

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

国士舘大学 須藤 明治
(共同研究者) 同 角田 直也
鹿屋体育大学 田口 信教
鹿児島大学 小宮 節郎
同 井尻 幸成

Effects of Intramuscular Oxygen Hemodynamics in Hypertensive Patients in Water Immersion

by

Akiharu Sudo, Naoya Tsunoda
Faculty of Physical Education, Kokushikan University
Nobutaka Taguchi
National Institute of Fitness and Sports in Kanoya
Kousei Ijiri, Setsuro Komiya ,
Department of Orthopedic Surgery Faculty of Medicine,
Kagoshima University

ABSTRACT

The purpose of the present study is to compare the intramuscular oxygen hemodynamics in and out of water in order to investigate the potential value of underwater exercises for elderly patients with hypertension. After the sensor of a laser tissue blood-oxygen monitor was installed over the right vastus medialis muscle of 5 healthy aged subjects and aged hypertension patients who are receiving medical therapy, tissue oxygen saturation (StO_2) level, tissue hemoglobin (HbT) level, tissue deoxygenated hemoglobin (HbD) level, and tissue oxygenated hemoglobin (HbO_2) level were measured. Measurements were made

under each of 6 conditions: standing, sitting, lying supine on the ground, standing in water up to the navel or to the xiphoid positions and lying supine on the water. In both healthy subjects and those with hypertension, the heart rate was the highest while standing on the ground, followed by sitting on the ground and lying supine on the ground. It was slightly higher while standing in water up to the navel position than when supine on the ground, and was the lowest while standing in water up to the xiphoid position. In healthy subjects and the hypertension patients, StO_2 level was the lowest while standing on the ground, followed by sitting on the ground and lying supine. It was slightly lower while standing in water up to the navel position than while lying supine on the ground, but was the highest when standing immersed to the xiphoid position. The StO_2 level can be calculated from the ratio of tissue oxygenated hemoglobin level / tissue hemoglobin level. The StO_2 level appeared to increase due to the decrease the tissue hemoglobin level in femoral blood hemodynamics because the changes in posture or water pressure increased the venous return. Decreased heart rate increases the cardiac stroke volume due to increased the venous return, suggesting that both control group and hypertensive patients also show the same reactions.

要 旨

本研究は、高血圧症を有する高齢者に対する水中運動の適応を検討する為に、陸上及び水中時の筋組織血液動態の比較を行った。高齢健常者5例、内科的治療を行なっている高血圧者7例に対し、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 (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 (HbO_2) を測定した。測定は、陸上立位、陸上椅座位 (以下、陸上座位)、陸上背臥位 (以下、陸上臥位)、水中立位で水位が臍部 (以下、水中臍位)、水中立位で水位が剣状突起部 (以下、水中胸位)、水中背臥位 (以下、水中臥位) の各環境において測定した (平均水温; 31.2℃, 平均室内温度; 22.0℃, 水中臍位の平均水位; 95.8cm, 水中胸位の平均水位; 111.0cm)。各姿勢・環境での測定値を計測するにあたり、その条件への適応能力に個人差が認められたため、と

くに本研究においては30秒間の心拍数の安定 (± 1) を目安に各姿勢・環境の測定点及び測定期間を定めた。心拍数の変動は、健常群及び高血圧群において、水中胸位では最低値を示した。高血圧群の血圧値の変動は、陸上座位時の $159.6 \pm 18.9 / 79.4 \pm 13.0$ (mmHg) と比較して水中胸位時が $138.6 \pm 22.5 / 69.0 \pm 10.7$ (mmHg) と統計上有意に低下していた ($p < 0.01$)。筋組織血液動態の変動は、高血圧群及び健常群において有意な差はなかった。しかし、浸水時の心拍の安定時間において、高血圧群が有意に遅い反応を示した。

緒 言

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^{2,3)}。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⁴⁾。一方、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⁵⁾。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ることが知られている^{5,6,7,8,9)}。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^{5,6,7,8,9,10,11)}。とくに、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^{1,6)}。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、とく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^{12,13,14)}。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^{6,14,15,16)}。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¹⁶⁾。これらのことから、浸漬時の個人差の反応を考慮するため心拍変動を観察し、浸漬時の最低値を30秒間記録した時の血圧及び筋組織血液動態を観察することにした。とくに、本研究では、高血圧症を有する高齢者に対する水中運動の適応を検討する為に、陸上及び水中時の筋組織血液動態の比較を行った。

1. 方法

1.1 被検者

被検者は、医師にり高血圧症と診断され、保存療法または投薬等を行なっている高血圧症患者7名（高血圧群; 52歳～77歳：平均64.5±10.3歳、男性5例、女性2例）で、全例WHOの高血圧症の診断基準を満たし、アンギオテンシンⅡアンタゴニストの内服者が1名、他は非内服患者であった。非高血圧症の健常者5名（健常群; 44歳～69歳：平均57歳、男性2例、女性3例）と比較検討した。両群ともに筋萎縮や麻痺の認めない症例であった。被検者の身体特性は、身長・体重・体脂肪率はともに統計上有意な差はなかった（表1）また、被験者には本研究の目的、方法、研究のともなう危険性等を十分説明し、同意を得た。

表1 Physical characteristics of the subjects

	Hypertension group (4 male, 3 female)	Normal group (2 male, 3 female)
Medical therapy	Angiotensin II antagonist	not intake
Diastolic blood pressure	≥ 90mmHg	< 90mmHg
Age (years)	64.3 ± 9.4	57.2 ± 10.3
Height (cm)	155.9 ± 6.0	157.4 ± 12.2
Weight (kg)	58.3 ± 8.8	60.6 ± 12.8
%Fat (%)	21.6 ± 5.7	27.5 ± 12.0

Values are means and S.D.

1.2 測定環境

実験に用いたプール水温は、平均31.2℃、室温は、平均22℃であった（温度計; LT-8A, Gram Corporation）。被検者は、陸上立位、陸上座位、陸上臥位、水中臍位、水中胸位、水中臥位の

各安静姿勢を維持した。とくに、水位の変動は、プールを出入りする階段を利用し個人に調節した。尚、水中臍位の平均水位は95.8cm、水中胸位の平均水位は111.0cmであった。

1. 3 心拍数及び血圧

各姿勢・環境での心拍数の測定は、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。そして、陸上から水中臍位に浸漬した時に、心拍数が最も低値を示し安定した状態（浸漬反応時間；30秒間に心拍変動が±1の範囲）を測定点としその条件下の代表値とした。血圧値の測定は、陸上座位、水中臍位、水中胸位において実施した。とくに、血圧の測定位置は、各姿勢・環境において心臓の位置とした（HEM-609; OMRON）。

1. 4 筋組織血液動態

各姿勢・環境における安静時の筋組織血液動態は、経皮的レーザー組織血液酸素モニター（BOM-L1TR, OMEGAWAVE）を用いた。測定

部位を右側大腿の内側広筋とし、外側顆から大転子までの距離を100%とした場合、近位90%の位置とした。尚、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。また、測定値を計測するにあたり、各姿勢・環境への適応能力に個人差が認められたため、パルオキシメーターを右第2指に装着し、心拍変動を観察し30秒間の安定（±1）を目安に各姿勢・環境での代表測定期間（30秒間）を決定した。

1. 5 統計処理

得られた各変数の値はとく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群間の平均値の差の検定には対応のあるt検定を用いた。統計処理の結果は危険率5%未満（ $p < 0.05$ ）をもって有意とした。

2. 結果

2. 1 心拍数及び血圧の変動

図1に、各姿勢・環境における心拍数の変動を

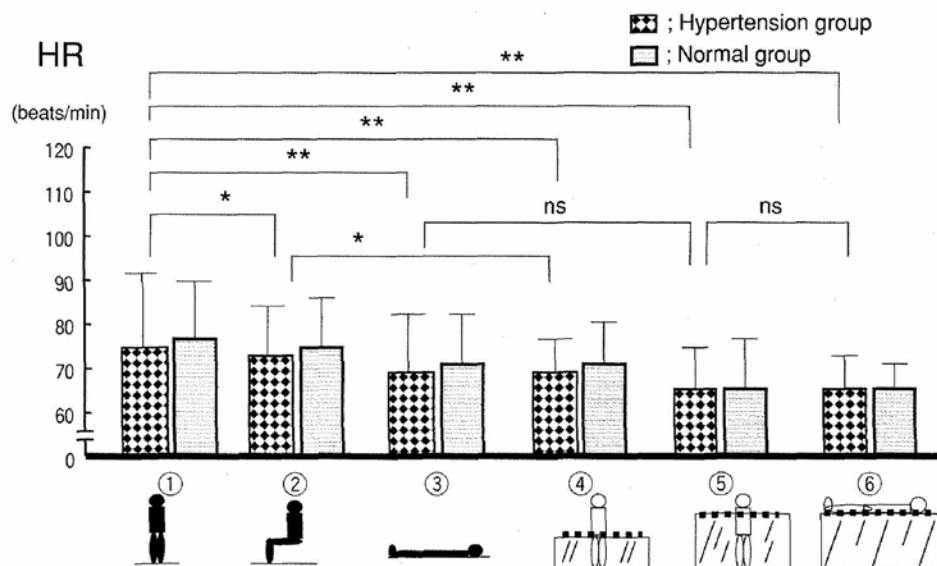


図1 Changes in heart rate (HR) levels in various positions

- ① Standing position on the ground
- ② Sitting position on the ground
- ③ Lying supine position on the ground
- ④ Standing position in navel level water
- ⑤ Standing position in xiphoid level water
- ⑥ lying supine on the water

Values are means and S.D. *; $p < 0.05$, **; $p < 0.01$, ns; not significant

示した。高血圧群は、陸上立位 75.9 ± 17.9 (拍/分)、陸上座位 72.9 ± 14.6 (拍/分)、陸上背位 68.6 ± 14.7 (拍/分)、水中臍位 68.3 ± 12.5 (拍/分)、水中胸位 66.4 ± 12.3 (拍/分)、水中臥位 65.0 ± 13.6 (拍/分) であった。健常群は、陸上立位 77.0 ± 15.0 (拍/分)、陸上座位 74.8 ± 14.0 (拍/分)、陸上背位 70.4 ± 14.7 (拍/分)、水中臍位 71.2 ± 14.6 (拍/分)、水中胸位 67.6 ± 12.9 (拍/分)、水中臥位 65.0 ± 12.4 (拍/分) であった。陸上で最も低値を示したのは両群ともに陸上臥位であり、陸上立位及び陸上座位と比較して統計上有意に低値であった ($p < 0.01$)。また、両群とも水中臍位より水中胸位が低値の傾向を示したが、陸上臥位と比較して両条件とも統計上有意な差はなかった。また、陸上から水中臍位に浸漬した時の浸漬反応時間は、高血圧群が 105.0 ± 26.9 sec、健常群が 80.6 ± 14.7 sec であり、健常群が高血圧群より統計上有意に速かった ($p < 0.01$)。表2に、血圧の変動を示した。高血圧群は、陸上座位と比較して水中臍位と水中胸位は統計上有意に低値を示した ($p < 0.01$)。また、水中胸位は、3条件の中で最も統計上有意に低値を示していた。健常群は、陸上座位と比較して水中胸位は統計上有意に低値を示した ($p < 0.05$)。

2. 1 筋組織血液動態の変動

図2に被検者(高血圧群; M.T.)におけるレー

ザー組織血液酸素モニターの各姿勢・環境における30秒間の生データを示した。図3にHbDの変動を示した。両群とも陸上で最も低値を示したのは陸上臥位であり、陸上立位及び陸上座位と比較して統計上有意に低値であった ($p < 0.01$) ($p < 0.05$)。また、陸上座位と水中臍位、陸上臥位と水中胸位の間においては、統計上有意な差は認められなかった。

図4にHbO₂の変動を示した。両群ともにすべての姿勢・環境において、統計上有意な差は認められなかった。図5にHbTの変動を示した。HbDと同様な傾向を示し、陸上座位と水中臍位、陸上臥位と水中胸位の間においては、統計上有意な差は認められなかった。図6にStO₂の変動を示した。高血圧群において、陸上で最も低値を示したのは陸上立位であり、陸上座位及び陸上背臥位と比較して統計上有意に低値であった ($p < 0.05$) ($p < 0.01$)。また、陸上座位と水中臍位、陸上臥位と水中胸位の間においては、統計上有意な差は認められなかった。

3. 考察

最近の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、とくに、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

表2 Changes in blood pressure in various positions (mmHg)

(SBP / DBP)	Sitting position on the ground	Standing position in navel level water	Standing position in xiphoid level water
Hypertension group	159.6 / 79.4 ($\pm 18.9 / \pm 13.0$)	153.4 / 74.8 ($\pm 21.3 / \pm 11.1$)	138.6 / 69.0 ($\pm 22.5 / \pm 10.7$)
Normal group	138.0 / 84.3 ($\pm 12.2 / \pm 5.5$)	120.7 / 83.3 ($\pm 6.6 / \pm 5.3$)	114.0 / 63.7 ($\pm 7.2 / \pm 4.0$)

Values are means and S.D., *; $p < 0.05$, **; $p < 0.01$ (P_s), # ; $p < 0.05$ (P_d)

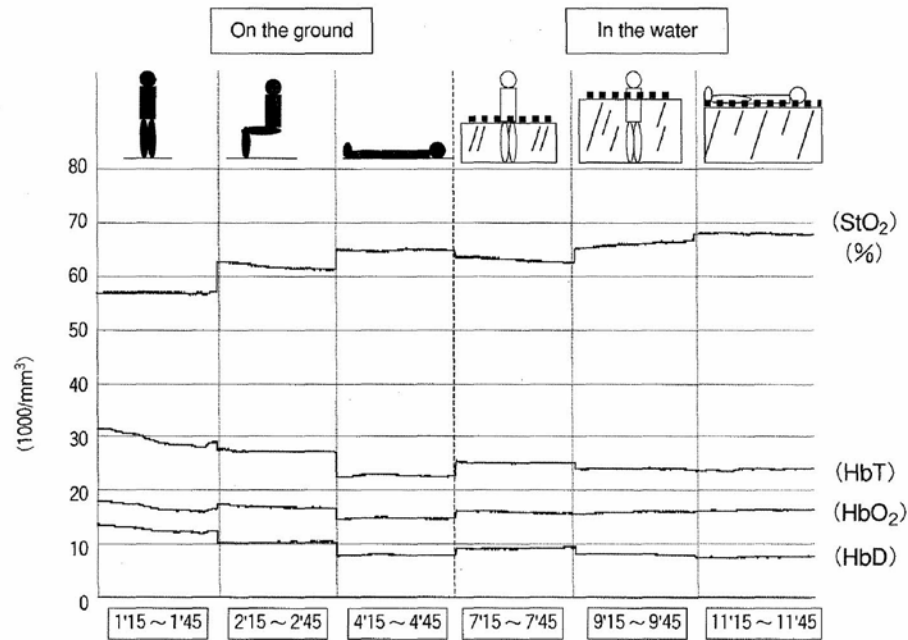


図2 Changes in intramuscular oxygen homodynamics in hypertensive patient

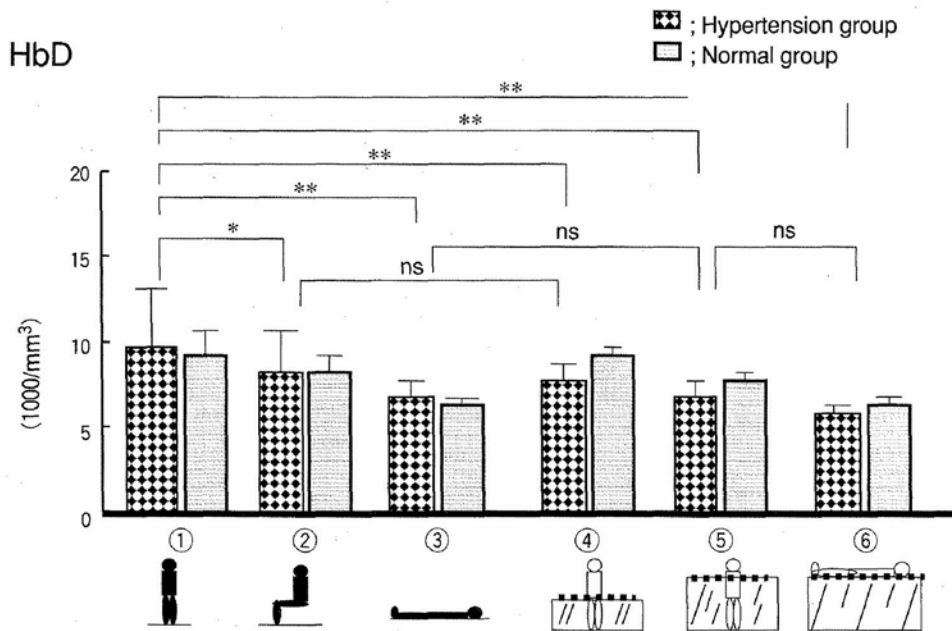


図3 Changes in deoxygenated hemoglobin (HbD) levels in various positions
Values are means and S.D., *; $p < 0.05$, **; $p < 0.01$, ns; not significant

るようになってきた^{17,18)}。とくに、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^{16,19)}。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。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^{12,13,14,15)}。そこで、本研究では、各姿勢・環境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

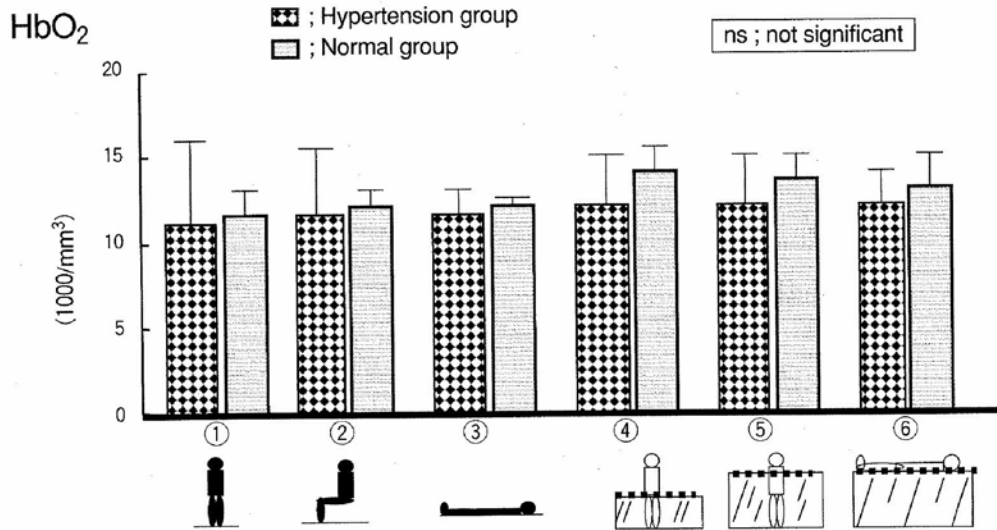


図 4 Changes in oxygenated hemoglobin (HbO₂) levels in various positions
Values are means and S.D., ns ; not significant

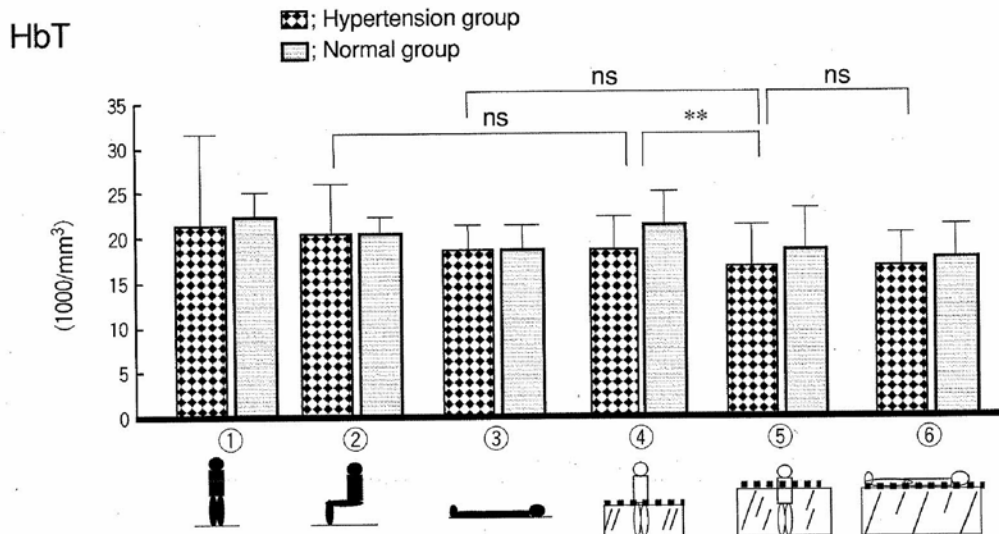


図 5 Changes in total hemoglobin (HbT) levels in various positions
Values are means and S.D., **, p<0.01, ns; not significant

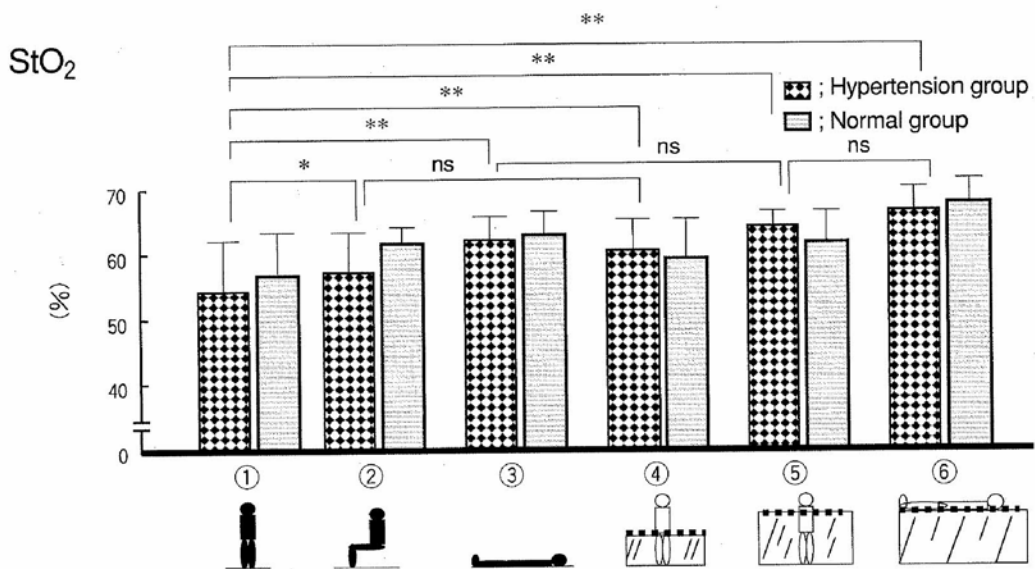


図 6 Changes in tissue oxygen saturation (StO₂) levels in various positions
Values are means and S.D., *, p<0.05, **, p<0.01, ns; not significant

行った。

その結果、心拍数は、陸上立位時より陸上座位時、陸上座位時より陸上臥位時の方が低下していることが確認され、更に、水中胸位は、水中臍位より有意に低値であることが確認された。また、この心拍変動は、筋組織の静脈血流量を反映しているHbDの変動と類似している傾向にあることがわかった。とくに、陸上での反応は、姿勢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った¹⁶⁾。次に、HbO₂の変動は、各姿勢・環境において有意な差は存在しなかった。この結果より、本研究における浸水時間程度では、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、StO₂の変動は、HbO₂に有意な変化がなく、HbTが陸上立位、陸上座位、陸上背臥位の順に減少したために、相対的にStO₂が増加し、更に、水中胸立が、陸上臥位と有意な差がなかったことから、水中胸位の筋組織血液動態は陸上臥位と類似している状態であると考えられた。また、水中胸位の血圧は、陸上座位や水中臍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、腎周囲の血流量が増加し、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^{2,3,4,5,6,7,8,9,10,11)}。また、浸漬反応時間が高血圧群において有意に遅かった理由としては、血管のコンプライアンスの違いに

よるものではないかと推察されるが、今後の検討課題としたい¹⁾。とくに、高血圧者にとっては、浸漬時の反応時間の差はあるものの、浮力による抗重力筋群の負担の軽減と、水圧による静脈帰還流の増大により、血圧が低下しているのではないかと考えられ、個々人の反応時間を考慮に入れた水中運動を行うことで、よりリラックスした状態での関節授動運動^{19,20,21)}などを安全に行うことができる環境であると思われた。

4. まとめ

拡張期血圧が90mmHgを超え、医師の診察に基づき、高血圧と診断され投薬治療を受け、日頃から水中運動を自主的に行っている高齢者に対して、水温平均31.2℃、水位平均111.0cmの水環境においては、以下のような影響を及ぼすことが示唆された。

1. 高血圧群において、HbD値の変化より、水中臍位と陸上座位、水中胸位と陸上臥位は、同程度の静脈の血流動態であると推察された。

2. 高血圧群において、HbO₂値の大きな変動がなかったこと、StO₂値が水中環境において上昇したことから、相対的な組織の酸素比が増加している環境であることがわかった。

3. 高血圧群において、水中胸位は陸上座位より血圧を低下させる環境であることがわかった ($p<0.01$)。

4. 陸上から水中臍位に浸漬した時の浸漬反応時間は、高血圧群が健常群より統計上有意に遅いことがわかった ($p<0.01$)。

以上の結果から、高血圧症状を有する者の浸漬時の筋組織血液動態が健常者と類似していることが分かり、血圧値も減少し、とくに水中胸位では、正常値まで低下していることが確認された。また、高血圧群は浸漬時の反応が遅いことが分かり、水中運動処方に配慮する必要があると思われた。

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(有)アプライドオフィスの赤崎房生様、(株)オメガウェーブの後藤田芳宏様に感謝いたします。そして、本研究に対し助成していただいた(財)石本記念デサントスポーツ科学振興財団に厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) 本郷利憲・編;標準生理学,医学書院,564-614 (1994)
- 2) 田中信行;入浴の環境生理学,炭酸泉に関するシンポジウム報告集,36-42 (1984)
- 3) L., B. Rowell : Human circulation-regulation during physical stress,Oxford University press,New York, 137-173 (1986)
- 4) 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)
- 5) 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)
- 6) 須藤明治;水中運動処方I, 文化書房博文社, 25-51 (1999)
- 7) 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)
- 8) 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)
- 9) 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)
- 10) 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)
- 11) 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)
- 12) 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, 17, 34-40 (1996)
- 13) 小野寺昇, 宮地元彦, 矢野博己;血圧からみた高年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, 17, 53-61 (1996)
- 14) 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)
- 15) 小野寺昇;水中運動と健康増進, 体育の科学, 50, 510-516 (2000)
- 16) 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)
- 17) 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)
- 18) 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ー自転車運動時の大腿活動筋についてー, 体力科学, 41, 586-594 (1992)
- 19) 須藤明治, 角田直也, 高里久三, 平良朝幸, 大道教, 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, 4, No.1, 11-18 (2003)
- 20) 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ー一般腰痛者とスポーツ選手腰痛者における調査よりー, 体力科学, 41, 386-392 (1992)
- 21) 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)
- 22) 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, 国士館大学体育研究所, 21, 65-73 (2002)