

国士舘大学審査学位論文

「水中運動が血圧と成長ホルモンに及ぼす効果」

河野 洋志

博士學位論文

水中運動が血圧と成長ホルモンに及ぼす効果

The effects of exercise in water
on the blood pressure and growth hormone

国士舘大学

河野 洋志

Hiroshi KAWANO

目 次

第 1 章	緒 論	1
1-1.	序		2
1-2.	研究小史		4
	1) 水の物理的特性と水中で身体が受ける生理的な影響		
	2) 水中での全身運動と局所運動		
	3) 水中運動と血圧について		
	4) 運動と成長ホルモンについて		
	5) 水中での圧迫を伴う運動について		
1-3.	本研究の目的		12
第 2 章	高齢女性の水中ウォーキングが 血圧に与える影響	15
2-1.	はじめに		16
2-2.	方 法		18
2-3.	結 果		25
2-4.	考 察		30
2-5.	要 約		33

第 3 章	水中での腕振り運動が 血圧及び成長ホルモンに与える影響	35
3-1.	はじめに	36
3-2.	方 法	37
3-3.	結 果	45
3-4.	考 察	51
3-5.	要 約	52
第 4 章	総括論議	53
4-1.	一過性の水中運動前後の血圧と心拍数	54
4-2.	水中運動と成長ホルモン	57
4-3.	水中ウォーキングの頻度	57
第 5 章	結 語	59
	参考及び引用文献	62

第 1 章

緒 論

1-1. 序

水中運動は水の中で行う運動の総称で、水中ウォーキングやスイミング、筋力トレーニング、アクアビクス、アクアセラピーと呼ばれるリラクゼーションの他、水中トレッドミル、水中バイクといった物を活用した方法まで考案されており、その内容は多岐にわたる。人体が浸水すると浮力、抵抗、水圧、水温といった水の物理的特性が働き、関節の負担軽減（de Brito et al. 2012； 覚張 2010）や心拍数の減少（小野寺 1996）、緊張の緩和（Oda et al. 1999）といった効果があることがこれまでの報告（北川 2005）から明らかになっている。

これら水の物理的特性を利用した水中運動は、負荷強度の調整が容易で関節等に負担がかかりにくく転倒の危険性が少ない上、スイミングといった浮遊位で行う運動を除き、立位姿勢で顔を水に浸けることなく実施可能である。安全かつ簡単に行うことができる方法のため、トップアスリートへのトレーニング（柴田ら 2008）として利用されている他、介護予防教室の運動プログラム（藤原ら 2019； 岩井ら 2008）や健康増進のための手段（堀田ら 1993）、リハビリテーション分野（平田ら 2016； 河野ら 2016）、コンディショニング法（覚張ら 1998； 竹中 1990； 富田 1982）等、様々な分野において実施されている。そのため、水中運動は、高齢者や運動を行うこと自体が困難な場合、運動の負荷強度に耐えられない際においても実施が可能な運動であると言える。

我が国の2020年における高齢化率は28.7%、高齢者数は3617万人（総務省統計局 2020）で、今後ますます高齢化は加速していくことが予想される。変形性関節症に代表される整形外科疾患等に罹患、受療している者（日本整形外科学会 2012）や高血圧性疾患（厚生労働省 2019）においても加齢とともに増加している。厚生労働省（2018）の調査によると、収縮期血圧が140 mmHg以上の者の割合は、男性37.0%、女性27.8%で、約4000万人が高血圧に該当すると言われている。この国民病とも言える高血圧に対する予防や治療に有効な手段として、有酸素運動がある（日本高血圧学会 2014； Hanssen et al. 2021）。ウォーキングを含めた有酸素運動を行うと血圧を5～7 mmHg低下させる（Pescatello 2004）と示されており、高血圧を含めた心血管疾患の危険因子に

対する改善効果が見られる (Arena et al. 2007) とされ、動脈スティフネスの低下 (Vaiktevicius et al. 1993) に関しても報告されている。

水中運動を行った際の血圧に関する報告として、水中ウォーキング、水中ストレッチ、スイミングを組み合わせた約 90 分間の水中運動を、週 2 回、8 週間行った場合、有意に低値を示した報告 (青葉ら 2004) や、水中ウォーキング他、多数の運動プログラムを組み合わせた約 60 分間の水中運動を週 3~4 回、6 週間行った際、変化が見られなかった報告 (藤原ら 2019) 等がある。さらに、高齢者を対象とした水中運動前後の血圧の動向においては、岩井ら (2008) の血圧の変化は見られなかったものや前野ら (1999) の値が上昇した報告、今野ら (2001) の値が低下したもの等、様々な報告がなされている。高齢者は個人によってその血圧の値の幅が大きいことが予想されるが、血圧を条件分けして検証したという報告はほとんどない。以上のことから、高齢者が水中運動を実施した際の頻度や時間、期間に関して一定の見解が得られておらず、血圧に与える効果についても結論が出ていない。

また、水中運動を実践した先行研究 (山田ら 2002; Takeshima et al. 2002; 川崎 2007; Pinto et al. 2013; Kargarfard et al. 2013; 藤原ら 2019) では、筋力トレーニングと水中ウォーキングというような、複数の運動プログラムを組み合わせた効果を報告するものがほとんどである。本来であれば、各々の運動を単独で行った際にどういった効果を示すのかを明らかにする必要がある。そこで、本研究では降圧効果が期待できる有酸素運動の中で、高齢者にも広く認知されている水中ウォーキング (スポーツ庁 2009) を実施プログラムとする。

一方、水中では浮力が働くことから、水中の方が陸上よりも歩きやすく、バランスも保持が容易で (侘美 2005)、不安が少ない (北湯口 2008) と言われているが、高齢者を含む水中運動初心者の中には、浮力が働くことで足が床に着きにくく、歩きにくいと言う者や足が床に着かないこと自体や広い水面に対して不安や恐怖を感じる者もいる。こういった者たちへは、足を動かすことはせ

ずに立位姿勢を保ったまま上肢の運動をする方が有効であると考えられるが、水中での上肢の運動、特に有酸素運動に関してはハンドエルゴメーター運動に関する報告（小野寺ら 2005； 國吉ら 2012）が見られるだけである。また、上肢の運動を行う際に浸水部位を変えて検証している報告はほとんどない。

著者は指導の現場で、ウォーキングの腕振り動作（肘関節を伸展したまま、肩関節の屈伸を行う動作）だけを行ってもらう方法を実践している。動作は簡単で説明をする必要もなく、両足が常に床に着いているため、不安や恐怖を感じることも少なくできる運動である。この腕振り運動に、最大筋力の 20% 程度の負荷強度においても筋肥大が起こるとされる、四肢の基部に空圧式のカフやバンド等を巻き、圧迫した状態で行う運動（血流制限トレーニング）を組み合わせることで、より効果的な運動になるのではないかと推察される。しかし、運動を行った際の血圧や心拍数の変動、内分泌系の分泌動向を検討した報告は見当たらず、心血管反応への影響や運動効果についても不明確である。

そこで本研究は、有酸素運動である水中ウォーキングを異なる血圧条件に分けた高齢者に対して行い、血圧や心拍数の変動について検証し、高齢者や血圧の数値が高めの者に対するトレーニングとして有効であるかを明らかにするとともに、腕振り運動時における、血圧や心拍数の変動、成長ホルモン、インスリン様成長因子 I の分泌動向を圧迫の有無により検証していく。

1-2. 研究小史

ここでは、現在までに得られている水の物理的特性や浸水することで身体が受ける生理的な影響について述べるとともに、水中での全身運動や局所運動、水中運動時の血圧や成長ホルモン応答について、また、圧迫を伴う運動について検討することで解決すべき課題を明らかにする。

1) 水の物理的特性と水中で身体が受ける生理的な影響

水中運動を行うと水の物理的特性である浮力、抵抗、水圧、水温等が関与す

る。

浮力は、アルキメデスの原理に基づき、物体が排除した流体の重さの分だけ発生する。浮力の作用により、水中での人間の荷重量は大腿部水位で 90%、恥骨部水位で 80%、臍部水位で 50~60%、剣状突起部水位で 30%、頸部水位で 10%に低減するため（図 1）、各関節への負担は軽減する（Samuel 1980； de Brito et al. 2012； 覚張 2010； Asahina et al. 2010）。

抵抗は、水中で物体が移動する方向の水面上（造波抵抗）や後方（渦抵抗）、浸水部分（粘性抵抗）等にそれぞれ受けることになる。この抵抗は水の密度、粘度が空気中より大きいことが関与（小西 2000）し、動作速度の 2 乗に比例することから、個人の動く速度に合わせて負荷調整が可能となり、過負荷とならずに筋力の向上が望める（須藤ら 2003）。

水圧は、水深 10m 毎に 1 気圧（760 mmHg）増加する。水深に比例して水圧が高まるため、人体が水中で立位姿勢をとった際は下肢の遠位部ほど高い水圧がかかる。水圧を受けることで静脈還流量が増加し、1 回拍出量の増大、心拍数の減少が起こる（小野寺 1996）。そのため、血液循環の促進や心肺機能の向上（Tsourlou et al. 2006）が期待できる。

水温は、水中では熱伝導率が空気中に比べ約 20 倍（小西 2000）と言われ、熱を伝えやすい性質がある。これにより、体温は水中に奪われる状態となり、体内では熱生産が行われる（今野 1990）。一般的に 33~36℃を不感温度帯（図 2）といい、この温度帯では温かくも冷たくも感じない範囲とされ、心拍数、血圧、呼吸数、酸素消費量等に最も影響が少ない温度帯である（小西 2001）。

水の物理的特性と水中で身体が受ける生理的な影響を図 3 に示す。

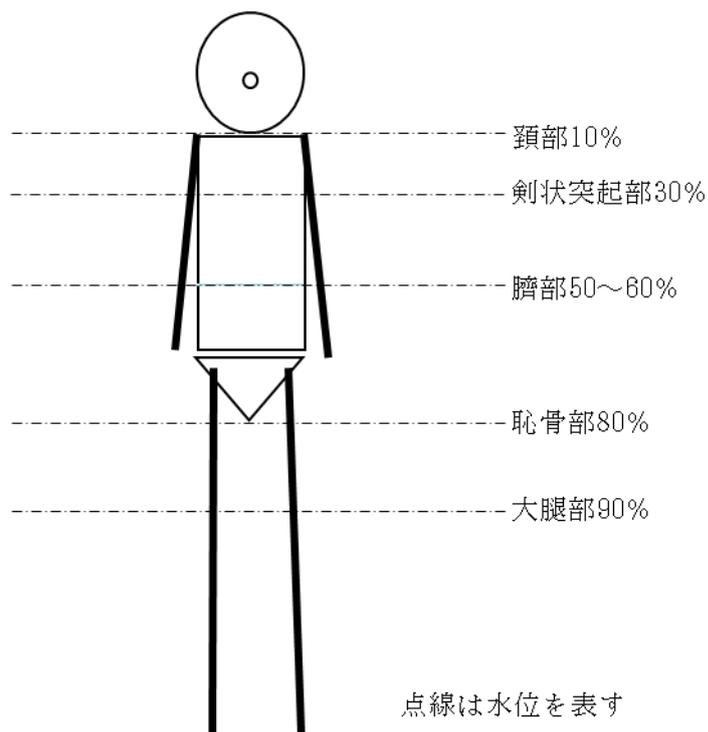


図 1. 各水深部位における荷重負荷率について

(Samuel 1980 より著者作図)

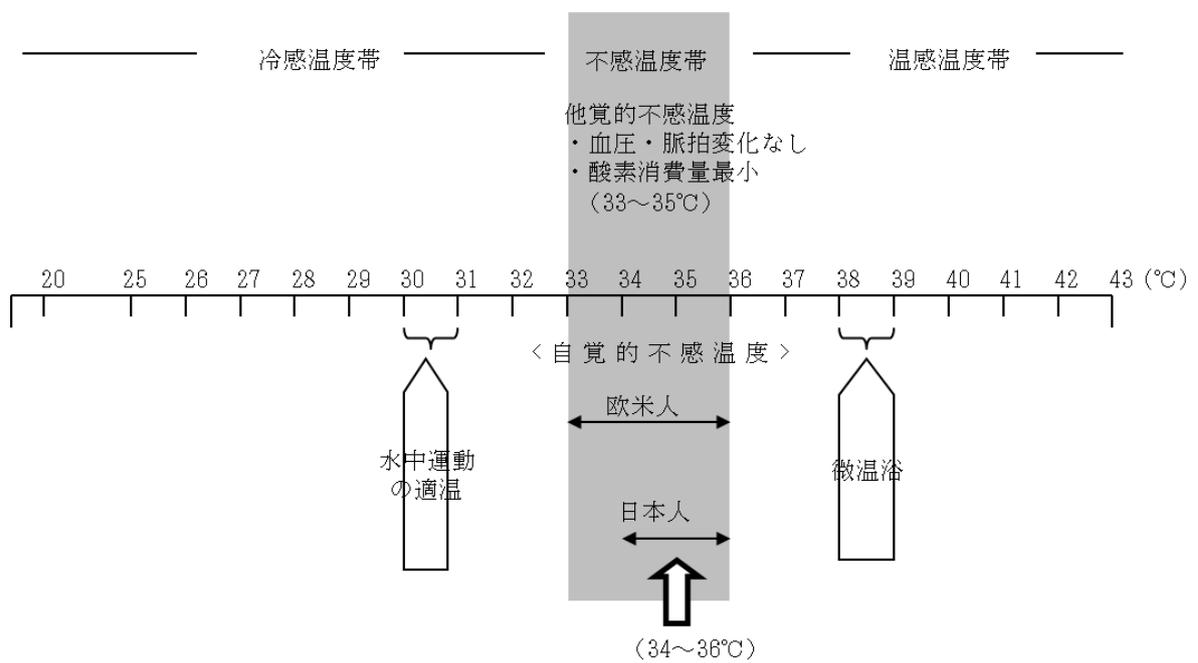


図 2. 水温による生理的变化と至適温度

(小西 2000 より 著者作図)

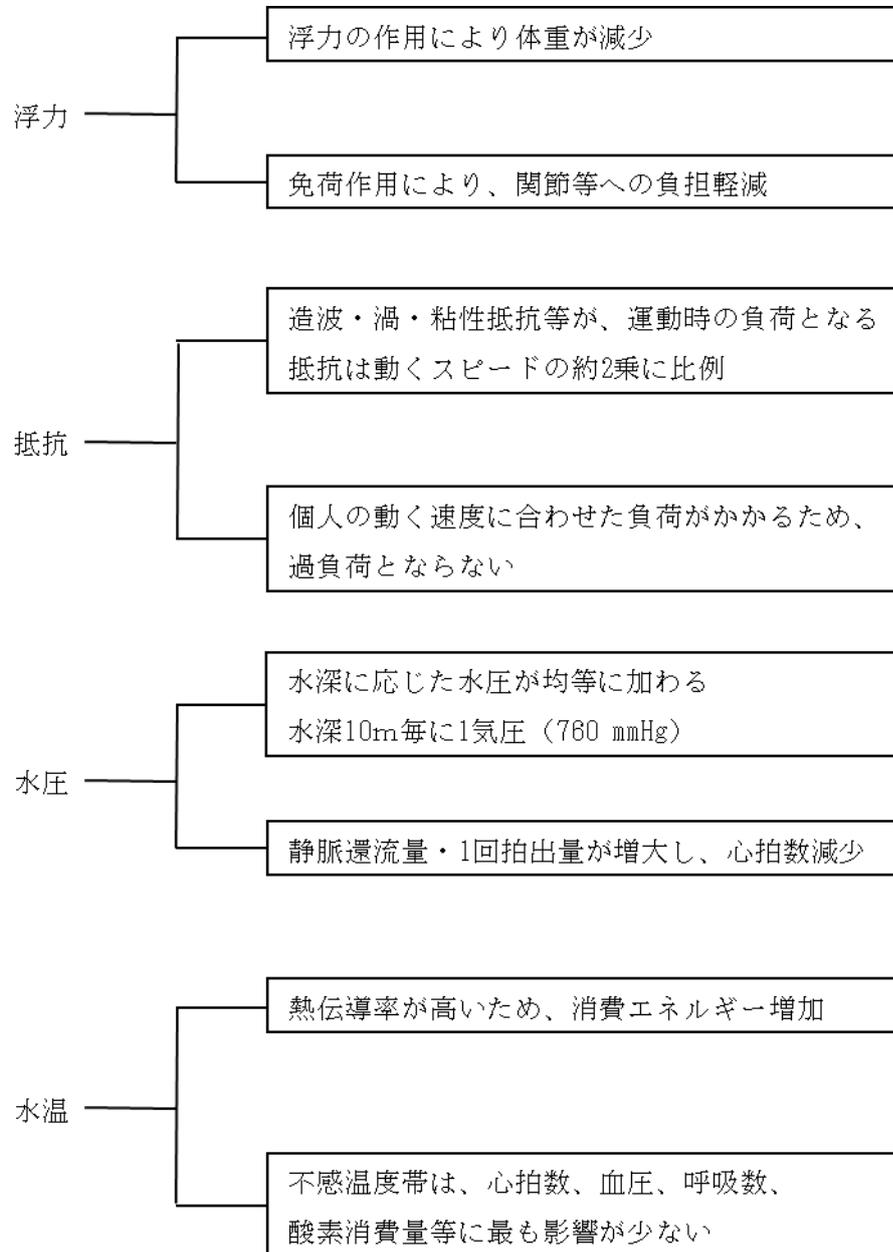


図 3. 水の物理的特性と水中で身体が受ける生理的な影響

2) 水中での全身運動と局所運動

運動は、使用される筋肉の部位により、全身運動と局所運動に分けられる(池田ら 1993)。水中での全身運動は、水中ウォーキングが有酸素運動として最も多く取り入れられている。

水中ウォーキングはスイミングとは異なり、顔を水に浸けることや特定の技術を使用する必要はないと言われている(Miyoshi et al. 2004)。そのため歩き方は多くの実践がなされており、文献によると40種類とも言われている(小西 2001)。また、水中ウォーキングの生体力学的な報告は、床反力垂直成分を陸上と比較するものが多く見られ、Barela et al. (2006)は、歩くのに快適な速度を選択した場合、水中での速度は陸上の約36%であることや水中を歩くと身体の前面に水の抵抗を受けるため、歩幅は10%短くなるとしている。Harrison et al. (2009)は、剣状突起部でゆっくり水中を歩くと、体重の負荷は75%減少するが、骨盤レベルでは25%減少であったと報告している。その他には、筋力強化のための力学的に最適なフォームに関する報告(秋山 2011)や、脳卒中後のバランスと歩行を改善する報告(Nayak et al. 2020)といったものも見られる。血圧に関する報告もなされているが、序で述べたように、高齢者の血圧を条件分けした報告は少なく、実施頻度や時間、期間に一定の見解が得られていない状態である。

一方、水中での局所運動は、主にレジスタンス運動が実施されている。水中でのレジスタンス運動は、American College of Sports Medicine (2009)によると、筋力や心血管代謝危険因子、骨密度等を改善すると報告しており、陸上環境で行うレジスタンス運動同様の効果が得られるとしている。また、レジスタンス運動は下肢に関する報告が多い(嶋田ら 2019)。水中で下肢の動作を伴うと、浮力の影響を受けて身体が浮いてしまう感覚や床に足が着かないことに不安や恐怖を感じる者もいる。また、下肢の運動自体が行えない場合も考えられる。そのような場合は、上肢の運動を行うことが必要となるが、上肢の運動、特に有酸素運動に関してはハンドエルゴメーター運動に関する報告(小野寺ら 2005; 國吉ら 2012)が見られるだけである。著者は指導現場において、不安

や恐怖を感じる者や下肢の運動自体を行えない者へ腕振り運動を実践しているが、そういった水中での局所運動時における血圧や心拍数の変動を検討した報告は見当たらず、運動効果についても不明確である。

陸上でのレジスタンス運動は、筋力及び骨格筋の筋肉量の低下に有効な手段として推奨されており (Yarasheski et al. 1993; 久野ら 2003)、サルコペニアや骨粗鬆症、2型糖尿病といった生活習慣病の予防や改善 (葛谷 2015) も望める方法である。しかし、筋肥大には最大筋力の 65%以上という高負荷強度で運動を行う必要があり、高負荷強度での運動は著しい血圧の上昇を引き起こすこと (MacDougall et al. 1985) が報告されている。そんな中、四肢の基部に空圧式のカフやバンド等を巻き、圧迫した状態で運動を行うと、最大筋力の 20%程度の負荷強度においても筋肥大が起こると報告 (石井 2003) され、Takarada et al. (2002) によると、中年女性においてもその効果が実証されている。そのため、アスリートのみならず一般のトレーニングを行っている者や高齢者、リハビリテーションを必要とする者等、幅広い分野において活用されている。

以上のことから、水中で腕振り運動を実施している上肢基部の圧迫を組み合わせることで、より効果的な運動になるのではないかと推察される。しかし、運動を行った際の血圧や心拍数の変動、内分泌系の分泌動向を検討した報告はほとんどない。

3) 水中運動と血圧について

水中運動が血圧に与える影響として、若年者や中年者を対象とした報告が多くなされており、陸上と比べると数値が低い状態を推移すること、運動による増減は見られないこと (小野寺 1996) が明らかにされている。水中環境では、陸上と比べ水の物理的特性である水圧の影響を浸水した部分が受ける。この水圧により静脈還流量が増加し、1回拍出量の増大、心拍数の減少が起こるとされている (小野寺 1996)。また、静脈還流量の増加に起因し、中心静脈圧も増加すると報告されている (Risch et al. 1978)。こうした生体応答に続き、心房性ナトリウム利尿ペプチドの分泌が促進、レニンやアルドステロンの分泌が抑制される (Korz et al. 1969; Epstein et al. 1975; 菅井ら 1984; 阿岸

ら 1987)。心房性ナトリウム利尿ペプチドは、主に心房で合成され、利尿作用や血管の拡張作用を有していることから、血圧降下作用物質として知られている。また、腎臓の傍糸球体細胞から分泌されるレニンや副腎皮質から分泌されるアルドステロンは、レニン-アンジオテンシン-アルドステロン系と呼ばれ、血管の収縮や末梢血管抵抗の増加作用を持ち、血圧を上昇させるが、水中ではこれらの分泌が抑制される。こういった一連の作用により、水中運動を行うことで血圧上昇が抑制されると言われている。

4) 運動と成長ホルモンについて

筋肥大や筋力増強を目的に実施するトレーニングには、最大筋力の 65%以上の負荷強度が必要とされている (Kraemer et al. 2004)。この負荷強度にて引き起こされる筋肥大は、運動直後に分泌される成長ホルモンの関与が大きいと報告されている (McCall et al. 1999)。

成長ホルモンは運動によって分泌されることが分かっている。Takarada et al. (2000) によると、成長ホルモンの分泌は運動後 15 分を頂値とするとされている。また、Weltman et al. (2000) や宇都宮ら (2018) は、運動の負荷強度に比例して成長ホルモンの分泌は増加すると報告している。しかし、乳酸性作業閾値 (Lactate Threshold; LT) 以下の負荷強度では成長ホルモンは分泌されない (佐藤ら 2007) と言われている。そのため、成長ホルモンの分泌を増加させたい場合は、運動の負荷強度を乳酸性作業閾値以上まで高くする必要がある。

水中での成長ホルモンの分泌は、大柿ら (1995) によると、水中に浸水した安静時と陸上での安静時には分泌に差が認められなかったという報告がある。しかし、水中運動を実施した際の分泌に関する報告は少ない (石井 2003; 阿岸 1982)。

5) 水中での圧迫を伴う運動について

陸上にて圧迫した状態で運動を行うと、最大筋力の 20% 程度の負荷強度においても筋肥大が起こると報告（石井 2003）され、Takarada et al.（2002）によると、中年女性においてもその効果を実証されている。そのため、アスリートのみならず一般のトレーニングを行っている者や高齢者、リハビリテーションを必要とする者等、幅広い分野において活用されている。

上肢に対する一般的な圧迫量は 100 mmHg とされている（石井 2003；市橋ら 2004）。黄ら（2011）は、上肢での圧迫において 150 mmHg より 80 mmHg の方が成長ホルモンの分泌が多い傾向を示したとしている。桜庭（2010）によると、50 mmHg 以上の圧迫状態で運動を行うことにより、筋力増強のトレーニング効果が望めると報告している。以上のことから、トレーニング効果を得るためには、少なくとも 50 mmHg 以上の圧迫量が必要であると推察される。上肢に対する一般的な圧迫量とは数値に開きが見られる状態である。

人が水中へと浸水すると、水深 1m の位置で 0.1 気圧（76 mmHg）の圧がかかる。これは、水の物理的特性である水圧が作用するためで、浸水している部位以下の身体は常に圧迫を受けている状態となる。そのため、水深 0.65m 以下の水圧は、圧迫環境下に必要な圧迫量を有していると推察できる。

水圧が圧迫の代わりとなれば、トレーニング効果を得るための圧迫量と上肢に対する一般的な圧迫量との数値の開きを少なくでき、圧迫の直接的及び間接的な負担を現状よりも減らせるのではないかと考えられる。しかし、水中で圧迫を伴う運動を行った際の血圧や心拍数の変動、内分泌系の分泌動向等を検討した報告はほとんどない。

1-3. 本研究の目的

超高齢社会を迎えた我が国の高齢化率は年々増加しており、加齢に伴う血圧の上昇といった課題の解決が必要とされ、有酸素運動を実施することが有効とされている。トレーニングを高齢者や運動を行うこと自体が困難な者に行う際は、できる限り低負荷強度で関節等に負担がかからず安全であることが望まし

く、水中環境にて実施する水中運動の有効性が示されている。水中環境は、浮力や抵抗、水圧、水温等の水の物理的特性が人体へ関与することで、浸水部分の関節への負担軽減や個人に適した抵抗の付与、静脈還流量の増加、筋肉の緊張緩和といった効果が期待できることから、高齢者や運動を行うこと自体が困難な者に行う環境として適していると言える。しかしながら、水中ウォーキングを用いた実験データにおいては、高齢者の血圧を条件分けした検討は少なく、実施頻度や時間、期間に一定の見解が得られておらず、複数の運動プログラムを組み合わせた報告しか見られない。血圧条件により水中ウォーキングを単独で行った際の頻度や時間、期間を含めたトレーニング効果が示されることで、実施する際の指針となることが考えられる。また、水中で上肢の有酸素運動を行った報告は少なく、浸水部位を変えて検証している報告はほとんどない。さらに、水中での腕の圧迫を用いた運動に関する実験データは極めて少なく、血圧や心拍数の変動や内分泌系の分泌動向は不明確である。血圧や心拍数の変動、内分泌系の分泌動向が明らかになることで、心血管反応への影響やトレーニング効果の基礎的研究が進み、高齢者や血圧の数値が高めの者に直接指導を行うリハビリテーションを行う現場での活用へとつながる可能性も考えられる。

水中ウォーキング及び圧迫を伴う腕振り運動において、未だ解決されていない課題は以下の点である。

- ① 高齢者に対する水中ウォーキングの降圧効果を検証するためには、初回に測定した高齢者の血圧値から条件分けし、条件分けされた集団の経時的変化を見ることが重要である。しかしながら、条件分けされた集団の経時的変化を見たものは極めて少なく、十分な知見が得られていない。
- ② 水中運動という複数プログラムを実施した際の、降圧効果やトレーニング効果に関する報告は多く存在するが、水中ウォーキングを単独で行った場合の降圧効果や実施頻度や時間、期間に関しての検討は極めて少ない。

- ③ 浸水部分の変化に伴う腕振り運動時における、血圧や心拍数の変動、成長ホルモンの分泌に関する動向については不明である。
- ④ 水の中で圧迫を伴う腕振り運動を行った際の、血圧や心拍数の変動、成長ホルモンの分泌に関する動向の報告は少なく、実験的データが十分ではない。

そこで本研究は、水中ウォーキングを異なる血圧条件に分けた高齢者に対して行い、血圧の変動について検証し高齢者や血圧の数値が高めの者に対するトレーニングとして有効であるかを明らかにするとともに、異なる浸水部位における腕振り運動時の血圧や心拍数の変動、成長ホルモン、インスリン様成長因子 I の分泌動向を圧迫の有無より検証していく。

第 2 章

高齢女性の水中ウォーキングが血圧に与える影響

2-1. はじめに

水中運動は、水の中で行う筋力トレーニングやアクアビクス、スイミング、ウォーキング等が含まれる。水中運動を行うと浮力、抵抗、水圧、水温といった水の物理的特性が働き、関節の負担軽減(de Brito et al. 2012; 覚張 2010)や筋力向上(須藤ら 2003)、心拍数の減少(小野寺 1996)、緊張の緩和(Oda et al. 1999)といった効果があることがこれまでの報告(北川 2005)から明らかになっている。

その中で、水中運動が血圧に与える効果に関しては、若年者及び中年者を対象とした報告が多く、陸上と比べ入水すると低値を示し、運動による増減は見られない(小野寺 1996)ことが明らかにされている。しかし、高齢者を対象とした比較調査においては、血圧の変化は見られなかったもの(岩井ら 2008)や値が上昇した報告(前野ら 1999)、低下したもの(今野ら 2001)と様々な報告がなされている。また、高齢者に対し継続的に水中運動を行った際の血圧における効果に関しては、青葉ら(2004)の、男女50名(60.4±9.8)に週2回、水中ウォーキング、水中ストレッチ、スイミングを組み合わせた約90分間の水中運動を、8週間、運動強度は自覚的運動強度(Ratings of Perceived Exertion: RPE)で11から13以下にて行った場合、有意に低値を示した報告や、藤原ら(2019)の、女性12名(71.5±8.2)、週3から4回、水中ウォーキング、サイドウォーキング、バックウォーキング、ストレートレッグニーアップ他、多数の運動プログラムを組み合わせた約60分間の水中運動を6週間、運動強度は無酸素性作業閾値(Anaerobic Threshold: AT)より13%以下の心拍数となるように行った際は変化が見られなかった等、実施頻度や時間、期間を含め、一定の見解が得られていない。そのため、これまでに得られた結果からは高齢者への血圧に与える効果に結論が出ていない。

運動における降圧効果は、週に数回行い、少なくとも20~30分実施することとされている(Whelton et al. 2002; Haskell et al. 2007)。しかしながら、

厚生労働省（2018）によると、運動習慣（週2回以上、1回30分以上運動を実施し、1年以上継続している者）のない65歳以上の男性は約54%、女性約61%と高齢者の半数以上は、週に複数回の運動を継続して行うことは難しい状態である。渡辺ら（2001）は、60歳以上の男女40名に週3回の頻度で12週間、70分の水中運動を行った際の心理的、身体的な効果を見る中で、インタビューを行っているが参加者2名から「週3回の運動頻度は身体的・精神的に疲労が蓄積される」との回答があったとされている。また、先行研究（山田ら 2002； Takeshima et al. 2002； 川崎 2007； Pinto et al. 2013； Kargarfard et al. 2013； 藤原ら 2019）では、水中ウォーキングと筋力トレーニングというような、複数の運動を組み合わせ実施した際の効果を報告するものがほとんどであるため、個々の運動がどういった効果を示すのかを明らかにすることも重要である。

以上のことから、動作が簡単で誰にでも理解が得られやすく、水に顔を浸けることなく実施でき、初心者や腰痛症、関節症者等にも取り入れられ広く普及しており、高齢者にも広く認知されている水中ウォーキング（スポーツ庁 2009）を、週1回の頻度で実施している介護予防教室に着目した。これにより、これまで議論され一定の見解が得られていなかった中で、高齢者が週1回の頻度で水中ウォーキングを行った際の血圧動向を探れ、運動効果を立証できるのではないかと予測される。

本研究は、高齢者が週1回行う水中ウォーキングの血圧変動を検討するために、対象者を高血圧の診断基準に該当する高血圧群と該当しない対照群とに分類し、短期継続実施また即時的な面からそれぞれ比較、分析することを目的とした。

2-2. 方 法

A. 対象者

治療中の疾患がなく、医師から運動等の制限を受けていない A 市介護予防教室の参加者の中で、同意を得た女性 106 名 (71.7 ± 5.1 歳)のうち、全ての日程に参加した 48 名 (70.8 ± 4.7 歳)とした。対象者の身体的特徴を表 1 に示す。

対象者には、事前に本研究の目的、方法、測定内容、安全性等十分にオリエンテーションを行い、書面にて同意を得た。なお、本研究は、東京医療学院大学研究倫理委員会の承認（承認番号 20-11H）を得て行った。

B. 方 法

水中ウォーキングの内容は準備体操 10 分間、水中ウォーキング(前歩き、後ろ歩き、横歩き)15 分間、休憩を 10 分間挟み、再び 10 分間歩くプログラムである(図 4)。

準備体操は全て水中にて、水慣れ(1 分間安静立位保持)、深呼吸(3 回)、足趾の屈伸(左右 10 回)、足趾の回旋(左右 10 回)、足首の回旋(左右 10 回)、足踏み(30 秒間)の順に壁を背にして立位にて行った。体操の途中でバランスが保てない者は、壁に寄りかかりながら実施した。足趾の屈伸、回旋、足首の回旋は、対象者が自分の対象脚を胡坐様にする姿勢、膝を腹部に寄せる姿勢または顔が水面につかない程度に体幹を屈曲させた姿勢のうち無理のない姿勢をとり、対象者の手で屈伸及び回旋を行った。足踏みはその場で膝を最大で 90° (個人で無理のない範囲) 上げて実施した。

次に水中ウォーキングにおけるそれぞれの方法は、休憩を挟んだ前半、後半部分ともに、前歩き(図 5)は陸上と同様の歩き方とし、体幹が前傾せず、まっすぐな姿勢を保つように指導した。後ろ歩き(図 6)は、体幹が前傾、後傾しないようにまっすぐな姿勢のまま、股関節の伸展が起こるように足を後ろに下げさせた(個人で無理のない範囲)。横歩き(図 7)は、つま先を正面に向けたまま、股関節外転動作を肩幅まで広げるように行わせた。いずれの歩き方も腕振りに関しては、動かさずに水面に手掌面を置くようにするか、自然に動く範囲までとし、抵抗を受けるような動作はレジスタンス運動になる恐れから制限した。休憩はプールから上がり、水分の摂取、トイレへ行く時間とし、この時間

での運動は控えるように伝えた。

運動強度は、推奨されるガイドライン (Haskell et al. 2007) を基準に、自覚的運動強度 (RPE) に換算して 11 (楽に感じる) から 13 (ややきつい) となるように指導した。これを週 1 回の頻度で、5 週間、計 6 回を A 市市民プール (水深 1.1m、水温 31.0°C) にて実施した。

初回に測定した血圧値から、日本高血圧学会の高血圧診断基準 (日本高血圧学会高血圧治療ガイドライン作成委員会 (編) 2019) に沿って収縮期血圧 (Systolic Blood Pressure: SBP) と拡張期血圧 (Diastolic Blood Pressure: DBP) のどちらか一方、あるいは両方が 140 mmHg / 90 mmHg 以上の高血圧群 27 名 (71.4±5.0 歳) と、それに該当しなかった対照群 21 名 (69.9±4.4 歳) に分けた。

C. 測定項目

収縮期血圧、拡張期血圧、心拍数 (Heart Rate: HR) を自動血圧計 (HEM-8713、オムロンヘルスケア株式会社) にて運動前後に測定した。測定は、A 市介護予防教室の初回とそこから 1 週間、3 週間、5 週間後の計 4 回とした (図 8)。また、末梢血管の動脈硬化の指標として用いられている平均血圧 (Mean Blood Pressure: MBP) を、測定した血圧値から算出した。血圧及び心拍数の測定方法は、運動開始前に対象者がそれぞれ椅子に座り 10 分間の安静をとった後、上腕部にて測定した。運動後は、退水後に体表面の水分を拭き取り、椅子に座り測定した。測定は介護予防教室に従事する同一の看護師が行った。

D. 統計処理

測定値はすべて平均及び標準偏差で示す。水中ウォーキングの初回からの経時的な変化においては、反復測定分散分析を行い、その後の検定には Bonferroni 法を用いて分析した。また、即時効果を検討するため、両群ともに初回と最終回 (5 週間後) の運動前後にそれぞれ対応のある *t* 検定を行った。統計処理には SPSS Statics 23 を使用し有意水準は 5% とした。

表 1. 対象者の身体的特徴

	高血圧群 (n=27)	対照群 (n=21)
年齢	71.4±5.0	69.9±4.4
身長	153.8±8.8	155.0±5.9
体重	61.8±10.3	57.5±7.8

年齢、身長、体重は平均値±標準偏差

- ・初回の測定値から、日本高血圧学会の高血圧診断基準に沿って収縮期血圧と拡張期血圧のどちらか一方、あるいは両方が 140 mmHg / 90 mmHg 以上の高血圧群と、それに該当しなかった対照群に分けた。



図 4. 水中ウォーキングプログラムの流れ



図 5. 水中ウォーキング（前歩き）



図 6. 水中ウォーキング（後ろ歩き）

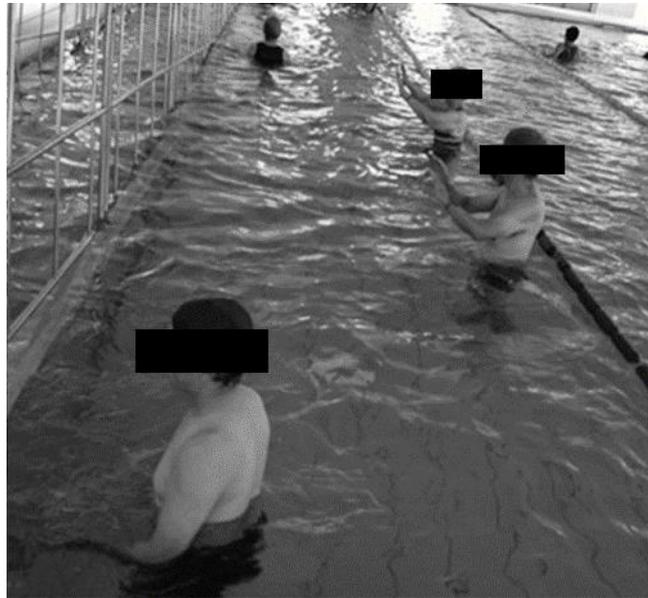


図 7. 水中ウォーキング（横歩き）

教室回数	1	2	3	4	5	6
血圧測定日	○	○		○		○

図 8. 介護予防教室の回数と血圧測定日

- ・ 介護予防教室は週 1 回の頻度で計 6 回
- ・ 血圧測定を実施したのは、初回とそこから 1 週間、3 週間、5 週間後の計 4 回

2-3. 結 果

表 2 に高血圧群及び対照群における各項目の経時的変化を示す。分析の結果、高血圧群の収縮期血圧では初回の測定値と比べて 1 週間後、3 週間後、5 週間後にいずれの数値も有意に低下した ($p < 0.05$)。また、拡張期血圧は初回の測定値と比べ 3 週間後、5 週間後に有意な低下を示した ($p < 0.05$)。平均血圧は拡張期血圧同様に、初回に比べ 3 週間、5 週間後に数値が有意に低下した ($p < 0.05$)。心拍数は初回の測定値と比べ、いずれの週も有意差は認められなかった。対照群では収縮期血圧、拡張期血圧、平均血圧、心拍数いずれも有意な変化は見られなかった。

表 3 に高血圧群の対象者ごとにみた血圧の経時的変化を示す。水中ウォーキング教室 2 回目の測定では、日本高血圧学会の高血圧診断基準に沿って正常血圧に分類される者が 2 名 (1、5)、正常高値血圧者が 1 名 (7)、高値血圧者が 4 名 (3、4、10、25) であった。水中ウォーキング教室 4 回目の測定では、正常血圧に分類される者が 1 名 (19)、正常高値血圧者が 2 名 (9、18)、高値血圧者が 10 名 (1、2、3、5、6、10、16、17、20、21) であった。水中ウォーキング教室最終回 (6 回目) の測定では、正常血圧に分類される者が 2 名 (1、18)、正常高値血圧者が 3 名 (2、3、22)、高値血圧者が 10 名 (4、5、6、7、8、9、15、19、20、21) であった。測定した血圧の数値が、高血圧に分類される者の推移は、初回 27 名、2 回目 20 名、4 回目 14 名、6 回目 12 名と減っていった。

表 4、5 に初回及び最終回 (5 週間後) での運動前後における各測定値の変化を示す。初回の運動前後の即時効果の比較では、高血圧群では、収縮期血圧、拡張期血圧、平均血圧、心拍数いずれも有意差を認めなかった。対照群では収縮期血圧、拡張期血圧においてそれぞれ運動後に高値を示し ($p < 0.01$)、心拍数では有意な値の低下が見られた ($p < 0.01$)。一方、最終回の比較では、高血圧群、対照群いずれも収縮期血圧、拡張期血圧において運動後に有意な値の上昇が見られ ($p < 0.01$)、心拍数では有意な値の低下が見られた ($p < 0.05$)。

表 2. 高血圧群及び対照群における各項目の経時的変化

項目	高血圧群 (n=27)			
	初回	1週後	3週後	5週後
SBP (mmHg)	147.9±7.7	139.4±13.3 *	140.1±13.1 *	137.3±16.7 *
DBP (mmHg)	88.4±8.6	87.4±11.5	84.1±9.1 *	83.1±8.8 *
MBP (mmHg)	108.3±6.8	104.7±9.7	102.7±8.8 *	101.2±10.0 *
HR (拍/分)	80.2±11.2	84.4±11.5	82.6±10.5	82.9±14.1

項目	対照群 (n=21)			
	初回	1週後	3週後	5週後
SBP (mmHg)	121.3±11.9	123.2±19.7	125.6±17.8	125.7±14.3
DBP (mmHg)	77.5±6.2	79.0±10.7	76.6±9.3	77.5±8.7
MBP (mmHg)	92.2±7.2	93.7±12.9	92.9±11.2	93.5±9.3
HR (拍/分)	81.3±13.2	80.4±10.4	81.2±10.7	82.0±11.7

SBP、DBP、MBP、HR は平均値±標準偏差

* p<0.05 n.s.=not significant

SBP は初回を baseline とし、1 週間後、3 週間後、5 週間後に有意差が見られた。

DBP は初回を baseline とし、3 週間後、5 週間後に有意差が見られた。

MBP は初回を baseline とし、3 週間後、5 週間後に有意差が見られた。

SBP : Systolic Blood Pressure 収縮期血圧

DBP : Diastolic Blood Pressure 拡張期血圧

MBP : Mean Blood Pressure 平均血圧

HR : Heart Rate 心拍数

- ・ 初回の測定値から、日本高血圧学会の高血圧診断基準に沿って収縮期血圧と拡張期血圧のどちらか一方、あるいは両方が 140 mmHg / 90 mmHg 以上の高血圧群と、それに該当しなかった対照群に分けた。

表 3. 高血圧群の対象者ごとにみた血圧の経時的変化

対象者	初回	2回目	4回目	最終回
1	142 / 88	114 / 76	125 / 80	112 / 79
2	150 / 81	142 / 81	139 / 60	126 / 69
3	156 / 87	134 / 82	136 / 77	128 / 77
4	155 / 83	138 / 79	150 / 80	134 / 86
5	143 / 66	112 / 72	131 / 65	132 / 61
6	141 / 88	148 / 86	135 / 81	130 / 80
7	146 / 81	122 / 73	145 / 84	134 / 78
8	144 / 86	159 / 91	144 / 86	139 / 86
9	142 / 81	130 / 94	128 / 78	128 / 87
10	147 / 80	138 / 76	136 / 88	145 / 80
11	151 / 85	142 / 82	147 / 83	159 / 88
12	150 / 79	151 / 81	168 / 91	167 / 87
13	143 / 84	149 / 81	143 / 86	155 / 88
14	152 / 78	158 / 70	168 / 80	166 / 90
15	135 / 94	146 / 108	141 / 98	130 / 89
16	134 / 96	128 / 92	131 / 86	128 / 91
17	138 / 93	149 / 94	119 / 82	142 / 92
18	148 / 90	143 / 70	127 / 74	104 / 61
19	154 / 94	135 / 110	117 / 78	125 / 89
20	140 / 95	129 / 94	127 / 81	120 / 80
21	159 / 99	133 / 101	131 / 87	118 / 84
22	152 / 96	139 / 91	150 / 92	124 / 79
23	147 / 94	137 / 94	149 / 92	142 / 86
24	165 / 98	164 / 99	158 / 93	162 / 86
25	150 / 94	121 / 85	152 / 97	153 / 81
26	146 / 90	154 / 93	138 / 93	148 / 90
27	162 / 108	149 / 106	147 / 98	157 / 100

(数値は収縮期血圧/拡張期血圧 mmHg)

- ・ 初回の測定値から、日本高血圧学会の高血圧診断基準に沿って収縮期血圧と拡張期血圧のどちらか一方、あるいは両方が 140 mmHg / 90 mmHg 以上の高血圧群における測定値の経時的変化

表 4. 初回での運動前後における各測定値の変化

項目	高血圧群 (n=27)			対照群 (n=21)		
	運動前	運動後	p値	運動前	運動後	p値
SBP (mmHg)	147.9±7.7	153.6±14.1	n. s.	121.3±11.9	139.5±17.6	**
DBP (mmHg)	88.4±8.6	91.3±9.5	n. s.	77.5±6.2	85.2±11.0	**
HR (拍/分)	80.2±11.2	79.8±12.9	n. s.	81.3±13.2	71.5±12.6	**

SBP、DBP、HR は平均値±標準偏差

** p<0.01 n. s. = not significant

SBP : Systolic Blood Pressure 収縮期血圧

DBP : Diastolic Blood Pressure 拡張期血圧

HR : Heart Rate 心拍数

表 5. 最終回（5 週後）での運動前後における各測定値の変化

項目	高血圧群 (n=27)			対照群 (n=21)		
	運動前	運動後	p値	運動前	運動後	p値
SBP (mmHg)	137.3±16.7	145.6±17.1	**	125.7±14.3	143.0±16.9	**
DBP (mmHg)	83.1±8.8	89.8±9.6	**	77.5±8.7	88.6±12.4	**
HR (拍/分)	82.9±14.1	79.3±10.0	*	82.0±11.7	77.5±11.6	*

SBP、DBP、HR は平均値±標準偏差

** p<0.01 * p<0.05 n.s.=not significant

SBP : Systolic Blood Pressure 収縮期血圧

DBP : Diastolic Blood Pressure 拡張期血圧

HR : Heart Rate 心拍数

2-4. 考 察

本研究は、対象者 48 名の高齢者に対して水中ウォーキングを行った際の、血圧の変動について検証した。初回の血圧の測定値から、日本高血圧学会の高血圧診断基準（日本高血圧学会高血圧治療ガイドライン作成委員会（編） 2019）に沿って高血圧群 27 名と対照群 21 名に分けた。

結果として、経時的変化においては、高血圧群の収縮期血圧の数値が 1 週間後より有意に低下した。また、拡張期血圧は 3 週間後より有意な低下を示した。対照群の収縮期血圧、拡張期血圧は有意な差は認められなかった。高齢者に対して水中ウォーキングのみを継続的に実施した際の血圧の変動に関する研究（岩井ら 2004）はほとんど見られないため、複合トレーニングを組み合わせた水中運動における血圧の変動について見てみると、青葉ら（2004）の男女 50 名（ 60.4 ± 9.8 ）に週 2 回、水中ウォーキング、水中ストレッチ、スイミングを組み合わせた約 90 分間の水中運動を、8 週間、運動強度は自覚的運動強度で 11 から 13 以下にて行った場合、有意に低値を示した報告や、藤原ら（2019）の女性 12 名（ 71.5 ± 8.2 ）、週 3~4 回、水中ウォーキング、サイドウォーキング、バックウォーキング、ストレートレッグニーアップ他、多数の運動プログラムを組み合わせた約 60 分間の水中運動を 6 週間、運動強度は無酸素性作業閾値より 13% 以下の心拍数となるように行った際は変化が見られなかった等、実施頻度や時間、期間を含め、一定の見解が得られていない状況である。

一方、陸上において有酸素運動を行った際の研究では、Whelton et al. (2002) は有酸素運動における降圧効果は、週に数回行い、少なくとも 20~30 分実施することで、収縮期血圧は約 4 mmHg、拡張期血圧は約 3 mmHg 低下が見られるとしている。そしてこれらの降圧効果は、有酸素運動を実施する者の血圧値が高血圧であるか否かは関係なく現れると述べており、アメリカスポーツ医学会（The American College of Sports Medicine: ACSM）とアメリカ心臓協会（American Heart Association: AHA）も同様に実施することを推奨している（Haskell et al. 2007）。

今回の有意差が見られた高血圧群の収縮期血圧、拡張期血圧における経時的な変化は、収縮期血圧が 1 週間後、拡張期血圧が 3 週間後より数値がそれぞれ有意に低下しており、運動を行う頻度も週 1 回と先行研究で報告されている頻

度より少ない状況にもかかわらず、収縮期血圧が約 12 mmHg、拡張期血圧が約 6 mmHg 低下した。Takata et al. (2003) によると、血圧の平均値が約 149 mmHg / 91 mmHg と高血圧の診断基準に該当する、軽度生活習慣病の男女 207 名を対象に最大酸素摂取量の 50% の運動強度で、8 週間のウォーキング、ジョギング、エルゴメーター、スイミング等の有酸素運動を行った場合、週に 30 分以上の運動を行うことで収縮期血圧が低下することが示されている。また、週に 61 分以上の運動であれば、頻度が週に 1 回であっても 5 回以上であっても血圧の改善効果は変わらないと報告している。本研究における週 1 回、5 週間、自覚的運動強度が 11 から 13 の運動強度で 60 分行った水中ウォーキングは、この報告より実施期間が短いものの、低頻度で得られた降圧効果と一致した結果である。以上のことより、日本高血圧学会に示された高血圧の診断基準に該当する者が水中ウォーキングを行うことは、先行研究で行われた有酸素運動よりも早期に、また、少ない頻度において降圧効果が現れることが示唆された。

表 3 に示した高血圧群の対象者ごとにみた血圧の経時的変化より、測定した血圧の数値が、高血圧に分類される者の推移は、初回 27 名、2 回目 20 名、4 回目 14 名、6 回目 12 名と減っていった。個々の血圧の変化を見ていくと、初回で収縮期血圧のみが高く高血圧の診断基準に該当する場合（14 名）、最終的に 9 名がその基準から外れた。収縮期及び拡張期血圧の両方が高く高血圧の診断基準に該当する場合（10 名）、最終的に 5 名が基準から外れた。拡張期血圧のみが高く高血圧の診断基準に該当する場合（3 名）、1 名が基準から外れたものの経時的な変化はその都度違い、1 名の基準値から外れた数値もわずか 1 mmHg であることから、拡張期血圧のみが高く高血圧の診断基準に該当する者が水中ウォーキングを週に 1 回行っても降圧効果が得られにくい可能性が示された。

一方、対照群において有意な値の変化は見られなかった。岩井ら (2004) は、65 歳以上の男女 19 名 (70.0 ± 4.9 歳) に、週 1 回、1 期を 12 回として 2 期 (24 週間) の介護予防教室において水中ウォーキングを行った場合、血圧には変化が見られなかったと報告している。この研究では時間や運動強度の記載は見られないが、介護予防教室であり専門のトレーナーが指導していることから、介護予防マニュアル (厚生労働省 2012) に沿って運動時間はおよそ 60 から 70 分、運動強度は自覚的運動強度で 11 から 13 程度であると推察できる。また、

教室開始時の血圧平均値は約 139 mmHg / 81 mmHg と高血圧の診断基準に該当していないことから、対照群は、同様の結果を示したことが示唆された。また、陸上の有酸素運動を行った報告 (Whelton et al. 2002) と異なる点は、運動の頻度が少ないことであり、降圧効果は血圧値が高血圧であるか否かは関係なく現れるとされていることから、高血圧の診断基準に該当しない者に対して、降圧効果を目的とした水中ウォーキングを行う場合は、少なくとも週に 2 回以上の頻度が必要であると推察される。

平均血圧は高血圧群において拡張期血圧の変化同様、初回に比べ 3 週間後、5 週間後に数値が有意に低下した。対照群においては有意な差は認められなかった。平均血圧は、末梢血管における動脈硬化の指標として用いられており、脳卒中や心筋梗塞の発症リスクとの関連が強い (Miura et al. 2009) と報告されている。降圧機序には、末梢血管抵抗の低下や血管拡張作用等が含まれ、これらが是正されること (北川 2005) としている。そのため、高血圧の診断基準に該当する者が行う水中ウォーキングは、継続して行うことにより末梢血管における動脈硬化の改善や脳卒中、心筋梗塞の発症リスクを低減することにつながる可能性が示された。

心拍数は高血圧群、対照群ともに経時的な変化は見られなかったことから、水中ウォーキングによる影響は少なかったのではないかと推察される。今回、水中ウォーキングを行う際に設定した運動強度 (自覚的運動強度で 11 から 13) から心拍数が有意に変化を示す要因はなかったと考えられる。

即時効果については、運動前後の比較において、対照群では初回及び最終回 (5 週間後) いずれも、運動直後に収縮期血圧、拡張期血圧が有意な数値の上昇を示し、心拍数は有意な低下が認められた。また、高血圧群の最終回 (5 週間後) に、収縮期血圧と拡張期血圧が有意に上昇し、心拍数は有意に数値が低下するという対照群と同様の結果を示した。小野寺ら (1996) は、最大酸素摂取量の 50% の運動強度で 14 分間の水中運動 (水深は腰部) を高齢者に対して行い、運動前後の比較において、個人差が大きい収縮期血圧、拡張期血圧は上昇傾向を示し、心拍数は低値 (いずれも有意差なし) であったと報告している。また、前野ら (1999) は、高齢女性 14 名 (62.9 ± 3.1) に時速 2.5 km で 10 分間、約 60% 弱の最大酸素摂取量の運動強度の水中歩行を剣状突起部及び臍部

で行い、剣状突起部のみ運動後に有意な収縮期血圧の上昇が見られたとしている。

これらの報告から、収縮期血圧は水深の違いが影響している可能性が考えられる。本研究は水深 1.1m、対象者の平均身長が約 153cm であったため、水位は個人差があるものの平均すると剣状突起部以下、臍部以上であった。先行研究で値の上昇が見られなかった臍部及び腰部より上の水位での運動であったことから、前野ら（1999）が示した収縮期血圧、拡張期血圧の上昇傾向、心拍数の低値傾向は、運動時間が違うものの同様の変動が見られたと考えられる。一方、高血圧群においては初回の収縮期血圧、拡張期血圧、心拍数に有意な変化は認められなかった。初回の収縮期血圧、拡張期血圧の平均値はそれぞれ 149 mmHg、88 mmHg で、最終回（5 週間後）の平均値が 138 mmHg、82 mmHg であった。経時的変化の結果において示したように、最終回（5 週間後）の値は初回に比べ、収縮期血圧、拡張期血圧、平均血圧がそれぞれ有意に低下しており、特に収縮期血圧の平均値が 140 mmHg 未満となり、平均値ではあるものの日本高血圧学会における高血圧の診断基準から外れ、対照群の基準と同じ範囲内となった。そのことが、対照群と同様の運動後に収縮期血圧、拡張期血圧が有意な数値の上昇を示し、心拍数は有意な低下がするという反応を引き起こすことにつながったのではないかと推察される。

本研究において、高血圧の診断基準に該当しなかった対照群において、運動直後に有意な収縮期血圧、拡張期血圧の上昇が認められ、高血圧群においても、運動直後に平均 5 mmHg 上昇（有意差はない）したことから、水中ウォーキングを実施すると即時的に血圧を上昇させる可能性が示唆されたため、体調等に留意しながら実施することが必要であると考えられる。

2-5. 要 約

本研究では、水中ウォーキングが高齢者や血圧の数値が高めの者に対するトレーニングとして有効であるかを検討するために、初回の血圧の測定値から、高血圧群と対照群に分けた高齢女性に対し、週 1 回の頻度で 5 週間、計 6 回の水中ウォーキングを行った際の血圧の変動について検証した。その結果、

- ・高血圧の診断基準に該当する高齢女性に対する水中ウォーキングでは、1 週

間後より収縮期血圧が、3週間後より拡張期血圧と平均血圧が低下することが認められた。

- 高血圧の診断基準に該当しない高齢者に対する水中ウォーキングは、実施後に血圧の上昇が認められた。
- 高血圧の診断基準に該当する高齢者に対して水中ウォーキングを実施する意義は、低頻度で早期に血圧の数値低下が期待できることから大きいことが示唆された。

第 3 章

水中での腕振り運動が 血圧及び成長ホルモンに与える影響

3-1. はじめに

第2章では、水中ウォーキングを行った際の血圧と心拍数の変動について検証を行った。水中では浮力が働くことから、水中の方が陸上よりも歩きやすいと言われているが、高齢者や運動を行うこと自体が困難な者を含む水中運動初心者の中には、浮力が働くことで足が床に着きにくく、歩きにくいと言う者やそのことに対して不安や恐怖を感じる者もいる。また、下肢の運動を行えない者も存在している。そのような場合は、上肢の運動を行うことが必要となるが、水中での上肢の運動は、運動の種類を始め、効果や安全性に関する報告が少ない状態である。

著者は指導の現場で、ウォーキングの腕振り動作（肘関節を伸展したまま、肩関節の屈伸を行う動作）を実践している。動作は簡単で説明をする必要がない。うえ、両足が常に床に着いているため不安や恐怖を感じることも少なく、下肢の運動を行えない者であっても実施できる運動として使用している。しかし、腕振り運動を行った際の血圧や心拍数の変動を検討した報告は見当たらず、運動効果についても不明確である。

一方、筋肥大や筋力増強を目的に実施する筋力トレーニングには、最大筋力の65%以上の負荷強度が必要とされ（Kraemer et al. 2004）、運動直後に分泌される成長ホルモンの関与が大きいと言われている（McCall et al. 1999）。この高い負荷強度は、サルコペニア、フレイルと呼ばれている虚弱高齢者や各種疾患を有しリハビリテーションを受けている者にとって、筋肥大や筋力増強を目的とした筋力トレーニングの実施を困難とする場合がある。しかし、鍛えたい四肢の基部に空圧式のカフ等を巻き、圧迫した状態で運動を行うと、最大筋力の20%程度の負荷強度においても筋肥大が起こると報告（石井 2003）され、アスリートのみならず一般のトレーニングを行っている者や高齢者、リハビリテーションを必要とする者等、幅広い分野において活用されている。これらは、実施する環境が陸上に限られており、水の中で行った際の成長ホルモンの分泌に関する動向の報告（石井 2003；阿岸 1982）は少なく、トレーニング効果に関する報告はほとんど見られない。人が水中へと浸水すると、水深 1m の位置で

0.1 気圧 (76 mmHg) の圧がかかる。これは、水の物理的特性である水圧が作用するため、浸水している部位以下の身体は常に圧迫を受けている状態となる。桜庭 (2010) によると、50 mmHg 以上の圧迫をした状態であれば、血流が制限され、トレーニングの効果が望めると報告されていることから、水深 0.65m 以下の水圧は、圧迫した状態と同じ環境となるのではないかと予測される。

本研究は、異なる浸水部位における腕振り運動時の血圧や心拍数の変動、成長ホルモン、インスリン様成長因子 I の分泌動向を圧迫の有無より検証していく。

3-2. 方 法

A. 対象者

対象は心血管系の既往、急性外傷のない健常男子大学生 12 名 (21.3 ± 0.6 歳) とした。身長は 170.8 ± 3.9 、体重は 63.9 ± 7.0 であった。身体的特徴を表 6 に示す。

対象者には事前に本研究の目的、方法、測定内容、安全性等に関して十分にオリエンテーションを行い、書面にて同意を得た。なお、本研究は東京医療学院大学の研究倫理委員会の承認を得て行った。

B. 倫理的配慮

本研究では、対象部位を圧迫した状態で運動を行うこと、複数回の採血を伴うことから、東京医療学院大学の研究倫理委員会に承認を得た研究計画書の中から、特に必要と思われる部分を記す。① 遵守すべき諸規定は、ヘルシンキ宣言、人を対象とする医学系研究に関する倫理指針を遵守して行った。② 対象者へ理解、同意を得る方法として、研究の内容を記した説明書兼参加の同意を得るための同意書を配布後、文面での確認と口頭にて説明を行った後、賛同者には書類に自署してもらった。特に、上腕基部に空圧式カフを巻き、圧迫したまま運動を行うため、血管壁の損傷による皮下出血の恐れがあることを対象者に事前に伝え、同意を得た上で研究を進めた。③ 研究への参加の有無ならびに中止は、対象者の自由意志とし、研究参加の有無により不利益を被らないよう配慮を行った。特に学生を研究対象としているため、研究参加の有無と科目成績

は一切無関係であることを研究説明書に明記した上で、口頭でも伝え同意を得た。また、研究の途中であっても本人の意思で同意を撤回可能とし、それに伴う不利益を被らないよう配慮を行った。④ 研究中起り得る危険性と対策は、採血を伴う研究であるため、採血の際には研究協力者である医師の立会いの下で、同じく研究協力者の看護師が行い危険性を最小限とした。また、皮下出血等が起こらないよう、運動中は常に研究協力者である医師と看護師、理学療法士が対象者の状態を確認し、圧迫という侵襲に対する安全性の確保に努めた。

C. 方 法

実験に先立ち、12名の対象者を上肢のみ浸水させて腕振り運動行う部分浸水6名と、剣状突起まで浸水して腕振り運動を行う全身浸水6名に分けた。

両浸水ともに対象者の右上腕基部（利き手）に空圧式カフ（FC-100VCC、株式会社フォーカルコーポレーション）を巻き、部分浸水は温浴療法用装置（EJECTORBATH HK-152、オージー技研株式会社）に右上肢を浸水させた状態で運動を行った（図9）。温浴療法用装置内の水温は、33.0℃に設定した。温浴療法用装置の深さは59cmであった。全身浸水は社会福祉法人多摩市社会福祉協議会のプール（水深0.95m、水温33.0℃）に剣状突起まで浸水した状態で運動を行った（図10）。

運動内容は、先行研究（河野ら2016；2018）に準じて、肩関節の屈伸運動（可動範囲は肩関節屈曲、伸展ともに最大で30°）を、手の平を運動方向に直交させて水の抵抗を受けるようにして行った。姿勢は部分浸水では、椅子に座って（股関節、膝関節90°屈曲位）、上肢のみを浸水させた。そのため、全身浸水においても水中で椅子座位姿勢をとらせて、剣状突起部まで浸水させた。

運動時間は、先行研究（中島2007）より連続の圧迫時間は10分を越えないことが推奨されていることから、10分間（1分間運動、30秒間休息を1セットとして計7セット）とした。運動強度は水中での設定方法を定めるのが困難であったため、予め水中で運動時間である1分間、楽に動かせる回数を自覚的運動強度（RPE）に換算して11（楽に感じる）から13（ややきつい）となるように指導して用いた。運動中の圧迫量は50mmHg及び圧迫なしの2条件に設定した。空圧式カフにて圧迫を行ったことから、圧迫量の管理として対象者1名

に対して測定者 1 名を付けた。運動終了と同時に圧力を開放した。また、運動を行う際は両浸水ともにカフの位置が同程度の位置となるよう調整し、受ける水圧に差が出ないように注意した。部分浸水では、温浴療法用装置の深さ 59 cm に対し、成人男性の平均前腕長が 45.3 cm（経済産業省）、カフの幅は 12.5 cm であるため対象者全員のカフは浸水状態であった。全身浸水は、運動時に剣状突起部（前腕長プラス 10 cm 程度）まで浸水して運動を行うように運動中も指導した。運動中は研究協力者である医師と看護師、理学療法士が常に対象者の状態を確認し、圧迫するという侵襲に対する安全性の確保に努めた。

各運動の間隔は 2 週間空け、同一対象者が同一時間に開始した。また、両条件での実験前日から当日にかけては激しい運動を避け、食事内容もできるだけ同一内容とし、就寝及び起床時間も合わせるように依頼した。

D. 測定項目

測定項目として、収縮期血圧（SBP）、拡張期血圧（DBP）、心拍数（HR）を運動前後に自動血圧計（HEM-6301、オムロンヘルスケア株式会社）にて測定した。

血圧及び心拍数の測定方法は、運動開始前に椅子に座り 10 分間の安静をとった後、上腕部にて測定した。運動後は、部分浸水は浸水した上肢の水分を、全身浸水は退水後に体表面の水分を拭き取り、それぞれ椅子に座り測定した。測定は研究協力者の看護師が行った。

内分泌変化を観察するための採血項目として、運動の負荷強度に比例して分泌すると言われている成長ホルモンを測定した。また、成長ホルモンは骨格筋に対する直接作用だけでなく肝臓に作用し、筋の合成促進に寄与するインスリン様成長因子 I 産生に関係していると考えられているため、インスリン様成長因子 I も測定した。成長ホルモン、インスリン様成長因子 I は運動前と 15 分後にそれぞれ 10 ml の採血を行った。

採血は運動開始前、運動後ともに血圧及び心拍数を測定した後に、研究協力者の医師が立ち合いの下で 2 名の看護師が行った。成長ホルモン、インスリン様成長因子 I の日内変動の影響を少なくするため、2 名ずつ採血を行い、次の 2 名は、測定にかかった時間だけ開始時間をずらしながら進めた。採血後はた

だちに冷蔵保存し、株式会社エスアールエルへ検査を委託した。測定手順を図 11 に示す。

E. 統計処理

浸水に伴う腕振り運動における各測定項目の影響を検討するため、運動前後の比較において、収縮期血圧、拡張期血圧、心拍数は対応のある t 検定を行った。内分泌の指標はいずれの分布も正規性を認めなかったため、圧迫量ごとに Wilcoxon の符号付順位検定を用いた。また、両浸水の運動効果の比較には圧迫量の条件ごとに、収縮期血圧、拡張期血圧、心拍数については Student の t 検定を、成長ホルモン、インスリン様成長因子 I は Mann-Whitney の U 検定を用いて分析した。統計処理には SPSS Statics 23 を使用し有意水準は 5% とした。

表 6. 対象者の身体的特徴

	部分浸水 (n=6)	全身浸水 (n=6)
年齢	21.7±0.5	21.3±0.6
身長	170.7±4.2	170.8±4.1
体重	62.7±7.0	65.2±7.4

年齢、身長、体重は平均値±標準偏差

- ・部分浸水は利き手上腕を浸水した腕振り運動
- ・全身浸水は剣状突起部まで浸水した腕振り運動

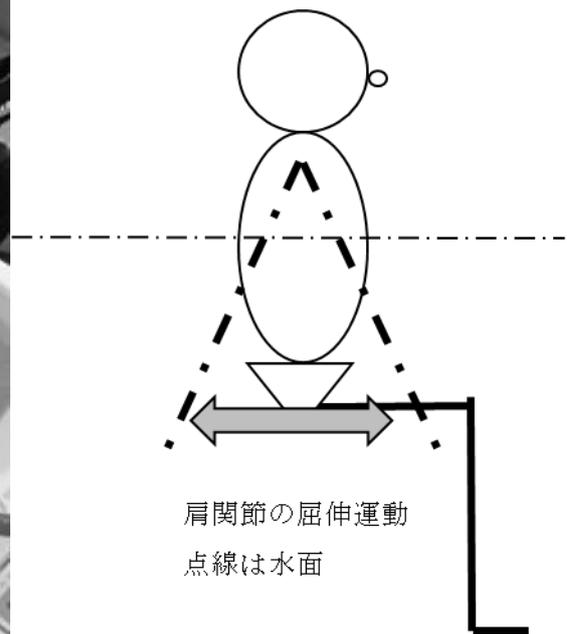


図 9. 上肢を浸水させた腕振り運動

- ・ 圧迫は利き手上腕基部に空圧式カフを巻き、圧迫量 50 mmHg にて実施
- ・ 圧迫を伴わない場合も同様の姿勢で運動を実施
- ・ 温浴療法用装置の深さは 59 cm



図 10. 剣状突起部まで浸水した状態での腕振り運動

- ・ 圧迫は利き手上腕基部に空圧式カフを巻き、圧迫量 50 mmHg にて実施
- ・ 圧迫を伴わない場合も同様の姿勢で運動を実施



図 11. 測定手順

- ・いずれの浸水状態、圧迫条件ともに上記測定手順にて実施

3-3. 結 果

表 7 に部分浸水での腕振り運動前後における収縮期血圧、拡張期血圧、心拍数の変化を示す。分析の結果、いずれの条件、項目においても有意差を認めなかった。

表 8 に部分浸水での腕振り運動前後における内分泌項目の変化を示す。成長ホルモンはいずれの浸水条件でも 15 分後に数値の上昇を示し、圧迫の有無にかかわらず有意差が見られた ($p < 0.05$)。インスリン様成長因子 I はいずれの条件ともに有意差を認めなかった。

表 9 に全身浸水での腕振り運動前後における収縮期血圧、拡張期血圧、心拍数の変化を示す。分析の結果、いずれの条件、項目においても有意差を認めなかった。

表 10 に全身浸水での腕振り運動前後における内分泌項目の変化を示す。成長ホルモンはいずれの条件でも 15 分後に数値の上昇を示し、50 mmHg 条件において有意差が認められたが ($p < 0.05$)、圧迫なしでは有意な差は見られなかった。インスリン様成長因子 I はいずれの圧迫量においても有意差を認めず、経時的な数値の変化は見られなかった。

表 11 に部分浸水及び全身浸水における運動前後の変化量を差の形で示す。部分浸水と全身浸水の 2 つにおいて群間比較を行った。2 群間の比較で有意差が認められたのは、成長ホルモンの圧迫なし条件のみであった ($p < 0.01$)。

表 7. 部分浸水での腕振り運動前後における各指標の変化

項目	部分浸水 (n=6)					
	圧迫なし			50mmHg		
	運動前	運動後	p値	運動前	運動後	p値
SBP (mmHg)	127.0±6.3	132.3±7.3	n. s.	125.7±8.1	124.5±12.4	n. s.
DBP (mmHg)	84.8±5.9	82.3±8.5	n. s.	75.7±9.3	75.3±9.9	n. s.
HR (拍/分)	85.0±14.1	92.8±12.4	n. s.	86.3±10.7	85.7±14.8	n. s.

SBP、DBP、HR は平均値±標準偏差

* p<0.05 n. s. = not significant

SBP : Systolic Blood Pressure 収縮期血圧

DBP : Diastolic Blood Pressure 拡張期血圧

HR : Heart Rate 心拍数

・部分浸水は利き手上腕を浸水した腕振り運動

表 8 . 部分浸水での腕振り運動前後における採血項目の変化

項目	部分浸水圧迫なし (n=6)		
	運動前	15分後	p値
GH (ng/mL)	0.60 (0.02-2.97)	4.97 (0.41-8.11)	*
IGF-1 (ng/mL)	218.0 (177.8-270.5)	215.2 (176.5-263.0)	n. s.
項目	部分浸水50mmHg (n=6)		
	運動前	15分後	p値
GH (ng/mL)	0.10 (0.02-1.20)	2.08 (0.66-6.73)	*
IGF-1 (ng/mL)	218.2 (182.5-248.0)	220.0 (187.3-252.3)	n. s.

中央値 (25 パーセンタイル-75 パーセンタイル)

* p<0.05 n. s. = not significant

GH : growth hormone 成長ホルモン

IGF-I : insulin-like growth factor-I インスリン様成長因子 I

・部分浸水は利き手上腕を浸水した腕振り運動

表 9. 全身浸水での腕振り運動前後における各指標の変化

項目	全身浸水 (n=6)					
	圧迫なし			50mmHg		
	運動前	運動後	p値	運動前	運動後	p値
SBP (mmHg)	123.3±7.1	123.7±6.6	n. s.	125.8±10.3	127.8±9.0	n. s.
DBP (mmHg)	71.7±4.8	69.8±7.6	n. s.	76.7±6.6	81.5±9.1	n. s.
HR (拍/分)	78.0±9.8	73.2±10.3	n. s.	75.5±13.8	78.5±12.8	n. s.

SBP、DBP、HR は平均値±標準偏差

* p<0.05 n. s. = not significant

SBP : Systolic Blood Pressure 収縮期血圧

DBP : Diastolic Blood Pressure 拡張期血圧

HR : Heart Rate 心拍数

・全身浸水は剣状突起部まで浸水した腕振り運動

表 10. 全身浸水での腕振り運動前後における採血項目の変化

項目	全身浸水圧迫なし (n=6)		
	運動前	15分後	p値
GH (ng/mL)	0.13 (0.06-0.90)	0.25 (0.05-1.13)	n. s.
IGF-1 (ng/mL)	217.3 (205.5-226.3)	215.0 (206.5-222.0)	n. s.
項目	全身浸水50mmHg (n=6)		
	運動前	15分後	p値
GH (ng/mL)	0.26 (0.12-1.21)	1.45 (1.20-4.47)	*
IGF-1 (ng/mL)	219.5 (197.0-245.5)	218.2 (197.5-243.3)	n. s.

中央値 (25 パーセンタイル-75 パーセンタイル)

* p<0.05 n. s. = not significant

GH: growth hormone 成長ホルモン

IGF-I: insulin-like growth factor-I インスリン様成長因子 I

・全身浸水は剣状突起部まで浸水した腕振り運動

表 11. 部分浸水及び全身浸水における運動前後の差

項目	圧迫なし		
	部分浸水 (n=6)	全身浸水 (n=6)	p値
SBP (mmHg)	5.3±6.5	0.3±10.1	n. s.
DBP (mmHg)	-2.5±6.5	-1.8±9.1	n. s.
HR (拍/分)	7.8±17.0	-4.8±9.3	n. s.
GH (ng/mL)	1.88 (0.38-6.49)	0.05 (-0.03-0.38)	*
IGF-1 (ng/mL)	-2.8 (-7.5-2.5)	-2.3 (-5.0-1.0)	n. s.
項目	50mmHg		
	部分浸水 (n=6)	全身浸水 (n=6)	p値
SBP (mmHg)	-1.2±12.7	2.0±9.9	n. s.
DBP (mmHg)	-0.3±16.0	4.8±8.2	n. s.
HR (拍/分)	-0.7±10.0	3.0±8.6	n. s.
GH (ng/mL)	1.14 (0.62-6.40)	1.23 (0.83-3.48)	n. s.
IGF-1 (ng/mL)	1.8 (-1.8-5.8)	-1.3 (-3.0-0.5)	n. s.

SBP、DBP、HR は平均値±標準偏差

GH、IGF-I は中央値 (25 パーセントタイル-75 パーセントタイル)

* p<0.05 n. s. = not significant

SBP : Systolic Blood Pressure 収縮期血圧

DBP : Diastolic Blood Pressure 拡張期血圧

HR : Heart Rate 心拍数

GH : growth hormone 成長ホルモン

IGF-I : insulin-like growth factor-I インスリン様成長因子 I

- ・ 部分浸水は利き手上腕を浸水した腕振り運動
- ・ 全身浸水は剣状突起部まで浸水した腕振り運動

3-4. 考 察

本研究では、利き手上肢のみを浸水（部分浸水）させた腕振り運動と剣状突起部まで浸水した状態（全身浸水）での腕振り運動における血圧や心拍数の変動及び成長ホルモン、インスリン様成長因子 I の分泌動向を圧迫の有無から検証した。

その結果、血圧と心拍数については、運動前後の比較において、いずれの条件においても運動に伴う数値の変化は見られなかった。今回、水温を 33℃に設定し不感温度帯に近い状況で運動を行ったことで血圧や心拍数への影響が見られなかったと考えられる。今回の上肢における腕振り運動は、浸水条件の違い、圧迫の有無にかかわらず血圧や心拍数への影響は認められなかったため、心負担がなく安全に行われる運動となる可能性が見いだされた。

成長ホルモンはいずれの浸水状態及び条件においても運動 15 分後に数値が上昇し、圧迫をした状態では有意差が見られた。井上ら（2002）は、軽度の足関節捻挫や内側側副靭帯を損傷した平均年齢 20 歳の運動部員に対して、患側を圧迫して軽いハーフスクワットや足踏み運動、片脚スクワット等を 20% の負荷強度にて運動させたところ、成長ホルモンの著明な上昇を認めたと報告し、石井（2003）は局所を圧迫して運動を行った際の血中成長ホルモン濃度のピークは、血中乳酸濃度からわずかに遅れて現れると述べている。今回の有意差が見られた圧迫条件における成長ホルモンの分泌動向は、これらの報告を支持する結果と考えられる。

一方、全身浸水の圧迫なし条件では、剣状突起部まで浸水しており、水圧がかかっていた状態であったが有意な差は認められなかった。黄ら（2011）は圧迫をしない状態では成長ホルモン分泌が見られないとしていることや、須藤ら（2001）は水中環境が筋血流に及ぼす影響を調査しており、水圧の影響で静脈還流量が増え、血流動態は陸上の臥位や座位に類似する環境であるとし、水圧が加わる水中環境は圧迫（血流制限）下の環境とはならなかったと報告している。本研究における全身浸水の圧迫なし条件の結果においても、剣状突起部までの浸水により水圧がかかり静脈還流量が増大し、圧迫下環境には至らなかったものと推察される。

2 つの浸水状態間の運動効果の比較においては、部分浸水における圧迫なし

条件のみ有意差が認められ、数値の上昇が見られた。使用した温浴療法用装置の深さは 59 cm あり、最深部の水圧は約 45 mmHg となる。50 mmHg 以上の圧迫量で、トレーニングの効果が望める（桜庭 2010）とされることから、今回の結果は浸水部位以下（右上肢）が水圧により圧迫され、圧迫環境下となった可能性が示唆された。さらに部分浸水は局所的な浸水であったことから、静脈還流量が全身浸水に比べ少なかったことも推察される。これらのことから、水中での腕振り運動は、浸水部分（水位）の影響を受けることが示唆された。

インスリン様成長因子 I においては、経時的な変化及び群間での違いは認められなかった。運動に伴うインスリン様成長因子 I の経時的変化や成長ホルモンとの関連性は、今のところ見解が一致していない（広瀬ら 2004；山田ら 2012）。インスリン様成長因子 I は成長ホルモンの刺激により肝臓から分泌される。したがって、インスリン様成長因子 I の数値の上昇は、成長ホルモンの数値上昇後となるため、分泌が確認されるのは遅くなる。今回、採血の時間を運動後 15 分としたが、この時間的要因がインスリン様成長因子 I に影響した可能性が考えられる。

3-5. 要 約

本研究では、異なる浸水部位で腕振り運動を行うことによる血圧、心拍数に及ぼす影響や成長ホルモン、インスリン様成長因子 I の分泌動向を圧迫の有無とともに検証した。その結果、

- ・ 剣状突起部までの浸水と比較すると利き手上肢のみの浸水では、圧迫を加えていない状態であっても、運動に伴い成長ホルモンが分泌し値の上昇が確認された。目的とする部位のみを浸水させることで、その浸水部位以下が水圧により圧迫され、圧迫環境下のような状態となる可能性が示された。
- ・ 剣状突起部までの浸水及び利き手上肢のみの浸水、いずれの浸水状態での腕振り運動においても、血圧や心拍数への影響は認められなかった。これは上肢の圧迫の有無に限らず、同様の結果であった。
- ・ いずれの浸水状態においても、上肢を圧迫した腕振り運動では、成長ホルモンの分泌が確認された。

第 4 章

総括論議

運動は、使用される筋肉の部位により、全身運動と局所運動に分けられる（池田ら 1993）。本研究では、第2章で、全身運動として水中ウォーキング、第3章では、局所運動として水中での腕振り運動を行い、血圧や心拍数の変動、成長ホルモンの分泌動向について検討した。

4-1. 一過性の水中運動前後の血圧と心拍数

一過性の水中運動が血圧に与える影響は、陸上での運動と比べて数値が低い状態を推移すること、運動による増減は見られないこと、高齢者の場合は必ずしも同様の結果とならないこと（小野寺 1996）が明らかにされている。これは、心房性ナトリウム利尿ペプチドの分泌が促進、レニンやアルドステロンの分泌抑制（Korz et al. 1969; Epstein et al. 1975; 菅井ら 1984; 阿岸ら 1987）が関与していると言われている。

表 12 に全身運動及び局所運動における運動前後の変化量を差の形で示す。表 12 より全身運動の対照群を除き、血圧の値は運動による増減は見られなかった。これまで報告されている、水中運動における血圧応答と同様な結果を示したと推察される。このことから、全身及び局所の水中運動は、心負担が少なく安全に行うことが可能な運動であると考えられる。

一方、全身運動の対照群は、収縮期血圧、拡張期血圧ともに値が有意に上昇している。小野寺ら（1996）の、水中運動を高齢者が行うと、陸上運動と比較した際に収縮期血圧、拡張期血圧は上昇傾向を示し、心拍数は低値であったとの報告に類似している。水中ウォーキングを高齢者が実施すると即時的に血圧を上昇させる可能性が示唆されたため、運動中を含めて体調等に留意しながら実施することが必要であると考えられる。このことから、本研究の結果は高齢者に対して水中ウォーキングを指導する際の指針としても有効であると考えられる。

心拍数は、本研究では、いずれの運動においても自覚的運動強度（RPE）に換算して 11（楽に感じる）から 13（ややきつい）となるように設定した。しかし、運動直後に得られた心拍数は、運動前の安静時心拍数と変わらなかった。心理的な運動強度との乖離が大きいことが考えられ、心拍数を用いて運動強度を設

定する際は、心理的な運動強度が高くなる可能性があることを考慮する必要があると推察される。これは、水温を 33℃ に設定し不感温度帯に近い状況で運動を行ったことも影響しているのではないかと考えられる。

表 12. 全身運動及び局所運動における運動前後の差

項目	全身運動（水中ウォーキング）		局所運動（腕振り）	
	高血圧群（n=27）	対照群（n=21）	全身浸水（n=6）	部分浸水（n=6）
SBP（mmHg）	5.7±15.1	18.1±11.3	0.3±10.1	5.3±6.5
DBP（mmHg）	2.8±7.2	7.7±9.1	-1.8±9.1	-2.5±6.5
HR（拍/分）	-0.4±8.0	-9.8±6.0	-4.8±9.3	7.8±17.0

SBP、DBP、HR は平均値±標準偏差

SBP：Systolic Blood Pressure 収縮期血圧

DBP：Diastolic Blood Pressure 拡張期血圧

HR：Heart Rate 心拍数

- ・初回の測定値から、日本高血圧学会の高血圧診断基準に沿って収縮期血圧と拡張期血圧のどちらか一方、あるいは両方が 140 mmHg / 90 mmHg 以上の高血圧群と、それに該当しなかった対照群に分けた。
- ・全身浸水は剣状突起部まで浸水した腕振り運動
- ・部分浸水は利き手上腕を浸水した腕振り運動

4-2. 水中運動と成長ホルモン

水中での成長ホルモンの分泌は、大柿ら（1995）によると、水中に浸水した安静時と陸上での安静時には分泌に差が認められなかったという報告がある。しかし、水中運動を実施した際の分泌に関する報告は少ない（石井 2003；阿岸 1982）。

第 3 章では、異なる浸水部位で局所運動である腕振り運動を行うことにより成長ホルモンの分泌動向を圧迫の有無とともに検証したが、剣状突起部までの浸水と比較すると利き手上肢のみの浸水では、圧迫を加えていない状態であっても、運動に伴い成長ホルモンが分泌し値の上昇が確認された。使用した温浴療法用装置の深さは 59 cm あり、最深部の水圧は約 45 mmHg となる。50 mmHg 以上の加圧量でトレーニングの効果が望める（桜庭 2010）とされることから、局所運動を行う部分だけを水中に浸水させることで、その浸水部位以下が水圧により圧迫され、圧迫環境下のような状態となる可能性が示された。

腕振り運動を実施した結果、心血管反応が変化せずに成長ホルモンの上昇が見られた。上肢だけを水中に浸水させ腕振り運動を行うことは、地上よりも心負担を減らした筋力トレーニングの提供や日常生活の中でも、浴槽に水を入れ、その中に上肢を入れて腕振り運動を行うような場面での利用が考えられ、水着に着替えなくても簡単に実施できるプログラムに繋がる可能性を示唆している。

4-3. 水中ウォーキングの頻度

本研究では、多くの介護予防教室で採用されている週 1 回の頻度で行う水中ウォーキングとした。週 1 回の頻度に限定した理由として、厚生労働省（2018）の運動習慣（週 2 回以上、1 回 30 分以上運動を実施し、1 年以上継続している者）のない 65 歳以上の男性が約 54%、女性約 61% という数値が関係している。American College of Sports Medicine（2009）では、約 79% の高齢者が定期的な身体活動を行っていないとしている。いずれにしても半数以上の高齢者は、週に複数回のトレーニングを継続して行うことは難しい状況であることは想像に難くない。

また、渡辺ら（2001）は、60 歳以上の男女 40 名に週 3 回の頻度で 12 週間、

70分の水中運動を行った際の心理的、身体的な効果を見る中で、インタビューを行っているが参加者2名から「週3回の運動頻度は身体的・精神的に疲労が蓄積される」との回答があったとされている。インタビューという特性上、潜在的な気持ちの部分は分からないものの、介護予防教室を実施すると1名や2名はこういった意見があることを考慮しておく必要がある。以上のことから、半数以上の運動習慣のない高齢者のための基礎的データとするために、頻度を週1回とした。

結果としては、高血圧の診断に該当する高齢者に週1回の水中ウォーキングを行うと有意な降圧効果が得られた。個々のデータ(第2章の表3)を見ると、測定した血圧の数値が、高血圧に分類される者の推移は、初回27名、2回目20名、4回目14名、6回目12名と減っていき、最終的には半数以上の者が高血圧の診断基準から外れた。継続して運動を行っていくことで降圧効果がより多くの者に出ていることが推察される。

今回は週1回のプログラムとしたが、最終的には、Wheltonら(2002)やアメリカスポーツ医学会(ACSM)やアメリカ心臓協会(AHA)が推奨(Haskell et al. 2007)している週に数回、少なくとも20~30分有酸素運動を実施することにつなげていくことが重要であることは言うまでもない。

第 5 章

結 語

本研究では、水中ウォーキングを異なる血圧条件に分けた高齢者に対して行い、血圧や心拍数の変動について検証し、高齢者や血圧の数値が高めの者に対するトレーニングとして有効であるかを明らかにするとともに、異なる浸水部位における腕振り運動時の血圧や心拍数の変動及び成長ホルモンやインスリン様成長因子 I の分泌動向を圧迫の有無より論じた。その結果、以下の結論を得た。

- ① 高血圧の診断基準に該当する高齢者に対する水中ウォーキングは、1 週間後より収縮期血圧が、3 週間後より拡張期血圧と平均血圧の値が低下することが認められた。一方、診断基準に該当しない高齢者への水中ウォーキングは、収縮期血圧、拡張期血圧、平均血圧のいずれも数値の変化は見られなかった。
- ② 高血圧の診断基準範囲にある高齢者に対する水中ウォーキングは、週 1 回の頻度で計 6 回、1 回 60 分のプログラムにおいても血圧の低下が認められた。
- ③ 水中での腕振り運動は、浸水条件にかかわらず運動に伴う血圧や心拍数の上昇は起こらないことが認められた。また、運動を行う部分だけを浸水させて腕振り運動を行うと、低負荷な運動であったにもかかわらず、成長ホルモンの有意な分泌が認められた。
- ④ 水中での圧迫を伴う腕振り運動は、運動による血圧や心拍数の上昇は起こらないことが認められた。また、成長ホルモンに関しては、いずれの浸水条件においても、数値の有意な上昇が見られた。

本研究により得られた知見として、水中ウォーキングを介護予防教室に通う高齢女性を対象に行ったが、血圧の数値が高血圧の基準に該当する対象者では、週 1 回の頻度においても早期から血圧の数値が低下した。また、運動する部分のみを浸水させて腕振り運動すると、低負荷であったにもかかわらず、成長ホルモンが分泌し値の上昇が確認された。目的とする部位のみを浸水させることで、その浸水部位以下が水圧により圧迫され、圧迫環境下のような状態となる可能性が示された。

いずれの水中運動においても、水に顔を浸ける必要がなく、動作の理解が簡

単かつ運動に伴う血圧や心拍数に上昇が見られなかったことから、高齢者や血圧の数値が高めの者といった運動時に注意が必要な者たちに対して有効なトレーニング方法となる可能性が示された。

参考及び引用文献

[第 1 章]

de Brito F. H., Hauptenthal A., Ruschel C., et al.: Effect of gender, cadence, and water immersion on ground reaction forces during stationary running. *J Orthop Sports Phys Ther* 2012; 42(5): 437-443.

覚張秀樹：水中運動の実践：水中運動の実践 - 運動療法として水中運動を確立するために - . *臨床スポーツ医学* 2010; 27(8): 845-856.

小野寺昇：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.

Oda S, Matsumoto T, Nakagawa K, and Moriya K: Relaxation effects in humans of underwater exercise of moderate intensity. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 1999; 80: 253-259.

北川薫：健康運動プログラムの基礎：陸上運動と水中運動からの科学的アプローチ. 市村出版 2005.

柴田義晴，五十嵐愛，北川幸夫，米津光治：水泳による体力育成のための牽引泳の有用性について. *東京学芸大学紀要 芸術・スポーツ科学系* 2008; 60: 179-190.

藤原勝夫，清田直恵，外山寛，他：高齢者における森歩き運動と水中運動の健康増進効果. *Health and Behavior Sciences* 2019; 17(2): 67-76.

岩井浩一，滝澤恵美，阪井康友，他：地域の介護予防事業における運動プログラム参加者の体力向上効果. *茨城県立医療大学紀要* 2008; 13: 47-56.

堀田息，出原博嗣，大柿哲朗，金谷庄藏：高齢低体力者に対する水中での運動療法．健康科学 1993；15：57-61.

平田圭，吉本隆哉，山本正嘉：陸上競技長距離走選手が3ヶ月間にわたる下肢の故障期間に自転車および水中運動を用いて行った「積極的リハビリテーショントレーニング」の成功事例．スポーツパフォーマンス研究 2016；8：100-116.

河野洋志，近藤照彦，中根亮，他：水中での血流制限トレーニングにおける循環動態および血漿成長ホルモンレベルへの影響．東京医療学院大学紀要 2016；5：64-69.

覚張秀樹，矢野雅知：実践スポーツ PNF コンディショニング．大修館書店 1998；東京.

竹中弘行：水中運動療法：ハリビック法，ラガツ法．理学療法学 1990；17(5)：497-504.

富田昌夫：ラガツ法による水中 PNF 手技．理学療法と作業療法 1982；16(2)：119-124.

総務省統計局：人口推計．2000.<https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00200524&tstat=000000090001&cycle=0&tclass1=000000090004&tclass2=000000090005&tclass3val=0> (2021年6月20日閲覧)

日本整形外科学会：整形外科新患調査 2012．2012．https://www.joa.or.jp/media/comment/pdf/investigation_2012.pdf (2021年7月4日閲覧)

厚生労働省：平成 29 年患者調査。2019。 https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00450022&tstat=000001031167&cycle=7&tclass1=000001124800&tclass2=000001124801&stat_infid=000031790684&tclass3val=0 (2021 年 7 月 4 日閲覧)

厚生労働省：平成 29 年国民健康・栄養調査報告。2018。 <https://www.mhlw.go.jp/content/000451758.pdf> (2021 年 12 月 24 日閲覧)

日本高血圧学会高血圧治療ガイドライン作成委員会（編）：高血圧治療ガイドライン 2019。ライフサイエンス出版 2019。

Hanssen H, Boardman H, Deiseroth A, et al.: Personalized exercise prescription in the prevention and treatment of arterial hypertension: a Consensus Document from the European Association of Preventive Cardiology (EAPC) and the ESC Council on Hypertension. *European Journal of Preventive Cardiology* 2021; DOI: 10.1093/eurjpc/zwaa141 (2021 年 9 月 5 日閲覧)

Pescatello LS, Franklin BA, Fagardet R, et al.: American College of Sports Medicine position stand. Exercise and hypertension. *Med Sci Sports Exerc* 2004; 36(3): 533-553.

Arena R, Myers J, Williams MA, et al.: Assessment of functional capacity in clinical and research settings: a scientific statement from the American Heart Association Committee on Exercise, Rehabilitation, and Prevention of the Council on Clinical Cardiology and the Council on Cardiovascular Nursing. *Circulation* 2007; 116(3): 329-343.

VaikteVICIUS PV, Fleg JL, Engel JH, O' Connor FC, et al.: Effects

of age and aerobic capacity on arterial stiffness in healthy adults. *Circulation* 1993; 88(4): 1456-1462.

青葉貴明, 松本高明: 水中運動の継続期間が血圧に与える影響. *体育・スポーツ科学研究* 2004; 4: 9-15.

前野里恵, 栗山信江, 藤谷尚子, 水落和也: 水中トレッドミル歩行における高齢者の呼吸循環応答. *理学療法学* 1999; 26: 158-162.

今野敬貴, 伊藤昌子, 坂本雅昭: 健康増進施設における水中運動のリスク管理～血圧変動からの一考察. *理学療法群馬* 2001; 12: 37-38.

山田忠樹, 渡辺英児, 岡田暁宜, 竹島伸生: 水中運動を用いた高齢者のトレーニング効果: 主に活力年齢を指標として. *日本生理人類学会誌* 2002; 7(2): 87-93.

Takeshima N, Rogers ME, Watanabe E, et al.: Water-based exercise improves health-related aspects of fitness in older women. *Med Sci Sports Exerc* 2002; 544-551.

川崎晃一: 中高年者の動脈硬化進展予防に対する水中運動の効果. *Arterial Stiffness* 2007; 12: 24-30.

Pinto SS, Cadore EL, Alberton CL, Zaffari P, et al.: Effects of intrasession exercise sequence during water-based concurrent training. *Int J Sports Med.* 2013; 34:1-8.

Kargarfard M, Dehghadani M, Ghias R: The effect of aquatic exercise therapy on muscle strength and joint's range of motion in hemophilia patients. *Int J Prev Med.* 2013; 4: 50-56.

スポーツ庁：スポーツの実施状況等に関する世論調査．2019．
https://www.mext.go.jp/sports/content/20210526-spt_kensport01-000007034_1.pdf (2020年7月5日閲覧)

侘美靖，森谷きよし，小田史郎，アディカリ・メリサ・オカンポ，福岡永告子：週2回12週間にわたって水中運動を実施した高齢女性の健脚度関連体力，冬道セルフエフィカシー，精神的健康度とQOLの改善．日本生気象学会雑誌 2005；42(1)：17-27．

北湯口純，鎌田真光，須藤晴紀，曾田富代，土屋悦子，川津理奈地：域保健事業における水中運動を中心とする転倒予防の取り組みの効果分析．身体教育医学研究 2008；9(1)：15-22．

小野寺昇，関和俊，西村一樹：異なる運動強度におけるハンドエルゴメーター運動時の腹部大静脈横断面積の水中と陸上の比較．宇宙航空環境医学 2005；42(4)．

國吉光，奥島佑樹，小野くみ子：水中における座位ハンドエルゴメーター運動が生体に与える影響．理学療法学 Supplement 2012；39(2)．

Samuel, J. : Reeducation de la coxarthroses. Expansion Scientifique Francaise 1980; Paris.

Asahina M, Asahina MK, Yamanaka Y, et al.: Cardiovascular response during aquatic Exercise in patients with osteoarthritis. Am J Phys Med Rehabil 2010; 89 (9) : 731-735.

小西薫：ウォーターパワーワークアウト（増補版）．環境工学社 2000；東京．

須藤明治，角田直也，井尻幸成，八木良訓：高齢・低筋力者における水中運動の効果．国土舘大学体育研究所報 2003；21：65-73.

Tsourlou T, Benik A, Dipla K, et al.: The effects of a twenty-four week aquatic training program on muscular strength performance in healthy elderly women. J Strength Cond Res 2006; 20 (4) : 811-818.

今野 純：スイミング・コンセプト 第4版．アクアダYNAMIX研究所 1990；横浜．

小西薫：アクアサイズ教程 基礎理論編（増補版）．有限会社小西薫事務所 2001；東京．

池田正春，南里宏樹，姫野悦郎：運動と健康：運動の高血圧への効果を中心に．産業医科大学雑誌 1993；15（3）：227-236.

Miyoshi T., Shirota T., Yamamoto S., Nakazawa K., et al.: Effect of the walking speed to the lower limb joint angular displacements, joint moments and ground reaction forces during walking in water. Disabil Rehabil. 2004; 26(12): 724-732.

小西薫：アクアサイズ教程 実技応用編（増補版）．有限会社小西薫事務所 2001；東京．

Barela A., Sandro S., Marcos D.: Biomechanical characteristics of adults walking in shallow water and on land. J Electromyogr Kinesiol. 2006; 16(3): 250-256.

Harrison R., Bulstrode S.: Percentage Weight-Bearing During Partial Immersion in the Hydrotherapy Pool. Published online 2009.

秋山啓子, 中島求, 三好扶, 中澤公孝, 赤居正美 : 水中ウォーキングにおける筋力強化のための力学的最適フォームの実験的検証. バイオメカニズム学会誌 2011; 35(1): 28-36.

Nayak P., Mahmood A., Natarajan M., Hombali A., et al.: Effect of aquatic therapy on balance and gait in stroke survivors: A systematic review and meta-analysis. Complementary Therapies in Clinical Practice 2020; 39.

American College of Sports Medicine: American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. Med Sci Sports Exerc. 2009; 41(3): 687-708.

嶋田卓, 沢井史穂 : 水中レジスタンス運動の基本動作における下肢の筋活動水準－陸上での実施時との比較－. 日本女子体育大学スポーツトレーニングセンター紀要 2019; 22 : 19-26.

Yarasheski KE, Zachwieja JJ, Bier DM: Acute effects of resistance exercise on muscle protein synthesis rate in young and elderly men and women. The American journal of physiology 1993; 265: 210-214.

久野譜也, 村上晴香, 馬場紫乃, 金俊東, 他 : 高齢者の筋特性と筋力トレーニング. 体力科学 2003 ; 52 : 17-30.

葛谷雅文 : 超高齢社会におけるサルコペニアとフレイル. 日本内科学会雑誌 2015; 104(12): 2602~2607. https://www.jstage.jst.go.jp/article/naika/104/12/104_2602/_pdf (2021年7月4日閲覧)

MacDougall JD, Tuxen D, Sale DG, et al.: Arterial blood pressure response to heavy resistance exercise. J Appl Physiol 1985; 58(3):

785-790.

石井直方：筋肥大のメカニズムと筋力トレーニングの接点．日本臨床スポーツ医学会誌 2003；11(3)：406-413.

Takarada Y, et al.: Effects of resistance exercise training with vascular occlusion on muscular function in athletes. Eur J Appl physiol 2002; 86: 308-314.

Risch, W. D., Koubenec, H. J., Beckmann, U., et al.: The effect of graded immersion on heart volume, central venous pressure, pulmonary blood distribution, and heart rate in man. Pflugers Arch 1978; 374(2) :115-118.

Korz, R., Fischer, F. and Behn, C.: Renin Anigiotsin-System bei simulierter Hyper volamie durch Immersion. Klin. Wschr. 1969; 23: 1263-1268.

Epstein, M., Pins, D. S., Sancho, J. and Haber, E.: Suppression of plasma renin and plasma aldosterone during water immersion in normal man. J. Clin. Endocrinol. Metab. 1975; 41: 618-625.

菅井芳郎，白倉卓夫：微温長時間による成長ホルモンの反応．医学と生物学 1984；108：149-152.

阿岸祐幸，井出肇，浅沼義英，藤屋秀一，近藤光：全身水浴による温度刺激と内分泌反応．日生氣誌 1987；24：55.

Kraemer W. J., Ratamess N. A.: Fundamentals of resistance training: Progression and exercise prescription. Med Sci Sports Exerc. 2004;

36(4): 674-688.

Gary E. McCall, William C. Byrnes, Steven J. Fleck, et al.: Acute and chronic hormonal responses to resistance training designed to promote muscle hypertrophy. Canadian Journal of Applied Physiology 1999; 24(1): 96-107.

Takarada Y, et al: Effects of resistance exercise combined with moderate vascular occlusion on muscular function in humans. J Appl physiol 2000; 88: 2097-2106.

Weltman A. et al.; Exercise-dependent growth hormone release is linked to markers of heightened central adrenergic outflow. J Appl physiol. 2000; 89: 629-635.

宇都宮由依子, 橋田誠一: 運動強度 (METs) と成長ホルモン分泌の関連について. 徳島文理大学研究紀要 2018; 96: 117-122.

佐藤義昭, 石井直方, 中島敏明, 阿部孝: 加圧トレーニングの理論と実践. 講談社 2007.

大柿哲朗, 堀田昇, 金谷庄藏, 藤島和孝, 清水富弘, 正野知基: 3種類の水温度での低強度長時間水泳に対するホルモンおよび代謝応答. 体育学研究 1995; 40 (2) : 80-88.

石井直方: 筋血流制限とトレーニング. 体育の科学 2003; 53: 564-568.

阿岸祐幸: 全身水浴と水中運動時の代謝・内分泌機能. 日本生気象学会雑誌 1982; 19(3): 82

市橋則明，池添冬芽：筋力増強のメカニズム．理学療法 2004； 21（3）：468-475.

黄勇，三村寛一，鉄口宗弘，他：加圧トレーニングにおける血中成長ホルモンへの影響．大阪教育大学紀要 2011； 59(2)： 219-227.

桜庭景植：膝関節に対する運動療法・筋力トレーニングの up to date-血流制限下筋力訓練を中心に-．リハビリテーション医学 2010； 47(5)： 276-282.

〔第 2 章〕

de Brito F. H., Hauptenthal A., Ruschel C., et al.: Effect of gender, cadence, and water immersion on ground reaction forces during stationary running. J Orthop Sports Phys Ther 2012; 42(5): 437-443.

覚張秀樹：水中運動の実践：水中運動の実践 - 運動療法として水中運動を確立するために - . 臨床スポーツ医学 2010； 27(8)： 845-856.

須藤明治，角田直也，井尻幸成，八木良訓：高齢・低筋力者における水中運動の効果．国士舘大学体育研究所報 2003； 21： 65-73.

小野寺昇：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.

Oda S, Matsumoto T, Nakagawa K, and Moriya K: Relaxation effects in humans of underwater exercise of moderate intensity. European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology 1999; 80: 253-259.

北川薫：健康運動プログラムの基礎：陸上運動と水中運動からの科学的アプローチ

ローチ. 市村出版 2005.

岩井浩一, 滝澤恵美, 阪井康友, 他: 地域の介護予防事業における運動プログラム参加者の体力向上効果. 茨城県立医療大学紀要 2008; 13: 47-56.

前野里恵, 栗山信江, 藤谷尚子, 水落和也: 水中トレッドミル歩行における高齢者の呼吸循環応答. 理学療法学 1999; 26: 158-162.

今野敬貴, 伊藤昌子, 坂本雅昭: 健康増進施設における水中運動のリスク管理～血圧変動からの一考察. 理学療法群馬 2001; 12: 37-38.

青葉貴明, 松本高明: 水中運動の継続期間が血圧に与える影響. 体育・スポーツ科学研究 2004; 4: 9-15.

藤原勝夫, 清田直恵, 外山寛, 他: 高齢者における森歩き運動と水中運動の健康増進効果. Health and Behavior Sciences 2019; 17(2): 67-76.

Whelton S. P., Chin A., Xin X., He J.: Effect of aerobic exercise on blood pressure: a meta-analysis of randomized, controlled trials. Ann. Intern. Med. 2002; 136(7): 493-503.

Haskell W. L., Lee I. M., Pate R. R., et al.: Physical activity and public health: updated recommendation for adults from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. Med. Sci. Sports Exerc. 2007; 39(8): 1423-1434.

厚生労働省: 平成 29 年国民健康・栄養調査報告. 2018. <https://www.mhlw.go.jp/content/000451758.pdf> (2021 年 12 月 24 日閲覧)

渡辺英児, 竹島伸生, 長ヶ原誠, 山田忠樹, 猪俣公宏: 高齢者を対象とし

た 12 週間にわたる水中運動による心理的・身体的効果：量的・質的アプローチを用いた多面的分析．体育学研究 2001； 46 353-364.

山田忠樹，渡辺英児，岡田暁宜，竹島伸生：水中運動を用いた高齢者のトレーニング効果：主に活力年齢を指標として．日本生理人類学会誌 2002； 7(2)： 87-93.

Takeshima N, Rogers ME, Watanabe E, et al.: Water-based exercise improves health-related aspects of fitness in older women. Med Sci Sports Exerc 2002; 544-551.

川崎晃一：中高年者の動脈硬化進展予防に対する水中運動の効果．Arterial Stiffness 2007； 12： 24-30.

Pinto SS, Cadore EL, Alberton CL, Zaffari P, et al.: Effects of intrasession exercise sequence during water-based concurrent training. Int J Sports Med. 2013; 34:1-8.

Kargarfard M, Dehghadani M, Ghias R: The effect of aquastic exercise therapy on muscle strength and joint's range of motion in hemophilia patients. Int J Prev Med. 2013; 4: 50-56.

スポーツ庁：スポーツの実施状況等に関する世論調査．2019．
https://www.mext.go.jp/sports/content/20210526-spt_kensport01-000007034_1.pdf (2020年7月5日閲覧)

日本高血圧学会高血圧治療ガイドライン作成委員会（編）：高血圧治療ガイドライン2019．ライフサイエンス出版 2019.

Takata K. T., Toshiki O., and Hirofumi T.: How much exercise is

required to reduce blood pressure in essential hypertensives: A dose-response study. Am. J. Hypertens. 2003; 16 (8) , 629-633.

厚生労働省：介護予防マニュアル。 2012

Miura K, Nakagawa H, Ohashi Y, et al.: Four blood pressure indexes and the risk of stroke and myocardial infarction in Japanese men and women: a meta-analysis of 16 cohort studies. Circulation 2009; 119(14): 1892-1898.

[第 3 章]

Kraemer W. J., Ratamess N. A.: Fundamentals of resistance training: Progression and exercise prescription. Med Sci Sports Exerc. 2004; 36(4): 674-688.

Gary E. Mccall, William C. Byrnes, Steven J. Fleck, et al.: Acute and chronic hormonal responses to resistance training designed to promote muscle hypertrophy. Canadian Journal of Applied Physiology 1999; 24(1): 96-107.

石井直方：筋肥大のメカニズムと筋力トレーニングの接点. 日本臨床スポーツ医学会誌 2003; 11(3): 406-413.

石井直方：筋血流制限とトレーニング. 体育の科学 2003; 53: 564-568.

阿岸祐幸：全身水浴と水中運動時の代謝・内分泌機能. 日本生気象学会雑誌 1982; 19(3): 82

桜庭景植：膝関節に対する運動療法・筋力トレーニングの up to date-血流制限下筋力訓練を中心に-. リハビリテーション医学 2010; 47(5): 276-282.

河野洋志，近藤照彦，中根亮，他：水中での血流制限トレーニングにおける循環動態および血漿成長ホルモンレベルへの影響．東京医療学院大学紀要 2016； 5： 64-69.

河野洋志，近藤照彦，中根亮，他：頸下浸水での血流制限トレーニングにおける循環動態および血漿成長ホルモンレベルへの影響．東京医療学院大学紀要 2018； 7： 11-16.

中島敏明：加圧トレーニングと心臓リハビリテーション．心臓リハビリテーション 2007； 12 (2)： 217-226.

経済産業省：size-JPN 2004-2006 調査結果 別紙 57 項目平均値データ．
https://warp.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/286890/www.meti.go.jp/press/20071001007/004_bessi.pdf(最終アクセス日 2020/09/26)

井上浩一，佐藤義明，石井直方：加圧筋力トレーニング法のリハビリテーションへの応用．日本臨床スポーツ医学会誌 2002； 10(3)： 395-403.

黄勇，三村寛一，鉄口宗弘，他：加圧トレーニングにおける血中成長ホルモンへの影響．大阪教育大学紀要 2011； 59(2)： 219-227.

須藤明治，角田直也，田口信教，他：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か．デサントスポーツ科学 2001； 22： 193-195.

広瀬健，中島敏明，森田敏宏，他：心臓リハビリテーションにおける筋力増強-その効果と意義：加圧筋力トレーニング．リハビリテーション医学 2004； 1(10)： 668-672.

山田茂，大橋文，木崎恵梨子：運動による骨格筋の肥大機構の文献的研究．実践女子大学生生活科学部紀要 2012； 49： 191-201.

[第4章]

池田正春，南里宏樹，姫野悦郎：運動と健康：運動の高血圧への効果を中心に．産業医科大学雑誌 1993；15（3）：227-236.

小野寺昇：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.

Korz, R., Fischer, F. and Behn, C.: Renin Angiotensin-System bei simulierter Hypervolämie durch Immersion. Klin. Wschr. 1969; 23: 1263-1268.

Epstein, M., Pins, D. S., Sancho, J. and Haber, E.: Suppression of plasma renin and plasma aldosterone during water immersion in normal man. J. Clin. Endocrinol. Metab. 1975; 41: 618-625.

菅井芳郎，白倉卓夫：微温長時間による成長ホルモンの反応．医学と生物学 1984；108：149-152.

阿岸祐幸，井出肇，浅沼義英，藤屋秀一，近藤光：全身水浴による温度刺激と内分泌反応．日生气誌 1987；24：55.

大柿哲朗，堀田昇，金谷庄藏，藤島和孝，清水富弘，正野知基：3種類の水温度での低強度長時間水泳に対するホルモンおよび代謝応答．体育学研究 1995；40（2）：80-88.

石井直方：筋血流制限とトレーニング．体育の科学 2003；53：564-568.

阿岸祐幸：全身水浴と水中運動時の代謝・内分泌機能．日本生気象学会雑誌 1982；19(3)：82

桜庭景植：膝関節に対する運動療法・筋力トレーニングの up to date-血流制限下筋力訓練を中心に-。リハビリテーション医学 2010； 47(5)： 276-282.

厚生労働省：平成 29 年国民健康・栄養調査報告。2018. <https://www.mhlw.go.jp/content/000451758.pdf> (2021 年 12 月 24 日閲覧)

American College of Sports Medicine: American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. Med Sci Sports Exerc. 2009; 41(3): 687-708. 前田浩和, 荒川規矩男：高血圧と運動指導。臨床スポーツ医学 1997； 14(8)： 835-840.

渡辺英児, 竹島伸生, 長ヶ原誠, 山田忠樹, 猪俣公宏：高齢者を対象とした 12 週間にわたる水中運動による心理的・身体的効果：量的・質的アプローチを用いた多面的分析。体育学研究 2001； 46 353-364.

Whelton S. P., Chin A., Xin X., He J.: Effect of aerobic exercise on blood pressure: a meta-analysis of randomized, controlled trials. Ann. Intern. Med. 2002; 136(7): 493-503.

Haskell W. L., Lee I. M., Pate R. R., et al.: Physical activity and public health: updated recommendation for adults from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. Med. Sci. Sports Exerc. 2007; 39(8): 1423-1434.