C as for the mean of temperature of the inside. A result is shown in the following. The HbD of the intramuscular oxygen hemodynamics at the land after the water exercise was significantly lower than that during water exercise or while standing in water up to the xiphoid position ( $p < 0.01$ ). Attention is necessary for the anemia symptom because the influence of the rapid gravity is taken when it leaves a pool after a water exercise.

*Key words; Water pressure, immersion, intramuscular oxygen hemodynamics, anemia symptom*

\* 国士舘大学体育学部 (Faculty of Physical Education, Kokushikan University)

\*\* 国士舘大学体育学部身体運動学教室 (Lab. of Biodynamics and Human Performance, Faculty of Physical Education, Kokushikan University)

\*\*\* 国士舘大学体育学部運動生理学教室 (Lab. of Exercise Physiology, Faculty of Physical Education, Kokushikan University)

## はじめに

水中環境では、ヒトが水の中に体を入れると水圧の影響により、静脈の還流が増大し、1回心拍出量が増加し、心拍数が減少することが知られている<sup>1)</sup>。その静脈帰還流の増大は、圧・伸展受容器により感受され、心房性Na利尿ペプチドの分泌が促進、腎の輸入細動脈からはレニン分泌が抑制、中枢神経系からはバゾプレッシンの分泌が抑制されことになる<sup>2, 3, 10, 11, 16)</sup>。そして、腎臓では循環血漿量の低下を促すため尿量の増加及び尿中Na排泄の増加をもたらす<sup>2, 3, 4, 7, 10, 11, 16)</sup>。特に、レニン分泌の抑制作用は、強力な血管収縮作用を有するアンギオテンシンⅡや副腎皮質からのアルドステロンの分泌を抑制することが知られていることから、水中環境下での血管の状態は弛緩傾向にあるのではないかと考えられる<sup>16)</sup>。一方、陸上で立位姿勢をとると約100mmHgの静水力学的圧差が心臓と下肢との間に生じ、血液が下肢へと貯留する。下肢の静脈に貯留した血液は、静脈還流を阻害することになり、1回拍出量ひいては心拍出量の減少を引き起こし、血圧の低下を招くのではないかと考えられる。その結果、抗重力姿勢に起因する血圧低下への循環調節反応が作用し、動脈内の圧受容器が抑制され、交感神経系が有意となり、交感神経心臓枝及び血管

収縮線維のインパルスが増大し、心拍数が増大して1回拍出量の不足を補い、血管が収縮して末梢血管抵抗が増大し、血圧の上昇(回復)をもたらす。以上のような抗重力姿勢における循環調節能力について、ヒトが水中運動後にプールから出た際に、水圧の影響が無くなり、重力が負荷され、急激な環境変化への対応

が迫られる。そこで、このようなプールから出た直後の高齢者の循環調節反応を観察することは、水中運動を処方する上で今後の重要課題であると思われる。これらのことから、本研究では、水中運動後にプールから出た際の重力の影響を下肢を中心とした筋組織血液動態の観察を行い検討した。

## 1. 方法

被検者は、成人の高齢者12名(61.3±10.0歳)であった。各被検者の身長、体重、皮脂厚の計測を実施した(皮下脂肪計;ハーペンデン, OMEGAWAVE)。体脂肪率は、上腕背部と肩胛骨下部の皮脂厚の合計から長嶺らの式を用いて身体密度を算出し、Brozekの式に当てはめ推定した。被検者には、陸上での直立位(以下、陸上立位)、水中で剣状突起レベルの水位での直立位(以下、水中立位)、水中での1分間の膝関節屈曲・伸展運動(60回/分)の運動直後(以下、水中運動後)と、その後プールからあがり陸上での直立位の安静時(以下、運動後陸上立位)での測定を実施した。測定は、右側大腿の内側広筋に経皮的レーザー組織血液酸素モニター(BOM-L1TR, OMEGAWAVE)のセンサーを取り付け、組織内酸素飽和度(StO<sub>2</sub>)、組織ヘモグロビン量(HbT)、組織脱酸素化ヘモグロビン量(HbD)、

## 測定環境と方法

水温; 31.2℃

深さ; 111.0cm

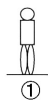
外気温; 22.0℃



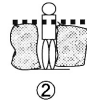
測定筋 ; 内側広筋



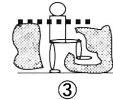
水位 ; 剣状突起



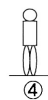
陸上立位



水中立位



運動直後  
水中膝屈曲伸展  
運動(60回/分)



運動後  
陸上立位

組織酸素化ヘモグロビン量 (HbO<sub>2</sub>) を実施した。なお、レーザー組織血液酸素モニターは、送受光間距離30mm一定のセンサーを使用し、内側広筋の筋組織の最も厚い部位の皮膚上に貼付け1秒ごとに測定した。本研究におけるセンサー部位は、外側顆から大転子までの距離を100%とした場合、近位90%の位置であった。そして、パルオキシメーターハンディ100 (木村医科機械株式会社) を左第二指に装着し、心拍数 (HR) を測定開始から終了まで測定した。レーザー組織血液酸素モニターは、同一姿勢において3分間の安静状態において連続的に測定し、各条件における安静値は、30秒間の心拍数の安定 ( $\pm 1$ ) を目安に30秒間の平均値とした。また、パルオキシメーターハンディ100の安静時の測定値は、各姿勢・環境において最も心拍数が低値で安定した時に測定した。尚、各被験者には、十分なインフォームドコンセントを実施し、実験の意義、内容、危険性を十分に説明した上で、実験参加の承諾を得た。結果の処理は、得られた各変数の値は特に記載のない場合を除き、平均値  $\pm$  標準偏差で示した。各変数の2条件間の平均値の差の検定には片側の対応のある t 検定を、また、対応のない2群間の差の検定の場合には対応のない t 検定を用いた。統計処理の結果は危険率5%未満をもって有意とした。尚、プールの環境は、平均の水温は31.2℃、平均室内温度は22.0℃、水中立位時の平均水位は111.0cmであった。

## 2. 結 果

被検者の身体的特徴において、年齢の平均は  $61.3 \pm 10.0$  歳、身長は  $156.7 \pm 9.1$  cm、体重の平均は  $59.5 \pm 10.8$  kg、%Fatの平均は  $24.6 \pm 8.9\%$  であった (Table.1)。

各測定点における心拍数の

平均の変動において、陸上立位が75.3 (拍/分)、水中立位が65.5 (拍/分)、水中運動後が72.4 (拍/分)、運動後陸上立位が69.7 (拍/分) であった。水中立位と水中運動後の比較では、統計上有意に水中運動後が高値を示し、更に、運動後陸上立位が水中運動後より、統計上有意に低値を示した ( $p < 0.01$ ) ( $p < 0.05$ ) (Fig.1)。HbDの変化は、陸上立位が  $8.9 (10^3/\text{mm}^3)$ 、水中立位が  $7.4 (10^3/\text{mm}^3)$ 、水中運動後が  $7.4 (10^3/\text{mm}^3)$ 、運動後陸上立位が  $8.7 (10^3/\text{mm}^3)$  であった。水中立位と水中運動後の比較では、統計上有意な差がなかった。しかし、水中運動後と運動後陸上立位との比較では、統計上有意に運動後陸上立位が高値を示した ( $p < 0.05$ ) (Fig.2)。HbO<sub>2</sub>の変化は、陸上立位が  $11.3 (10^3/\text{mm}^3)$ 、水中立位が  $12.7 (10^3/\text{mm}^3)$ 、水中運

Table.1 Physical characteristics of the subjects

(n=12)	
• Age (years)	61.3 $\pm$ 10.0
• Height (cm)	156.7 $\pm$ 9.1
• Weight (kg)	59.5 $\pm$ 10.8
• %Fat (%)	24.6 $\pm$ 8.9

Values are means and S.D.

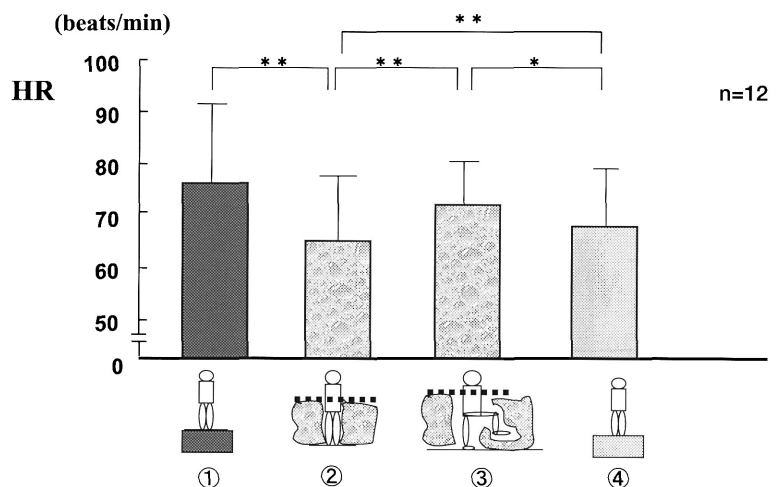


Fig.1 Changes in heart rate levels in various positions

(\*;  $p < 0.05$ , \*\*;  $p < 0.01$ )

動後が $12.8 (10^3/\text{mm}^3)$ 、運動後陸上立位が $12.4 (10^3/\text{mm}^3)$ であった。水中立位と水中運動後の比較では、統計上有意な差がなかった。また、水中運動後と運動後陸上立位との比較でも両者において統計上有意な差はなかった。しかし、陸上立位と水中立位の比較では、統計上有意に水中立位

が高値を示した ( $p<0.05$ ) (Fig.3)。HbTの変化は、陸上立位が $20.2 (10^3/\text{mm}^3)$ 、水中立位が $20.1 (10^3/\text{mm}^3)$ 、水中運動後が $20.2 (10^3/\text{mm}^3)$ 、運動後陸上立位が $21.1 (10^3/\text{mm}^3)$ であった。全ての測定間において統計上有意な差は存在しなかった (Fig.4)。StO<sub>2</sub>の変化は、陸上立位が55.2 (%),

水中立位が63.5 (%), 水中運動後が63.1 (%), 運動後陸上立位が58.9 (%)であった。水中立位と水中運動後の比較では、統計上有意な差がなかった。しかし、陸上立位と水中立位の比較では、統計上有意に水中立位が高値を示した ( $p<0.01$ )。また、水中運動後と運動後陸上立位の比較では、統計上有意に水中運動後が高値を示していた ( $p<0.01$ ) (Fig.5)。

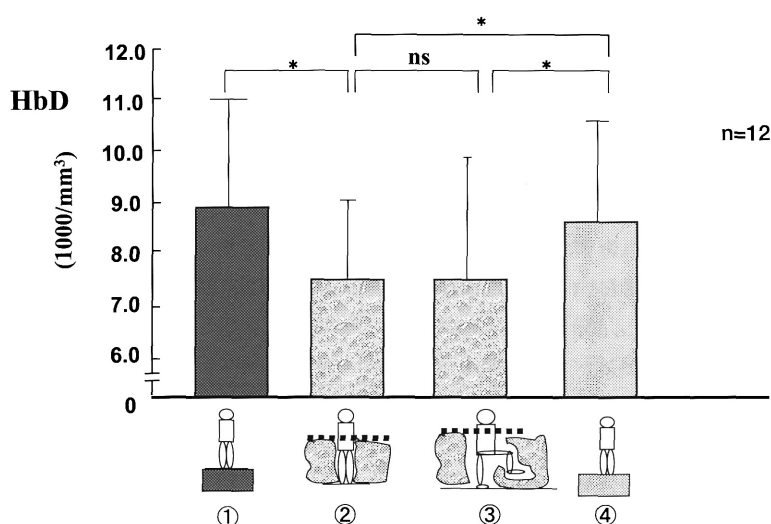


Fig.2 Changes of deoxygenated hemoglobin (HbD) levels in various positions (\*;  $p<0.05$ , \*\*;  $p<0.01$ , ns; not significant)

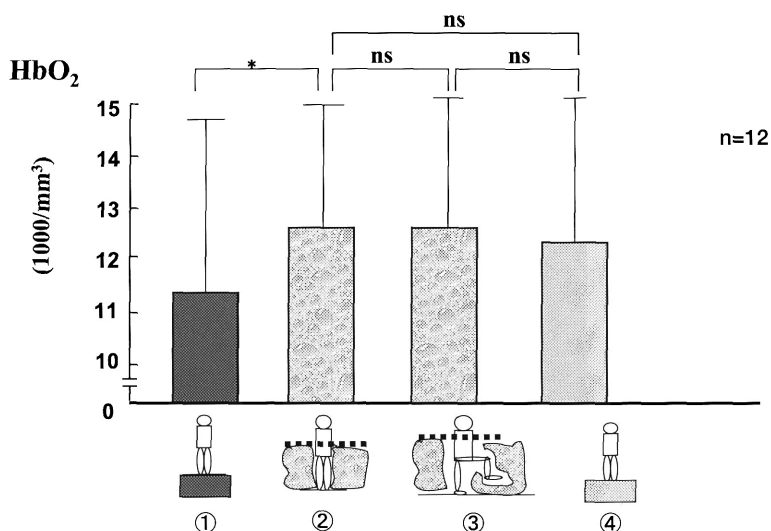


Fig.3 Changes of oxygenated hemoglobin (HbO<sub>2</sub>) levels in various positions (\*;  $p<0.05$ , ns; not significant)

### 3. 考 察

日本には古くから風呂に入る習慣があるが、風呂での事故が近年においても後を絶たない状況である。まずは、更衣室において寒さにより皮膚表面の血管の急激な収縮による血圧上昇による障害、また、湯船の中では、熱い風呂に長時間入水することにより、汗をかくことで脱水状態となる障害、また、血行が促進されることにより血栓などが脳血管系や心臓に達することによる障害などが考えられる。更に、湯船から出た後に、貧血症状により倒れる

例などがある<sup>24)</sup>。特に、ヒトは、陸上で立位姿勢をとると約100mmHgの静水力学的圧差が心臓と下肢との間に生じ、血液が下肢へと貯留する<sup>1)</sup>。下肢の静脈に貯留した血液は、静脈還流を阻害することになり、1回拍出量ひいては心拍出量の減少を引き起こし、血圧の低下を招く。血圧が一定レベルより低下すると十分な脳血流量を確保することができなくなるため、抗重力姿勢に起因する

血圧低下への循環調節反応が作用することになる<sup>1, 12)</sup>。血圧は、心拍出量（1回拍出量×心拍数）と末梢血管抵抗により決定される。抗重力姿勢によって血圧が低下すると動脈内の圧受容器が抑制され、交感神経系が有意となり、交感神経心臓枝及び血管収縮線維のインパルスが増大し、心拍数が増大して1回拍出量の不足を補い、血管が収縮して末梢血管抵抗が増大し、血圧の上昇（回復）

をもたらす。このような抗重力姿勢における循環調節能力は、陸で生活する人間に備わった適応能力であり、重要な血圧調節機構であると考えられる<sup>1)</sup>。しかし、年をとると共に大動脈の弾力性（コンプライアンス）も衰え、このような環境の違いにすぐに対応できないことが予想される。特に、我々は、水中立位での血圧測定を過去に行い、拡張期血圧が陸上から水中に入っても、陸上で立位から横臥位に体勢を変えても変化を示さない者を観察している<sup>22)</sup>。このような被検者では、水中運動後にプールから出た場合、静脈の還流減少に伴った適応が必ずしもスムーズに行われないのではないかと考えられる。そこで、本研究では、水中運動後にプールから出た後の下肢の筋肉組織の血液動態を観察することにより、その機序を検討してみた。

また、近赤外線分析技術の発達により、血流量およ

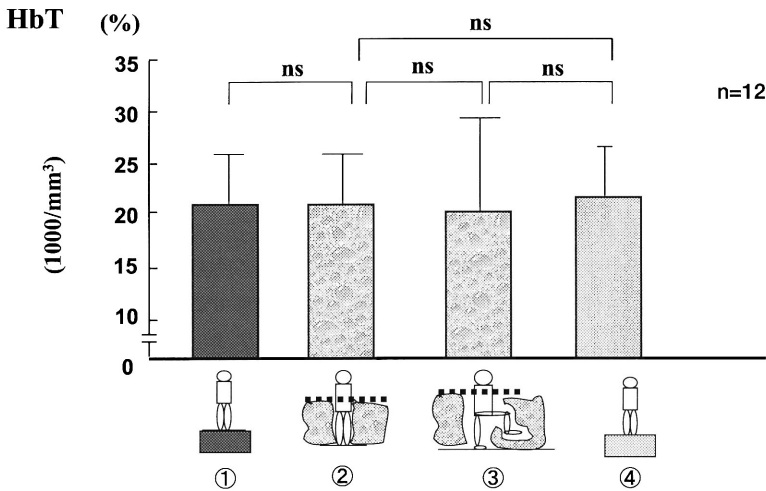


Fig.4 Changes of total hemoglobin (HbT) levels in various positions (\*;  $p < 0.05$ , \*\*;  $p < 0.01$ , ns; not significant)

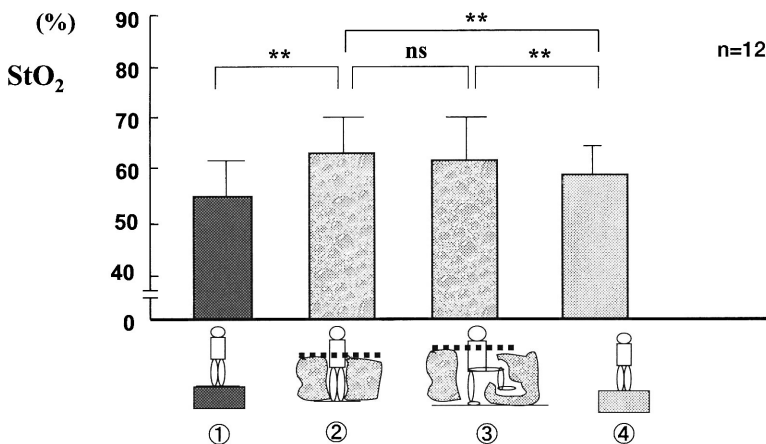


Fig.5 Changes of tissue oxygen saturation (StO₂) levels in various positions (\*;  $p < 0.05$ , \*\*;  $p < 0.01$ , ns; not significant)

び動静脈酸素較差の連続的な測定が可能となり、特に、ヘモグロビンの酸素-脱酸素化状態の変化に関する非侵襲的な測定技術が確立され、いくつかの実験の結果から安定した数値が得られるようになってきた<sup>8, 9)</sup>。特に、本研究におけるレーザー組織血液酸素モニターから得られたHbDの値は筋組織の静脈血流量を、HbO<sub>2</sub>の値は筋組織の酸素消費量を表す指標とされている<sup>18, 20)</sup>。そして、HbDとHbO<sub>2</sub>をたしたものがHbTとして表され、センサー部位の筋組織の血流量を表す指標とされている。StO<sub>2</sub>は、HbO<sub>2</sub>/HbTで算出され、筋の組織の酸素飽和の状態を表す指数とされている。

また、これまで、ヒトを浸水させた場合、各被検者の身長を考慮せずに水位を一定にしたり、各被検者の浸水に及ぼす個々の生理反応時間の違いではなく、測定時期を一定にする傾向が見られ、心拍数や血圧値の変動について統一した結果が少なかった<sup>5, 6, 13, 14)</sup>。そこで、本研究では、各条件における安静値のデータの読み取りを30秒間の心拍数の安定(±1)を目安に行った。

膝伸展・屈曲における水中運動は、水中立位時を安静時とすると%HRreserveでは12%、%HRmaxでは、46%程度の運動負荷であった。本研究の水中運動の負荷では、HbO<sub>2</sub>に大きな影響を及ぼさない程度の運動負荷であることが分かった。また、水中立位と水中運動後で有意な差がなかったことから、静脈帰還流もまた、本研究における水中運動負荷では大きな変化を示さなかったものと考えられる。心拍数は、水中安静時の水中立位と比べ約7拍程度の増加であり、特に筋組織血液動態に大きな変化を及ぼさない程度の水中運動であった。今後、水中運動の負荷に応じた実験が必要であると考えられる。

これらの結果より、本研究における水中運動の負荷では、筋組織の酸素消費には影響がなく、HbTの変動は、HbO<sub>2</sub>の有意な変動がなかったため、HbDの変動を反映している結果となっていた。そして、StO<sub>2</sub>の変動は、HbO<sub>2</sub>に有意な差はなく、HbTにおいても有意な差がなかったことから、水

中立位と水中運動後では有意な差がなかったと考えられた。また、水中運動後と運動後陸上立位の比較では、HbDが陸上立位の値にほぼ戻っていることが確認された。このことから、水中運動を行いプールから出た後に、静脈が重力によって下肢に流れていることが示唆され、その程度は入水する前の陸上立位時と同程度であった。以前、我々は、水中立位時と陸上座位での血圧の変化を検討しているが、水中立位では有意に血圧は低下することが観察されている。特に、水中立位は心拍数の減少と収縮期血圧及び拡張期血圧の有意な低下が確認される。そして、その時の下肢筋群における組織血液動態の変動では、筋組織の静脈血流量を反映しているHbDの減少が確認され、心拍の変動は、浸水部にかかる水圧の影響の変化により、下肢のHbDが減少した分だけ、胸郭への静脈の帰還流が増大し、それが心拍出量を増加させた結果、末梢血管の拡張や抗重力筋群の弛緩などにより心拍数が減少したのではないかと考えている。また、水中立位の血圧は、陸上座位よりも低値を示したことから、その水圧の程度が下肢の血管にかかる壁内外圧差の負担を軽減し、静脈の帰還流の増加をもたらした結果、腎周辺の血流量が増加し、レニン分泌の抑制及び強力な血管収縮作用を有するアンギオテンシンⅡや副腎皮質からのアルドステロンの分泌を抑制したことにより、血管が拡張傾向に至り、その作用によって血管の末梢抵抗が減少した結果、血圧が低値を示したのではないかと推察された<sup>1, 2, 3, 4, 7, 10, 11, 12, 16)</sup>。更に、血圧においても浮力による抗重力筋群の弛緩も影響があったと思われる。特に、収縮期血圧は心拍出量と大動脈の弾力性(コンプライアンス)に、拡張期血圧は主に末梢の血管抵抗によって左右されることから<sup>16)</sup>、急激な重力の負荷は、静脈を下肢へと貯留させ、末梢血管抵抗をあげ、更に、その反応にすばやく反応できない場合は、貧血などの症状が起こるのではないかと考えられる。本研究では、特に下肢部のHbDの増加が認められたことから水中運動後にプールから出た後の貧血症状を起こす要因

を確認することができた。特に、高齢者においては、プールから出る際に下肢への静脈血液の貯留に対する注意が必要であることが示唆された。

#### 4. まとめ

水中環境では、ヒトが水中に入ると水圧の影響により、静脈の還流が増大し、1回心拍出量が増加し、心拍数が減少することが知られている。これらのことから、ヒトが水中運動後にプールから出た際に、水圧の影響が急激に無くなること、重力が負荷されることから、特に高齢者の循環調節反応を観察することは、今後の重要課題であると思われる。そこで、我々は、高齢者12名(61.3±10.0歳)に対し、胸水位の立位・安静時と膝関節屈曲・伸展運動(60回/sec)の運動時と、その後プールからあがり陸上での立位・安静時の比較を行った。測定は、経皮的レーザー組織血液酸素モニターを用いて、右側大腿内側広筋にセンサーを取り付け、組織内酸素飽和度( $\text{StO}_2$ )と組織ヘモグロビン量(HbT)、組織脱酸素化ヘモグロビン量(HbD)、組織酸素化ヘモグロビン量( $\text{HbO}_2$ )を測定した。プールの環境は、平均水温; 31.2℃, 平均室内温度; 22.0℃, 水中胸位の平均水位; 111.0cmであった。その結果を以下に示す。

1. 心拍数の平均値の変動において、陸上立位が75.3 (拍/分)、水中立位が65.5 (拍/分)、水中運動後が72.4 (拍/分)、運動後陸上立位が69.7 (拍/分)であった。本研究における水中運動の負荷は、%HRreserveでは12%、%HRmaxでは46%程度の運動負荷であった。
2. HbDの変化は、陸上立位が $8.9 (10^3/\text{mm}^3)$ 、水中立位が $7.4 (10^3/\text{mm}^3)$ 、水中運動後が $7.4 (10^3/\text{mm}^3)$ 、運動後陸上立位が $8.7 (10^3/\text{mm}^3)$ であった。水中運動後と運動後陸上立位との比較では、統計上有意に運動後陸上立位が高値を示した ( $p<0.05$ )。
3.  $\text{HbO}_2$ の変化は、陸上立位が $11.3 (10^3/\text{mm}^3)$ 、水中立位が $12.7 (10^3/\text{mm}^3)$ 、水中運動後が $12.8 (10^3/\text{mm}^3)$ 、運動後陸上立位が $12.4 (10^3/\text{mm}^3)$ であった。陸上立位と水中立位の比較では、統計上有意に水中立位が高値を示した ( $p<0.05$ )。
4. HbTの変化は、陸上立位が $20.2 (10^3/\text{mm}^3)$ 、水中立位が $20.1 (10^3/\text{mm}^3)$ 、水中運動後が $20.2 (10^3/\text{mm}^3)$ 、運動後陸上立位が $21.1 (10^3/\text{mm}^3)$ であった。全ての測定間において統計上有意な差はなかった。
5.  $\text{StO}_2$ の変化は、陸上立位が55.2 (%), 水中立位が63.5 (%), 水中運動後が63.1 (%), 運動後陸上立位が58.9 (%)であった。陸上立位と水中立位の比較では、統計上有意に水中立位が高値を示した ( $p<0.01$ )。また、水中運動後と運動後陸上立位の比較では、統計上有意に水中運動後が高値を示していた ( $p<0.01$ )。

以上の結果から、組織脱酸素化ヘモグロビン量(HbD)において、水中立位に比べ運動後陸上立位は、有意に高値を示すことが確認された。つまり、本研究において、水中運動後にプールから出た際に、心拍数は安静値となっていて、血液が下肢へと貯留している傾向があると考えられ、貧血などの症状が起きうる可能性があることが示唆された。特に、高齢者や大動脈の弾力性が劣る方々では、プールから出るなどの急激な重力の負荷は、静脈を下肢へと貯留させ、末梢血管抵抗をあげ、更に、その変化にすばやく反応できない場合は、最悪の場合、貧血などの症状が起こるのではないかと考えられた。熱い湯に入ったときや水中運動の負荷などにより、体温の上昇も異なることから、今後どのような適応反応が個々人の症状によって引き起こるのか検討したいと思う。

## 謝 辞

稿を終えるにあたり、被検者の確保及び実験準備に御協力していただいた菊野病院の諸先生方に感謝いたします。そして、実験を補助していただいた（株）オメガウェーブの後藤田芳宏様、（有）アプライドオフィスの赤崎房生様に感謝いたします。本研究は、国土館大学体育学部附属体育研究所の2005年度研究助成によって実施した。

## 引用・参考文献

- 1) 赤滝久美, 三田勝巳, 伊藤普彦, 鈴木伸治; 下半身陰圧負荷法による循環調節機能の評価, 応用電子と生体工学, 30.1, 14-21, (1992)
- 2) Anderson, J. V., Millar, N. D., O'hare, J. P., Mackenzie, J. C., Corral, R. J. M. and Bloom, S. R.; Atrial natriuretic peptide: Physiological release associate with natruirensis during water immersion in man, Clin. Sci, 71, 319-322, (1986)
- 3) Arborelius, M. JR., Ballding, U.I., Lilja, B. and Lundgren, C.E.G.; Hemodynamic changes in man during immersion with the head above water, Aerospace Med, 43, (6), 592-598, (1972)
- 4) Cohen, R., Bell, W.H., Saltzman, H.A. and Kylstra, J.A.; Alveolar arterial oxygen pressure difference in man immersed up to the neck in water, J. Appl. Physiol, 30, 720-723, (1971)
- 5) 藤本繁夫, 田中繁広, 宮本忠吉, 大島秀武, 栗原直嗣; 心拍数と血圧に及ぼす水圧の影響, デサントスポーツ科学, Vol.17, 34-40, (1996)
- 6) 藤沢宏幸, 上村浩信, 阿岸祐幸; 水浸が等尺性運動時の血圧, 心拍応答及び左室機能におよぼす影響, 第48回日本体力医学会号, 体力科学, 42, 6, 795, (1993)
- 7) Hong, S. K., Ceretelli, P., Cruz, J.C. and Rahn, H.; Mechanics of respiration during submersion in water, J. Appl. Physiol, 27, (4), 535-538, (1969)
- 8) 本間幸子, 福岡義之, 藤井宣晴, 江田英雄, 池上晴夫; 近赤外分光法を用いた筋活動の循環動態の評価—自転車運動時の大腿活動筋について—, 体力科学, 41, 586-594, (1992)
- 9) 本間俊行, 本間幸子, 加賀谷淳子; 膝伸展運動時にみられる協働筋間での酸素供給・消費バランスの相違, 体力科学, 47, 525-534, (1998)
- 10) Krishna. G. G., Danovitch, G. M. and Sowers, J. R.; Catecholamine responses to central volume expansion produced by head-out water immersion and saline infusion., J. Clin. Endocrinol. Metab, 56, 998-1002, (1983)
- 11) Larsen, A. S., Johansen, L.B., Stadeager, C., Warberg, J., Christensen, N. J. and Norsk, P.; Volume-homeostatic mechanisms in humans during graded water immersion, J. Appl. Physiol, 77, 2832-2839, (1994)
- 12) L., B. Rowell: Human circulation-regulation during physical stress-, Oxford University press, New York, 137-173, (1986)
- 13) 小野寺昇, 宮地元彦, 矢野博己; 血圧からみた高齢者の水中運動プログラムの安全性と妥当性, デサントスポーツ科学, Vol.17, 53-61, (1996)
- 14) 小野寺昇; 水中運動と健康増進, 体育の科学, 50, 510-516, (2000)
- 15) 須藤明治, 赤嶺卓哉, 田口信教, 酒匂 崇; 腰痛に対し水中運動療法の及ぼす効果—一般腰痛者とスポーツ選手腰痛者における調査より—, 体力科学, 41, 386-392, (1992)
- 16) 須藤明治; 水中運動処方 I, 文化書房博文社, 25-51, (1999)
- 17) 須藤明治, 角田直也, 八木良訓; 高齢の腰痛患者に対する水中運動の効果, 柔道整復・接骨医学, 9, 13-18, (2000)
- 18) 須藤明治, 角田直也, 田口信教; 水中環境下での脚筋力トレーニングは筋血流制限下のトレーニングと言えるのか, デサントスポーツ科学, 22, 193-203, (2001)
- 19) 須藤明治, 角田直也, 井尻成幸, 八木良訓; 高齢・低筋力者における水中運動の効果, 国土館大学体育研究所, 21, 65-73, (2003)
- 20) 須藤明治, 角田直也, 高里久三, 平良朝幸, 大道敦, 山木良訓; 久米島海洋深層水を用いた浸水時の筋・循環動態に及ぼす影響, 海洋深層水研究, Vol.4, No.1, 11-18, (2003)
- 21) 須藤明治, 角田直也, 田口信教, 小宮節朗, 井尻成幸; 高血圧者における水中浸漬時の水圧が筋組織血液動態に及ぼす影響について, デサントスポーツ科学, 25, 94-102, (2004)
- 22) 須藤明治, 赤崎房生, 八木良訓, 井尻幸成, 小宮節朗, 角田直也, 渡辺剛; 浸水時の血圧に及ぼす水圧の影響, 国土館大学体育研究所, 22, 51-58, (2004)
- 23) 須藤明治, 宇佐美彰朗, 角田直也, 渡辺 剛; 生活習慣病を有する高齢者の運動効果—水中運動と陸上運動の検討—, 国土館大学体育研究所, 23, 51-58, (2005)
- 24) 須藤明治; アクア・メディカル・サイエンス, 環境工学社, (2005)