

2011 年度 修士論文

浸水時の心血管応答とアクアビクスの運動強度

Cardiovascular response during water immersion
and exercise intensity of aquabics

早稲田大学 大学院スポーツ科学研究科

スポーツ科学専攻 身体運動科学研究領域

5010A085-7

峯田 真悠子

Mineta Mayuko

研究指導教員：樋口 満 教授

目次

第 1 章 背景	1
1-1. はじめに	1
1-2. 水 の 特 性	1
1-3. 浸水における心 血 管 応 答	3
1-4. 浸水時における心 血 管 応 答 の 先 行 研 究	4
1-5. 加 齢 お よ び ト レ ー ニ ン グ 様 式 に お け る 身 体 的 変 化 お よ び 心 血 管 機 能 の 変 化	4
1-6. 浸水と加 齢 お よ び ト レ ー ニ ン グ 様 式 と の 関 連 性	5
1-7. 水 中 運 動 と 高 齢 化 社 会	6
1-8. 本 研 究 の 目 的	7
第 2 章 研究課題 1「浸水時の心 血 管 応 答 に 対 す る 加 齢 お よ び ト レ ー ニ ン グ 様 式 の 影 響」	9
2-1. 緒 言	9
2-2. 方 法	11
2-3. 結 果	17
2-4. 考 察	20
2-5. 結 論	26
2-6. 今 後 の 展 望	27
第 3 章 研究課題 2「若年者におけるアクアビクスの基本動作とその決定要 因」	35
3-1. 緒 言	35
3-2. 方 法	36
3-3. 結 果	40

3-4. 考察	41
3-5. 結論	44
3-6. 今後の展望	45
第 4 章 研究課題 3「高齢者におけるアクアビクスの基本動作とその決定要因」	52
4-1. 緒言	52
4-2. 方法	53
4-3. 結果	57
4-4. 考察	61
4-5. 結論	65
第 5 章 総括	72
参考文献	75
謝辞	85
付録 アクアビクスの運動処方例	I

第 1 章 背景

1-1. はじめに

我々は全体の 70% を水に囲まれた地球環境で生活しており、入浴、沐浴、水泳、水中運動、海水浴、水治療法など人間の生活と水とは切り離せない関係にある。古代ローマ文明より、人類は水とそこで行われるあらゆる活動が体に良いことを知っていた証として「水は健康の源である」という言葉もカラカラ浴場には残されている。そして現代では、水に浸かるだけではなく、水中で運動を行うまでに発展した。1960 年にアメリカ元海軍のシドネイ・ジャピロが泳げない高齢者に垂直姿勢で運動を指導したことから始まり、1980 年代に日本でも水中運動が紹介されるようになった。そして近年では、健康づくりの手段としてリハビリテーションの現場やスポーツクラブで水中運動が導入されている。

1-2. 水 の 特 性

1-2-1. 浮力

浮力とは水中に浸っている部分と同じ体積に相当する水の重さ分だけ重力と反対方向に働く力を指す。これはアルキメデスの原理と呼ばれる。この浮力効果により、水中で人間の体重は首水位では 10%、剣状突起水位で 30%、腹部水位で 50~60%、大腿部水位で 90% になる(Figure1-1)。また、比重により浮力が変わるため、筋量や体組成によっても変化する。このように、水中では関節への負担が軽減する。

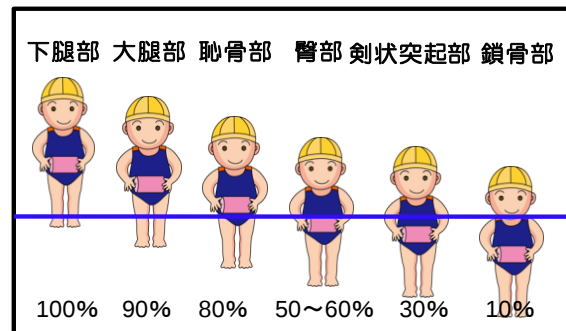


Figure1-1 The ratio of weight of the depth of water

1-2-2. 抵抗 (粘性)

水中で物体が移動するとき、その方向とは反対向きの力である抵抗を受ける。水の密度は空気の約 800 倍であり、水中では陸上の 60 倍の粘性がある。このため水中での動作や移動の際には大きな抵抗を受ける。水の抵抗の大きさは動作スピードの 2 乗倍に比例し、表面積にも比例する。したがって、水中で動作を行う場合、個人の動くスピードに応じて負荷調節が可能であり、個人の体力や運動能力に負荷を合わせることができる。

1-2-3. 水圧

物体は陸上において 1 気圧の圧力を受けている。一方、水中では水深が深くなるほど水圧が高まり、水深 1m ごとに 0.1 気圧ずつ増加する。このため、水中立位時には、上半身より下半身に高い水圧がかかる。浸水に伴って、より強い水圧を受ける静脈が圧迫され、静脈還流量が増加する。その結果、1 回拍出量が増加し、心拍数の減少が起こる¹。浸水に伴う静脈環流量の増加は中心静脈圧を上昇させ、胸腔内で約 700ml の血液貯留を引き起こす²。また、水圧により横隔膜が圧迫され、陸上に比べて、肺活量は約 10% 低値を示し、呼吸機能の向上が見込まれる。

1-2-4. 水温

水中では、熱伝導率が空気の約25倍、比熱も空気の約1000倍以上ある。このように水の熱伝導率・比熱は空気のそれに比してはるかに大きいため、身体への熱の放散が大きく、また身体周囲の水の温度も上昇しにくい。一般的に30－36℃を無感帯と言い、この温度の範囲内であれば身体への順応が起こり、36℃以上または30℃未満ではそれぞれ温かさや寒さを感じると言われる。このため、人間の体温よりも低い水温である競泳およびフィットネス用プールに入ると、寒冷刺激により体温調節機能が向上する。

1-3. 浸水における心血管応答

頭部を水面に出した頸下浸水(Head-Out Water Immersion:HOWI)環境において、心拍数が減少することはよく知られている。浸水に伴う静脈環流量および心拍出量の増加に対し、副交感神経活動の亢進と交感神経活動の抑制^{3,4}が報告されており、このメカニズムにより徐脈が現れると考えられている。さらに、浸水における心血管応答については、心肺圧受容器の関与が考えられる。心肺圧受容器は骨格筋と皮膚の血管に強く作用する⁵。浸水に伴う静脈環流量の増加を心肺圧受容器が感知し、血管拡張を介して末梢血管抵抗の減弱を引き起こす。静脈還流量が促進することで心拍出量は増加し、血圧が上昇する方向に働くが、これを緩衝するために心拍数の低下、末梢血管抵抗の低下を惹起し⁶、血圧を一定に保とうとする。さらに、浸水に伴い、心拍出量の増加による右心房圧の亢進のためのカテコラミン濃度の低下、抗利尿ホルモンの分泌抑制、心房性利尿ホルモンの分泌促進などが生じ^{1,7,8}、これらのホルモンが血圧低下に作用する。したがって浸水における血圧はこれらのバランスにより決定づけられる。

1-4. 浸水時における心血管応答の先行研究

若年者を対象として浸水時の心血管応答を検討したほとんどの先行研究において、浸水に伴って心拍数が低下することで一致している⁹⁻¹²。しかしながら、血圧は、浸水に伴って不変^{10, 12, 13}、上昇^{11, 14}、なかには低下¹⁵という様々な報告がされている。Gabrielse et al¹¹は、水位の上昇に応じて収縮期血圧が上昇することを明らかにし、収縮期血圧の上昇は水位の上昇とともに生じる静脈環流量の増加に起因すると論じている。また、浸水時の血圧は不変であると報告した美和ら¹³は、浸水に伴う静脈環流量が増加によって血圧値は上昇する方向に作用するが、圧受容器による筋交感神経の抑制や末梢血管抵抗および心拍数の低下により血圧が一定に保たれたと考察している。一方、浸水に伴う血圧の低下を報告している小野寺ら¹⁵は浸水に伴う静脈還流量の増加が右房圧を高め、心房性ナトリウム利尿ペプチドが増加し、カテコラミンやアンギオテンシン作用に拮抗して血圧を低く調整したと推測している。このように、若年者の浸水に伴う血圧変動は様々な結果が報告されている。しかしながら、血圧の不変および上昇を示す研究の多くは剣状突起水位以上で多くみられ、血圧の低下を示す研究は腰・大腿部水位であることから、水位が浸水中の血圧変動に大きな影響を及ぼすことが考えられる。

1-5. 加齢およびトレーニング様式における身体的変化および心血管機能の変化

加齢によって、生体では多くの身体的変化および心血管機能の変化が生じる。ヒトでは30歳を過ぎると10年毎に約5%前後の割合で筋量が減少し、60歳を超えるとその減少率が加速することが報告されている¹⁶。また筋量だけでなく心肺体力、筋力およびバランス機能といった身体能力も加齢により低下する¹⁷⁻¹⁹。さらに、心血管系機能においては、加齢による圧反射受容器感

受性の低下²⁰、動脈^{21, 22}および静脈の硬化^{23, 24}が報告されている。これらの加齢に伴う心血管系機能の低下は、身体活動の低下が一因と考えられており、習慣的な運動を行うことで改善されることが明らかとなっている^{20, 22, 24}。

一方で、若者であっても、このような生体の機能や形態に影響を及ぼすものとしてトレーニングが挙げられる。運動には持久性トレーニングとレジスタンストレーニングがあり、トレーニングの種類により筋組成や心肺体力が異なる適応を示す。持久性トレーニングは心肺体力に加えて、圧受容器反射感受性の向上²⁵や動脈および静脈の硬化の改善が報告されている^{22, 24, 26}。また筋力や筋量を増加させるレジスタンストレーニングは、動脈硬化を促進させることが示されている²⁷⁻²⁹。

1-6. 浸水と加齢およびトレーニング様式との関連性

浸水に対する心血管応答と加齢の関連性について検討した報告では、加齢に伴う自律機能の変化に注目している。若年者を対象とした研究では、浸水によって心拍数が低下し、血圧は不変^{10, 12, 13}、上昇^{11, 14}、低下¹⁵と様々な結果が報告されている。一方、高齢者においては、心拍数は低下するものの、若年者よりも変化量が少なく^{9, 30}、浸水時の血圧の上昇が若年者と比べて、大きいこと^{9, 31}が観察されている。これは加齢に伴う圧受容器反射感受性や動脈硬化によって引き起こされること^{9, 13, 32}が示唆されており、それは以下の理由から考えることができる。第一に、浸水によって静脈還流量が増加しても、圧受容器の入力刺激が加齢により減弱化しているため、迷走神経活動が正常に亢進しない可能性がある。第二に、加齢によって血管壁が肥厚化して硬化した動脈に、浸水に伴って増加した血液が流れ込むことで有効循環血液量が増大し、血圧が機械的に上昇する可能性が考えられる。一方で、高齢者では静脈の硬化や静脈容量が減少しているため、水圧により下肢の静脈が

圧迫されても静脈環流量の増加が少ない可能性も考えられる。

前述したように、若年者においてもトレーニング様式によって、心血管の機能や形態に異なる影響を及ぼす。浸水時の心血管応答に動静脈の硬化度や圧受容器反射感受性が関係しているのであれば、HOWI環境下において、加齢やトレーニング様式の違いによって浸水時に異なる生理的応答を及ぼすかもしれない。加齢により血管が硬化し、圧受容器反射感受性が低下している高齢者や、血管の硬化が考えられるレジスタンストレーニングを行っている者は、浸水時に心拍数が下がりにくく、血圧が上昇しやすくなると考えられる。一方、動静脈の硬化度が低く、圧受容器反射感受性の高い持久性トレーニングを行っている者は浸水に伴って、心拍数が大きく低下し、血圧も上昇しにくいと推測できる。しかしながら、浸水時の心血管応答と圧受容器反射感受性や動静脈の硬化の関係を報告した研究やトレーニング様式における浸水時の心血管応答について調べた研究はまだない。

1-7. 水中運動と高齢化社会

水中運動は水泳とは異なり、立位姿勢で顔をつけずに行うため、泳げない人でも参加可能なスポーツである。また、浮力が生じて自重負荷が減少するため、肥満者、関節に疾患を持つ者、腰痛を有する者でも安全に運動を行うことができる。さらに陸上運動では重量を変えたり、複雑な装置を用いて負荷調整を行わなければならないが、水中では水抵抗が動きのスピードに応じて変わるため、手軽な負荷調節が可能となる。また、水中運動は心肺体力や筋力の向上に加えて、水中での不安定な環境はバランス機能も向上させる³³。このため、近年では水中運動は老若男女問わず、スポーツ選手から障害を有する者まで参加できるスポーツとして、スポーツクラブやリハビリテーションの現場で導入されるようになってきた。日本でも、約 5000 か所の室内プ

ールがあり、水中運動が多く現場で行われている。2010年に日本の高齢者人口は23.1%に達し、超高齢化社会に突入した。高齢化が進む社会において、個人の生活の質(QOL)や日常生活動作(ADL)を高いレベルで保つことが重要になる。加齢に伴い、体力およびバランス機能の低下、関節の疾患が顕著になる高齢者においても、水中運動は参加可能かつQOLやADLを向上できる³³ことから、水中運動の更なる研究が必要であると考えられる。

水中運動プログラムの中には水中ウォーキングだけではなく、アクアストレッチングや水抵抗器具を用いた水中筋力トレーニング、音楽に合わせて行うアクアビクスなど様々なプログラムが存在する。中でもアクアビクスは、音楽に合わせて基本的な動きを組み合わせ、反復するプログラムで、スポーツクラブの中では中高年者を中心に最も人気のある水中運動プログラムである。しかしながら、水中ウォーキングについては運動生理学やバイオメカニクスの観点から多く研究されているものの、動きが複雑なためにアクアビクスについての研究はそれほど多くない。したがって、アクアビクスの基本動作の運動強度を明確にし、体格や体力などの個人の特性が運動強度及ぼす影響について検討することは、対象者の身体的特性に合わせたアクアビクスプログラム作成に必要であると考えられる。

1-8. 本研究の目的

近年、日本においても超高齢化社会に突入し、高齢者のQOLやADLを高いレベルで保つため、健康の維持・増進、リハビリテーションを目的とした水中運動が広く行われるようになってきた。水中では浮力の働きにより、自重負荷が軽減するため、関節への負担が少なく、高齢者に適したスポーツである。しかしながら、高齢者では、若年者とは異なる浸水に伴う心血管応答が観察されている^{9, 30, 31}。これらは加齢による動脈の硬化や圧反射受容器感

受性の低下が起因すると考えられるが、浸水時の心血管応答と圧受容器反射感受性や動静脈の硬化の関連を報告した研究はまだない。さらに若年者であってもトレーニング様式によって身体的特徴や心血管の機能や形態に違いがあるため、加齢と同様に、トレーニング様式の違いによって浸水時の心血管応答が異なるのではないかと考えられる。これらを明らかにすることは、安全な HOWI 環境下のライフスタイルに貢献すると考える。そこで研究課題 1 では、対象者の身体および心血管特性が浸水時の心血管応答に及ぼす影響について検討し、浸水時の心血管応答の規定因子を決定することを目的とした。

水中運動においては、水中ウォーキングには運動生理学やバイオメカニクスの観点より多く研究されているものの、アクアビクスの研究はまだ少ない。特にアクアビクスの各基本動作に関する研究はほとんどないため、指導者の経験や感覚でプログラムが作成されているのが現状である。したがって、対象者の特性に合わせた効率的かつ効果的な運動プログラムを作成するために、アクアビクスの基本動作における運動強度を明確にする必要がある。そこで研究課題 2 では若年男性を対象に①アクアビクスの基本動作であるシザース、ロッキング、ジャンプ、キッキングの運動強度を酸素摂取量の観点から明確にすること、②体格や体力といった個人の身体的特性からアクアビクスの基本動作の運動強度の決定要因を検討することを目的とした。また、研究課題 3 では、高齢者におけるアクアビクスの基本動作の運動強度および身体特性が運動強度に与える影響を明らかにすることを目的とした。

第 2 章 研究課題 1

「浸水時の心血管応答に対する加齢およびトレーニング様式の影響」

2-1. 緒言

水泳、水中運動、海水浴、入浴、アクアセラピーなど現代の人間の生活と水には切り離せない関係がある。水中では浮力の他にも、水圧や水温、粘性などの物理的特性が存在し、陸上とは異なる環境下となる³⁴⁻³⁷。特に、生体の循環系においては、浸水により静脈圧が上昇し、静脈還流量が促進することで、左室前負荷が増大し、1回拍出量や心拍出量の増加が起きると考えられている^{1, 36}。したがって、水との接点が多い我々にとって、陸上とは異なる生理的応答を示す水中での生体応答を知ることは重要であると考ええる。

水中では水圧の影響により、心血管系における圧負荷の増大が惹起される^{1, 36}。水圧によって静脈還流量の増加を介して心拍出量が増大すると、有効循環血液量の増加によって圧受容器が刺激され、交感神経や迷走神経が機能して血圧が精巧に調節される。この血圧の調節に対して重要な役割を果たす圧反射受容器は、加齢によってその感受性が低下する²⁰。さらに圧受容器反射感受性だけでなく、加齢によって動脈^{21, 22}および静脈の硬化^{23, 24}も多く報告されている。したがって、高齢者と若年者とでは異なる浸水時の心血管応答を示す可能性がある。

頭部を水面に出した頸下浸水(Head-Out WaterImmersion: HOWI)環境下の先行研究において、若年者は心拍数が低下することで一致しているものの⁹⁻¹²、血圧は不変^{10, 12}、上昇^{11, 14}、低下¹⁵と、水温や水位の違いにより様々な結果が観察されている。しかしながら、高齢者においては、心拍数は低下するものの若年者よりもその変化量が小さく^{9, 30}、さらに高齢者における浸水時の血圧の上昇^{9, 31}は若年者と比べて大きいことが観察されている。これらの原因として加齢による圧受容器感受性の低下や動静脈の硬化が挙げられる

が、浸水時の心血管応答と圧受容器感受性や動静脈の硬化との関連を検討した研究はまだない。

加齢によって心血管機能、筋力および筋量は低下する^{18, 21-24, 38}。一方で、このような生体の機能や形態に影響を及ぼすものとしてトレーニングが挙げられる。運動には持久性トレーニングとレジスタンストレーニングがあり、トレーニングの種類により筋組成や心肺体力が異なる適応を示す³⁹。持久性トレーニングは心肺体力に加えて、圧受容器反射感受性および静脈コンプライアンスの向上^{24, 25}や動脈スティフネスの低下が報告されている^{22, 26}。一方、レジスタンストレーニングは筋力や筋量の増加に加えて、動脈スティフネスが増加することが示されている²⁷⁻²⁹。また、Smith et al.は、レジスタンストレーニングを行っている者は下肢陰圧によって静脈環流量が低下することを報告した。⁴⁰ 下肢陰圧によって、下肢への血流貯留が引き起こされ、静脈還流量が低下する。このメカニズムを考慮すると、Smith et al.の結果は、レジスタンストレーニングを行っている者の静脈コンプライアンスおよび静脈容量が低いことを間接的に示唆している。このように、トレーニング様式によって循環器系機能は異なる適応を示す。

先行研究において議論されているように、浸水時の心血管応答に動脈スティフネス、静脈コンプライアンスや圧受容器反射感受性などが関係しているのであれば^{1, 36}、静脈還流量が増加する HOWI 環境下において、加齢やトレーニング様式の違いによって浸水時に異なる生理的応答を及ぼすかもしれない。浸水に伴う血圧の上昇はいくつかの要因が考えられる。第一に、浸水によって静脈還流量が増加しても、圧受容器への入力刺激に対する感受性が減弱化している状態では迷走神経活動が正常に亢進しないため、血圧が上昇する可能性がある。第二に、動脈スティフネスが増大した状態では、浸水に伴う静脈からの動脈への血液のシフトに対して動脈伸展が機能せず、血圧が動

脈血流量依存的に上昇する可能性が考えられる。一方で、静脈コンプライアンスや静脈容量の低下は、水压により下肢の静脈が圧迫されない、または圧迫されても静脈環流量の増加が小さいことに寄与する可能性があり、静脈コンプライアンスが低いことは浸水に伴う血圧の上昇を弱めることも考えられる。しかしながら、浸水に伴う心血管応答と動静スティフネス、静脈コンプライアンスおよび圧受容器反射感受性の関係性は不明なままである。

我々は、浸水における心血管応答が加齢やトレーニング様式の違いにおける動脈スティフネス、静脈コンプライアンスや圧受容器反射感受性の違いにより決定されるという仮説を設定した。このため、加齢により血管が硬化し、圧受容器反射感受性が低下している高齢者や血管の硬化が考えられるレジスタンストレーニングを行っている者は、浸水時に心拍が下がりにくく、血圧が上昇しやすくなると考えた。一方、動脈スティフネスが低く、圧受容器反射感受性が高い持久性トレーニングを行っている者は浸水に伴って、心拍数が大きく低下し、血圧も上昇しにくいと仮説を立てた。

そこで研究課題 1 では、持久的トレーニング行っている若年男性、ウェイトトレーニングを行っている若年男性、運動習慣のない若年男性、さらに健康的な高齢男性を対象として、加齢、トレーニング様式における身体的特徴が浸水時の心血管応答に及ぼす影響について検討し、浸水時の心血管応答の規定因子を決定することを目的とした。これにより、事前に年齢、身体特性および運動習慣などによって浸水時の心血管応答が予測されることで、安全な HOWI 環境下におけるライフスタイルに貢献できると考えた。

2-2. 方法

(1) 被験者

被験者は定期的な運動習慣のない若年男性 11 名(Control 群)、習慣的に持

久的トレーニングを行っている若年男性 15 名(Endurance 群)、習慣的にウェイトトレーニングを行っている若年男性 12 名(Resistance 群)の計 38 名の若年男性(Young 群)、さらに健康的な高齢男性 20 名(Older 群)を対象とした。被験者には実験の内容を十分に説明し、書面にて実験への参加の同意を得た。研究課題 1 は早稲田大学の「人を対象とする研究に関する倫理委員会」の承認を得て実施した。

(2) 身体特性

① 体組成

被験者の身長、体重、体脂肪率および体表面積を測定した。体重および体脂肪率は、体組成計(BC612, TANITA, Japan)により評価し、体表面積は Du Bois 式⁴¹により算出した。

② 最大酸素摂取量($\dot{V}O_2\max$)

自転車エルゴメーター(CombiRS-232, Combi Wellness, Japan)を用いた漸増負荷法より $\dot{V}O_2\max$ を求めた。ペダル回転数を 60 回転に設定し、心拍数(HR)120 拍/分程度で 5 分間のウォーミングアップを行わせ、その後疲労困憊に至るまで 1 分毎に 15W ずつ負荷を増加した。各運動負荷のステージにて、HR および主観的運動強度(RPE)を記録した。運動中の呼気ガスは呼吸代謝測定システム(Minato AE300, Minato medical Science, Japan)を用いて分析した。 $\dot{V}O_2\max$ の判定基準は、酸素摂取量($\dot{V}O_2$)のレベリングオフがみられることとした。ただし、酸素摂取量のレベリングオフがみられない場合でも、1)HR が年齢から推定される最大心拍数(HRmax)($220 - \text{年齢} \pm 5$ 拍/分)に到

達していること、2)呼吸交換比が 1.0 以上であること、3)RPE が 19 もしくは 20 であること、この 3 指標中 2 つ以上を満たした時は $\dot{V}O_{2\max}$ と判定した⁴²。 $\dot{V}O_{2\max}$ の値は、ml/kg/min で示した。

③ 下腿筋断面積

下腿の断面積は磁気共鳴装置(MRI)法(Singa1.5T,GeneralElectric Co., Milwaukee, WI, USA)を用いて、仰臥位姿勢にて測定した。撮像した画像は PC に転送し、下腿最大横断面積を画像解析ソフト(Slice-o-matic, Tomovision, Monetreal, Canada)を用いて解析した。すべての解析は同じ者が行い、その変動係数は 0.4%であった。

(3) 心臓足首血管指数(CAVI)、下腿静脈容量とコンプライアンス、動脈圧受容器反射感受性の測定

被験者は午前中に実験に参加し、実験開始の 12 時間前より食事を控え、水のみを摂取可能とした。また、実験開始前には仰臥位で 15 分間以上の安静を保った。

① 心臓足首血管指数(CAVI)および血圧

動脈スティフネスの指標として、CAVI を測定した。心臓足首血管指数(CAVI)測定法により心電図と心音をモニタリングしながら、VaSeraVS-1500(Fukuda Denshi, Tokyo, Japan)を用いて血圧および心臓足首血管指数(CAVI)を測定した。心臓から足首までの距離を身長から推定し、心臓と足首での脈波の時間差から脈波速度を割り出し、血圧で補正することで CAVI の数値を算出した。

$$CAVI = a \cdot [(2q / \Delta P) \cdot \ln(P_1 / P_0) \cdot \text{pulse wave velocity}^2] + b$$

脈波伝播速度(PWV)は心臓から足首までの PWV、 ΔP は $P_1 - P_0$ 、 q は血液密度、 a および b は定数を表す。収縮期血圧(SBP in spine)、拡張期血圧(DBP in spine)、平均血圧(MBP in spine)および脈圧(PP in spine)は VaSeraVS-1500 を用いてオシメトリック法により測定された。CAVI の変動係数は 2%であった。

② 下腿静脈容量およびコンプライアンス

下腿静脈容量およびコンプライアンスの測定は、Hallwill ら⁴³の方法に従ってストレンゲージ・プレチスモグラフ(EC-5R, D.E.Hokanson Inc., Bellevue, WA, USA)を用いた。被験者は仰臥位をとり、下腿を心房よりも高い位置になるように固定した。大腿中央部にはカフに圧を加えることができるカフインフレーター(EC-20;D.E.Hokanson Inc.)に接続された大腿部駆血用カフ(CC17,D.E.Hokanson Inc.)を巻いた。ストレインゲージを下腿最大位に巻いた後、ストレインゲージ・プレチスモグラフのゼロリセットを行い、データ取り込みを開始した。カフを 60mmHg まで加圧し、静脈還流障害を 8 分間維持した後、1mmHg/sec の割合にてカフ圧を 0mmHg まで減圧し、下腿静脈容量およびコンプライアンスを計測した。ストレンゲージ・プレチスモグラフの変動係数は 4%であった。

下腿静脈コンプライアンス(変動係数, $4 \pm 1\%$)のデータは 1,000Hz で A/D 変換(PowerLab;AD Instrument, Bella Vista, NSW, Australia)を行い、パーソナルコンピュータに取り込み解析した。Hallwill ら⁴³の研究において静脈内圧とカフ圧の関係は、カフ圧で 10mmHg 以上の場合で直線性が得られているため、解析にはカフ圧が 60~10mmHg まで減圧した時の下腿静脈容積を用いた。このデータを用いたカフ圧ー下腿静脈容積曲線より、二次回帰モデル(Δ

$\text{limb volume} = \beta_0 + \beta_1(\text{cuff pressure}) + \beta_2(\text{cuff pressure})^2$ を算出し、係数を求めた。下腿静脈コンプライアンスはカフ圧－下腿静脈容積曲線の二次回帰モデルを微分して求めた。さらに静脈コンプライアンスに焦点を当てた先行研究においては20mmHg時のコンプライアンスの値で評価を行っている^{24, 43}。コンプライアンスは10～60mmHgの範囲で決定されるものの、生理学的範囲は10～20mmHgだと考えられる⁴⁴。したがって、静脈コンプライアンスと被験者特性の関係を調べるために、20mmHg時の下腿静脈コンプライアンスを用いることとした(i.e., $\text{Compliance}_{20\text{mmHg}} = \beta_1 + 2\beta_2 \times 20$)。プレチスモグラフィによって評価した静脈容量とMRI法によって評価した下腿筋断面積の積を下腿の絶対血管容量として示した。

③ 動脈圧受容器反射感受性

動脈圧受容器反射感受性は Valsalva 法により計測を行った。仰臥位にて、アネロイド血圧計に接続したチューブを 40mmHg で 15 秒吹くよう指示し、その時の RR 間隔(RR)と収縮期血圧(SBP)を計測した。RR は心電計(BSM-2401, Nihon Koden, Tokyo, Japan)をモニタリングし、SBP はフィナプレス(Ohmeda, Madison, WI, USA)により連続的に非侵襲的に計測された。動脈圧受容器反射感受性はバルサルバのIV相で算出した。SBP が上昇してピークに達した点の RR 間隔と SBP の相関が 0.8 以上である部分を動脈圧受容器反射感受性として用いた²⁵。変動係数は 7%であった。

(4) 浸水測定

被験者は実験の 3 時間前より食事を控え、水のみ摂取可能とした。水温($29.5 \pm 0.2^\circ\text{C}$)、室温($29.1 \pm 2.3^\circ\text{C}$)の環境下において、各自の剣状突起に合わせた水位で実験を行った。陸上で 5 分間以上座位にて安静を保った後、実験

を開始した。陸上立位を 5 分とった後、水中立位を 3 分間行った。入水時にはプールサイドに腰かけ、足元からゆっくりと入水するように指示し身体負荷を最小限に留めた。

また、HR は心拍計(RS400, Polar, Finland)を用いて、実験開始から浸水終了まで 30 秒ごとに測定した。血圧は自動血圧計(HEM-7430, OMRON, Kyoto, Japan)にて陸上立位および水中立位の最後 1 分間で測定を行った。浸水測定における平均血圧は $[(SBP - \text{拡張期血圧}) \div 3] + \text{拡張期血圧}$ にて求めた。

(5) 統計処理

統計処理は統計ソフト (Stat View; SAS, Cary, NC, USA) を用いて行い、数値はすべて平均値±標準偏差で示した。被験者特性および心血管特性は一元配置分散分析を用いて分析した。浸水に伴う HR および SBP の変化は二元配置分散分析(群×時間)を用いた。分散分析に有意性が認められた場合、Bonferroni 法によって事後検定を行った。身体および心血管特性と浸水に伴う HR および SBP の変化量の関係を把握するためにピアソンの相関係数を算出し、その後、SBP については偏相関係数を算出した。浸水に伴う HR および SBP の変化量の決定因子を検討するために、HR の変化量については相関係数が有意であった年齢、 $\dot{V}O_2\text{max}$ 、BRS を独立変数に投入し、SBP の変化量については偏相関係数が有意であった CAVI、BRS、MBP に加え、年齢と絶対血管容量を独立変数に強制投入し、重回帰分析を行った。有意水準は $P < 0.05$ とした。

2-3. 結果

(1) 被験者特性

Young群とOlder群の被験者の特性をTable2-1に示した。身長、体表面積、下腿骨格筋量、 $\dot{V}O_2\text{max}$ およびHRmaxがOlder群で有意に低い値を示した($P<0.05$)。

Young群の各トレーニング様式で比較した被験者特性をTable2-2に示した。体重および体脂肪率はControl群およびEndurance群に比べ、Resistance群で有意に高い値を示した($P<0.05$)。体表面積(BSA)および下腿骨格筋量はEndurance群に比べResistance群が有意に高く、 $\dot{V}O_2\text{max}$ はEndurance群がControl群およびResistance群に比べて有意に高かった($P<0.05$)。

(2) 心血管特性

Table2-3にYoung群とOlder群の心血管特性を示した。収縮期血圧(SBP in spine)、拡張期血圧(DBP in spine)、平均血圧(MBP in spine)、がYoung群に比べ、Older群で有意に高い値を示した($P<0.05$)。Young群に比べ、Older群は相対的血管容量のみ有意に高い値を示した(Figure2-1, $P<0.05$)。

Young群の各トレーニング様式で比較すると、絶対的および相対的血管容量ともにControl群およびEndurance群に比べてResistance群が有意に低い値を示した(Figure2-1, $P<0.05$)。また、20mmHg時の静脈コンプライアンスは、Endurance群がControl群およびResistance群に比べて有意に高く、Control群はResistance群に比べて有意に高い値を示した(Figure2-2, $P<0.05$)。

Table2-4にYoung群の各トレーニング様式で比較した心血管特性を示した。安静時心拍および拡張期血圧がEndurance群に比べてResistance群で有意に高い値を示した($P<0.05$)。CAVIはYoung群と比較して、Older群で有意に高く、BRSはOlder群で有意に低い値を示した(Figure2-2, いずれも $P<0.05$)。しかしながら、Young群の各トレーニング様式で比較すると、いずれの群間に

においても有意な差はみられなかった。

(3) 浸水時の心血管応答

① 心拍数(HR)

浸水に伴ってYoung群およびOlder群のHRは有意な低下を示した。さらにその低下量は、Older群に比べてYoung群で有意に大きかった (Table2-5, $P<0.05$)。Young群の各トレーニング様式で比較すると、浸水に伴い、HRは3群ともに有意な低下を示した (Table2-6, $P<0.05$) が、変化量においては群間に有意な差はみられなかった。

全被験者を対象とした身体、心血管特性と浸水に伴う HR の変化量の関係を Table2-7 に示した。年齢および CAVI は HR の変化量と有意な正の相関関係を示し、 $\dot{V}O_2\max$ 、HRmax、BRS は有意な負の相関関係を示した ($P<0.05$)。さらに浸水に伴う HR 低下量における身体および心血管特性の影響を検討するために重回帰分析を用いて、浸水に伴う HR の低下量を従属変数に、年齢、 $\dot{V}O_2\max$ 、BRS を独立変数に投入したところ、全体で約 20%を説明できたが ($r=0.44$)、いずれの項目も独立した関係は認められなかった。

② 収縮期血圧(SBP)

陸上立位および水中立位時のSBPはYoung群に比べてOlder群が有意に高い値を示した (Table2-5, $P<0.05$)。浸水に伴うYoung群およびOlder群のSBPはともに有意な上昇を示した ($P<0.05$)。さらにその変化量は、Young群に比べてOlder群で有意に高い値を示した。Young群の各トレーニング様式で比較すると、陸上立位および水中立位時のSBPはControl群およびEndurance群に比べ、Resistance群が有意に高かった (Table2-6, $P<0.05$)。浸水に伴ってSBPは3群ともに有意な上昇を示した ($P<0.05$) が、変化量において群間に有意な差はみ

られなかった。

全被験者を対象に、身体および血管特性と浸水に伴うSBPの変化量の関係をTable2-8に示した。年齢、BRS、SBP in spine、DBP in spine、MBP in spine、PP in spineおよびCAVIは、浸水に伴うSBP変化量と有意な正の相関関係を示し、HRmaxおよび下腿骨格筋量は有意な負の相関関係を示した($P<0.05$)。

さらに浸水に伴うSBPの変化量における身体および心血管特性の影響を検討するために重回帰分析を用いて、浸水に伴うSBPの変化量を従属変数に、年齢、MBP in spine、BRS、絶対的血管容量、CAVIを独立変数に強制投入したところ、全体で33%説明でき、年齢($\beta = -0.62$)、MBP in spine($\beta = 0.40$)、CAVI($\beta = 0.64$)が独立して関係していた($P<0.05$)。

③ 拡張期血圧(DBP)

陸上立位および水中立位時のDBPは、Young群に比べてOlder群で有意に高い値を示した(Table2-5, $P<0.05$)が、浸水に伴う変化に有意な差はみられなかった。またYoung群の各トレーニング様式で比較すると、陸上立位および水中立位時のDBPは、Endurance群に比べ、Resistance群で有意に高い値を示したが、浸水に伴う変化に有意な差はみられなかった。

④ 平均血圧(MBP)

陸上立位および水中立位時のMBPは、Young群に比べてOlder群が有意に高い値を示した(Table2-5, $P<0.05$)。浸水に伴ってYoung群およびOlder群のMBPは有意な上昇を示した($P<0.05$)。さらにその変化量は、Young群に比べてOlder群で有意に高い値を示した。またYoung群の各トレーニング様式で比較すると、陸上立位および水中立位時のMBPはControl群、Endurance群に比べ、Resistance群で有意に高い値を示したが、浸水に伴う

変化量に有意な差はみられなかった。

⑤ 脈圧(PP)

陸上立位および水中立位時のPPは、Young群に比べてOlder群で有意に高い値を示した(Table2-5, $P<0.05$)。浸水に伴い、Young群およびOlder群ともに有意な上昇を示したが、両群間の変化量に有意な差はみられなかった。また、Young群のトレーニング形態においても3群ともに有意な上昇を示したが、変化量においては群間に有意な差はみられなかった。

⑥ ダブルプロダクト(DP)

水中立位時のDPはOlder群に比べ、Young群で有意に低い値を示した(Table2-5, $P<0.05$)。また、浸水に伴いYoung群のみ有意な低下を示した(Table2-5, $P<0.05$)。Young群のトレーニング形態を比較すると、水中立位時のDPにおいてEndurance群に比べ、Resistance群が有意に高い値を示し(Table2-6, $P<0.05$)、どの群においても有意な低下を示した($P<0.05$)が、変化量においては群間に有意な差はみられなかった。

2-4. 考察

研究課題1の主な結果は、①浸水に伴うHRの低下は高齢者より若年者で顕著であったこと、②浸水によるSBPの上昇は高齢者でより顕著であること、③浸水に伴うHRの低下には年齢、 $\dot{V}O_2\max$ およびBRSが総合的に関連していること、④浸水によるSBPの上昇には年齢、仰臥位安静時のMBP、動脈ステイフネスが独立して関係しているが、静脈容量とは関係が認められなかったことが明らかとなった。研究課題1は、浸水時の心血管応答の規定因子を初めて明らかにした研究である。年齢、身体特性および運動習慣などにより浸

水時の心血管応答が予測されることで、安全なHOWI環境下でのライフスタイルに貢献することができるだけでなく、環境生理学の分野における新しい知見を提供することになるだろう。

(1) トレーニング様式の違いによる浸水時の心血管応答

研究課題1では若年者のトレーニング様式によって浸水に伴うHRおよびSBPの変化量に違いはみられなかった。静脈コンプライアンスはResistance群で低く、Endurance群で高値を示したものの、CAVIや動脈圧受容器反射感受性にはトレーニング様式による影響は認められなかった。したがって、若年者のトレーニング様式の違いによる静脈コンプライアンスや血管容量の差異は、浸水時の心血管応答に影響しないことが考えられる。このことより、若年者はトレーニング様式に関わらず、浸水時に一様の心血管応答を示すことがわかった。以下は、若年者と高齢者の心血管応答について主に考察する。

(2) 浸水に伴うHR低下の決定要因

研究課題1では、浸水に伴うHRの低下量における身体および心血管特性の影響を検討するために、重回帰分析を用いた。浸水に伴うHRの低下量を従属変数に、年齢、 $\dot{V}O_2\max$ およびBRSを独立変数に投入したところ、いずれの項目も独立した関係はみられなかった。しかしながら、浸水に伴うHR低下の約20%を年齢、 $\dot{V}O_2\max$ およびBRSで説明できることがわかった。研究課題1の結果でも示したように、 $\dot{V}O_2\max$ およびBRSは加齢とともに低下するため、浸水に伴うHRの低下には加齢の影響が大きいと考えられる。一方で、心臓副交感神経系活動レベルが持久性トレーニングにより亢進することが、すでに多くの断面的検討^{45, 46}および縦断的検討⁴⁷⁻⁴⁹によって示唆されている。したがって、心肺体力の高い者は、浸水に伴うHRの低下量が大きいことが考えら

れる。研究課題1においても、有意差はなかったものの、**Endurance**群が浸水に伴って大きく低下する傾向がみられた。このため、研究課題1では加齢が独立して関係するのではなく、心肺体力やそれに関連する自律神経活動も要因として関与したと考えられる。

若年者および高齢者ともに、浸水に伴って **HR** が低下したが、若年者と比較して高齢者の **HR** の低下量は小さかった。若年者および高齢者の浸水時の **HR** が低下した原因の一つとして、静脈環流量の促進により心肺圧受容器および動脈圧受容器が刺激され、副交感神経活動が優位になったことが考えられる。しかしながら、加齢に伴い交感神経が亢進し、副交感神経が減弱しており⁵⁰、高齢者は浸水により静脈環流量が促進されても圧受容器の感受性が鈍く、副交感神経活動の亢進が弱いため、若年者よりも **HR** の低下量が小さかったと考えられる。したがって、研究課題1の結果は、高齢者が浸水した場合、静脈環流量増大による有効循環血液量の増加に対して、血圧の上昇リスクにおける回避能力が低下している可能性を示唆している。

(3) 浸水に伴う血圧変動の決定要因

浸水に伴う **SBP** の変化量における身体および心血管特性の影響を検討するために重回帰分析を用いた。浸水に伴う **SBP** の変化量を従属変数に、年齢、仰臥位安静時の **MBP**、**BRS**、絶対的血管容量および **CAVI** を独立変数に強制投入したところ、年齢、仰臥位安静時の **MBP** および **CAVI** が独立して関係していることが明らかとなった。研究課題1では、身体および心血管特性と浸水時の心血管応答には圧受容器反射感受性、動脈スティフネスおよび静脈コンプライアンスや容量が関係していると仮説を立てた。しかしながら、浸水に伴う **SBP** 上昇に加齢は関係するものの、血管においては静脈のコンプライアンスや容量ではなく、**CAVI** のみが独立して影響した。

浸水に伴う静脈還流量の増加は、圧受容器に対する入力だけでなく、有効循環血液量を規定する重要な因子であるが、研究課題 1 では静脈還流量を測定していない。ただし、静脈のコンプライアンスや絶対血管容量から浸水による静脈還流量の増加程度を推測することは可能である。先行研究において、浸水に伴って腹部大静脈横断面積が増大することが報告されている³⁶。このことは浸水時に腹部に達する以前の脚部において静脈が圧迫されていることを示唆する。研究課題 1 において、絶対血管容量および静脈コンプライアンスは若年者と高齢者の間で有意な差がなかった。つまり、若年者および高齢者ともに、浸水時に同程度静脈が圧迫されたことが推測される。したがって、研究課題 1 では若年者および高齢者にかかわらず浸水に伴う静脈還流量の増加は同程度であったと考えられる。

また若年者において、Resistance 群は Control 群および Endurance 群に比べて静脈コンプライアンスおよび血管容量ともに低い値を示した。Resistance 群の静脈コンプライアンスおよび血管容量が他の 2 群に比べて低いにも関わらず、浸水に伴う SBP の上昇量は同じであった。このことから静脈コンプライアンスが浸水時の SBP 上昇に関与する可能性が低いことが示唆される。

浸水に伴う SBP 上昇について、静脈コンプライアンスではなく、CAVI が関与していることが明らかとなった。若年者および高齢者ともに血圧が上昇した理由として、動脈へ浸水に伴って増加した静脈還流が流れ込むことで有効循環血液量が増大し、血圧が機械的に上昇した可能性が考えられる。血圧は心拍出量と末梢血管抵抗の積で決定される。このため、末梢血管抵抗を決定する一因である CAVI が浸水に伴う血圧の上昇に関与したと考えられる。加齢に伴って血管壁が肥厚・硬化し²¹、CAVI は高い値を示す⁵¹。さらに、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^{30, 52}。これらの

結果は、加齢に伴って浸水時の末梢血管抵抗が大きくなることを示している。したがって、CAVIに加えて年齢も浸水に伴う血圧の上昇に関与したことが示唆される。

さらに、仰臥位安静時のMBPが高いほど、浸水に伴うSBPの上昇が大きいことも明らかになった。MBPは末梢血管抵抗の決定要因の一つであるため、結果的に浸水時のSBP上昇に関係したと考えられる。年齢に関係なく平均血圧が高めである場合、浸水時の血圧の上昇に十分に注意を払う必要があると考えられる。また血圧は、CAVIなどと比較すると、測定が容易である。したがって、浸水に伴う血圧の上昇を事前に把握することを目的として、現場での応用が期待される。

研究課題1や他の先行研究で観察されるように、若年者であっても、瞬発的に大きな力が負荷されるレジスタンストレーニングなどを習慣的に行っている者は血圧が高めである^{27, 53}。しかしながら、加齢によって血圧が高めとなる高齢者とは異なり、Resistance群は浸水に伴って他の若年者と同じ程度のSBP上昇を示し、高齢者ほどのSBP上昇は観察されなかった。このことは、浸水に伴う血圧の上昇に、研究課題1では調べられなかった要因が関わっている可能性を示唆している。浸水時には圧受容器反射による筋交感神経の減弱化により末梢血管が拡張する⁵⁴が、高齢者においてこの反応は弱まる^{30, 52}。Resistance群も若年者であったため、安静時の血圧が高値であっても、浸水により筋交感神経活動が抑制され、浸水に伴う血圧の昇圧を緩和していたのかもしれない。

(4) 浸水に伴うダブルプロダクト(DP)の変化

研究課題1において、浸水に伴うHRの低下は若年者でより顕著であること、浸水によるSBPの上昇は高齢者でより顕著であることが明らかになった。HR

とSBPの積で求められるダブルプロダクト (DP)は、若年者においてのみ浸水に伴って有意に低下した。心筋の酸素需要を表すDPの低下は、浸水に伴う心臓への負担軽減を示す。研究課題1は、高齢者におけるDPの有意な低下はみられなかったが、少なくともHOWI環境下で心臓への負担が増加することはないことを示している。高齢者では浸水に伴って血圧が上昇したものの、心拍がある程度低下したことで相殺され、DPに変化がなかったと考えられる。しかしながら、浸水に伴うSBPの上昇は高齢者でより顕著であり、動脈硬化などの血管系の疾患を有する高齢者は血管に負担がかかるため注意が必要であらう。

(5) 本研究の限界

研究課題1の限界の1つとして、高齢者の心血管特性が挙げられる。先行研究において、高齢者の静脈コンプライアンスは若年者に比べて、有意に低いことが示されている²⁴。しかしながら、研究課題1において、高齢者の静脈コンプライアンスは若年者と比較して有意な差は認められなかった。この理由として、研究課題1に参加した高齢者の多くが活動的で健康的な人であったこと、さらに若年者はResistance群の静脈コンプライアンスが、高齢者に比べて低い値を示しており、若年者全体の静脈コンプライアンスの平均を下げたことが挙げられる。静脈環流量は血圧を規定する心拍出量に大きな影響を与えるため、静脈のコンプライアンスや血管容量が浸水時の血圧の規定因子である可能性は否定できない。したがって、一般的な活動量を有する高齢者を対象とした場合、浸水時の心血管応答と静脈のコンプライアンスや容量との関係が立証できるかもしれない。

次に、心肺圧受容器反射感受性を計測しなかったことが挙げられる。研究課題1では動脈圧受容器反射感受性のみを測定したが、心肺圧受容器反射感

受性もまた加齢とともに鈍化する⁵⁵。また、心肺圧受容器は、動脈圧受容器よりも循環血液量増大時の血圧変動の緩衝に大きく貢献していることが報告されている⁵⁶。浸水時の心血管応答において、静脈還流量が増大する HOWI 環境下では動脈圧受容器よりも心肺圧受容器の方が大きく関与した可能性は否定できない。

最後に、浸水環境条件が挙げられる。研究課題1は剣状突起水位で水温約30℃の環境下で行った。先行研究において、水位や水温の違いがHRの低下量に影響を及ぼすこと、さらに血圧においては浸水に伴ってSBPの上昇^{11, 14}や不変^{10, 12}、低下¹⁵なども報告されている。したがって、水位や水温が異なる場合、心血管応答の決定因子が研究課題1の結果と異なる可能性がある。研究課題1の浸水条件は主に室内プールに多用される環境であると考えられることから、研究課題1の結果は水中運動時において有用であるかもしれない。

2-5. 結論

研究課題1は、①浸水に伴う心拍の低下には、年齢、心肺体力、動脈圧受容器感受性が総合的に関係すること、②浸水に伴う血圧の上昇に年齢、安静時の平均血圧、動脈のスティフネスが独立して関係していることを明らかにした。この結果は、加齢だけではなく、安静時血圧や動脈スティフネスなどの個人の心血管特性および心肺体力といった身体特性が浸水に伴う心拍数および血圧の応答に影響を与えることを示唆する。

2-6. 今後の展望

研究課題1において、加齢、トレーニング様式および身体的特徴が浸水時の心血管応答に及ぼす影響について検討した。研究課題1で行った浸水条件

は、水中運動を行う環境と近いと考えられる。今後はこの結果を踏まえ、実際に水中運動を行った際の心血管応答の変化と身体的特徴との関連について検討する必要がある。水中運動は心疾患、整形外科的疾患および肥満の人々に需要のある運動である。これらの疾患を持つ者の多くは高齢者であり、何らかの心血管の異常がある可能性が高い。したがって、水中運動を行う際のリスクを事前に軽減するため、水中運動の強度と心血管応答の変化および身体的特徴との関連が明らかにされる必要があるだろう。

Table2-1 Subject characteristics

	Young	Older
N	38	20
Age(years)	21.2±1.7	65.1±3.2 *
Height(cm)	172.2±6.0	166.2±5.2 *
Body weight(kg)	68.1±12.6	63.4±8.8
Body fat(%)	15.7±6.8	16.1±4.3
Body surface area(m ²)	1.801±0.15	1.705±0.12 *
Skeletal muscle area in calf(cm ²)	75.6±9.0	67.5±9.6 *
VO ₂ max(ml/kg/min)	49.9±11.2	35.2±6.5 *
Maximal heart rate(bpm)	182.7±7.5	157.2±12.2 *

Data are mean±SD.

VO₂max Maximal oxygen consumption, BP blood pressure, PP pulse pressure

*P<0.05 vs Young

Table2-2 Subject characteristics in Young groups

	Control	Endurance	Resistance
N	11	15	12
Age(years)	22.0±1.0	21.0±1.5	20.7±2.2
Height(cm)	172.4±6.9	173.8±4.2	170.1±6.7
Body weight(kg)	66.3±9.4	60.1±4.4	80.0±13.7 *†
Body fat(%)	14.7±4.5	10.7±3.4	22.8±5.7 *†
Body surface area(m ²)	1.785±0.15	1.724±0.07	1.912±0.17 †
Skeletal muscle area in calf(cm ²)	74.2±5.7	72.0±7.8	81.2±10.7 †
VO ₂ max(ml/kg/min)	44.7±5.3	61.7±5.7 *	40.1±6.0 †
Maximal heart rate(bpm)	184.8±7.7	182.5±7.3	181.0±7.6

Data are mean±SD.

VO₂max Maximal oxygen consumption, BP blood pressure, PP pulse pressure

*P<0.0167 vs Control, †P<0.0167 vs Endurance

Table2-3 cardiovascular characteristics

	Young	Older
Resting heart rate in spine(bpm)	52.3±8.6	54.5±7.6
Systolic BP in spine(mmHg)	119.8±9.6	135.6±18.6 *
Mean BP in spine(mmHg)	89.7±6.7	108.0±16.2 *
Diastolic BP in spine(mmHg)	70.9±6.1	86.2±11.3 *
PP in spine(mmHg)	49.8±6.6	49.8±13.2
CAVI	5.5±0.5	8.5±0.9 *
Arterial baroreceptor reflex sensivity	14.3±6.3	4.7±1.6 *
Relative calf vascular volume (ml/dl)	4.1±1.8	5.1±1.4 *
Calf venous compliance 20mmHg(ml/dl/mmHg)	0.101±0.03	0.094±0.03
Absolute calf venous volume (ml/dl/cm ₂)	306±120	344±101

Data are mean±SD.

VO₂max Maximal oxygen consumption, BP blood pressure, PP pulse pressure

Absolute calf venous volume=Relative calf vascular volume × Skeletal muscle area in calf

*P<0.05 vs Young

Table2-4 cardiovascular characteristics in Young groups

	Control	Endurance	Resistance
Resting heart rate in spine(bpm)	52.3±9.3	47.7±7.8	58.0±5.3 †
Systolic BP in spine(mmHg)	118.9±7.1	116.3±8.8	125.1±11.0
Mean BP in spine(mmHg)	88.4±5.4	87.5±4.7	93.6±8.5
Diastolic BP in spine(mmHg)	71.3±5.5	68.3±4.8	74.0±7.0 †
PP in spine(mmHg)	47.8±6.3	50.1±7.3	51.0±6.0
CAVI	5.8±0.4	5.5±0.4	5.4±0.7
Arterial baroreceptor reflex sensivity	12.5±5.9	14.4±6.1	15.9±6.9
Relative calf vascular volume (ml/dl)	4.4±1.0	5.1±1.7	2.6±1.3 *†
Calf venous compliance 20mmHg(ml/dl/mmHg)	0.099±0.01	0.129±0.03 *	0.067±0.02 *†
Absolute calf venous volume (ml/dl/cm ₂)	330±76	369±117	206±94 *†

Data are mean±SD.

VO₂max Maximal oxygen consumption, BP blood pressure, PP pulse pressure

Absolute calf venous volume=Relative calf vascular volume × Skeletal muscle area in calf

*P<0.0167 vsControl, †P<0.0167 vs Endurance

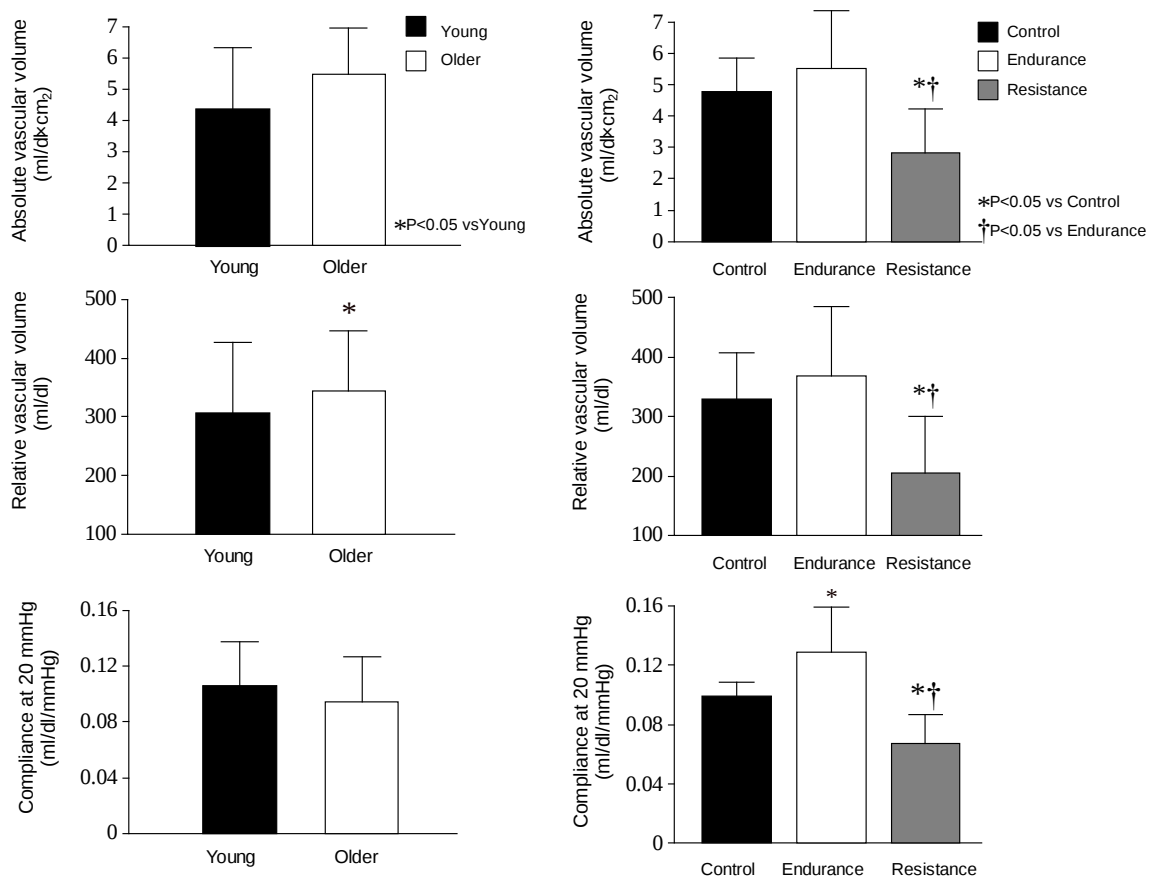


Figure2-1 Mean values for absolute and relative vascular volume, compliance at 20mmHg between groups
Data are mean±SD

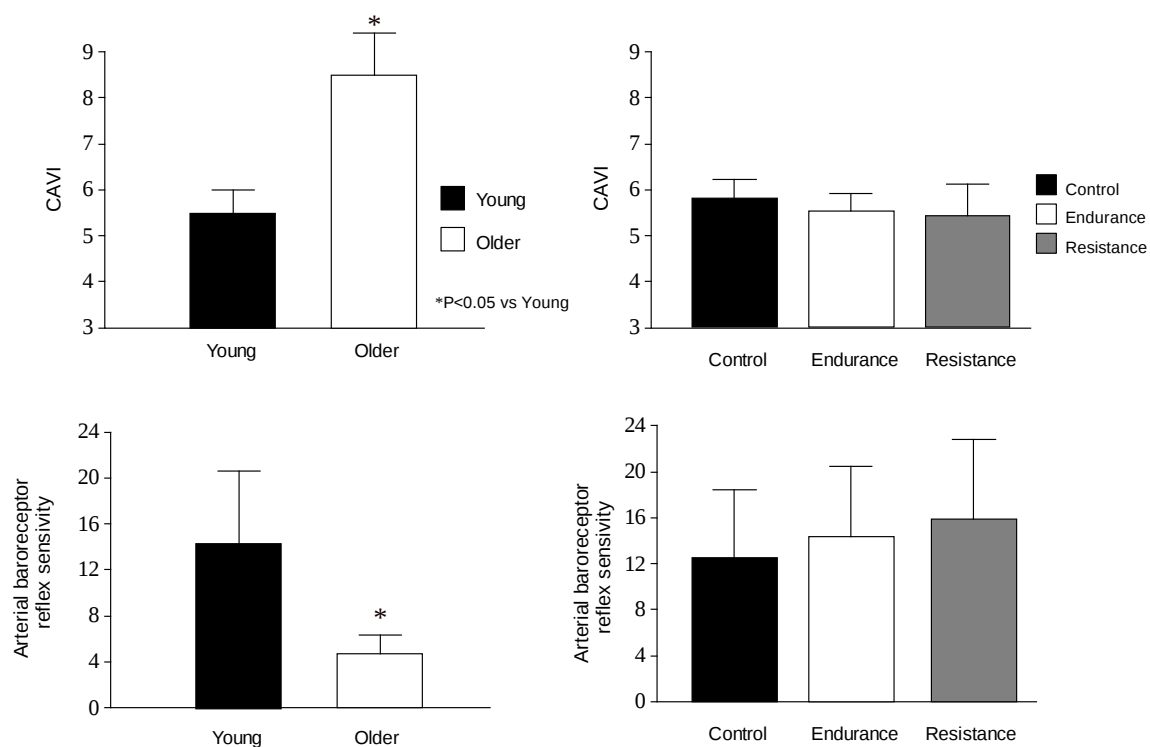


Figure2-2 Mean values for arterial baroreceptor reflex and mean CAVI between groups
Data are mean±SD

Table2-5 Comparison of HR,SBP,DBP,MBP,PP,Double Product on land and in water immersion in the Young and Older

	Young	Older
HR(beat/min)		
On land	82.2±15.3	79.1±11.7
In water	62.5±13.2 †	67.4±9.6 †
Δ change	-19.6±10.7	-11.8±7.2 *
Systolic BP(mmHg)		
On land	118.2±10.4	127.0±12.1 *
In water	129.0±10.2 †	145.4±17.6 *†
Δ change	10.8±11.3	18.4±13.0 *
Diastolic BP(mmHg)		
On land	70.6±8.4	79.6±8.0 *
In water	70.0±8.6	82.6±8.9 *
Δ change	-0.6±7.4	3.0±6.8
Mean BP (mmHg)		
On land	86.4±8.0	95.4±8.7 *
In water	89.6±8.5 †	103.5±10.9 *†
Δ change	3.2±7.4	8.1±8.2 *
PP(mmHg)		
On land	47.6±9.2	47.4±8.5
In water	59.0±7.4 †	62.8±13.0 †
Δ change	11.4±10.6	15.4±9.5
Double product		
On land	9728±2117	10020±1715
In water	8104±2001 †	9793±1947 *
Δ change	-1623±1329	-226±1262 *

Data are mean±SD.

BP blood pressure, PP pulse pressure

*P<0.05 vs Young, †P<0.05 vs On land

Table2-6 Comparison of HR,SBP,DBP,MBP,PP,Double Product on land and in water immersion between three groups.

	Control	Endurance	Resistance
HR(beat/min)			
On land	84.2±14.6	77.7±15.8	85.9±15.1
In water	66.3±15.5 †	54.4±9.9 *†	69.3±9.6 **†
Δ change	-18.0±10.5	-23.2±9.8	-16.7±11.5
Systolic BP(mmHg)			
On land	115.3±5.8	114.7±10.5	125.3±10.6 * **
In water	124.0±7.9 †	126.6±8.2 †	136.7±10.5 * **†
Δ change	8.7±9.7	11.8±13.2	11.4±10.8
Diastolic BP(mmHg)			
On land	71.2±8.5	65.1±5.0	76.8±7.5 **
In water	67.7±9.1	67.4±5.5	75.3±9.5 **
Δ change	-0.2±6.9	2.4±8.4	-1.5±5.0
Mean BP (mmHg)			
On land	85.9±6.8	81.6±5.1	92.9±7.8 * **
In water	86.5±7.9	87.1±5.5	95.8±9.3 * **
Δ change	0.5±6.9	5.4±8.7	2.8±5.4
PP(mmHg)			
On land	44.0±7.6	49.6±11.1	48.5±7.8
In water	56.3±7.9 †	59.2±7.5 †	61.4±6.5 †
Δ change	12.2±10.0	9.6±11.3	12.9±10.9
Double product			
On land	9716±1773	8875±1872	10804±2344
In water	8265±2158 †	6869±1254 †	9502±1728 **†
Δ change	-1451±1089	-2006±1297	-1302±1544

Data are mean±SD.

BP blood pressure, PP pulse pressure

*P<0.0167 vs Control, **P<0.0167 vs Endurance

†P<0.05 vs On land

Table2-7 Relationship of Heart rate variation and physical,cardiovascular characteristic

	coefficient of regression	standard regression coefficient	P
R=0.44			
intercept	-7.81		
age	0.08	0.16	0.38
VO ₂ max (ml/kg/min)	-0.25	-0.04	0.057
BRS	-0.07	-0.04	0.77

BRS Arterial baroreceptor reflex sensitivity, BP blood pressure, VO₂max Maximal oxygen consumption

Table2-8 Relationship of systolic blood pressure variation and physical,cardiovascular characteristic

	coefficient of regression	standard regression coefficient	P
R=0.57			
intercept	-36.60		
age	-0.36	-0.62	0.03
BRS	-0.26	-0.14	0.34
CAVI	4.95	0.64	0.02
Absolute calf venous volume (ml/dl/cm ²)	-0.01	-0.04	0.71
Mean BP in spine (mmHg)	0.36	0.40	0.01

BRS Arterial baroreceptor reflex sensitivity, BP blood pressure

第 3 章 研究課題 2

「若年者におけるアクアビクスの基本動作の運動強度とその決定要因」

3-1. 緒言

American College of Sports Medicine(ACSM)のガイドラインにおいて健康の維持増進のために有酸素運動やレジスタンス運動を行うことが推奨されている⁵⁷。しかしながら、多くの有酸素運動やレジスタンス運動は関節に負担のかかる運動であり⁵⁸、運動が必要とされている肥満者や高齢者に適切であるとはいえない。そこで注目が集められているのが水中運動である。近年、水中運動の中でも、音楽に合わせ運動を行うアクアビクスは、有酸素性能力の向上のみならず筋力の向上が期待できること⁵⁹から、スポーツクラブなどで広く普及している。先行研究によると、水中では浮力により関節への負担が軽減すること⁶⁰から、アクアビクスは低体力者、軽肥満者、リハビリテーションを目的とした者に最適な運動であることが報告されている⁶¹。したがって、アクアビクスは幅広い人々を対象とした運動様式であると考えられる。

アクアビクスの運動プログラムは様々な動作のコンビネーションによって構成される。しかしながら、アクアビクスの基本動作に関する研究はまだまだ少なく、指導者の経験や感覚でプログラムが作成されているのが現状である。したがって、対象者の特性に合わせた効率的かつ効果的な運動プログラムを作成するために、アクアビクスの基本動作における運動強度を明確にする必要がある。

水中では水抵抗により動作スピードや水にふれる面積を変えることで、個々の能力に合わせた運動強度の調節が可能となる^{62, 63}。一般的に同じ運動を行った場合、心肺体力が低い者に比べ、心肺能力の高い者は低い運動強度を示すことは当然の概念である。しかし、水中では水抵抗や浮力が働くこと

から、心肺体力の要素の他に、運動強度を決定する要因があるかもしれない。体格の大きい者ほど水にふれる面積が多く、水中運動中の負荷が増えると予想されるが、体格がアクアビクスの運動強度に及ぼす影響について検討した研究はまだない。水中運動は様々な体力や体格の者が参加できる運動様式であるため、基本動作の運動強度とその決定要因を明確にすることは、現場におけるアクアビクスの指導に役立つと考えられる。

そこで研究課題 2 では、非活動的な若年成人男性、細身ながらも体力のある持久的トレーニングを行っている若年男性、さらにウェイトトレーニングを行っている大柄な若年男性といった幅広い身体的特性を有する者を対象に、①アクアビクスの基本動作であるシザース、ロッキング、ジャンプ、キッキングの運動強度を酸素摂取量の観点から明確にすること、②体格や体力といった個人の身体的特性からアクアビクスの基本動作の運動強度の決定要因を検討することを目的とした。

3-2. 方法

(1) 被験者

被験者は定期的な運動習慣のない男性 11 名 (Control 群)、習慣的に持久的トレーニングを行っている男性 15 名 (Endurance 群)、習慣的にウェイトトレーニングを行っている男性 12 名 (Resistance 群) の計 38 名を対象とした。被験者には実験の内容を十分に説明し、書面にて実験への参加の同意を得た。研究課題 2 は早稲田大学の「人を対象とする研究に関する倫理委員会」の承認を得て実施した。

(2) 陸上測定

① 身体測定

被験者の身長、体重、体脂肪率、体表面積を測定した。体重および体脂肪率は体組成計(BC612, TANITA, Japan)により評価し、体表面積は Du bois 式⁴¹により算出した。

② 最大酸素摂取量($\dot{V}O_2\max$)

自転車エルゴメーター(CombiRS-232, Combi Wellness, Japan)を用いた漸増負荷法より $\dot{V}O_2\max$ を求めた。ペダル回転数を 60 回転に設定し、心拍数(HR)120 拍/分程度で 5 分間のウォーミングアップを行わせ、その後疲労困憊に至るまで 1 分毎に 15W ずつ負荷を増加した。各運動負荷のステージにて HR、主観的運動強度(RPE)を記録した。運動中の呼気ガスは呼吸代謝測定システム(Minato AE300, Minato medical Science, Japan)を用いて分析した。 $\dot{V}O_2\max$ の判定基準は、酸素摂取量($\dot{V}O_2$)のレベリングオフがみられることとした。ただし、酸素摂取量のレベリングオフがみられない場合でも、1)HR が年齢から推定される最大心拍数(HRmax)($220 - \text{年齢} \pm 5$ 拍/分)に到達していること、2)呼吸交換比が 1.0 以上であること、3)RPE が 19 もしくは 20 であること、この 3 指標中 2 つ以上を満たした時は $\dot{V}O_2\max$ と判定した⁴²。 $\dot{V}O_2\max$ の値は、ml/kg/min で示した。

③ MRI

下腿の断面積は MRI 法(Singa 1.5T, General Electric Co., Milwaukee, WI, USA)を用いて、仰臥位姿勢にて測定した。撮像した画像は PC に転送し、下腿最大横断面積を画像解析ソフト(Slice-o-matic, Tomovision, Moncton, Canada)を用いて解析した。すべての解析は同じ者が行い、その変動係数は

0.4%であった。

(3) 水中運動

被験者はアクアビクスの基本動作であるシザース、ジャンピング、ロッキング、キッキングを 128bpm の音楽に合わせて運動した。動作の指導はインストラクターによって行われ、正しい動作を遂行するため、実験中はプールサイドからの声掛けおよび実演によって指導を行った。

4 つの基本動作を Figure3-1 に示した⁶⁴。

(a)シザース:両脚をはさみのようにリズミカルに前後に入れ替える動作。腹部に力を入れて前後に開いた脚に荷重をかける。

(b)ジャンピング:両手脚を開閉する動作。プールの底面にかかとまで着地するように行う。

(c)ロッキング:左右に脚を開いて、からだが揺れる動作。骨盤と身体の傾きが平行になるように揺れる。腹部に力を入れて脚に荷重を交互にかける。

(d)キッキング:体幹部を安定させボールを蹴るように脚を前方に蹴り出す動作。

(4) 測定方法および測定項目

本実験の測定手順を Figure3-2 に示した。実験は食後 3 時間以上経過した後、実施した。被験者は水温 $29.4 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 、室温 $27.8 \pm 1.3^{\circ}\text{C}$ の環境下において、立位時の剣状突起に合わせた水位で運動を行った。陸上で 5 分間以上安静にした後、水中で 3 分間安静にし、アクアビクスを開始した。4 つの各基本動作はすべて 5 分間ずつ行った。4 種目の各基本動作は同日に行い、運動間の休息は 5 分間とした。なお運動動作の順番はランダムであった。

① 心拍数(HR)

HR は心拍計(RS400, Polar, Finland)を用いて実験開始から 30 秒毎に終了まで計測した。各運動種目における HR を $\dot{V}O_2\text{max}$ 測定時に計測した各々の HRmax で除したものを % HRmax とした。また分析には陸上立位、水中立位および水中運動時いずれも、最後の 1 分間の HR の平均を用いた。

② 主観的運動強度(RPE)

RPE は各運動動作終了直後に Borg スケール⁶⁵を用いて評価した。

③ アクアビクス中の酸素摂取量($\dot{V}O_2$)

採気はダクラスバック法を用い、各運動動作の最後 1 分間の呼気を採集した。採気したガスから、呼吸代謝測定システム(Minato AE300, Minato medical Science, Japan)を用いて、酸素濃度および二酸化炭素濃度を測定した。乾式ガスメーター(DC-5, Shinagawa Corporation, Japan)を用いてガス量を測定した。同時にガス温、室温、気圧を測定した。以上の呼気ガスの結果に基づき、 $\dot{V}O_2$ を算出した。また、各運動種目における $\dot{V}O_2(\text{ml/kg/min})$ を各々の $\dot{V}O_2\text{max}$ で除したものを運動強度(% $\dot{V}O_2\text{max}$)とした。

(5) 統計処理

統計処理は統計ソフト (Stat View; SAS, Cary, NC, USA) を用いて行い、数値はすべて平均値±標準偏差で示した。被験者特性、基本動作中の $\dot{V}O_2$ と % $\dot{V}O_2\text{max}$ の比較および基本動作中の HR と RPE は一元配置分散分析を用いて分析した。体格および体力と運動強度との関連性については、アクアビクスの動作に関連すると考えられる体脂肪率、体表面積、 $\dot{V}O_2\text{max}$ 、下腿断面積を独立変数に投入し、重回帰分析を用いて検討した。また、事後検定に

は Bonferroni/Dunn 法を用いた。有意水準は $P<0.05$ とした。

3-3. 結果

(1) 被験者の特性

被験者の特性を Table3-1 に示した。体重、体脂肪率および下腿断面積は、Control および Endurance 群に比べて Resistance 群が有意に高い値を示した ($P<0.05$)。体表面積は、Resistance 群が Endurance 群に比べて有意に高く ($P<0.05$)、 $\dot{V}O_2\max$ は Endurance 群が Control および Resistance 群に比べて有意に高かった ($P<0.05$) が、Control 群と Resistance 群の間に有意な差は認められなかった。

(2) 基本動作の酸素摂取量($\dot{V}O_2$)と運動強度($\%\dot{V}O_2\max$)

被験者全体の基本動作の $\dot{V}O_2$ (ml/kg/min) および運動強度 ($\%\dot{V}O_2\max$) の平均を Figure3-3 と Figure3-4 に示した。 $\dot{V}O_2$ および $\%\dot{V}O_2\max$ とともにキッキング (30.0 ± 6.7 ml/kg/min、 $61.7 \pm 15.0\% \dot{V}O_2\max$)、シザース (24.0 ± 6.0 ml/kg/min、 $49.4 \pm 13.7\% \dot{V}O_2\max$)、ジャンピング (15.6 ± 3.4 ml/kg/min、 $32.4 \pm 8.4\% \dot{V}O_2\max$)、ロッキング (14.9 ± 3.7 ml/kg/min、 $30.9 \pm 9.8\% \dot{V}O_2\max$)、の順に高い値を示した。しかしながら、ロッキングとジャンピングの間には $\dot{V}O_2$ および $\%\dot{V}O_2\max$ に有意な差は認められなかった。

さらに Figure3-5 および Figure3-6 において、各基本動作の $\dot{V}O_2$ および $\%\dot{V}O_2\max$ を 3 群間で比較した。 $\dot{V}O_2$ にはいずれの基本動作においても 3 群間で有意な差がみられなかった。一方、シザースおよびロッキングの $\%\dot{V}O_2\max$ は Endurance 群に比べて Resistance 群で有意に高く ($P<0.05$)、ジャンピングの $\%\dot{V}O_2\max$ は Control 群、Endurance 群と比較して、Resistance 群が有意に高い値を示した ($P<0.05$)。さらにキッキングは Control 群と比較して

Endurance 群が有意に低く、Endurance 群と比較して、Resistance 群が有意に高い値を示した ($P<0.05$)。

(3) 体格および体力と各基本動作の運動強度($\dot{V}O_{2\max}$)との関連

各基本動作の $\dot{V}O_{2\max}$ における体格および体力の影響を Table3-2 に示した。シザースおよびキッキングの $\dot{V}O_{2\max}$ は $\dot{V}O_{2\max}$ (共に $\beta = -0.56$)、ジャンピングの $\dot{V}O_{2\max}$ には $\dot{V}O_{2\max}$ ($\beta = -0.51$)および下腿断面積 ($\beta = -0.54$)が独立して関係していた ($P<0.05$)。また、ロッキングの $\dot{V}O_{2\max}$ においてのみ、体表面積 ($\beta = 0.67$)が独立して関係していた ($P<0.05$)。

(4) 基本動作中の心拍数(HR)、%HRmax および主観的運動強度(RPE)

各基本動作における HR、%HRmax、および RPE を Table3-3 に示した。HR および %HRmax はシザース、ジャンピングおよびロッキングで Endurance 群に比べて Resistance 群が有意に高い値を示した ($P<0.05$)。キッキングの HR および %HRmax は Control 群に比べて Endurance 群が有意に低く、Endurance 群に比べ Resistance 群が有意に高い値を示した ($P<0.05$)。また、RPE においてはいずれの群間にも有意な差は認められなかった。

3-4. 考察

研究課題 2 は、①アクアビクスにおける基本動作の $\dot{V}O_2$ および $\dot{V}O_{2\max}$ がキッキング、シザース、ジャンピング、ロッキングの順に大きくなること、②ロッキングの $\dot{V}O_{2\max}$ には体格が、ジャンピングには下腿断面積および心肺体力が、シザースとキッキングには心肺体力が独立して関係していることを明らかにした。この結果は、対象者の体格や体力が運動強度を決定する一因であることを示唆しており、対象者の特性に合わせたアクアビクスのプ

ログラム作りに貢献すると考えられる。

(1) アクアビクスの基本動作における運動強度の比較

研究課題 2 で用いた 4 つの基本動作はアクアビクスプログラムの中で頻繁に用いられる動作であり、それぞれの動作に特異性が存在する。基本動作の中で最も $\dot{V}O_2$ の低かったロックイングは左右同じ側の手脚を同時に動かし、かつ半身のみが運動面となるため抵抗や水流を受けにくく、水の中でも比較的動きやすい動作であったと考えられる⁶⁶。ジャンピングも同様に左右同じ側の手脚を同時に動かす⁶⁶ため $\dot{V}O_2$ は低くなる。また、ジャンピングは水中で垂直方向に跳躍を繰り返す動作であるため、推進力は働かず、抗重力運動が主である⁶⁷ことから、水中では浮力がその働きを補助する。結果として、ジャンピングはエネルギー消費量が他の動作より少なくなり、 $\dot{V}O_2$ が比較的低くかったと考えられる。一方、シザースやキッキングは左右反対の手脚を同時に動かすことで、四肢の全面が運動面となる⁶⁷ため、水抵抗の影響を受けやすくなり $\dot{V}O_2$ が高くなった可能性が考えられる。特にキッキングは後ろに引いた脚を勢いよく前に蹴り出す動作であるため、表面積の広い大腿や脚の甲が速いスピードかつ大きな幅で水の中を移動することで大きな抵抗がかかり、 $\dot{V}O_2$ が基本動作の中で最も高くなったと考えられる。このように、動かす四肢の大きさや水にふれる面積、スピードの違いによって運動強度に違いが表れることが示唆される。

(2) アクアビクスの基本動作における運動強度の決定要因

同一の運動を行う場合、個人の相対的運動強度(研究課題 2 では $\% \dot{V}O_{2\max}$)を決定する要因は、基本的に心肺体力である。研究課題 2 において、3 群間の各基本動作における $\dot{V}O_2$ と $\% \dot{V}O_{2\max}$ を比較したところ、 $\dot{V}O_2$ には 3 群間

に有意な差は認められなかったが、 $\% \dot{V}O_2\max$ には 3 群間に有意な差が認められた。これには対象者の身体的特性が影響していると考えられるため、各基本動作における $\% \dot{V}O_2\max$ の決定要因を求めた。その結果、ロックキングには体格が、ジャンピングには下腿断面積および心肺体力が、シザースとキッキングには心肺体力が独立して関係していることが明らかとなった。これは運動強度が比較的高いシザースおよびキッキングにおいて、運動強度の基本的要因である心肺体力が明確に関与していることを示しているが、比較的低い強度であるロックキングおよびジャンピングは心肺体力以外の要因が関与していることを示している。

ロックキングは半身のみが運動面となり、抵抗を受ける面積が比較的狭く、また四肢の動きが小さいが、4 つの動作の中で唯一、全身の体重移動が必要な動作である。ロックキングは全身の左右への体重移動に伴い、体幹も一緒に移動するため、体格がロックキングの $\% \dot{V}O_2\max$ の決定要因になったと考えられる。

ジャンピングは心肺体力が高く、下腿断面積が大きいほど $\% \dot{V}O_2\max$ が低くなることが明らかになった。下腿断面積の大きさは下腿骨格筋断面積にも相関した ($r=0.92$)。水中でのジャンプ動作は、浮力の影響により陸上と比較して容易に行えるため、固有筋力に対する相対的な発揮筋力が低くなる。また水抵抗と下腿断面積の関係から考えると、この結果は一見逆の結果であるが、ジャンピングの場合は、左右の開脚に伴う水抵抗に対する筋力発揮よりも下腿の垂直方向への筋力発揮が勝ったと推測できる。したがって、固有筋力を反映する下腿断面積とジャンピングの $\% \dot{V}O_2\max$ との間に負の関係が顕著に表れたと考えられる。

(3) 健康増進のためのアクアビクスの妥当性

研究課題 2 では、現場でアクアビクスプログラムを作成する指導者の指標として活用されることを考慮した。アクアビクスプログラムを初めとする有酸素運動はウォーミングアップから少しずつ強度をあげ、中盤で最も強度を高くし、その後少しずつ強度を下げ運動を終了する「ベルカーブ」の曲線が理想的である。これを受けてプログラム編成を考えると、ウォーミングアップやクールダウンには主にロッキングおよびジャンピングを用い、中盤のメインプログラムにはシザースやキッキングを主に用いることが望ましいと考えられる。このことは一定の運動効果と、心血管や筋に負担が少なく安全性の高いプログラム編成を可能にする。さらに ACSM のガイドラインを用いて評価を行ったものを Table3-4 に示した。ACSM のガイドラインでは成人が健康を維持するために必要な運動強度は少なくとも $40\%\dot{V}O_2\max$ とし^{57, 68}、中強度の有酸素運動(3.0~6.0METs)を最低 30 分週 5 回行うことを推奨している⁵⁷。研究課題 2 の結果からアクアビクスの 4 つの基本動作においてロッキングが 4.2METs、ジャンピングが 4.4METs、シザースが 6.8METs、キッキングが 8.5METs を示しており、すべての動作が 3METs 以上の運動強度であった。一般的に 30~60 分間展開されるアクアビクスプログラムは、健康の維持・増進に効果的であり、運動強度と運動量が確保されていると考えられる。

3-5. 結論

研究課題 2 は、アクアビクスにおける基本動作の $\dot{V}O_2$ および $\% \dot{V}O_2\max$ がキッキング、シザース、ジャンピング、ロッキングの順に高いことを確認した。さらに、アクアビクスの各基本動作の運動強度は、対象者の体格や体力が運動強度を決定する一因であることも明らかとなり、このことは対象者の身体的特性に合わせたアクアビクスプログラム作成の一助になると考えられる。

3-6. 今後の展望

研究課題 2 では、若年者におけるアクアビクスの基本動作の運動強度および身体特性が運動強度に与える影響を明らかにした。水中運動は関節への負担が少ないため、高齢者にも広く行われている運動である。しかしながら、体力が低下している高齢者は動きが緩慢になり、運動強度が若年者とは異なることが考えられる。したがって、高齢者においてもアクアビクスの運動強度を決定し、対象者の体格および心肺体力がアクアビクスの運動強度へ及ぼす影響を明らかにする必要がある。これらの課題については研究課題 3 にて明らかにする。

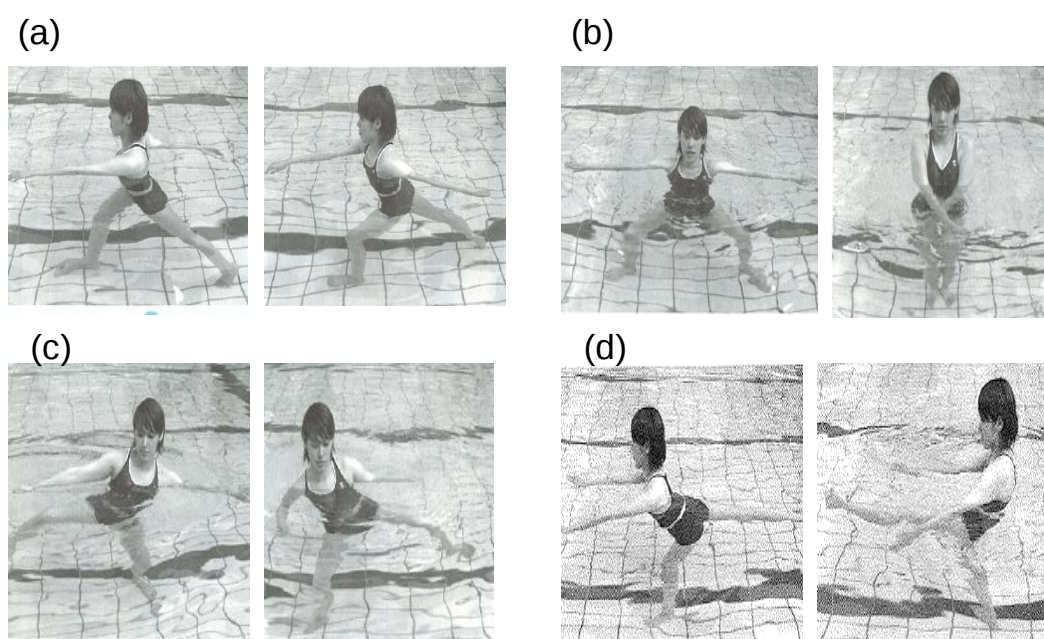


Figure3-1 Four basic aquabics exercises utilized in this study

(a)Scissors, (b)Jumping, (c)Rocking, (d)Kicking

Reference: 東京アスレチッククラブ監修:「水中健康法アクアフィットネス
—水の不思議な力がカラダを健康にする!」、旬報社、p102—106、2002

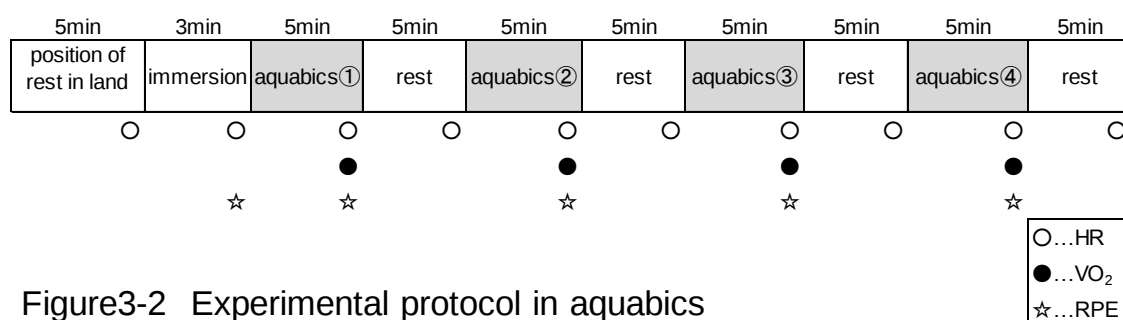


Figure3-2 Experimental protocol in aquabics

Table3-1 Subject characteristics

	Average	Control	Endurance	Resistance
N	38	11	15	12
Age(years)	21.2±1.7	22.0±1.0	21.0±1.6	20.8±2.2
Height(cm)	172.3±6.0	172.5±7.0	173.9±4.3	170.1±6.8
Body weight(kg)	68.2±12.7	66.3±9.4	60.1±4.5	80.0±13.7 *†
Body fat(%)	15.7±6.8	14.8±4.6	10.7±3.5	22.8±5.7 *†
Body surface area(m ²)	1.800±0.15	1.785±0.15	1.724±0.07	1.912±0.17 †
Cross-section area in calf(cm ²)	100.7±15.0	97.9±8.5	93.0±8.5	112.7±18.9 *†
Maximal heart rate (beats/min)	182±7.7	184±7.3	182±7.3	181±7.6
VO ₂ max(ml/kg/min)	50.0±11.2	44.8±5.3	61.7±5.7 *	40.1±6.0 †

Data are mean±SD. VO₂max, Maximal oxygen consumption.

*P<0.05 VS Control †P<0.05 VS Endurance

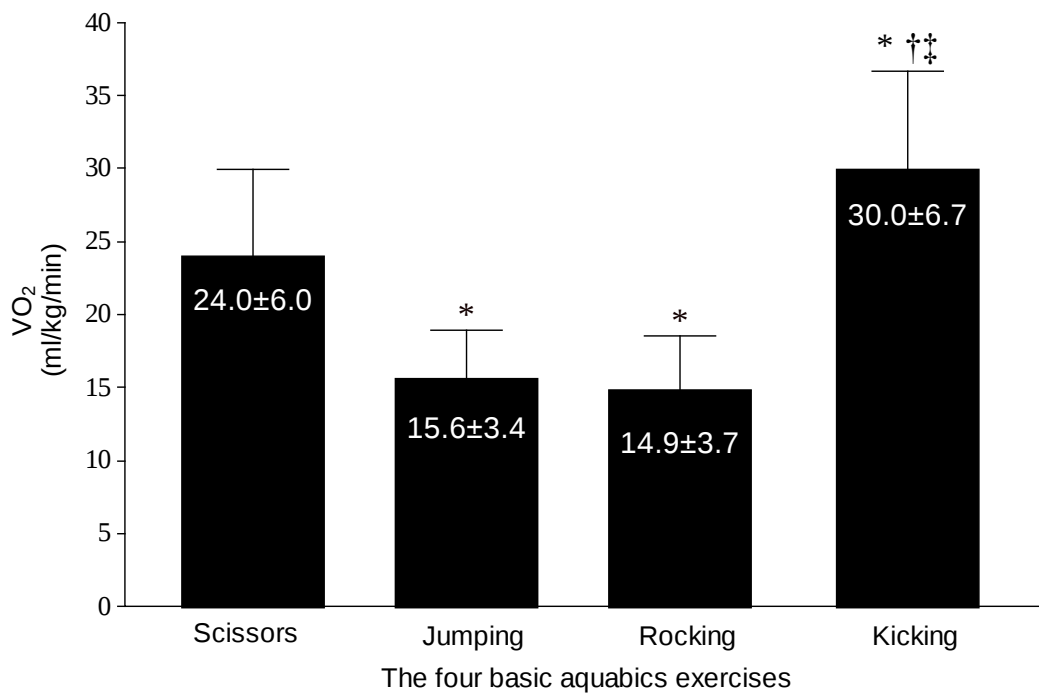


Figure3-3 Mean values of VO_2 for the four basic aquabics exercises

Data are mean $\pm$ SD

*P<0.05 VS Scissors

†P<0.05 VS Jumping

‡P<0.05 VS Rocking

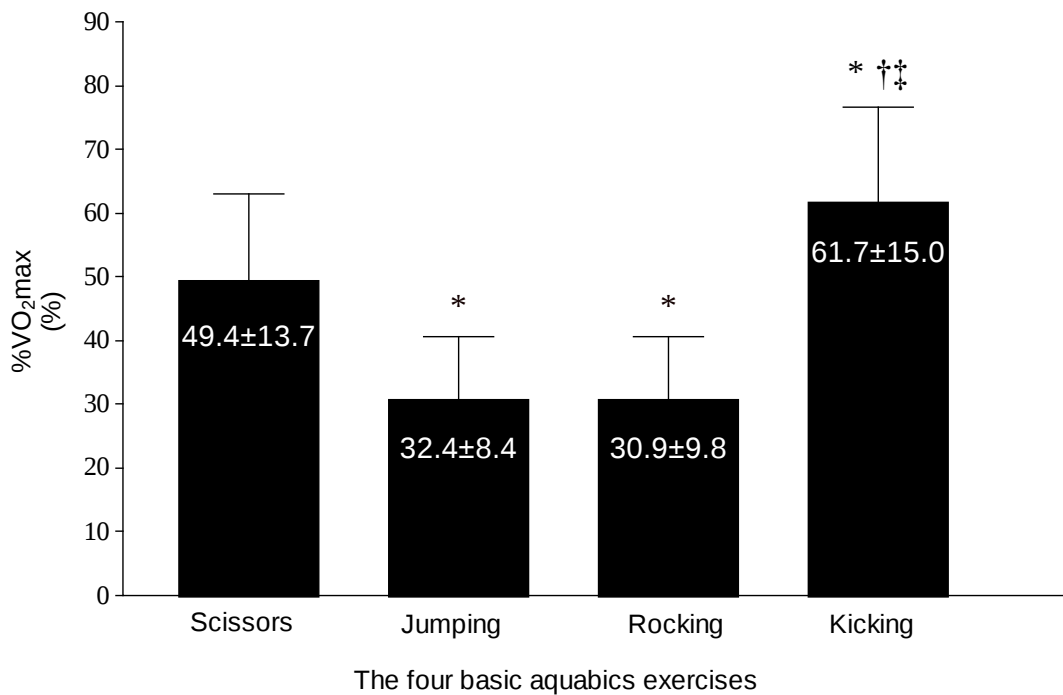


Figure3-4 Mean values for exercise intensity for the four basic aquabics exercises

Data are mean $\pm$ SD

*P<0.05 VS Scissors

†P<0.05 VS Jumping

‡P<0.05 VS Rocking

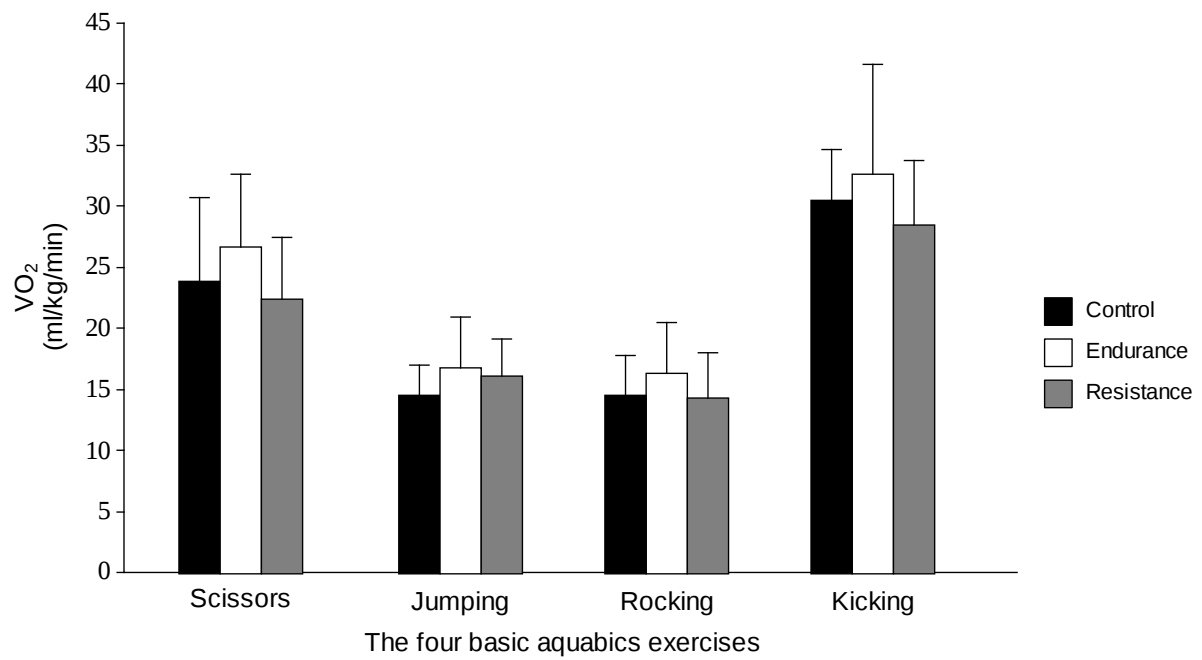


Figure3-5 Mean values of VO_2 for the four basic aquabics exercises between three groups
Data are means $\pm$ SD

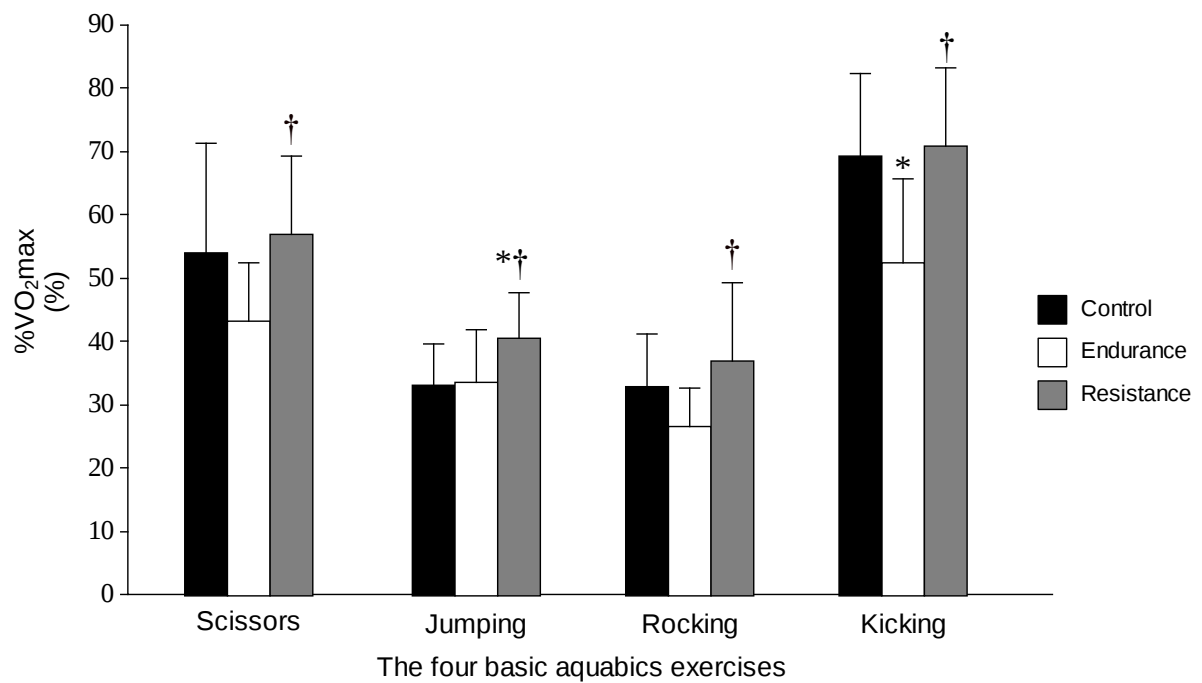


Figure3-6 Mean values of exercise intensity for the four basic exercises between three groups
Data are mean $\pm$ SD

* $P < 0.05$ VS Control

† $P < 0.05$ VS Endurance

Table3-2 Relationship of exercise intensity and body size,physical fitness

%VO ₂ max	coefficient of regression	standard regression coefficient	P
Scissors r=0.57			
intercept	32.72		
Body fat (%)	-0.68	-0.35	0.26
Body surface area (m ²)	42.84	0.48	0.06
VO₂max (ml/kg/min)	-0.68	-0.56	0.02
Cross-sectional area of calf(cm ²)	-0.15	-0.17	0.52
%VO ₂ max	coefficient of regression	standard regression coefficient	P
Jumping r=0.69			
intercept	42.99		
Body fat (%)	0.37	0.30	0.26
Body surface area (m ²)	18.44	0.34	0.13
VO₂max (ml/kg/min)	-0.38	-0.51	0.02
Cross-sectional area of calf(cm²)	-0.30	-0.54	0.02
%VO ₂ max	coefficient of regression	standard regression coefficient	P
Rocking r=0.68			
intercept	-25.10		
Body fat (%)	0.07	0.05	0.86
Body surface area (m²)	42.29	0.67	0.01
VO ₂ max (ml/kg/min)	-0.15	-0.18	0.41
Cross-sectional area of calf(cm ²)	-0.13	-0.21	0.38
%VO ₂ max	coefficient of regression	standard regression coefficient	P
Kicking r=0.63			
intercept	53.20		
Body fat (%)	-0.31	-0.14	0.62
Body surface area (m ²)	40.79	0.42	0.84
VO₂max (ml/kg/min)	-0.75	-0.56	0.02
Cross-sectional area of calf(cm ²)	-0.22	-0.22	0.37

VO₂max, Maximal oxygen consumption.

Table3-3 Mean values of HR,%HRmax,RPE for the four aquabics exercises

		Average	Control	Endurance	Resistance
HR	Scissors	109.3±20.1	114.3±24.5	98.9±16.5	117.8±14.6 †
	Jumping	92.5±14.1	94.1±16.9	83.4±8.6	102.4±9.8 †
	Rocking	89.9±13.9	92.9±18.8	81.8±7.7	97.4±9.9 †
	Kicking	118.8±21.1	128.4±24.4	103.9±12.9 *	128.6±15.8 †
%HRmax	Scissors	59.8±10.4	61.8±12.3	54.1±8.4	65.0±7.3 †
	Jumping	50.6±7.7	50.8±9.0	45.7±4.6	56.5±5.3 †
	Rocking	49.2±7.4	50.2±9.7	44.7±4.0	53.7±4.8 †
	Kicking	65.0±11.2	69.4±13.0	56.8±6.6 *	71.0±7.9 †
RPE	Scissors	11.0±2.2	11.3±2.3	10.7±2.4	11.0±1.9
	Jumping	10.4±1.9	10.8±1.6	10.3±2.4	10.2±1.7
	Rocking	10.3±1.7	11.0±1.6	10.0±1.6	10.0±1.8
	Kicking	12.5±2.2	12.5±2.2	12.3±2.6	12.7±1.7

Data are Mean±SD. HR, heart rate; %HRmax, percentage of maximal heart rate; RPE, ratings of perceived exertion.

*P<0.05 VS Control. †P<0.05 VS Endurance.

Table3-4 Mets of the four basic aquabics exercises

	ACSM criteria	The four basic aquabics exercises	
METs	very light	<2.4	
	light	2.4-4.7	Rocking (4.2) Jumping (4.4)
	moderate	4.8-7.1	Scissors (6.8)
	hard	7.2-10.1	Kicking (8.5)
	very hard	≥10.2	
	maximal	≥12	

The four basic aquabics exercises in this study are grouped for relative intensity (for 20-39 years-old males) in terms of recommended METs (calculated based on the measured VO_2 values: 1 METs=3.5ml/min/kg) as indicated in the ACSM guidelines (1998).

Mets in each exercise was calculated based on the measured VO_2 values (1 METs=3.5ml/min/kg).

第 4 章 研究課題 3

「高齢者におけるアクアビクスの基本動作の運動強度とその決定要因」

4-1. 緒言

サクセスフル・エイジングやアクティブエイジングに代表されるように、高齢期を積極的に過ごし、健康的で幸福な老後を過ごすことは、高齢化が進む社会では重要な課題である。心身の健康維持・増進に有効な手段の一つとして運動が挙げられる。American College of Sports Medicine(ACSM)のガイドラインにおいて中高齢者の健康の維持増進のために有酸素運動やレジスタンス運動を行うことが推奨されている^{57, 68}。しかしながら、多くの有酸素運動やレジスタンス運動は関節に負担のかかる運動であり、運動が必要とされている高齢者に適切であるとはいえない⁵⁸。

水中運動は、浮力の作用によって関節への負担が軽減する運動として推奨されている⁶⁹。また、水中運動は心血管疾患の予防・改善⁷⁰⁻⁷²、骨密度低下の抑制⁷³、筋力の増大^{74, 75}の効果が報告されていることから、日常生活動作(ADL)の長期的な維持が重要である高齢者に適した運動であるといえる。水中運動の中でも、音楽に合わせ運動を行うアクアビクスは、有酸素性能力の向上のみならず、筋力の向上も期待できることから、近年、スポーツクラブなどで広く普及しており、低体力者、軽肥満者、リハビリテーションを目的とした者に最適な運動である⁶¹ことが報告されている。

水の特性により、水中では動作スピードの 2 乗倍の水抵抗がかかる^{62, 63}。つまり、水中運動の場合、動作スピードを速くするほど負荷がかかり、強度

が増すといえる。しかしながら、水中で若年者と同じ動きをした場合、体力が低下している高齢者は動きが緩慢になり、運動強度が若年者とは異なることが考えられる。研究課題 2 において、若年者を対象としたアクアビクスの基本動作の運動強度を明確にし、対象者の体格および心肺体力が運動強度を決定する一因であること、さらには各運動種目によってその決定要因が異なることを示した。アクアビクスが高齢者の運動として適切かつ人気のある運動であることを考慮すると、高齢者においてもアクアビクスの運動強度を決定し、対象者の体格および心肺体力がアクアビクスの運動強度へ及ぼす影響を明らかにする必要がある。これらを明らかにすることは、高齢者を対象とした水中運動プログラム作りに必要であると考ええる。

そこで研究課題 3 では、健康的な若年男性と高齢男性を対象に、①アクアビクスの基本動作であるシザース、ロッキング、ジャンプおよびキッキングの運動強度を酸素摂取量の観点から明確にすること、②体格や心肺体力といった個人の身体的特性からアクアビクスの基本動作の各運動強度の決定要因を明らかにすることを目的とした。

4-2. 方法

(1) 被験者

被験者は健康的な若年男性 38 名 (Young 群)、健康的な高齢男性 20 名 (Older 群)を対象とした。若年者 38 名は研究課題 2 と同一であった。被験者には実験の内容を十分に説明し、書面にて実験への参加の同意を得た。研究課題 3 は早稲田大学の「人を対象とする研究に関する倫理委員会」の承認を

得て実施した。

(2) 身体特性

① 体格および体組成

被験者の身長、体重、体脂肪率および体表面積を測定した。体重および体脂肪率は、体組成計(BC612, TANITA, Japan)により評価し、体表面積は Du bois 式⁴¹により算出した。

② 最大酸素摂取量($\dot{V}O_{2\max}$)

自転車エルゴメーター(CombiRS-232, Combi Wellness, Japan)を用いた漸増負荷法より $\dot{V}O_{2\max}$ を求めた。ペダル回転数を 60 回転に設定し、心拍数(HR)120 拍/分程度で 5 分間のウォーミングアップを行わせ、その後疲労困憊に至るまで 1 分毎に 15W ずつ負荷を増加した。各運動負荷のステージにて、HR および主観的運動強度(RPE)を記録した。運動中の呼気ガスは、呼吸代謝測定システム(Minato AE300, Minato medical Science, Japan)を用いて分析した。 $\dot{V}O_{2\max}$ の判定基準は、酸素摂取量($\dot{V}O_2$)のレベリングオフがみられることとした。ただし、 $\dot{V}O_2$ のレベリングオフがみられない場合でも、1)HR が年齢から推定される最大心拍数(HR_{max})(220-年齢±5 拍/分)に到達していること、2)呼吸交換比が 1.0 以上であること、3)RPE が 19 もしくは 20 であること、この 3 指標中 2 つ以上を満たした時は $\dot{V}O_{2\max}$ と判定した⁴²。 $\dot{V}O_{2\max}$ の値は、ml/kg/min で示した。

③ MRI

下腿の骨格筋断面積は、MRI法(Singa 1.5T, General Electric Co., Milwaukee, WI, USA)を用いて、仰臥位姿勢にて測定した。撮像した画像はPCに転送し、下腿骨格筋断面積を画像解析ソフト(Slice-o-matic, Tomovision, Monctreal, Canada)を用いて解析した。すべての解析は同じ者が行い、その変動係数は0.4%であった。

(3) 水中運動

被験者はアクアビクスの基本動作であるシザース、ジャンピング、ロッキングおよびキッキングを128bpmの音楽に合わせて実施した。動作の指導はインストラクターによって行われ、正しい動作を遂行するため、実験中はプールサイドからの声掛けおよび実演によって指導を行った。

4つの基本動作を Figure3-1 に示した⁶⁴。

(a)シザース：両脚をはさみのようにリズミカルに前後に入れ替える動作。腹部に力を入れて前後に開いた脚に荷重をかける。

(b)ジャンピング：両手脚を開閉する動作。プールの底面にかかとまで着地するように行う。

(c)ロッキング：左右に脚を開いて、からだが揺れる動作。骨盤と身体の傾きが平行になるように揺れる。腹部に力を入れて脚に荷重を交互にかける。

(d)キッキング：体幹部を安定させボールを蹴るように脚を前方に蹴り出す動作。

(4) 測定方法および測定項目

本実験の測定手順を Figure3-2 に示した。実験は食後 3 時間以上経過した後、実施した。被験者は水温 $29.5 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 、室温 $29.1 \pm 2.3^{\circ}\text{C}$ の環境下において、各自の剣状突起に合わせた水位で運動を行った。陸上で 5 分以上安静にした後、水中で 3 分以上安静にし、アクアビクスを開始した。4 つの各基本動作はすべて 5 分間ずつ行った。4 種目の各基本動作は同日に行い、運動間の休息は 5 分間とした。なお運動動作の順番はランダムであった。

① 心拍数(HR)

HR は心拍計(RS400, Polar, Finland)を用いて実験開始から終了まで 30 秒毎に計測した。各運動種目における HR を $\dot{V}\text{O}_2\text{max}$ 測定時に計測した各々の HRmax で除したものを % HRmax とした。また分析には陸上立位、水中立位および水中運動時いずれも、最後の 1 分間の HR の平均を用いた。

② 主観的運動強度(RPE)

RPE は各運動動作終了直後に Borg スケール⁶⁵を用いて評価した。

③ アクアビクス中の酸素摂取量($\dot{V}\text{O}_2$)

採気はダグラスバック法を用い、各運動動作の最後 1 分間の呼気を採集した。採気したガスから、呼吸代謝測定システム(Minato AE300, Minato medical Science, Japan)を用いて、酸素濃度および二酸化炭素濃度を測定した。乾式ガスメーター(DC-5, Shinagawa Corporation, Japan)を用いて

ガス量を測定した。同時にガス温、室温および気圧を測定した。以上の呼気ガスの結果に基づき、 $\dot{V}O_2$ を算出した。 $\dot{V}O_2$ の値は、ml/kg/minで示した。また、各運動種目における $\dot{V}O_2$ を各々の $\dot{V}O_{2max}$ で除したものを運動強度($\% \dot{V}O_{2max}$)とした。消費エネルギー量は $\dot{V}O_2$ と二酸化炭素排出量より、 $VCO_2/VO_2(RQ)$ を基準としたWeirの換算式⁷⁶によりエネルギーに換算して1分当たりの消費エネルギー量(kcal/min)を算出した。

(5) 統計処理

統計処理は統計ソフト (Stat View; SAS, Cary, NC, USA) を用いて行い、数値はすべて平均値±標準偏差で示した。被験者特性、基本動作中の $\dot{V}O_2$ 、 $\% \dot{V}O_{2max}$ 、消費エネルギー量、HR、 $\%HR_{max}$ およびRPEの群間比較はt検定を用いて分析した。また、4つの基本動作間の $\dot{V}O_2$ 、 $\% \dot{V}O_{2max}$ 、消費エネルギー量とHR、 $\%HR_{max}$ およびRPEの比較は一元配置分散分析を用い、事後検定にはBonferroni/Dunn法を用いた。体格および体力と運動強度との関連性については、アクアビクスの動作に関連すると考えられる体脂肪率、体表面積、 $\dot{V}O_{2max}$ 、下腿骨格筋断面積を独立変数に強制投入し、重回帰分析を用いて検討した。有意水準は $P<0.05$ とした。

4-3. 結果

(1) 被験者特性

Young群とOlder群の被験者の特性をTable4-1に示した。身長、体表面積、下腿骨格筋断面積、 $\dot{V}O_{2max}$ および HR_{max} は、Young群に比べてOlder群で有意に低い値を示した(すべて $P<0.05$)。

(2) 基本動作の酸素摂取量($\dot{V}O_2$)

Young 群と Older 群の基本動作の $\dot{V}O_2$ を Figure4-1 に示した。Young 群および Older 群ともにキッキング ($30.0 \pm 6.7 \text{ ml/kg/min}$ および $25.8 \pm 6.9 \text{ ml/kg/min}$)、シザース ($23.9 \pm 6.0 \text{ ml/kg/min}$ および $24.9 \pm 5.8 \text{ ml/kg/min}$)、ジャンピング ($15.6 \pm 3.4 \text{ ml/kg/min}$ および $21.5 \pm 3.9 \text{ ml/kg/min}$)、ロッキング ($14.9 \pm 3.7 \text{ ml/kg/min}$ および $17.5 \pm 4.4 \text{ ml/kg/min}$) の順に高い値を示した。Young 群はロッキングとジャンピングの間に、Older 群はシザースとキッキングの間において $\dot{V}O_2$ に有意な差は認められなかったが、他の動作間においては有意な差が認められた (いずれも $P < 0.05$)。ジャンピングの $\dot{V}O_2$ は Young 群に比べて Older 群で有意に高く、キッキングは Young 群に比べて Older 群で有意に低い値を示した (いずれも $P < 0.05$) が、その他の 2 つの動作において両群で有意な差は認められなかった。

(3) 基本動作の運動強度($\% \dot{V}O_{2\text{max}}$)

Young 群と Older 群の基本動作の運動強度 ($\% \dot{V}O_{2\text{max}}$) を Figure4-2 に示した。Young 群および Older 群ともにキッキング ($61.7 \pm 15.0\% \dot{V}O_{2\text{max}}$ および $73.1 \pm 12.1\% \dot{V}O_{2\text{max}}$)、シザース ($49.4 \pm 13.7\% \dot{V}O_{2\text{max}}$ および $71.5 \pm 12.4\% \dot{V}O_{2\text{max}}$)、ジャンピング ($32.3 \pm 8.4\% \dot{V}O_{2\text{max}}$ および $62.1 \pm 12.5\% \dot{V}O_{2\text{max}}$)、ロッキング ($30.9 \pm 9.8\% \dot{V}O_{2\text{max}}$ および $50.6 \pm 12.7\% \dot{V}O_{2\text{max}}$) の順に高い値を示した。Young 群はロッキングとジャンピングの間に、Older 群はシザースとキッキングの間に有意な差は認められなかったが、他の動作間において

は有意な差が認められた(いずれも $P<0.05$)。また、すべての基本動作の運動強度は、Young 群に比べて Older 群で有意に高い値を示した(すべて $P<0.05$)。

(4) 基本動作の消費エネルギー量

Young 群と Older 群の基本動作の消費エネルギー量を Figure4-3 に示した。Young 群および Older 群ともキッキング(10.4 ± 7.4 kcal/min および 7.9 ± 2.0 kcal/min)、シザース(7.8 ± 2.0 kcal/min および 7.6 ± 1.8 kcal/min)、ジャンピング(5.1 ± 1.3 kcal/min および 6.6 ± 1.3 kcal/min)、ロッキング(4.8 ± 1.5 kcal/min および 5.2 ± 1.4 kcal/min)の順に高い値を示した。Young 群はロッキングとジャンピングの間に、Older 群はシザースとキッキングの間には消費エネルギー量に有意な差は認められなかったが、他の動作間においては有意な差が認められた(いずれも $P<0.05$)。ジャンピングの消費エネルギー量は Young 群に比べて Older 群で有意に高く、キッキングは Young 群に比べて Older 群で有意に低い値を示した(いずれも $P<0.05$)が、その他の 2 つの動作において群間に有意な差は認められなかった。

(5) 体格および体力と各基本動作の運動強度($\% \dot{V}O_{2\max}$)との関連

各基本動作の $\% \dot{V}O_{2\max}$ における体格および体力の影響を Table4-2 に示した。重回帰分析において、 $\% \dot{V}O_{2\max}$ を従属変数に、体脂肪率、体表面積、 $\dot{V}O_{2\max}$ および下腿骨格筋断面積を独立変数に強制投入したところ、ジャンピングのみにおいて $\dot{V}O_{2\max}(\beta = -0.57)$ が独立して関係していた ($P<0.05$)。他の動作において独立して説明できる項目は認められなかった。また、相関

係数はシザース ($r=0.38$, $P=0.65$)、ジャンピング ($r=0.65$, $P=0.06$)、ロッキング ($r=0.54$, $P=0.23$)、キッキング ($r=0.40$, $P=0.58$)を示し、いずれにおいても有意な差は認められなかった。

(6) 基本動作中の心拍数(HR)、%HRmax および主観的運動強度(RPE)

各基本動作中の HR、%HRmax および RPE を Table4-3 に示した。HR は、シザース、ジャンピングおよびロッキングにおいて、Young 群に比べて Older 群で有意に高い値を示した(すべて $P<0.05$)。%HRmax はすべての動作において、Young 群に比べて Older 群で有意に高い値を示した(すべて $P<0.05$)が、RPE はジャンピングにおいてのみ Older 群が有意に高い値を示し($P<0.05$)、その他の 3 つの動作に両群間で有意な差は認められなかった。

HR、%HRmax および RPE において、Young 群はジャンピングに比べてシザースが有意に高く、シザースに比べてキッキングが有意に高い値を示した(いずれも $P<0.05$)が、ロッキングとジャンピングの間に有意差は認められなかった。一方、Older 群はロッキングに比べてジャンピングが有意に高く、ジャンピングに比べてシザースが有意に高い値を示した(いずれも $P<0.05$)が、シザースとキッキングの間には有意な差は認められなかった。

4-4. 考察

研究課題 3 から、①若年者と比較して、高齢者はすべてのアクアビクスの基本動作の運動強度が有意に高いこと、②若年者および高齢者ともにアクアビクスにおける基本動作の運動強度がキッキング、シザース、ジャンピング、

ロッキングの順に大きいことが、高齢者ではシザースおよびキッキングの運動強度には差がないこと、③高齢者はジャンピングにおける酸素摂取量および消費エネルギー量が若年者と比較して顕著に高く、キッキングでは低いこと、④高齢者のジャンピングの運動強度においてのみ心肺体力が独立して関係していることが明らかとなった。これらの結果は、高齢者におけるアクアビクスの基本動作の運動強度およびその運動強度を決定する身体的特性が若年者とは異なることを示唆しており、高齢者を対象とした効率的かつ効果的なアクアビクスプログラムの作成に貢献すると考えられる。

(1) 若年者と高齢者におけるアクアビクスの運動強度の比較

研究課題 3 で用いた 4 つの基本動作はアクアビクスプログラムの中で頻繁に用いられる動作である。研究課題 2 で示したように、これらの基本動作には、動かす四肢の大きさや水にふれる面積、スピードの違いによって運動強度に違いが表れるという特異性が存在する。この特異性は高齢者においても働いたため、若年者と同様に、キッキング、シザース、ジャンピング、キッキングの順に運動強度が大きかったと考えられる。しかしながら、すべての基本動作において若年者に比べて、高齢者の運動強度は高い値を示した。これは、加齢による身体機能の低下が大きな要因であると考えられる。その中でも、主に心肺体力の低下が挙げられる。心肺体力の指標である $\dot{V}O_2\max$ は、加齢と共に低下する¹⁷⁾。したがって、若年者と高齢者が同じアクアビクス動作を行った場合、心肺体力の低い高齢者で高い運動強度を示したと考えられる。

(2) 若年者と高齢者の $\dot{V}O_2$ および消費エネルギー量

研究課題 3 において、 $\dot{V}O_2$ および消費エネルギー量はジャンピングで若年者に比べて、高齢者で有意に高い値を示す一方、キッキングでは若年者に比べて高齢者で有意に高い値を示した。ジャンピングは左右同じ側の手脚を同時に使うため、水抵抗を受けにくく、水中でも比較的動きやすい動作であることが推測される。シザースおよびキッキングのように水抵抗の影響を受けやすい動作と比較して、ジャンピングは水抵抗が小さいため、高齢者でも大きく動くことが可能であったと考えられる。また、加齢に伴って心肺体力や筋力だけではなく、バランス能力も低下する^{18, 19}。ジャンピングはロッキングやキッキングとは異なり、動作の切り替え時に常に両脚で力発揮をする動作である。よって、バランス能力が低下している高齢者にとっては安定した姿勢で動きを切り替えられるため、動作を大きく行うことが可能であったのかもしれない。したがって、水中でも動きやすい動作かつ、バランスをとりやすい動作であったため、ジャンピングは若年者に比べて、高齢者で $\dot{V}O_2$ および消費エネルギー量ともに有意に高い値を示したことが考えられる。

一方、キッキングの $\dot{V}O_2$ および消費エネルギー量は若年者に比べて、高齢者で有意に低い値を示した。骨格筋量および筋力は加齢に伴って低下する^{18, 38}。研究課題 3 においても下腿骨格断面積は若年者に比べて、高齢者で有意に低い値を示した。水中での動作時には下肢に対して水抵抗がかかるため、股関節部および臀部に加え、大腿部および下腿部などの下肢筋群が活発に働く^{77, 78}。キッキングは表面積の広い大腿部や脚の甲が速いスピードかつ大き

な幅で水の中を移動するために、下肢に大きな抵抗がかかることが推測される。下肢に大きな力が必要となるキッキングは、下肢の筋量および筋力が低下している高齢者にとっては十分に運動を遂行できない動作であったと推測できる。結果として、若年者に比べて、筋量や筋力の低い高齢者ではキッキングの運動量が十分な値に達しなかったと考えられる。

(3) アクアビクスの基本動作における運動強度の決定要因

研究課題 2 において若年者はロッキングには体格が、ジャンピングには下腿断面積および心肺体力が、シザースとキッキングには心肺体力が独立して関係していることを明らかにした。一方、高齢者においてはジャンピングのみが心肺体力と独立して関係していた。上述したようにジャンピングの動作は、高齢者においても水中で動きやすく、かつバランスのとりやすい動作であったと推測される。したがって、心肺体力の高い者ほど、大きな動作を維持することが容易にできたために、心肺体力が独立して影響したと考えられる。

他の動作に体力および体格との関連がみられなかった原因として、動きやすさやバランスのとりやすさといった動作特性の違いに加えて、高齢者の体力や体格のばらつきが小さかったことも考えられる。若年者には、持久的トレーニングを行っている細身ながらも心肺体力の高い者からウェイトトレーニングを行っている大柄な者といった体力や体格ともに幅広い被験者が含まれていた。しかしながら、高齢者は若年者と比較して、 $\dot{V}O_2\max$ 、体脂肪率、体表面積の変動係数が比較的低いことが Table4-1 よりわかる。これは若年者

に比べて、高齢者の被験者の体格にばらつきがなかったことを示しており、高齢者は体力および体格における差が生じにくかった可能性が考えられる。水抵抗は表面積および物体が動くスピードに依存するため、体力および体格が幅広い被験者を対象とすれば、高齢者においても身体特性が運動強度に影響する可能性が考えられる。

(4) 高齢者の健康増進のためのアクアビクスの妥当性

定期的な運動プログラムへの参加は加齢に関連する多くの身体機能の低下を減じ、予防するための効果的な介入になると ACSM では報告されている^{57, 68}。ACSM のガイドラインでは、良好な健康状態を維持するため、中程度の有酸素運動を最低 30 分週 5 回、もしくは高強度の有酸素運動を最低 20 分週 3 回行うことを推奨している。また、高齢者においては $50 \sim 80\% \dot{V}O_2\max$ が中強度～高強度の運動であると示されている⁵⁷。ACSM ガイドラインに沿って、アクアビクスの基本動作を評価したものを Table4-4 に示した。研究課題 3 におけるすべての基本動作が $50 \sim 80\% \dot{V}O_2\max$ の範疇にあり、その中でも幅広く運動強度が分布していた。特に高齢者の運動プログラムにおいては長期的な計画を持ち、漸増的に負荷を上げ、中程度の運動から徐々に高強度の運動へと計画的にアプローチしていくことが重要になる⁵⁷。したがって、研究課題 3 の結果を考慮すると、高齢者には運動初期の段階では中強度に相当するロッキングおよびジャンピングを主とした基本動作を用い、階段状に高強度であるシザースやキッキングを含むプログラムへと時間をかけて移行していく必要があるだろう。また、ACSM ガイドラインにおいても、怪我のリ

スクが高まること、加齢による身体的機能の低下などが、高齢者が高強度運動を行うことへの障害になっていることを示唆している⁵⁷⁾。この点においても、アクアビクスを始めとする水中運動は浮力によって関節への負担が軽減すると同時に関節可動域が向上し、ADL が改善する⁷⁹⁾ことから、整形外科的疾患をもっている高齢者でも安心して高強度の運動に取り組めるスポーツであるといえるであろう。

4-5. 結論

研究課題 3 では、①若年者と比較して、高齢者はすべてのアクアビクスの基本動作の運動強度が有意に高いこと、②若年者および高齢者ともにアクアビクスにおける基本動作の運動強度がキッキング、シザース、ジャンピング、ロッキングの順に大きいことが、高齢者ではシザースおよびキッキングの運動強度には差がないこと、③高齢者はジャンピングにおける酸素摂取量および消費エネルギー量が若年者と比較して顕著に高く、キッキングでは低いこと、④高齢者においてジャンピングのみが心肺体力と独立して関係していることを明らかにした。この結果は、高齢者におけるアクアビクスの運動強度および健康増進のためのアクアビクスの妥当性を明らかにしている。これから高齢化が加速する社会にとって、高齢者の ADL および QOL を高めることは必要不可欠である。研究課題 3 は、高齢者の特性を考慮した健康の維持・増進のためのアクアビクスプログラム作成の一助になると考えられる。

Table4-1 Subject characteristics

	Young	coefficient of variation(%)	Older	coefficient of variation(%)
N	38		20	
Age(years)	21.2±1.7	8.0	65.1±3.2 *	4.9
Height(cm)	172.2±6.0	3.4	166.2±5.2 *	3.1
Body weight(kg)	68.1±12.6	18.5	63.4±8.8	13.8
Body fat(%)	15.7±6.8	43.3	16.1±4.3	26.7
Body surface area(m ²)	1.801±0.15	8.3	1.705±0.12 *	7.0
Skeletal muscle area in calf(cm ²)	75.6±9.0	11.9	67.5±9.6 *	14.2
VO ₂ max(ml/kg/min)	49.9±11.2	22.4	35.2±6.5 *	18.4
Maximal heart rate(bpm)	182.7±7.5	4.1	157.2±12.2 *	7.7

Data are mean±SD.

VO₂max Maximal oxygen consumption, BP blood pressure, PP pulse pressure

*P<0.05 vs Young

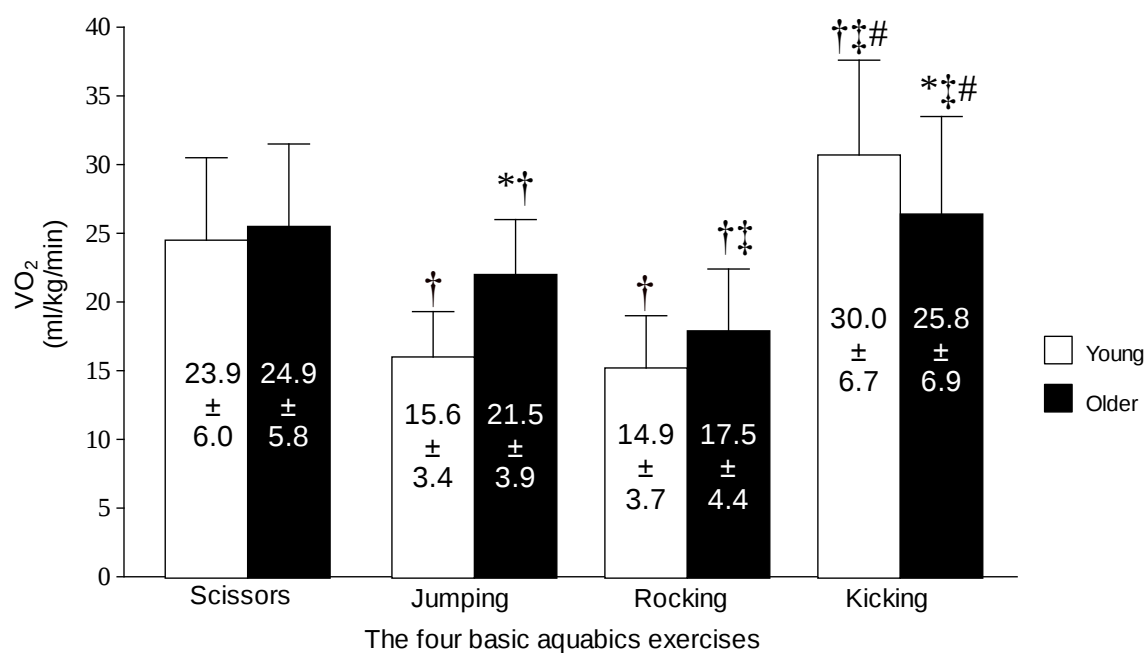


Figure4-1 Mean values of VO_2 for the four basic aquabics exercises between young and older groups. Data are means $\pm$ SD

* P<0.05 VS Older
† P<0.05 VS Scissors
‡ P<0.05 VS Jumping
P<0.05 VS Rocking

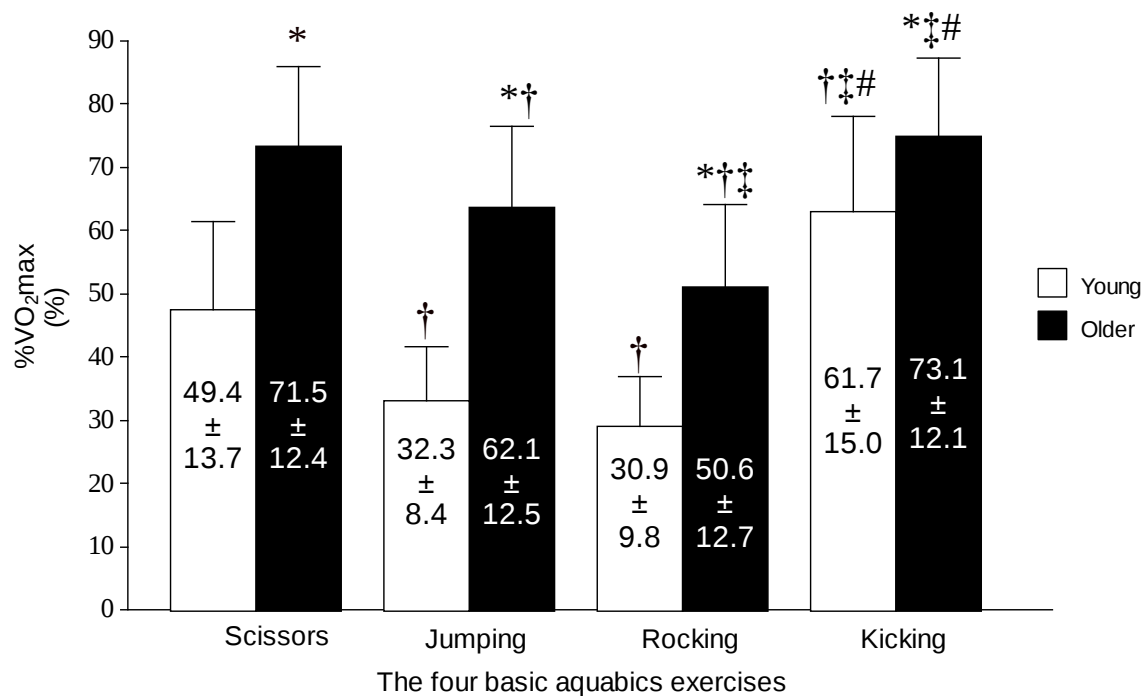


Figure4-2 Mean values of exercise intensity for the four basic exercises between young and older groups. Data are mean $\pm$ SD

*P<0.05 VS Older
†P<0.05 VS Scissors
‡P<0.05 VS Jumping
#P<0.05 VS Rocking

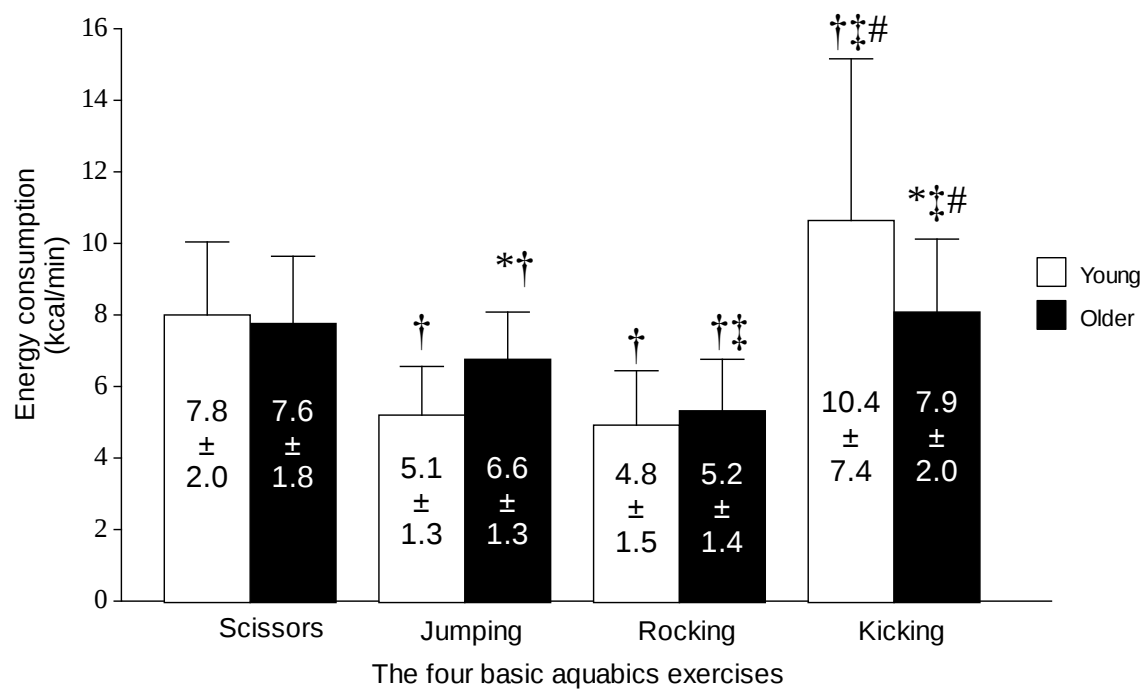


Figure4-3 Mean values of consumption energy for the four basic exercises between young and older groups.
Data are mean±SD

*P<0.05 VS Older

†P<0.05 VS Scissors

‡P<0.05 VS Jumping

P<0.05 VS Rocking

Table4-2 Relationship of exercise intensity and body size,physical fitness in older group

%VO ₂ max	coefficient of regression	standard regression coefficient	P
Scissors r=0.38 P=0.65			
intercept	56.69		
Body fat(%)	-0.92	-0.32	0.34
Body surface area(m ²)	36.01	0.36	0.32
VO ₂ max(ml/kg/min)	-0.41	-0.21	0.39
Cross-sectional area of calf(cm ²)	-0.25	-0.19	0.54
%VO ₂ max	coefficient of regression	standard regression coefficient	P
Jumping r=0.65 P=0.06			
intercept	86.69		
Body fat(%)	-1.15	-0.40	0.16
Body surface area(m ²)	27.83	0.28	0.35
VO₂max(ml/kg/min)	-1.10	-0.57	0.01
Cross-sectional area of calf(cm ²)	-0.21	-0.16	0.55
%VO ₂ max	coefficient of regression	standard regression coefficient	P
Rocking r=0.54 P=0.23			
intercept	70.06		
Body fat(%)	-0.71	-0.24	0.42
Body surface area(m ²)	27.55	0.27	0.41
VO ₂ max(ml/kg/min)	-0.84	-0.43	0.07
Cross-sectional area of calf(cm ²)	-0.37	-0.28	0.35
%VO ₂ max	coefficient of regression	standard regression coefficient	P
Kicking r=0.40 P=0.58			
intercept	35.50		
Body fat(%)	-0.29	-0.10	0.75
Body surface area(m ²)	42.85	0.44	0.22
VO ₂ max(ml/kg/min)	0.28	0.15	0.54
Cross-sectional area of calf(cm ²)	-0.60	-0.47	0.15

VO₂max, Maximal oxygen consumption.

Table4-3 Mean values of HR,%HRmax,RPE for the four aquabics exercises

		Young	Older
HR	Scissors	109.3±20.1	121.0±13.6 *
	Jumping	92.5±14.1 †	114.0±15.0 *†
	Rocking	89.9±13.9 †	102.7±11.4 *†‡
	Kicking	118.8±21.1 †‡#	122.8±13.5 ‡#
%HRmax	Scissors	59.8±10.4	77.1±9.4 *
	Jumping	50.6±7.7 †	72.6±9.4 *†
	Rocking	49.2±7.4 †	65.6±8.3 *†‡
	Kicking	65.0±11.2 †‡#	78.4±10.7 *‡#
RPE	Scissors	11.0±2.2	11.9±1.4
	Jumping	10.4±1.9 †	12.2±1.4 *†
	Rocking	10.3±1.7 †	11.1±1.9 †‡
	Kicking	12.5±2.2 †‡#	13.3±2.0 ‡#

Data are Mean±SD. HR, heart rate; %HRmax, percentage of maximal heart rate; RPE, ratings of perceived exertion.

*P<0.05 VS Young, †P<0.05 VS scissors, ‡P<0.05 VS Jumping, #P<0.05 VS Rocking

Table4-4 %VO₂max of the four basic aquabics exercises

ACSM criteria			The four basic aquabics exercises	
%VO ₂ max (%)	very light	<20		
	light	20-39		
	moderate	40-59	Rocking (50.6)	Jumping (62.1)
	hard	60-84	scissors (71.5)	Kicking (73.1)
	very hard	≥85		
	maximal	100		

The four basic aquabics exercises in this study are grouped for relative intensity in terms of %VO₂max as indicated in the ACSM guidelines(1998).

第 5 章 総括

本研究の目的は 1)研究課題 1 において、加齢やトレーニング様式といった身体および心血管特性が浸水時の心血管応答に及ぼす影響について検討し、浸水時の心血管応答の規定因子を決定すること、2)研究課題 2 において、若年男性を対象に①アクアビクスの基本動作であるシザース、ロッキング、ジャンプ、キッキングの運動強度を酸素摂取量の観点から明確にすること、②体格や体力といった個人の身体的特性からアクアビクスの基本動作の運動強度の決定要因を検討すること、3)研究課題 3 では、高齢者におけるアクアビクスの基本動作の運動強度および身体特性が運動強度に与える影響を明らかにすることを目的とした。

本研究によって得られた結果は、以下の通りであった。

研究課題 1

- (1)浸水に伴う HR の低下量は高齢者に比べて若年者で有意に高い値を示した。
- (2)浸水による SBP の上昇量は、若年者に比べて高齢者で有意に高い値を示した。
- (3)浸水に伴う HR の低下には年齢、 $\dot{V}O_{2\max}$ および BRS が総合的に関連していることが示された。
- (4)浸水による SBP の上昇には年齢、仰臥位安静時の MBP、動脈スティフネスが独立して関係しているが、静脈容量は関係が認められなかった。

研究課題 2

- (1)アクアビクスにおける基本動作の $\dot{V}O_2$ および $\% \dot{V}O_{2\max}$ がキッキング、シザース、ジャンピング、ロッキングの順に大きくなる。
- (2)ロッキングの $\% \dot{V}O_{2\max}$ には体格が、ジャンピングには下腿断面積および心肺体力が、シザースとキッキングには心肺体力が独立して関係していることが示された。

研究課題 3

(1)若年者と比較して、高齢者はすべてのアクアビクスの基本動作の運動強度が有意に高い値を示した。

(2)若年者および高齢者ともにアクアビクスにおける基本動作の運動強度がキッキング、シザース、ジャンピング、ロックキングの順に大きいが、高齢者ではシザースおよびキッキングの運動強度には有意な差がない。

(3)高齢者はジャンピングにおける酸素摂取量および消費エネルギー量が若年者と比較して有意に高く、キッキングでは有意に低値を示す。

(4)高齢者のジャンピングの運動強度においてのみ、心肺体力が独立して関係していることが示された。

以上の結果は、加齢だけではなく、安静時血圧や動脈スティフネスなどの個人の心血管特性および心肺体力といった身体特性が浸水に伴う心拍数および血圧の応答に影響を与えることを明らかにした。さらにアクアビクスの基本動作の運動強度は若年者と高齢者では異なり、特に若年者においては体格や体力といった身体特性が運動強度に影響していることが示唆された。

本研究は、浸水時の心血管応答の規定因子およびアクアビクスの基本動作における運動強度を初めて明らかにした研究である。日本を含め、これから世界では高齢化社会が加速していくと考えられている。したがって、運動や食生活などのライフスタイルの面から、高齢者の ADL や QOL の維持・向上を目指す必要がある。水の特性により、水中運動は心疾患、整形外科的疾患および肥満の人々のリハビリテーションにも用いられている。これら疾患を持つ者の多くは高齢者であり、何らかの心血管の異常がある可能性が高い。したがって、水中運動を行う際のリスクを事前に軽減するために、心血管リスクを更に明らかにすることが必要であると考えられる。心血管リスクを考慮し

た水中運動強度のガイドラインの作成ができるようになれば、リハビリテーション施設やスポーツクラブなどの現場で、効率的かつ効果的な運動処方が可能となるだろう。

参考文献

1. Larsen AS, Johansen LB, Stadeager C, Warberg J, Christensen NJ, Norsk P. Volume-homeostatic mechanisms in humans during graded water immersion. *J Appl Physiol*. 1994;77:2832-2839
2. Arborelius M, Jr., Ballidin UI, Lilja B, Lundgren CE. Hemodynamic changes in man during immersion with the head above water. *Aerospace medicine*. 1972;43:592-598
3. Grossman E, Goldstein DS, Hoffman A, Wacks IR, Epstein M. Effects of water immersion on sympathoadrenal and dopa-dopamine systems in humans. *Am J Physiol*. 1992;262:R993-999
4. Krishna GG, Danovitch GM, Sowers JR. Catecholamine responses to central volume expansion produced by head-out water immersion and saline infusion. *The Journal of clinical endocrinology and metabolism*. 1983;56:998-1002
5. Tripathi A, Nadel ER. Forearm skin and muscle vasoconstriction during lower body negative pressure. *J Appl Physiol*. 1986;60:1535-1541
6. 亀谷学、加茂力、山内正博、橋本信行．無重力下における自律神経系の順応と破綻．*呼吸と循環*．1997;45:971-981
7. Johansen LB, Pump B, Warberg J, Christensen NJ, Norsk P. Preventing hemodilution abolishes natriuresis of water immersion in humans. *Am J Physiol*. 1998;275:R879-888
8. Epstein M. Renal, endocrine and hemodynamic effects of water immersion in man. *Contributions to nephrology*. 1984;41:174-188
9. Sugiyama Y, Miwa C, Xue YX, Iwase S, Suzuki H, Matsukawa T,

- Watanabe T, Kobayashi F, Mano T. Cardiovascular function in the elderly during water immersion. *Environ Med.* 1993;37:91-94
10. Lazar JM, Morris M, Qureshi G, Jean-Noel G, Nichols W, Qureshi MR, Saliccioli L. The effects of head-out-of-water immersion on arterial wave reflection in healthy adults. *J Am Soc Hypertens.* 2008;2:455-461
 11. Gabrielsen A, Johansen LB, Norsk P. Central cardiovascular pressures during graded water immersion in humans. *J Appl Physiol.* 1993;75:581-585
 12. Miwa C, Sugiyama Y, Mano T, Iwase S, Matsukawa T. Spectral characteristics of heart rate and blood pressure variabilities during head-out water immersion. *Environ Med.* 1996;40:91-94
 13. 美和千尋、, 杉山由樹、, 岩瀬敏、, 松川俊義、, 間野忠明、, 渡邊丈眞、, 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 = The Autonomic nervous system.* 1996;33:503-508
 14. Gabrielsen A, Warberg J, Christensen NJ, Bie P, Stadeager C, Pump B, Norsk P. Arterial pulse pressure and vasopressin release during graded water immersion in humans. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.* 2000;278:R1583-1588
 15. 小野寺昇、宮地元彦、矢野博己. 血圧から見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.* 1996;17:53-61
 16. Lexell J TC, Sjöström M. What is the cause of the ageing atrophy? Total number, size and proportion of different fiber types studied in whole vastus lateralis muscle from 15- to 83-year-old men. *J Neurol Sci.* 1988;84:275-294
 17. Hawkins S, Wiswell R. Rate and mechanism of maximal oxygen

- consumption decline with aging: Implications for exercise training. *Sports Med.* 2003;33:877-888
18. Greenlund LJ, Nair KS. Sarcopenia--consequences, mechanisms, and potential therapies. *Mech Ageing Dev.* 2003;124:287-299
 19. Sayer AA, Syddall HE, Martin HJ, Dennison EM, Anderson FH, Cooper C. Falls, sarcopenia, and growth in early life: Findings from the hertfordshire cohort study. *Am J Epidemiol.* 2006;164:665-671
 20. Monahan KD. New investigator award of the neural control and autonomic regulation section, 2006 - effect of aging on baroreflex function in humans. *Am J Physiol-Reg I.* 2007;293:R3-R12
 21. Najjar SS, Scuteri A, Lakatta EG. Arterial aging - is it an immutable cardiovascular risk factor? *Hypertension.* 2005;46:454-462
 22. Vaitkevicius PV, Fleg JL, Engel JH, O'Connor FC, Wright JG, Lakatta LE, Yin FC, Lakatta EG. Effects of age and aerobic capacity on arterial stiffness in healthy adults. *Circulation.* 1993;88:1456-1462
 23. Lanne T, Olsen H. Decreased capacitance response with age in lower limbs of humans--a potential error in the study of cardiovascular reflexes in ageing. *Acta Physiol Scand.* 1997;161:503-507
 24. Monahan KD, Dinunno FA, Seals DR, Halliwill JR. Smaller age-associated reductions in leg venous compliance in endurance exercise-trained men. *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* 2001;281:H1267-1273
 25. Komine H, Sugawara J, Hayashi K, Yoshizawa M, Yokoi T. Regular endurance exercise in young men increases arterial baroreflex sensitivity through neural alteration of baroreflex arc. *Journal of*

- Applied Physiology*. 2009;106:1499-1505
26. Tanaka H, Dinunno FA, Monahan KD, Clevenger CM, DeSouza CA, Seals DR. Aging, habitual exercise, and dynamic arterial compliance. *Circulation*. 2000;102:1270-1275
27. Kawano H TM, Yamamoto K, Sanada K, Gando Y, Tabata I, Higuchi M, Miyachi M. Resistance training in men is associated with increased arterial stiffness and blood pressure but does not adversely affect endothelial function as measured by arterial reactivity to the cold pressor test. *Exp Physiol*. . 2008;93:296-302
28. Miyachi M, Donato AJ, Yamamoto K, Takahashi K, Gates PE, Moreau KL, Tanaka H. Greater age-related reductions in central arterial compliance in resistance-trained men. *Hypertension*. 2003;41:130-135
29. Miyachi M, Kawano H, Sugawara J, Takahashi K, Hayashi K, Yamazaki K, Tabata I, Tanaka H. Unfavorable effects of resistance training on central arterial compliance: A randomized intervention study. *Circulation*. 2004;110:2858-2863
30. Miwa C, Mano T, Saito M, Iwase S, Matsukawa T, Sugiyama Y, Koga K. Ageing reduces sympatho-suppressive response to head-out water immersion in humans. *Acta Physiol Scand*. 1996;158:15-20
31. Ueno LM, Miyachi M, Matsui T, Takahashi K, Yamazaki K, Hayashi K, Onodera S, Moritani T. Effect of aging on carotid artery stiffness and baroreflex sensitivity during head-out water immersion in man. *Brazilian journal of medical and biological research = Revista brasileira de pesquisas medicas e biologicas / Sociedade Brasileira de Biofisica ... [et al.]*. 2005;38:629-637

32. 朝比奈 真由美 朝正, 山中 義崇 , 三井 圭子 , 北原 綾 , 村田 淳. 身体障害者において浸水負荷が血圧と脈拍に与える影響 : 加齢および基礎疾患との関連. *自律神経 = The Autonomic nervous system*. 2010;46:248-253
33. 桂 良寛 吉貴, 中雄 勇人 , 鈴木 崇士 , 上田 真也 , 坂本 弘 , 奥元 多美子 , 藤本 繁夫 高齢者の水中トレーニングは足関節底屈筋力と動的バランス機能を改善させる. *日本運動生理学雑誌*. 2009;16:41-48
34. Choukroun ML, Kays C, Varene P. Effects of water temperature on pulmonary volumes in immersed human subjects. *Respir Physiol*. 1989;75:255-265
35. Gleim GW, Nicholas JA. Metabolic costs and heart rate responses to treadmill walking in water at different depths and temperatures. *The American journal of sports medicine*. 1989;17:248-252
36. Onodera S, Miyachi M, Nishimura M, Yamamoto K, Yamaguchi H, Takahashi K, In JY, Amaoka H, Yoshioka A, Matsui T, Hara H. Effects of water depth on abdominal [correction of abdominails] aorta and inferior vena cava during standing in water. *Journal of gravitational physiology : a journal of the International Society for Gravitational Physiology*. 2001;8:P59-60
37. Bishop PA, Frazier S, Smith J, Jacobs D. Physiologic responses to treadmill and water running. *Physician Sportsmed*. 1989;17:87-&
38. Rosenberg IH. Sarcopenia: Origins and clinical relevance. *J Nutr*. 1997;127:990S-991S
39. Garber CE, Blissmer B, Deschenes MR, Franklin BA, Lamonte MJ, Lee IM, Nieman DC, Swain DP. American college of sports medicine

- position stand. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: Guidance for prescribing exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 2011;43:1334-1359
40. Smith ML, Raven PB. Cardiovascular responses to lower body negative pressure in endurance and static exercise-trained men. *Med Sci Sports Exerc.* 1986;18:545-550
41. Du Bois D, Du Bois EF. A formula to estimate the approximate surface area if height and weight be known. *Arch Intern Med.* 1916;17:863-871
42. 青山 友子 浅明, 金子 香織 , 石島 寿道 , 河野 寛 , 坂本 静男 , 田畑 泉 , 樋口 満. 中高年男性における心肺体力と身体活動の量およびその強度との関係. *体力科学.* 2010;59:191-198
43. Halliwill JR, Minson CT, Joyner MJ. Measurement of limb venous compliance in humans: Technical considerations and physiological findings. *J Appl Physiol.* 1999;87:1555-1563
44. Kawano H, Tanimoto M, Yamamoto K, Gando Y, Sanada K, Tabata I, Higuchi M, Miyachi M. Greater forearm venous compliance in resistance-trained men. *Eur J Appl Physiol.* 2010;110:769-777
45. Seals DR, Chase PB. Influence of physical training on heart rate variability and baroreflex circulatory control. *J Appl Physiol.* 1989;66:1886-1895
46. Goldsmith RL, Bigger JT, Jr., Steinman RC, Fleiss JL. Comparison of 24-hour parasympathetic activity in endurance-trained and untrained young men. *Journal of the American College of Cardiology.* 1992;20:552-558

47. De Meersman RE. Respiratory sinus arrhythmia alteration following training in endurance athletes. *European journal of applied physiology and occupational physiology*. 1992;64:434-436
48. al-Ani M MS, White M, Townend J, Coote JH. Changes in r-r variability before and after endurance training measured by power spectral analysis and by the effect of isometric muscle contraction. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. . 1996;74:397-403
49. Yamamoto K, Miyachi M, Saitoh T, Yoshioka A, Onodera S. Effects of endurance training on resting and post-exercise cardiac autonomic control. *Med Sci Sports Exerc*. 2001;33:1496-1502
50. De Meersman RE, Stein PK. Vagal modulation and aging. *Biol Psychol*. 2007;74:165-173
51. Shirai K, Utino J, Otsuka K, Takata M. A novel blood pressure-independent arterial wall stiffness parameter; cardio-ankle vascular index (cavi). *Journal of atherosclerosis and thrombosis*. 2006;13:101-107
52. Mano T, Matsukawa, T., Iwase, S., Sugiyama, Y., Saito, M., Inamura, K., Miwa, C. . The influence of aging on gravity-related responses of muscle sympathetic nerve activity in humans. *Journal of the Autonomic Nervous System* 1996;58:191-193
53. Bertovic DA, Waddell TK, Gatzka CD, Cameron JD, Dart AM, BA. K. Muscular strength training is associated with low arterial compliance and high pulse pressure. *Hypertension*. . 1999;33:1385-1391
54. 美和千尋、岩瀬敏、間野忠明、斎藤満、杉山由樹、鈴木初恵. 水浸時におけるヒトの筋交感神経活動の抑制反応に対する加齢の影響. *自律神経* =

The Autonomic nervous system. 1993;30:16–23

55. Hajduczuk G, Chapleau MW, Abboud FM. Increase in sympathetic activity with age. Ii. Role of impairment of cardiopulmonary baroreflexes. *Am J Physiol.* 1991;260:H1121-1127
56. 井上博. 循環器疾患と自律神経機能. 東京: 医学書院; 2001.
57. Nelson ME, Rejeski WJ, Blair SN, Duncan PW, Judge JO, King AC, Macera CA, Castaneda-Sceppa C. Physical activity and public health in older adults: Recommendation from the american college of sports medicine and the american heart association. *Med Sci Sports Exerc.* 2007;39:1435-1445
58. Meredith-Jones K, Waters D, Legge M, Jones L. Upright water-based exercise to improve cardiovascular and metabolic health: A qualitative review. *Complement Ther Med.* 2011;19:93-103
59. Tsourlou T, Benik A, Dipla K, Zafeiridis A, Kellis S. The effects of a twenty-four-week aquatic training program on muscular strength performance in healthy elderly women. *J Strength Cond Res.* 2006;20:811-818
60. Asahina M, Asahina MK, Yamanaka Y, Mitsui K, Kitahara A, Murata A. Cardiovascular response during aquatic exercise in patients with osteoarthritis. *Am J Phys Med Rehab.* 2010;89:731-735
61. Eckerson J TA. Physiological responses to water aerobics. *J.Sports Med.* 1992;32:255-261
62. 健康・体力づくり事業団体. 健康運動指導士養成講習会テキスト(上). 東京: 株式会社社会保険研究所; 2007.
63. 東京アスレチッククラブ監修. 水中健康法アクアフィットネス—水の不

思議な力がカラダを健康にする!. 東京: 旬報社; 2002.

64. 尾陰由美子. アクアビクス. からだの科学増刊. 2007
65. Borg GAV. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sport Exer.* 1982;14:377-381
66. 日本スイミングクラブ協会. アクアフィットネス・アクアダンスインストラクター教本. 東京: 大修館書店; 2008.
67. 健康・体力づくり事業財団. 健康運動指導士養成講習会テキスト i. 東京: 第一出版株式会社; 2001
68. Pollock ML, Gaesser GA, Butcher JD, Despres JP, Dishman RK, Franklin BA, Garber CE. The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults. *Med Sci Sport Exer.* 1998;30:975-991
69. Pollock ML, Graves JE, Swart DL, Lowenthal DT. Exercise training and prescription for the elderly. *South Med J.* 1994;87:S88-95
70. Meyer K, Bucking J. Exercise in heart failure: Should aqua therapy and swimming be allowed? *Med Sci Sport Exer.* 2004;36:2017-2023
71. Volaklis KA, Spassis AT, Tokmakidis SP. Land versus water exercise in patients with coronary artery disease: Effects on body composition, blood lipids, and physical fitness. *Am Heart J.* 2007;154:560 e561-566
72. Meyer K, Leblanc MC. Aquatic therapies in patients with compromised left ventricular function and heart failure. *Clin Invest Med.* 2008;31:E90-97
73. Ay A, Yurtkuran M. Influence of aquatic and weight-bearing exercises on quantitative ultrasound variables in postmenopausal women. *Am J*

Phys Med Rehabil. 2005;84:52-61

74. Takeshima N, Rogers ME, Watanabe E, Brechue WF, Okada A, Yamada T, Islam MM, Hayano J. Water-based exercise improves health-related aspects of fitness in older women. *Med Sci Sports Exerc.* 2002;34:544-551
75. Poyhonen T, Sipila S, Keskinen KL, Hautala A, Savolainen J, Malkia E. Effects of aquatic resistance training on neuromuscular performance in healthy women. *Med Sci Sports Exerc.* 2002;34:2103-2109
76. Weir JB. New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *The Journal of physiology.* 1949;109:1-9
77. Gusi N, Tomas-Carus P, Hakkinen A, Hakkinen K, Ortega-Alonso A. Exercise in waist-high warm water decreases pain and improves health-related quality of life and strength in the lower extremities in women with fibromyalgia. *Arthritis Rheum.* 2006;55:66-73
78. Kaneda K, Wakabayashi H, Sato D, Nomura T. Lower extremity muscle activity during different types and speeds of underwater movement. *J Physiol Anthropol.* 2007;26:197-200
79. 金岡恒治. 水中運動の臨床応用:整形外科的運動療法. *臨床スポーツ医学.* 2003;20:297-301

謝 辞

修士論文作成に際しまして、アメリカからの熱心なご指導を賜りました樋口満先生には心より深くお礼申し上げます。また快く副査を引き受けて下さった坂本静男先生、金岡恒治先生に感謝申し上げます。研究計画から実験、論文作成に至るまで、つきっきりで指導して下さいました河野寛先生には多大なるご協力を頂きました。厚くお礼申し上げます。

またご多忙の中、実験に参加して下さいました早稲田大学競走部、ウエイトリフティング部の皆様、友人、後輩ならびに水中運動を研究するきっかけを下されたジェクサーフィットネスクラブの皆様にお礼申し上げます。

最後になりましたが、修士課程2年間を支えて下さった樋口研究室の皆様、友人、家族に感謝致します。ありがとうございました。

付録 アクアビクスの運動処方例

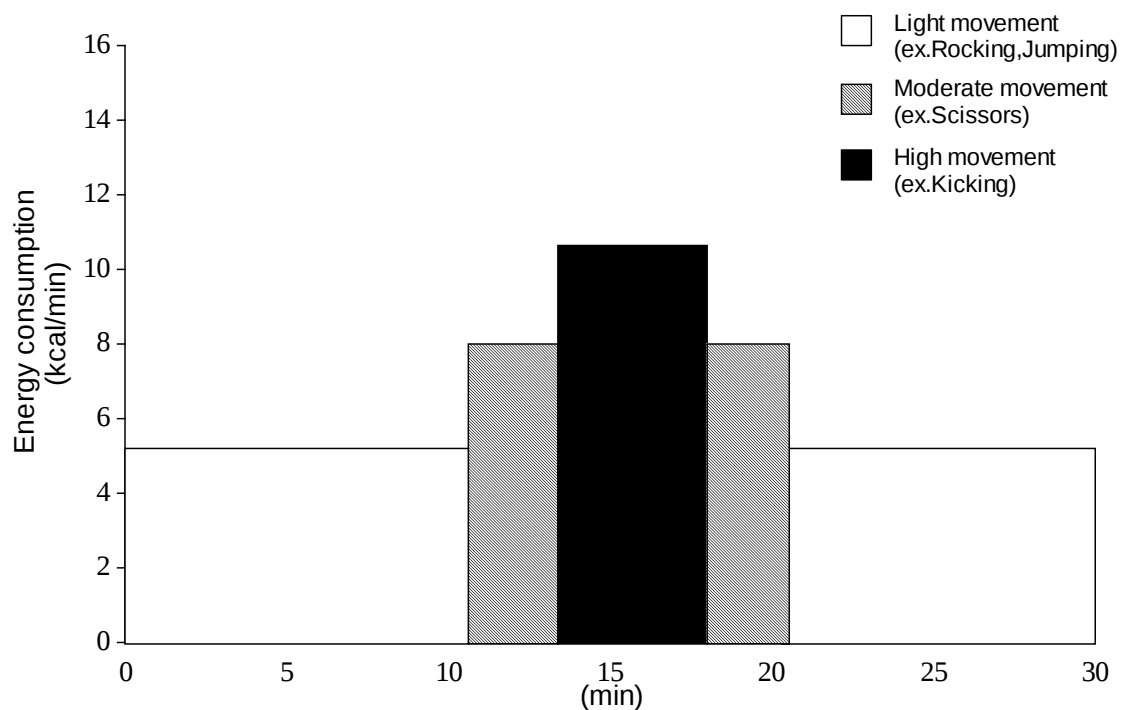
ケース 1：身長 170cm、体重 80Kg、30 歳男性の A さん。
3 カ月間、週 3 日、30 分間のアクアビクスプログラムに参加することで脂肪を 1kg 落としたい。

脂肪 1 Kg=7000kcal

3 カ月、週 3 日参加すると 39 回のレッスンに出ることになる。1 回のレッスンにつき
 $7000 \div 39 = 175\text{kcal}$ 以上消費しなければならない。

30 分間のプログラムの中に、ロッキング、ジャンピングなどに相当する比較的低強度の動作が約 70%、シザースに相当する中程度の動作を約 15%、キッキングに相当する高強度の動作を約 15% の割合で分布させると 1 回のアクアビクスプログラムにつき 190kcal 消費することができ、目標を達成できる。

(研究課題 3:Figure4-3、研究課題 2:Table3-4 参照)



ケース 2：身長 170cm、体重 65Kg、30 歳男性。VO₂max が 40ml/kg/min の B さん。
運動の経験があまりないが、健康を維持したい。

ACSM ガイドラインより、成人男性が健康を維持するために必要な運動強度は少なくとも 40% VO₂max であり、中程度の有酸素運動(3.0~6.0Mets)を最低 30 分、週 5 回行うことが必要とされている。

○B さんの 40% VO₂max… $40 \times 0.4 = 16 \text{ ml/kg/min}$

○中程度の強度で運動した場合の VO₂

3Mets… $3 \times 3.5 = 10.5 \text{ ml/kg/min}$

4Mets… $4 \times 3.5 = 14.0 \text{ ml/kg/min}$

5Mets… $5 \times 3.5 = 17.5 \text{ ml/kg/min}$

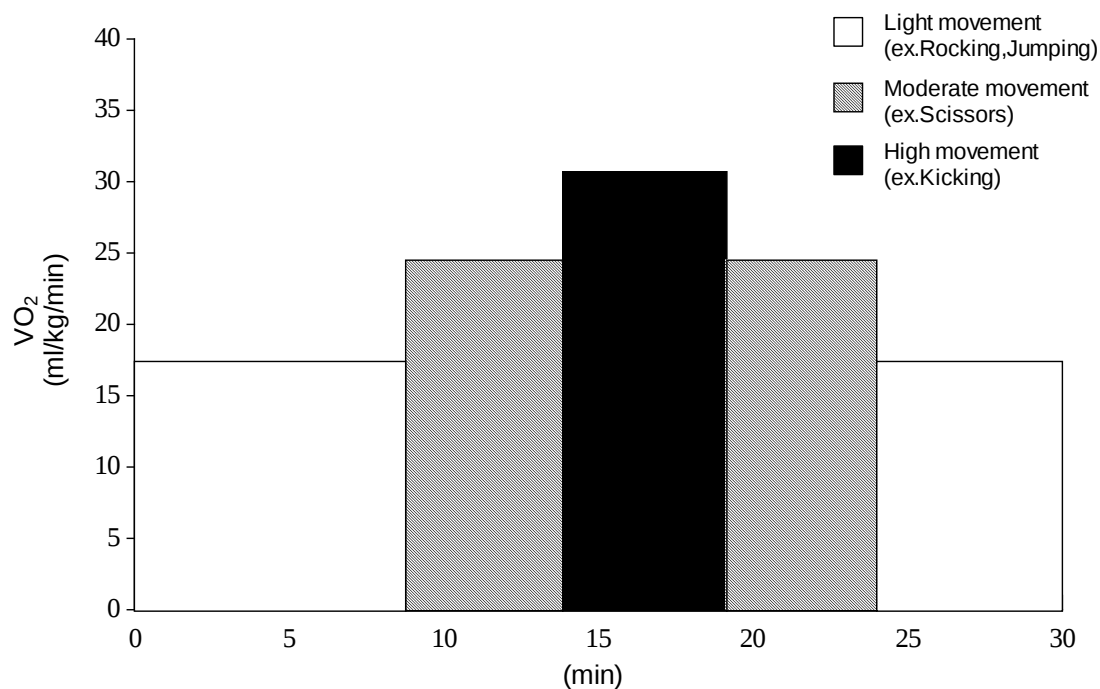
6Mets… $6 \times 3.5 = 21 \text{ ml/kg/min}$

健康を維持するためには、40% VO₂max 以上の強度で行いかつ、5~6Mets の運動強度で行う必要があるが、B さんは運動初心者のため、5Mets から始めることとする。

したがって、30 分間のプログラムを平均して約 17.5 ml/kg/min の強度にするため、30 分間の VO₂ は $17.5 \times 30 = \text{約 } 525 \text{ ml/kg/min}$ 必要。

30 分間のプログラムの中にロッキング、ジャンピングなどに相当する比較的低強度の動作が約 50%、シザースに相当する中程度の動作を約 30%、キッキングに相当する高強度の動作を約 17% の割合で分布させると 1 回のアクアビクスプログラムにつき約 525ml/kg/min 程度の VO₂ を摂取するプログラムとなり、目標を達成できる。

(研究課題 2:Figure3-3,Table3-4 参照)



ケース 3：身長 165cm、体重 60Kg、65 歳男性。 $\dot{V}O_2\text{max}$ が 30ml/kg/min の C さん。

健康を維持するため、初級のアクアビクスクラス(50~60% $\dot{V}O_2\text{max}$ レベルの強度)に参加していたが、楽になってきたので強度を上げたい。

ACSM ガイドラインより、高齢男性が健康を維持するために必要な運動強度は少なくとも 40% $\dot{V}O_2\text{max}$ であり、中程度の有酸素運動(50~80% $\dot{V}O_2\text{max}$)を最低 30 分、週 5 回行うことが必要とされている。

○B さんの 40% $\dot{V}O_2\text{max}$... $30 \times 0.4 = 12 \text{ ml/kg/min}$

○中程度の強度で運動した場合の% $\dot{V}O_2\text{max}$

50% $\dot{V}O_2\text{max}$... $30 \times 0.5 = 15 \text{ ml/kg/min}$

60% $\dot{V}O_2\text{max}$... $30 \times 0.6 = 18 \text{ ml/kg/min}$

70% $\dot{V}O_2\text{max}$... $30 \times 0.7 = 21 \text{ ml/kg/min}$

80 % $\dot{V}O_2\text{max}$... $30 \times 0.8 = 24 \text{ ml/kg/min}$

健康を維持するためには、40% $\dot{V}O_2\text{max}$ 以上の強度かつ、50~80% $\dot{V}O_2\text{max}$ の運動強度で行う必要があるが、B さんは 50~60% $\dot{V}O_2\text{max}$ の強度には順応しているため、60~70% $\dot{V}O_2\text{max}$ の強度レベルを設定する必要がある。

したがって、30 分間のプログラムを平均して約 18~21ml/kg/min の強度にするため、30 分間の $\dot{V}O_2$ は約 540~640ml/kg/min 程度必要。

このため 30 分間のプログラムの中にロッキング、ジャンピング相当する中強度の動作を約 50%、シザースおよびキッキングに相当する高強度動作を約 50%の割合で分布させることで 600ml/kg/min 程度の $\dot{V}O_2$ を摂取するプログラムとなる。

(研究課題 3:Figure4-1,Table4-4 参照)

※注意点

高齢者を始めとした高血圧者や動脈硬化を患っている人は、浸水に伴い血圧が過度に上昇する可能性が高いため、注意が必要である。(研究課題 1：Figure2-8 参照)

