

中高年齢者における水中等尺性運動時の血圧応答

早稲田大学大学院 木村 真規
(共同研究者) 同 田中 さくら
東京慈恵会医科大学 鈴木 政登
同 清水 桃子
早稲田大学 永田 晟

Blood Pressure Responses during Isometric Exercise with Head-out Water Immersion in Middle Aged Men

by

Masaki Kimura, Sakura Tanaka
*Department of Health Science,
Graduate School of Human Science, Waseda University*
Masato Suzuki, Toko Shimizu
*Department of Laboratory Medicine,
School of Medicine, Jikei University*
Akira Nagata
School of Human Science, Waseda University

ABSTRACT

The purpose of this study was to examine effects of aging on blood pressure responses to the isometric exercises with or without head-out water immersion (HOWI). Eight young subjects (25.0 ± 2.1 years old: young group) and eight elderly subjects (53.6 ± 4.3 years old: elderly group) performed knee extension exercises with (WI) or without (C) immersion to the xiphoid in thermoneutral water (34.6 ± 1.5 °C).

In the elderly group, systemic blood pressure(BP) and heart rate(HR) were significantly higher than in the young group during rest in C condition, and there was no significant change in BP and HR with HOWI. Although there was a tendency to increase in BP with a concomitant increase in exercise intensities, BP in WI condition was significantly lower than in C condition during mild to moderate exercise intensities (10% to 30%MVC) in the elderly group. These results suggest that the light exercise in water may be more safe than on land for the elderly with high blood pressure.

要 旨

本研究は、中高年齢者における水中運動の安全性を検証することを目的として、若年者群 (Y群) と中高年齢者群 (O群) を対象に運動時の血圧応答を観察し、浸水を行う条件 (水中試行) と行わない条件 (陸上試行) との比較を行った。被験者はY群 (8名, 年齢 25.0 ± 2.1 歳, 平均 \pm SD) およびO群 (8名, 年齢 53.6 ± 4.3 歳) の成人男性であり, 水中試行は水温 34.6 ± 1.5 ℃での剣状突起位までの椅座位浸水時に, 大腿四頭筋を中心とした等尺性の脚伸展運動を行った。

陸上での安静時血圧および心拍数は, Y群よりO群で有意に高値であったが, 両群とも浸水による有意な変化は認められなかった。一方, 等尺性運動時には運動強度の増加に伴った血圧値の増加が観察されたが, 中・高齢者の場合, 低・中強度 (最大随意収縮力の10%および30%) 運動時の血圧値は浸水によって有意に低値となったことから, 陸上における軽度の運動時にも血圧の増加が禁忌となる者に対して, 水中運動の有用性が期待された。

緒 言

水の中では, 浮力によって膝や腰部への体重負荷が軽減されることから, 高齢者や肥満者などの低体力者が運動を行うのに好ましい環境と考えられている。しかしその反面, 水圧によって下肢な

どの静脈血管系に貯留した血液が上行することから, 静脈還流の増加に起因した中心静脈圧および動脈血圧の増加が報告されている^{3, 14)}。また, 運動時には, 負荷強度の増加に依存して血圧が上昇するが, この傾向は等尺性運動時に顕著となることが知られており²⁾, 水中で等尺性運動を行う場合には, より顕著な血圧上昇を引き起こす可能性が考えられる。

しかし, 浸水時にはこれらの生体応答と同時に, 心臓交感神経活動の減弱化および迷走神経活動の賦活化^{5, 10)} や各種の昇圧性ホルモンの分泌抑制^{1, 6, 11, 16)} が観察されていることから, 水中運動では運動負荷による血圧上昇が抑制される可能性が示唆されている。水中運動は, 高齢者や肥満者などを対象とした運動処方によく用いられており, これらの人々では高血圧症を呈する人も少なくない。また, 水中で行われるレクリエーション運動の内容は近年多様化しており, 綱引きや腕相撲などの運動が行われることも珍しくはない。これらの運動には等尺性の筋収縮も多く関与すると考えられることから, とくに中高年齢者における水中運動の安全性を検証する上で, 水中における等尺性運動時の血圧応答に関する詳細な知見を得ることは, 早急に行うべき重要な課題と考えられる。

そこで本研究では, 若年者群 (Y群) と中高年齢者群 (O群) を対象として, とくに昇圧反応性が強いと考えられる等尺性運動時の血圧応答を観察し, 浸水を行う条件 (水中試行) と行わない条

件（陸上試行）との比較を行った。

1. 方法

1.1 対象

被験者はY群（8名，年齢 25.0 ± 2.1 歳，22歳～27歳，身長 171.0 ± 7.5 cm，体重 68.9 ± 11.2 kg，平均 \pm SD）およびO群（8名，年齢 53.6 ± 4.3 歳，48歳～62歳，身長 170.4 ± 4.7 cm，体重 67.6 ± 4.7 kg）の成人男性であった。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。

1.2 実験方法

実験時の室温は 25.2 ± 1.8 ℃，水温は 34.6 ± 1.5 ℃であった。被験者は水の入っていない水槽内に設置された椅子に座り，大腿部と体幹部をベルトによって固定した（図1）。運動は膝角（大腿と下腿のなす角）を膝関節最大伸展位から90度屈曲位に固定し，足首に取り付けられたワイヤーを牽引する大腿四頭筋を中心とした等尺性の脚伸展運動を行った。足首に取り付けられたワイヤーは滑車を介してロードセル（張力アタッチメント，竹井機器）に取り付けられ，脚伸展運動時の張力を測定した。記録された張力はオシロスコープを用いて被験者にフィードバックし，負荷の調

節を行わせた。安静時，運動中および回復時には胸部双極誘導法（CM5）による心電図（Life Scope 6，日本光電）の記録および左手指先における動脈血圧（Finapres 2300，Ohmeda）を経時的にbeat-by-beatで測定した。

運動は，始めに5～10秒間の最大随意収縮力（MVC）を測定し，続いて低強度から順番に10%，30%および50%MVCの最大下強度で，30秒間の等尺性脚伸展運動を各強度ごと2～3回負荷した（図2）。各試行間には十分な休息时间（10%MVC測定の後には1分30秒以上，30%MVC後には2分以上，50%MVCおよびMVC測定後には2分30秒以上）を設け，被験者の安静回復が確認された後，次の試行を行った。

試行の順序は，まず陸上での試行を行い，その後水槽内に中立水温の水を約3～5分間で注水して，水中での試行を行った。陸上試行の終了から水中試行を始めるまでの時間は約15～20分間であり，被験者の安静状態を確認した後，陸上試行と同様のプロトコールで水中試行を行った。

安静時の心拍数（HR）および血圧値は，20秒間の平均値を算出し，最大運動時のHRおよび血圧値は測定期間中の最大値を求めて解析を行った。また，最大下強度での運動中に測定された血圧デ

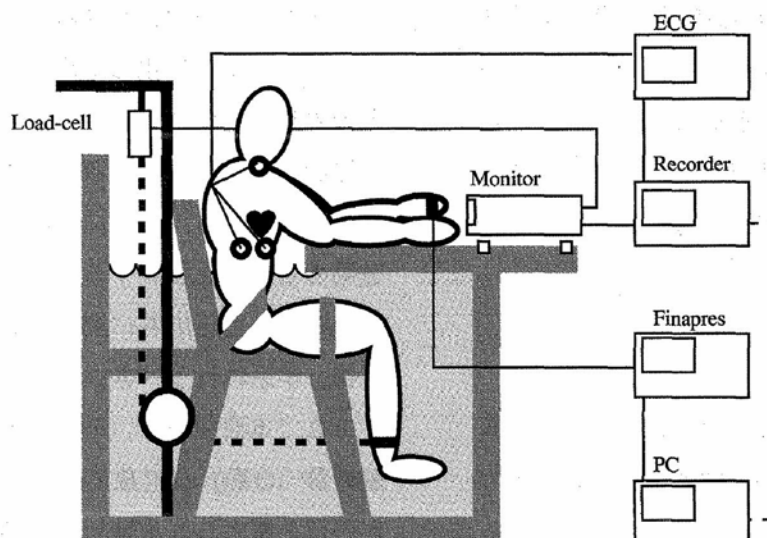


図1 Experimental design of isometric knee extension exercise with head-out water immersion

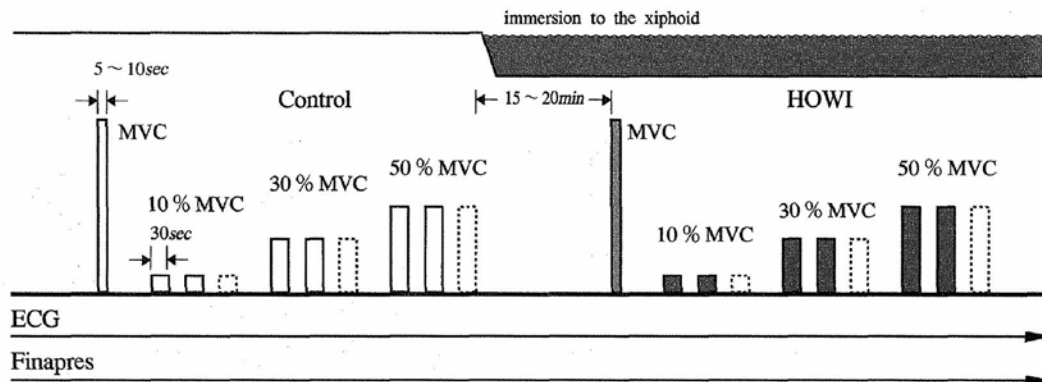


図2 Experimental protocol in isometric knee extension exercises with (HOWI) or without (Control) head-out water immersion

ータは、30秒間のピーク値 (BP_{peak}) と10～30秒までの平均値 (BP₁₀₋₃₀) を算出し、記録された心電図からは10～30秒までの平均心拍数を算出して解析を行った (図3)。

1. 3 実験結果の統計処理方法

各測定値の変化が、測定条件 (陸上 vs. 水中) および運動強度の変化に依存したものか否かの検定には、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陸上と水中の比較には、対応のある場合の Student の t 検定を、Y 群と O 群の比較には対応のない場合の Student の t 検定を、分散が等しい場合と等しくない場合とに分けて行い、それぞれ確率水準 5% 未満で有意性があると判断した。

2. 結果

2. 1 陸上および水中における安静時血圧および心拍数の比較

Y 群および O 群の安静時血圧は、陸上と水中の両試行間に差はみられなかった (図4)。また、Y 群と O 群との比較では、陸上安静時の収縮期血圧 (SBP)、拡張期血圧 (DBP) および平均血圧 (MBP) に Y 群で有意な高値が観察された ($p < 0.05$) が、水中安静時の血圧値には両群間に有意差は認められなかった。

安静時の HR は Y 群において、陸上で 66.7 ± 7.1 拍/分、水中 61.2 ± 4.4 であり、水中で有意な低値となった ($p < 0.05$, 図5)。一方、O 群の HR は、

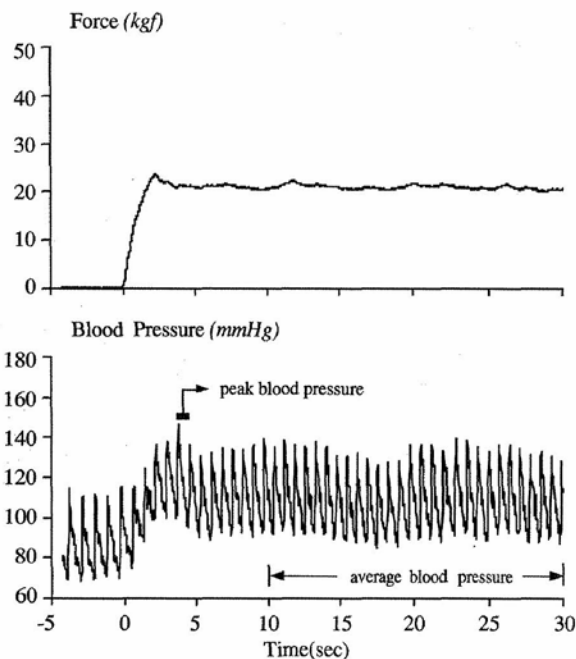


図3 Tension of a knee extension and arterial blood pressure during isometric exercise in a representative subject

陸上で 81.0 ± 15.2 拍/分、水中 77.7 ± 14.5 であり、Y 群と同様に水中で有意な低値が観察された ($p < 0.05$)。また、Y 群と O 群との比較では、陸上および水中の両試行とも O 群の HR に有意な高値が観察された ($p < 0.05$)。

2. 2 陸上および水中における最大随意収縮時の脚伸展力、心拍数および血圧値の比較

Y 群における最大随意収縮時の脚伸展力は、陸上： 41.0 ± 8.8 kg、水中： 41.8 ± 9.8 であり、両試行間に差はみられなかった。O 群では、陸上： 31.0 ± 6.2 、水中： 30.9 ± 10.1 であり、同様に両試行間で差はみられなかった。また、Y 群と O 群

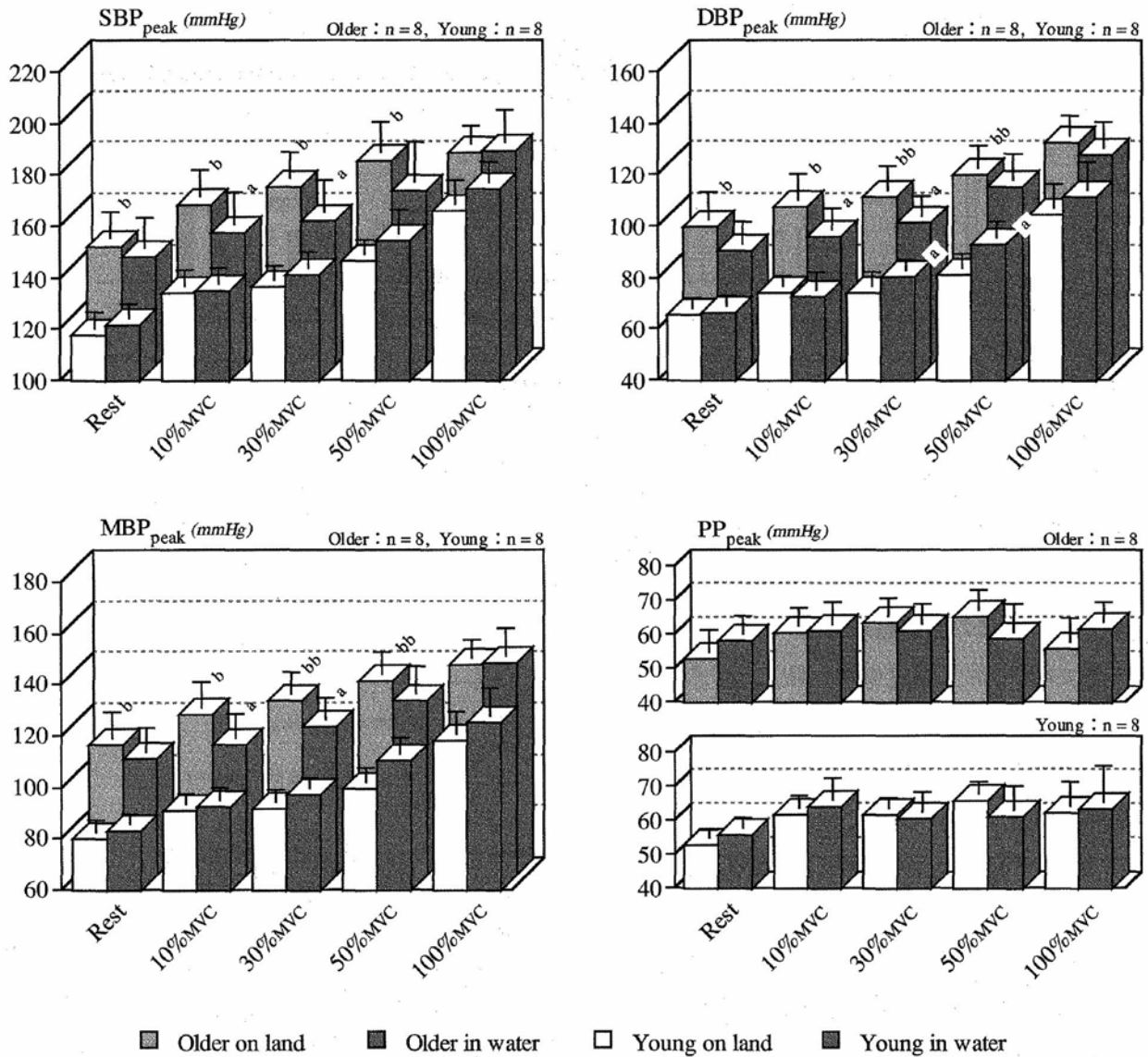


図4 Peak blood pressure during isometric knee extension exercises with or without head-out water immersion. Columns and bars represent mean \pm SEM. Significant differences between on land and in water represent, "a: $p < 0.05$ ". Significance of differences between young and older represent, "b: $p < 0.05$, bb: $p < 0.01$ ".

との比較では、両試行とも Y 群に有意な高値が観察された (両試行とも $p < 0.05$)。

最大随意収縮時の血圧値は、Y 群および O 群の両群とも陸上と水中の両試行間に差はみられなかった。また、Y 群と O 群との比較でも、陸上および水中の両試行において有意差は認められなかった (図 4)。

最大随意収縮時の HR は Y 群および O 群とも、陸上と水中の両試行間に有意差はみられなかった (図 5)。また、Y 群と O 群との比較でも、陸上および水中の両試行において有意差は認められなかった。

2. 3 陸上および水中における 10%、30% および 50% MVC 時の血圧および心拍数の比較

最大下運動時の BP_{peak} は、Y 群の 30% および 50% MVC 時の DBP_{peak} に陸上と水中の間に有意差がみられ、水中で高値となった (すべて $p < 0.05$, 図 4)。一方、O 群では 10% および 30% MVC 時の SBP_{peak}, DBP_{peak} および MBP_{peak} に陸上と水中の間に有意差がみられ、水中で低値となった (すべて $p < 0.05$)。また、Y 群と O 群との比較では、陸上におけるすべての最大下運動時の SBP_{peak}, DBP_{peak} および MBP_{peak} に、O 群で有意な高値が観

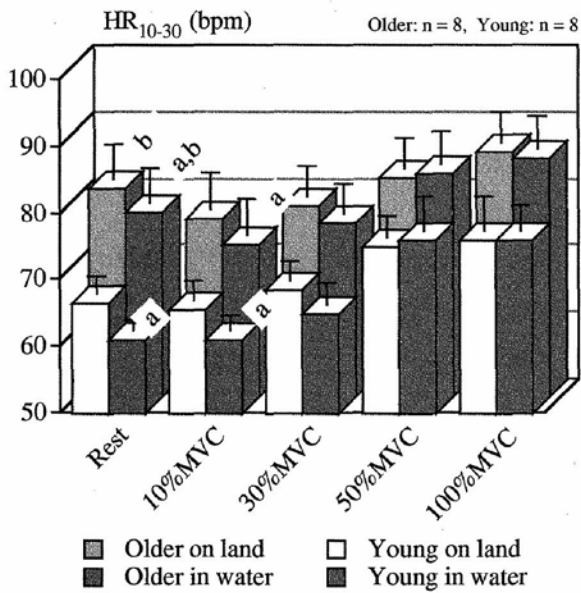


図5 Heart rates during isometric knee extension exercise with or without head-out water immersion. Columns and bars represent mean \pm SEM. Significant differences between on land and in water represent, "a: $p < 0.05$ ". Significance of differences between young and older represent, "b: $p < 0.05$ ".

察されたが、水中における最大下運動時の血圧値にY群とO群の間で有意差は認められなかった。一方、運動開始10～30秒までの血圧の平均値(BP₁₀₋₃₀)は、BP_{peak}とほぼ同様の傾向が観察された(表1)。

最大下運動時のHRはY群およびO群の両群において、10%MVC時に陸上より水中で低値となり、両試行間に有意差が認められた(両者とも $p < 0.05$, 図5)。また、Y群とO群との比較では、陸上および水中の両試行においてすべての最大下運動時に有意差は認められなかった。

3. 考察

水の中では、静脈還流の増加による中心静脈圧および動脈血圧の増加が報告されており^{3, 14)}、とくに昇圧反応性の強い等尺性運動²⁾を水中で行う場合には、より顕著な血圧上昇を引き起こす可能性が考えられる。

陸上安静時のHRおよび血圧値をY群とO群で

表1 Changes in average blood pressure (BP₁₀₋₃₀) during submaximal isometric knee extension exercises with (HOWI) or without (Control) head-out water immersion

		Young : n = 8, Older : n = 8		
		10 % MVC	30 % MVC	50 % MVC
SBP ₁₀₋₃₀				
Young	Control	123.4 \pm 7.5	126.5 \pm 5.9	133.2 \pm 7.0
	HOWI	125.9 \pm 6.9	133.5 \pm 7.7	139.4 \pm 9.2
Older	Control	149.1 \pm 9.7 b	154.4 \pm 9.4 bb	162.7 \pm 11.7 b
	HOWI	140.4 \pm 11.7 a	140.1 \pm 11.8 a	161.5 \pm 10.7
DBP ₁₀₋₃₀				
Young	Control	67.8 \pm 5.3	70.0 \pm 5.2	74.8 \pm 6.3
	HOWI	67.9 \pm 5.4	71.8 \pm 6.3	84.2 \pm 6.0 a
Older	Control	95.7 \pm 9.9 b	98.2 \pm 9.0 bb	104.6 \pm 8.7 b
	HOWI	85.1 \pm 8.1 a, b	87.0 \pm 7.7 a	102.1 \pm 7.5
MBP ₁₀₋₃₀				
Young	Control	83.6 \pm 5.3	86.0 \pm 4.8	91.4 \pm 6.0
	HOWI	85.4 \pm 5.1	88.6 \pm 6.2	101.1 \pm 6.2 a
Older	Control	114.2 \pm 9.5 bb	117.5 \pm 8.6 bb	124.4 \pm 9.2 bb
	HOWI	105.4 \pm 9.1 a, b	106.5 \pm 8.9 a	123.3 \pm 8.0
PP ₁₀₋₃₀				
Young	Control	55.5 \pm 3.4	56.6 \pm 2.8	58.4 \pm 2.7
	HOWI	58.0 \pm 4.3	61.4 \pm 8.4	55.3 \pm 6.4
Older	Control	53.4 \pm 4.9	56.2 \pm 5.3	58.2 \pm 6.2
	HOWI	55.4 \pm 5.5	53.2 \pm 6.0	59.4 \pm 6.8

Values are means \pm SEM. Significant differences between HOWI and Control represent, "a: $p < 0.05$ ". Significance of differences between young and older represent, "b: $p < 0.05$, bb: $p < 0.01$ ".

比較したところ、いずれの指標もO群で有意な高値が観察された(図4)。加齢による安静時血圧の上昇については様々な要因が知られており、その機序を特定することは困難であるが、HR増加の機序については加齢に伴う心臓副交感神経活動の減弱化が指摘されている^{9, 12, 13})。心臓自律神経支配がまったく関与しない状態におけるヒトの内因性心拍数は100~120拍/分といわれており、安静時のHRは心臓副交感神経活動によってこれより低い値に抑えられている⁴)。加齢による心臓副交感神経活動の減弱化は安静時のHRを内因性心拍数に近付けるように作用し、HRを増加させると考えられている。したがって、本研究のO群で観察されたHR増加も、加齢に伴う心臓副交感神経活動の減弱化による可能性が示唆された。

次に、陸上と水中において安静時のHRおよび血圧値を比較したところ、Y群とO群の両群とも水中安静時のHRに陸上安静時と比較して有意な低値が観察されたが、血圧値に有意な変化は認められなかった(図4)。先行研究では浸水時の動脈血圧の応答に関する報告が多くなされているが、一致した結果は得られていない。水中安静時の血圧値は測定方法や呼吸様式、被験者の心理的要因などによって大きく変化することが予想されることから、測定条件の設定を厳密に行う必要性が感じられる。Gabrielsenら³)の報告では、ヒトを対象に侵襲的な方法で浸水時の血圧測定を行っており、最も信頼できる測定条件と思われるが、彼らの報告では剣状突起位浸水時の動脈収縮期血圧に増加傾向がみられ、肩位までの浸水によって有意な増加が観察されている。本研究における浸水時の血圧応答では、両群とも統計的に有意な変化は観察されなかったことから、浸水時のHR低下に血圧反射が関与した可能性について考察することは出来なかった。一方、浸水時の中心静脈圧について報告した先行研究では、ほぼ一致した結果が得られており、浸水時には静脈還流の増加によ

って心房伸展受容器反射が惹起されると考えられる^{8, 18})。これらのことから、本研究において観察された浸水安静時のHR低下に、静脈還流の増加に起因した心房伸展受容器反射が関与した可能性が示唆された。

続いて、陸上における最大下運動時のHRおよび血圧値をY群とO群で比較したところ、HRにはO群で高値となる傾向がみられたが、両群間で有意差は認められなかった(図5)。また、脈圧(PP)以外の血圧値はすべての運動強度でO群に有意な高値が観察された。HRおよび血圧値は、両群とも運動強度の増加に伴って上昇する傾向がみられたが、O群のHRは低強度運動時に安静時よりも低値となり、徐々に増加する傾向が観察された。運動時のHRおよび血圧値がO群で高値となった理由としては、これらの指標が安静時のO群においても高値であったと考えられ、運動時の昇圧反応性にY群とO群で差がないと考えられた。

次に、陸上と水中において運動時のHRを比較したところ、Y群とO群の両群とも低強度(10% Wmax)運動時のHRに陸上と比較して有意な低値が観察されたが、運動強度の増加に伴ってその差は僅少化し、高強度(50% Wmax)運動時には、陸上と水中のHRに有意差は認められなかった(図5)。本研究における運動持続時間は30秒間であったことから、運動中のHR応答に關与する調節系は主に中枢からの指令と、筋内の機械受容器反射が考えられる¹⁵)。低強度運動時にはこれらの調節系によるHRの増加作用と浸水によるHR増加の抑制作用が拮抗し、陸上より水中でより低いHRが観察されたと考えられる。しかし、本研究では等尺性運動を行ったことから、高強度運動時に活動筋の内圧増加によって血流障害が生じた可能性が考えられる⁷)。この血流障害は浸水による静脈還流を減少させると考えられることから、浸水によるHR増加の抑制作用が減弱化し、陸上

と水中でHRに差がみられなくなったと考察された。

一方、陸上と水中において運動時の血圧値を比較したところ、Y群では運動強度の増加に伴って陸上と水中での血圧値の差が増加する傾向を示し、中・高強度（30%および50% Wmax）運動時のDBP_{peak}に水中で有意な高値が観察された（図4）。先行研究において水中安静時に血圧が上昇したという報告はいくつかみられるが、運動時の血圧が浸水によって上昇したという報告は稀である。Fujisawaら²⁾は、健康男性（24±3歳）を対象に、本研究とほぼ同様の運動負荷装置を用いて水中運動時の血圧応答を測定しているが、陸上と水中で血圧値に有意差は観察されなかった。彼らの報告²⁾では、60% MVC強度での約60秒間に渡る等尺性運動を行っており、本研究と比較すると非常に高強度の運動を行っている。また、運動中の血圧値が時間経過に伴って60mmHg以上も増加していることから、負荷に対する生体応答が定常に達していなかったと推察される。本研究で観察されたデータとの差の一部は、これらの測定条件の違いに起因した可能性が考えられた。しかしFujisawaら²⁾らの報告では、運動前半（5～30秒）においても浸水による左心室拡張期終末径の増加が観察されたことから、Y群で観察された浸水時の血圧上昇傾向の機序については、Gabrielsenら³⁾が報告した浸水による安静時血圧の上昇機序と同様に、静脈還流の増加に伴う一回拍出量の増加によって惹起された可能性が示唆された。一方、O群において観察された低・中強度運動時の浸水による血圧上昇の抑制機序として、心後性の要因が考えられる。O群の場合、水中での安静時にHRが有意に低下し、一方、有意ではないもののPPに増加傾向がみられたことから、静脈還流の増加および一回拍出量の増加が生じていることが示唆され、心前性の負荷は増加していた可能性が高い。それにも拘わらず、心後性の負荷（動脈血圧）に低下

傾向が観察されたことから、O群では浸水によって末梢血管が拡張していた可能性が考えられる。心房伸展受容器反射は筋交感神経活動を抑制し末梢血管を拡張させることが知られており⁴⁾、O群において観察された低・中強度運動時の浸水による血圧上昇の抑制機序として、低圧受容器反射による末梢血管拡張の可能性が示唆された。しかし、この低圧受容器反射はY群においても生じていたと考えられ、またMiwaら⁸⁾は、水中安静時の筋交感神経活動は高齢者群より若年者群で低値であり、浸水による筋交感神経活動の抑制は加齢によって減弱化することを報告している。本研究では、より強い末梢血管拡張が生じていたと考えられるY群において、運動時の血圧値が浸水によって増加傾向を示したことから、低圧受容器反射による機序のみから考察する場合、Y群とO群にみられた血圧応答に矛盾が生じる。本研究で得られた指標のみからこの矛盾を解決することは困難と思われるが、考慮すべき問題としてY群とO群に負荷された運動の絶対的負荷強度の差が挙げられる。Y群のMVCはO群より約30%程高く、筋量もY群で大きな値であることが推察される。したがって、各最大下強度での筋収縮運動では、各被験者とも生体負担度はほぼ同一であったと考えられるが、筋内の循環を阻害する圧力はY群でより高値であった可能性が考えられる。これらのことから、Y群では浸水による末梢血管の拡張作用を筋内圧の増加による血管系の圧迫作用が凌駕し、血圧を増加させた可能性が考えられる。しかし、これらの考察は推測の域に止まっており、等尺性筋収縮時の血圧応答においてY群とO群に差がみられた機序については今後さらなる検討が必要と思われる。

4. まとめ

以上の結果から、水中における等尺性運動時には運動強度の増加に伴った血圧値の増加が観察さ

れたが、中・高年齢者の場合、低・中強度運動時の血圧値は浸水によって有意に低値であったことから、陸上における軽度の運動時にも血圧の増加が禁忌となる者に対して、水中運動の有用性が期待された。しかし、この浸水による血圧上昇の抑制効果については、その機序が完全に解明されていないことから、今後さらに慎重な検討を行っていく必要性が感じられた。

謝 辞

稿を終えるに当たり、本研究に対して研究助成を賜った財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団に深く感謝いたします。また、本研究に被験者として参加して下さった方々へ、心から御礼申し上げます。

文 献

- 1) Connelly, T. P., Sheldahl, L. M., Tristani, F. E., Levandoski, S. G., Kalkhoff, R. K., Hoffman, M. D., and Kalbfleisch, J. H.; Effect of increased central blood volume with water immersion on plasma catecholamines during exercise, *J. Appl. Physiol.*, **69**, 651-656 (1990)
- 2) Fujisawa, H., H. Kamimura, Y. Ohtsuka, T. Nanbu, N. Yabunaka, and Y. Agishi ; Continuous measurement of blood pressure, heart rate and left ventricular performance during and after isometric exercise in head-out water immersion, *Eur. J. Appl. Physiol.*, **72**, 548-552 (1996)
- 3) Gabrielsen, A., Johansen, L. B., and Norsk, P. ; Cardiovascular regulation during head-out water immersion exercise, *J. Appl. Physiol.*, **69**, 657-664 (1990)
- 4) 早野順一郎；心拍変動による自律神経機能解析：循環器疾患と自律神経機能，井上 博（編），医学書院，58-88 (1994)
- 5) 木住野孝子，松田光生；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℃，30℃および34℃における自然呼吸下での検討—，臨床スポーツ医学，**14**，1317-1322 (1997)
- 6) Krasney, J. A. ; Head-out water immersion: animal studies. In : *Handbook of Physiology, Environmental Physiology*, edited by M. J. Fregly. New York : Oxford University Press, chapt. **38**, 855-887 (1995)
- 7) Longhurst, J. C., and Stebbins, C. L. ; The power athlete, *Cardiology Clinics*, **15**, 413-429 (1997)
- 8) Miwa, C., Mano, T., Saito, M., Iwase, S., Matsukawa, T., Sugiyama, Y., and Koga, K. ; Ageing reduces sympatho-suppressive response to head-out water immersion in humans, *Acta Physiol. Scand.*, **158**, 15-20 (1996)
- 9) 美和千尋，杉山由樹，岩瀬 敏，松川俊義，間野忠明，渡邊丈真，小林章雄；水浸時における血圧および心拍変動に及ぼす加齢の影響，自律神経，**33**，503-508 (1996)
- 10) Miwa, C., Sugiyama, Y., Mano, T., Iwase, S., and Matsukawa, T. ; Spectral characteristics of heart rate and blood pressure variabilities during head-out water immersion, *Environmental Medicine*, **40**, 91-94 (1996)
- 11) Nagashima, K., Nose, H., Yoshida, T., Kawabata, T., Oda, Y., Yorimoto, A., Uemura, O., and Morimoto, T. ; Relationship between atrial natriuretic peptide and plasma volume during graded exercise with water immersion, *J. Appl. Physiol.*, **78**, 217-224 (1995)
- 12) 岡田暁宜，早野順一郎，向井誠時，和田祐枝，坂田成一郎，松原充隆，竹島伸生，高田和之，藤浪隆夫；Water immersionに対する循環調節系の反応の加齢による変化，自律神経，**33**，371-376 (1996)
- 13) Okada, A., Hayano, J., Mukai, S., Akita, S., Sakata, S., Takeshima, N., Matsubara, M., and Fujinami, T. ; Age-related differences in cardiac vagal response to graded-water immersion, *Therapeutic Research*, **17**, 871-874 (1996)
- 14) Risch, W. D., Koubenec, H.-J., Beckmann, U., Lange, S., and Gauer, O. H. ; The effect of graded immersion on heart volume, central venous pressure, pulmonary blood distribution, and heartrate in man, *Pflügers Arch.*, **374**, 115-118 (1978)
- 15) Rowell, L. B., and O'Leary, D. S. ; Reflex control of the circulation during exercise: chemoreflexes and mechanoreflexes, *J. Appl. Physiol.*, **69**, 407-418 (1990)
- 16) Sheldahl, L. M., Tristani, F. E., Connelly, T. P., Levandoski, S. G., Skelton, M. M., and Cowley, A. W. Jr. ; Fluid-regulating hormones during exercise when

- central blood volume is increased by water immersion, *Am. J. Physiol.*, 262 (Regulatory Integrative Comp. Physiol. 31), R779-R785 (1992)
- 17) Sheldahl, L. M., Wann, L. S., Clifford, P. S., Tristani, F. E., Wolf, L. G., and Kalbfleisch, J. H. ; Effect of central hypervolemia on cardiac performance during exercise, *J. Appl. Physiol.: Respirat. Environ. Exercise Physiol.*, 57, 1662-1667 (1984)
- 18) 杉山由樹；血圧調節と筋交感神経活動, 自律神経, 34, 184-189 (1997)