

浸水時の血圧に及ぼす水圧の影響

Effects of the water pressure for the blood pressure in water immersion

須藤 明治*, 赤崎 房生**, 八木 良訓***, 井尻 幸成****,
小宮 節郎****, 角田 直也***** and 渡辺 剛*****

Akiharu SUDO *, Fusao AKASAKI **, Yoshinori YAGI ***, Kousei IJIRI ****
Setsuro KOMIYA *****, Naoya TSUNODA ***** and Tsuyoshi WATANABE *****

ABSTRACT

It is known that venous return is increased by water pressure, and water pressure is increased by +7.6 mmHg per 10 cm of depth. Recent reports show that regular underwater exercise decreases blood pressure. However, no report has appeared concerning changes induced in blood pressure or venous kinetics in the relevant muscle when hypertension patients in water immersion. Therefore, the purpose of the present study is to observe changes in the blood pressure and the intramuscular oxygen hemodynamics in water immersion. After the sensor of a laser tissue blood-oxygen monitor was installed over the right vastus medialis muscle of 20 subjects, tissue oxygen saturation (StO₂) level, tissue hemoglobin (HbT) level, tissue deoxygenated hemoglobin (HbD) level, and tissue oxygenated hemoglobin (HbO₂) level were measured. Measurements were made under each of 2 conditions: sitting on the ground, standing in water up to the xiphoid level process positions. An equilibration period was allowed for each subject, and measurements were taken only after heart rate stabilized (± 1) for 30 sec. In both normal group and with hypertension group, the heart rate while standing in water up to the xiphoid position was significantly lower than that sitting on the ground ($p < 0.01$). Blood pressure while standing in water up to the xiphoid position of hypertension group (SBP; 133.7 ± 17.3 / DBP; 71.5 ± 10.6 mmHg) was significantly lower than that sitting on the ground (152.2 ± 16.1 / 88.4 ± 11.0 mmHg) ($p < 0.01$). The HbD in the vastus medialis muscle at right might reflect the variation in venous return with water pressure. The StO₂ level can be calculated from the ratio of tissue oxygenated hemoglobin level / tissue hemoglobin level. The StO₂ level appeared to increase due to the decrease the HbD in femoral blood hemodynamics because the changes in water pressure increased the venous return. Decreased heart rate increases the cardiac stroke volume due to increased the venous return, suggesting that both normal group and hypertension group also show the same reactions.

Key words; Water pressure, blood pressure, immersion, intramuscular oxygen hemodynamics, hypertension

* 国士館大学体育学部 (Faculty of Physical Education, Kokushikan University)

** 有限会社アプライドオフィス (APPLIED Office INC.)

*** 株式会社ミックプランニング (MIK Planning INC.)

**** 鹿児島大学医学部整形外科教室 (Department of Orthopedic Surgery Faculty of Medicine, Kagoshima University)

***** 国士館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)

***** 国士館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

浮力の作用として、筋と関節への荷重負荷が軽減され、それに伴って疼痛も和らぎ、低負荷環境のトレーニングで関節を動かすことにより関節可動域の拡大が期待できることが知られている^{15, 16)}。また、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¹¹⁾。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シンの分泌が抑制されることが知られている^{2, 3, 10, 11, 16)}。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ことも明らかにされている^{2, 3, 4, 7, 10, 11, 16)}。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ジオテンシン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¹⁶⁾。これらのことから、水中では血管が拡張傾向にあるのではないかと考えられるが、温度や水位などの環境の違いや、個人差、特に年齢などの影響が左右され、浸漬時の血圧値においてはさまざまな報告がなされている^{5, 6, 13)}。しかし、浸漬時の心拍数の減少においては、水温30~36℃の領域に一致した見解を得ている^{6, 14, 16, 18)}。また、著者らによりレーザー組織血液酸素モニターを用いて、健常・若年者を対象とした剣状突起水位・直立姿勢での大腿部の筋組織血液動態の観察を行い、水圧の影響によりHbDの減少程度が陸上背臥位と類似していることが確認されている¹⁸⁾。これらのことから、本研究では、浸水時の個人差の反応を考慮するため心拍変動を観察し、浸水時の最低値を30秒間記録した時の血圧及び筋組織血液動態を観察し、血圧に及ぼす水圧の影響を検討した。

1. 方法

被検者は、男性14名・女性6名(16歳~77歳)の計20名であった。そして、各被検者の陸上での安静座位時の血圧値より、高血圧群(収縮期血圧; 140mmHg \geq and or 拡張期血圧; 90mmHg \geq)と正常群(収縮期血圧; 140mmHg<and 拡張期血圧; 90mmHg<)に分けて各値を検討した。高血圧群は、男性8名・女性1名の計9名、正常群は、男性6名・女性5名の計11名が該当した。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。そして、水温は、32~34℃であり、水位は、各被検者の身長差を考慮し、剣状突起レベルの水位に設定した。

被検者には、陸上での椅座位(以下、陸上座位)、水中で剣状突起レベルの水位での直立位(以下、水中立位)、2つの条件における安静時の測定を行った。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(StO₂)、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(HbO₂)を測定した。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。更に、陸上座位及び水中立位での血圧値の測定も実施した。特に、血圧の測定位置は、陸上座位、水中立位において心臓の位置に調節した(HEM-609; OMRON)。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(±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の測定値及び血圧値は、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±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。

2. 結 果

被検者の身体的特徴において、高血圧群の平均年齢は54.2±17.5歳、正常群のそれは30.2±15.6歳であり、統計上有意な差が存在した(p<0.01)。しかし、身長、体重、%Fatにおいては、両群間に有意な差はなかった(Table. 1)。

心拍数の変動において、正常群の陸上座位は74.5±12.4(拍/分)、水中立位65.1±6.7(拍/分)であり、統計上有意に水中立位が低値を示した

(p<0.01)。また、血圧の変動において、正常群の陸上座位の収縮期血圧は126.6±10.1(mmHg)、拡張期血圧は79.0±7.2(mmHg)、水中立位の収縮期血圧は114.2±7.7(mmHg)、拡張期血圧は65.1±8.4(mmHg)であり、収縮期血圧及び拡張期血圧ともに統計上有意に水中立位が低値を示した(p<0.01)(Table. 2)。一方、高血圧群の陸上座位は76.8±11.8(拍/分)、水中立位71.6±13.9(拍/分)であり、統計上有意に水中立位が低値を示した(p<0.05)。また、血圧の変動において、高血圧群の陸上座位の収縮期血圧は152.2±16.1(mmHg)、拡張期血圧は88.4±11.0(mmHg)、水中立位の収縮期血圧は133.7±17.3(mmHg)、拡張期血圧は71.5±10.6(mmHg)であり、収縮期血圧及び拡張期血圧ともに統計上有意に水中立位が低値を示した(p<0.01)(Table. 3)。また、正常群と高血圧群の血圧値の比較において、陸上座位時には高血圧群が収縮期血圧及び拡張期血圧ともに統計上有意に高値を示したが、水中立位時では収縮期血圧にのみ統計上有意に高値を示し、拡張期血圧においては両者の差が認められなかった(Table. 1, Table. 3)。各条件における筋組織血液動態の違いを観察するため、陸上座位時の値を100とした時の相対値で比較検討した。HbDの変動は、正常群の陸上座位の値を100とした場合、

水中立位は85.7±9.5であり、統計上有意に水中立位が低値を示した(p<0.01)。一方、高血圧群の水中立位は84.3±12.9であり、統計上有意に水中立位が低値を示した(p<0.01)。更に、水中立位の正常群と高血圧群における群間には統計上有意な差はなかった(Fig. 1)。HbO₂の変動は、正常群の陸上座位の値を100とした場合、水中立位は102.5±8.3であり、両者に統計上有意な差はなかった。一方、高血圧群の

Table. 1 Physical characteristics of the subjects

	Hypertension group (8 male, 1 female)	Normal group (6 male, 5 female)
・Systolic blood pressure (mmHg)	(≥140mmHg) 152.2±16.1**	(<140mmHg) 126.6±10.1
・Diastolic blood pressure (mmHg)	(≥90mmHg) 88.4±11.0**	(<90mmHg) 79.0±7.2
・Age (years)	54.2±17.5 **	30.2±15.6
・Height (cm)	159.8±5.3	165.5±8.5
・Weight (kg)	61.0±8.0	61.9±10.5
・%Fat (%)	19.9±2.5	20.4±5.9

Values are means and S.D. **: p<0.01 vs. hypertension group and normal group

Table. 2 Relationship between blood pressure in sitting position on the ground and in standing position in xiphoid level water in the normal group.

			Sitting position on the ground			Standing position in xiphoid level water		
Sex (Male/Female)	Age (yr)		HR (beats/min)	Systolic blood pressure (mmHg)	Diastolic blood pressure (mmHg)	HR (beats/min)	Systolic blood pressure (mmHg)	Diastolic blood pressure (mmHg)
O.K.	F	60	66	135	68	61	110	60
Y.Y.	M	55	70	139	87	66	128	80
M.NO.	M	44	69	124	77	61	106	60
A.K.	F	29	85	130	84	74	124	77
K.M.	F	26	64	114	77	58	113	66
S.C.	F	25	69	114	72	63	104	60
U.M.	F	22	89	110	70	71	109	65
K.TA.	M	20	98	125	83	72	109	61
K.T.	M	19	80	132	76	70	122	73
T.T.	M	16	75	138	87	68	116	62
K.U.	M	16	55	132	88	52	115	52
30.2±15.6			74.5±12.4	126.6±10.1	79.0±7.2	65.1±6.7**	114.2±7.7**	65.1±8.4**

Values are means and S.D., . **; p<0.01 vs. on the ground and in the water

Table. 3 Relationship between blood pressure in sitting position on the ground and in standing position in xiphoid level water in the hypertension group.

(n=9)			Sitting position on the ground			Standing position in xiphoid level water		
Sex (Male/Female)	Age (yr)		HR (beats/min)	Systolic blood pressure (mmHg)	Diastolic blood pressure (mmHg)	HR (beats/min)	Systolic blood pressure (mmHg)	Diastolic blood pressure (mmHg)
M.M.	M	77	85	162	82	83	152	81
M.S.	M	73	66	157	67	66	140	57
H.T.	M	64	75	156	81	71	124	70
H.Y.	F	55	81	144	84	67	120	68
N.T.	M	53	78	136	97	88	132	78
M.N.	M	52	88	146	92	82	116	63
T.TA.	M	52	52	188	99	44	167	75
O.A.	M	45	90	142	102	82	136	90
M.H.	M	17	76	139	92	61	116	61
54.2±17.5			76.8±11.8	152.2±16.1	88.4±11.0	71.6±13.9*	133.7±17.3**‡	71.5±10.6**

Values are means and S.D., . *; p<0.05, **; p<0.01 vs. on the ground and in the water ‡; p<0.01 vs. normal group(table. 2) and hypertension group

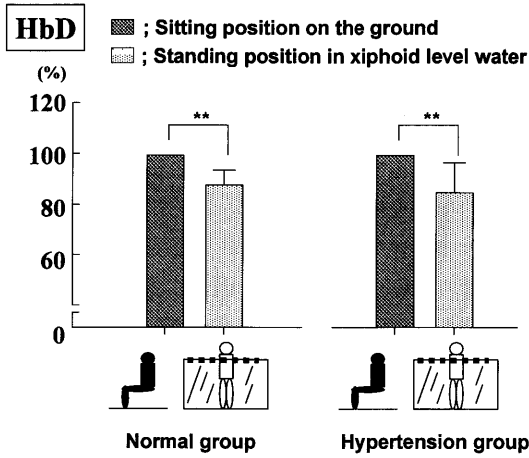


Fig. 1 Changes in deoxygenated hemoglobin (HbD) levels in various positions. Values are means and S.D., **, $p < 0.01$ vs. on the ground and in the water.

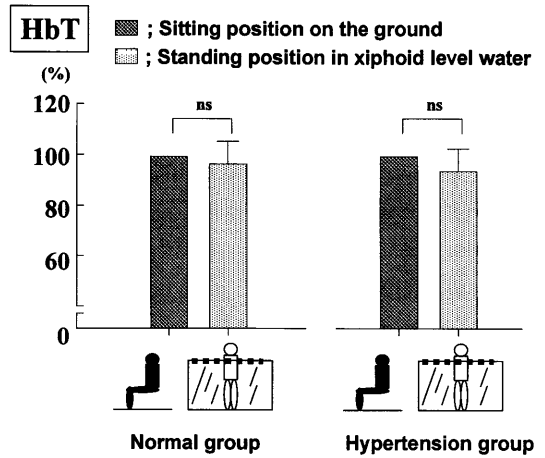


Fig. 3 Changes in total hemoglobin (HbT) levels in various positions. Values are means and S.D., ns; not significant vs. on the ground and in the water.

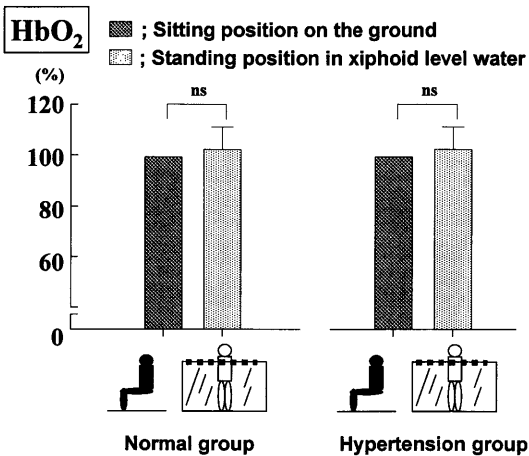


Fig. 2 Changes in oxygenated hemoglobin (HbO₂) levels in various positions. Values are means and S.D., ns; not significant vs. on the ground and in the water.

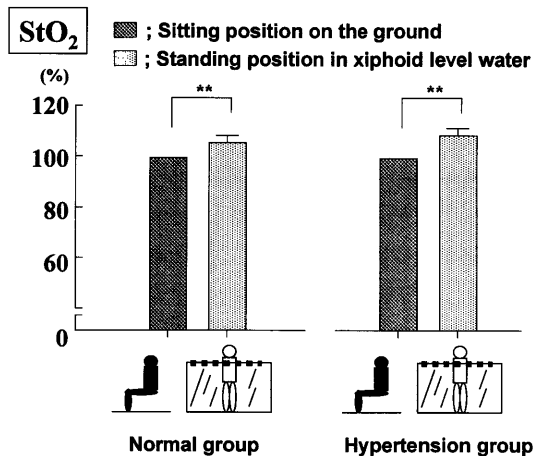


Fig. 4 Changes in tissue oxygen saturation (StO₂) levels in various positions. Values are means and S.D., **, $p < 0.01$ vs. on the ground and in the water.

水中立位は 102.7 ± 8.1 であり、両者に統計上有意な差はなかった。更に、水中立位の正常群と高血圧群における群間にも統計上有意な差はなかった (Fig. 2)。HbTの変動は、正常群の陸上座位の値を100とした場合、水中立位は 97.0 ± 7.1 であり、

両者に統計上有意な差はなかった。一方、高血圧群の水中立位は 95.7 ± 8.2 であり、両者に統計上有意な差はなかった。更に、水中立位の正常群と高血圧群における群間にも統計上有意な差はなかった (Fig. 3)。StO₂の変動は、正常群の陸上座位の

値を100とした場合、水中立位は 105.7 ± 3.6 であり、統計上有意に水中立位が高値を示した ($p < 0.01$)。一方、高血圧群の水中立位は 107.5 ± 5.4 であり、統計上有意に水中立位が高値を示した ($p < 0.01$)。更に、水中立位の正常群と高血圧群における群間には統計上有意な差はなかった (Fig. 4)。

3. 考 察

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¹⁾。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^{1,12)}。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繊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¹⁾。そのような血圧調節機構もまた、個人差があり、特に水中環境に適応するための時間も個人により異なると考えられる。そこで、我々は、浸水時の心拍変動を観察し、30秒間±1の最低値をもって水中環境を代表する値とした。そして、その心拍変動に伴う血圧値の値を観察し、特に下肢の筋肉組織の血液動態を観察することにより、その機序を検討した。

また、近赤外線分析技術の発達により、血流量およ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一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^{8,9)}。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、HbO₂の値は筋組織の酸素消費量を表す指標とされている^{18,20)}。そして、HbDとHbO₂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。StO₂は、HbO₂/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。しかし、一般的には、レーザー組織血液酸素モニターからデータを比較する場合、近赤外線を生体組織での散乱状況などに不明な点が多いことから、各被検者で比較するのは難しいとされている^{8,9)}。そこで、本研究においては、陸上での条件を基準に各測定値を比較した。

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^{5,6,13,14)}。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。

その結果、両群ともに、水中立位時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た。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の減少が確認された。特に、心拍の変動の結果は、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、心拍数が減少したのではないかと考えられた。これらの結果は、従来の著者らの報告と一致するものであつた¹⁸⁾。次に、HbO₂の変動は、各条件において有意な差は存在しなかった。この結果より、本研究における水圧の程度では、これらの環境の違いによる筋組織の酸素消費には影響がなかったことがわかった。また、HbTの変動は、HbO₂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_2 の変動は、 HbO_2 に有意な差はなかったが増加傾向を示し、更に、 HbT が減少傾向にあったため、相対的に StO_2 が増加したのだと考えられた。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ジオテンシン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^{1, 2, 3, 4, 7, 10, 11, 12, 16)}。また、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¹⁶⁾、拡張期血圧において、高血圧群と正常群との有意な差がなくなったことは、上記の推察を支持するのではないかと思われた。また、正常群と高血圧群間の筋組織血液動態の変化パターンにおいては有意な差がなかったこと、高血圧群の血圧値が有意に低下したことなどから、水中環境での安全性が確認された。特に、剣状突起水位程度の水圧であれば、心拍数は減少し、それに伴い血圧値も減少することがわかった。

4. ま と め

本研究では、浸水時の個人差の反応を考慮するため心拍変動を観察し、浸水時の最低値を30秒間記録した時の血圧及び筋組織血液動態を観察し、血圧に及ぼす水圧の影響を検討した。また、陸上での安静椅座位時の血圧を基に、高血圧群(収縮期血圧; $140\text{mmHg} \geq$ and or 拡張期血圧; $90\text{mmHg} \geq$)と正常群(収縮期血圧; $140\text{mmHg} <$ and 拡張期血圧; $90\text{mmHg} <$)に分けて群間を検討した。高血圧群は、男性8名・女

性1名(17歳~77歳:平均 54.2 ± 17.5 歳, 収縮期血圧: $152.2 \pm 16.1\text{mmHg}$, 拡張期血圧: $88.4 \pm 11.0\text{mmHg}$)の計9名、正常群は、男性6名・女性5名(16歳~60歳:平均 30.2 ± 15.6 歳, 収縮期血圧: $126.6 \pm 10.1\text{mmHg}$, 拡張期血圧: $79.0 \pm 7.2\text{mmHg}$)の計11名であった。測定条件として、陸上での椅座位(陸上座位)と水中での剣状突起水位レベルでの立位(水中立位)とした。高血圧群及び正常群において、その各条件下の心拍数、血圧、レーザー組織血液酸素モニターを用いた筋組織血液動態を観察し、以下の結果を得た。

1. 心拍の変動において、高血圧群及び正常群は水中立位が陸上座位より、統計上有意に低値を示した ($p < 0.01$)。
2. 血圧の変動において、水中立位時の高血圧群の収縮期血圧は $133.7 \pm 17.3\text{mmHg}$ 、拡張期血圧は $71.5 \pm 10.6\text{mmHg}$ と統計上有意に低値を示した ($p < 0.01$)。また、水中立位時の正常群の収縮期血圧は $114.2 \pm 7.7\text{mmHg}$ 、拡張期血圧は $65.1 \pm 8.4\text{mmHg}$ と統計上有意に低値を示した ($p < 0.01$)。特に、陸上座位では群間に差が認められた拡張期血圧において、水中立位時では両群間に有意な差が認められなかった。
3. HbD の変動において、高血圧群及び正常群は水中立位が陸上座位より、統計上有意に低値を示した ($p < 0.01$)。また、両群間においては、統計上有意な差は認められなかった。
4. StO_2 の変動において、高血圧群及び正常群は水中立位が陸上座位より、統計上有意に高い値を示した ($p < 0.01$)。また、両群間においては、統計上有意な差は認められなかった。

以上の結果から、高血圧症状を有する者であっても、心拍変動を考慮に入れることにより、浸水時に血圧が減少することが確認された。更に、筋

組織血液動態の観察から水圧の影響による静脈帰環流の程度がその要因の1つであることが考えられた。

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)オメガウェアの後藤田芳宏様に感謝いたします。本研究は、国士舘大学体育学部附属体育研究所の2003年度研究助成によって実施した。

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 natruiresis 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, *国士舘大学体育研究所*, **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)