３カ月間の有酸素トレーニングが高齢者の動脈スティフネスおよび体力に及ぼす影響

松井　健　　巽　樹理
斎藤　辰哉　　小野寺　昇
倉藤　利早　　馬込　卓弥
松山　博明　　辰本　頼弘

追手門学院大学 スポーツ研究センター 紀要 第５号 別刷

論　文

３カ月間の有酸素トレーニングが高齢者の動脈スティフネスおよび体力に及ぼす影響

松井　健
追手門学院大学
巽　樹理
追手門学院大学
斎藤辰哉
国立スポーツ科学センター
小野寺昇
川崎医療福祉大学
倉藤利早
香川大学
馬込卓弥
追手門学院大学
大阪大学
松山博明
追手門学院大学
辰本頼弘
追手門学院大学

Effects of a 3-month aerobic training program on the arterial stiffness and physical fitness in the elderly

Takeshi MATSUI
Otemon Gakuin University
Juri TATSUMI
Otemon Gakuin University
Tatsuya SAITO
Japan Institute of Sports Sciences
Sho ONODEA
Kawasaki University of Medical Welfare
Risa KURATO
Kagawa University
Takuya MAGOME
Otemon Gakuin University
Osaka University
Hiroaki MATSUYAMA
Otemon Gakuin University
Yoshihiro TATSUMOTO
Otemon Gakuin University

Abstract

This study aimed to investigate the effects of aerobic exercise training on central arterial stiffness (baPWV value) and physical fitness in the elderly. The training participants were divided into a land exercise group (LEG) and a water exercise group (WEG). Exercise sessions were conducted twice a week for 3 months. The duration of each session was 45 minutes. With respect to the central arterial stiffness, significant changes were not observed in the mean baPWV values before and after training in either group. A significant negative correlation ($p<0.05$) was observed between the degree of change in the baPWV value and number of training days for the WEG subjects with a baPWV value ≧ 1,500 cm/sec before training. In contrast, the LEG subjects did not show a correlation between the degree of change in the baPWV value and number of training days. The systolic blood pressure in the brachial artery in the supine position during baPWV measurement tended to decrease after training; a significant decrease ($p<0.05$) was particularly noted in the LEG. The level of physical fitness noted before training was generally maintained after 3 months of training; however, a significant decrease was observed in the 6-minute walking performance ($p<0.05$), which may be attributed to the summer heat. Monitoring of appropriate training intensity is important for improving the endurance capacity. Our findings suggest that

※松井　健（追手門学院大学）
巽　樹理（追手門学院大学）
斎藤辰哉（国立スポーツ科学センター）
小野寺昇（川崎医療福祉大学）
倉藤利早（香川大学）
馬込卓弥（追手門学院大学・大阪大学）
松山博明（追手門学院大学）
辰本頼弘（追手門学院大学）

low-to-moderate-intensity 3-month aerobic training plays a minor role in improving the physical fitness of the elderly; however, the exercise may be sufficient stimulation for the vascular adaptation. In particular, the study results indicate that water exercise training is more effective and that the benefits of this training for the elderly with high arterial stiffness depend on the number of training days (training volume).

キーワード：有酸素トレーニング , 動脈スティフネス , 体力 , 高齢者
Keywords：aerobic training, arterial stiffness, physical fitness, elderly

Ⅰ．緒　言

本邦における高齢化は、今後 30 年間でさらに進展することが予想されている [1]。65 歳以上人口の占める割合は、2017 年時点で 27.7% であるが、2050 年には、約 10%増えて 38%に達すると予想されている。こうした超高齢社会においては、高齢者の介護状態や生活習慣病を防ぎ、健康度を維持・増進させる方策が重要となる。その一つとして、高齢者の運動やスポーツ活動は有用であり、多くの自治体や地域において、実践の場や機会が提供されている [2,3]。特に介護予防教室 [4] や運動教室 [5]、もしくはやサークル [6,7] といった形式で、集団で行う運動は、そのプログラムによる効果にとどまらず、個人の健康運動習慣への動機付けや、日々の生活における生きがいをもたらす効果もあり、今後もニーズが高まっていくと考えられる。

高齢者の運動やスポーツ活動がもたらす身体的影響を確認する指標として、大動脈のスティフネス（硬度）が、近年、注目されている。動脈のスティフネスは、加齢や生活習慣病との関わりが深く、過度な上昇は心臓血管系疾患のリスクを高めることが知られている [8]。一方、日常生活での運動やスポーツを含む身体活動トレーニングは、加齢に伴う動脈スティフネスの上昇を抑制 [9] することや中等度の有酸素運動が、運動後の動脈スティフネスにおいて一時的な低下をもたらすことが報告されている [10,11]。また、長年にわたる習慣的なスポーツ実践による低下効果も報告されている [12]。

本研究では、高齢者を対象に、上記のような集団で行う有酸素運動の場を設定し、そのトレーニングの影響を、中心大動脈のスティフネスおよび体力の変化とともに明らかにすることを目的とした。また、運動中の循環器系応答に水の物理的特性（特に水圧）が強く影響すると考えられる水中運動と、一般的な陸上運動との比較についても行うこととした。

Ⅱ．方　法

A. 対象者

自立した日常生活を送り、運動プログラムを実施する会場まで自宅から移動可能な高齢者 51 名を対象とした。本研究では、水中運動と陸上運動の 2 つの運動プログラムを用い、対象者の希望によって、各運動グループに分けた（図 1）。水中運動を選択したグループ（Water Exercise Group: 以下 WEG）は、23 名（うち男性 10 名）であった。また、陸上運動を選択したグループ（Land Exercise Group: 以下 LEG）は 28 名（うち男性 4 名）であった。対象者の年齢と身体特性を表 1 に示す。

対象者には、事前に口頭および文書にて実験の内容や



図１　トレーニングプログラムの風景

表１　対象者の年齢および身体特性

	年齢（歳）	身長（cm）	体重（kg）	体脂肪（%）
WEG n=23	70.7 ± 3.4	158.6 ± 7.9	60.3 ± 8.6	30.6 ± 5.3
LEG n=28	72.7 ± 4.7	154.9 ± 6.6	54.2 ± 6.3	32.3 ± 2.9

平均値±標準偏差

目的、測定等によって生じる可能性のある心身への苦痛、不快感等を説明し、書面にて研究参加への同意を得た。本研究は、追手門学院大学研究倫理委員会の承認を得て実施した。

B. トレーニング

1）トレーニング頻度と参加日数（回数）

2017 年 5 月 12 日から 8 月 11 日までの 3 ヶ月間とし、各グループとも週に 2 日（2 回）のプログラム参加を基本とした。WEG は、全 27 日、LEG は全 28 日のトレーニング日数であった。

2）トレーニング強度

各グループともインストラクター等によって示された動作を手本としながら、体調や環境に応じた任意の強度で運動を行うよう指示した。なお、各回の運動強度は、主観的な 5 段階の強度とし、各対象者が運動後に記録した。きつい、ややきつい、普通、やや楽、楽の 5 段階とした（表 2）。

表２　対象者のトレーニング日数および主観的運動強度

	トレーニング日数（日）	主観的運動強度平均値	主観的運動強度（5段階 各強度が示された、一人あたり平均回数の平均値）				
			きつい 5	ややきつい 4	普通 3	やや楽 2	楽 1
WEG n=23	21.1 ± 5.0	2.9 ± 0.6	0.0 ± 0.0	2.5 ± 3.1	16.0 ± 6.8	1.0 ± 1.7	1.6 ± 4.8
LEG n=28	* 24.1 ± 3.0	3.0 ± 0.8	* 0.3 ± 0.5	* 6.5 ± 6.4	* 11.0 ± 7.0	2.3 ± 3.0	2.7 ± 5.5

＊：WEG VS LEG, p< 0.05

平均値±標準偏差

3）エクササイズプログラム

各グループとも、1 回（1 日）約 45 分の運動とした。WEG は、アクアティックダンスと水中歩行を中心とした運動を、また、LEG は、エアロビックダンスと各種フィットネス運動を中心に行った。45 分間の中で、各 5 分程度の軽いウォーミングアップやクーリングダウンの運動を行った。

なお、WEG においては、週 2 日のうち、1 日は自主トレーニングとし、毎月更新される運動メニューにしたがって自主的に行うものとした。この運動メニューは、水中ウォーキングを中心とした、概ね 8 種類の移動動作で構成されており、各動作で 50 m を 2 回程度、合計約 800 m の移動距離を基本とした。

4）トレーニング場所

WEG は、茨木市の市民プール（31℃の温水、25m、水深 1.0 ～ 1.25m）を利用してトレーニングを行い、LEG は、追手門学院大学の体育館（一般的な木材床板、空調設備なし）にて行った。

C. 測　定

1）測定時期

トレーニング前は、2017 年 4 月下旬～ 5 月上旬の間に、またトレーニング後は、8 月 16 日～ 19 日の間に、各測定を実施した。

2）脈波伝播速度

血圧脈波検査装置（form BP-203RPE Ⅲ , オムロンコーリン社）を用いて、トレーニング前後に血圧脈波の測定を行った。上腕動脈（brachial）と足首（ankle）の動脈、2 点間の距離と脈波の時間差から計測する brachial-ankle PWV（以下 baPWV と略す）を脈波伝播速度の指標とした。

測定に際し、対象者は、測定室に到着後、5 分以上の

座位安静を保った。その後、ベッド上での仰向け姿勢にて両上腕、両下腿遠位部、計４カ所にカフ（腕帯）を装着した。対象者には測定の概要を説明し、４カ所同時にカフの締め付けが始まること、締め付けに耐えられない時には計測を中止する旨を伝えた。また、測定中は 動いたり会話したりできないことなども口頭で説明した。計測に際しては、両手首から導出した心電図の波形が安定してから開始した。なお、計測後にデータを確認し、上腕もしくは足首の血圧における左右差が観察された場合には、確認のため、カフの装着を点検し、再測定を行った。測定後に baPWV は左右それぞれの測定値として示されるが、本研究では、左右の平均値を指標として用いた。

3）体力

スポーツ庁の新体力テストの要項[13]に基づいて、握力、上体起こし、長座体前屈、10m 障害物歩行、開眼片足立ち、６分間歩行の６項目を測定した。

4）形態

体力測定に並行して、身長、体重、体脂肪率（両手グリップによるインピーダンス法）を測定した。

5）統計処理

数値は、全て平均値±標準偏差値で示した。グループ間およびトレーニング前後の各指標の平均値比較を Student の t 検定によって行った。

Ⅲ．結　果

表１に対象者の年齢および身体特性（身長、体重、体脂肪率）を示した。WEG は LEG に比べて男性が多いため、体格が大きい傾向にあったが、両グループ間の各指標について有意な差は認められなかった。

表２に各グループのトレーニング日数と主観的運動強度を示した。日数については、WEG で平均 21.1 日（参加率：78.3%）、LEG で平均 24.1 日（参加率：86.1%）であった。LEG が WEG に比べて有意に多い参加日数を示した（$p<0.05$）が、参加率においては差がみられなかった。強度は、最も高い「きつい」を５ポイントとし、最も強度が低い「楽」まで１ポイント刻みで点数化した。各強度で、得られた回数とポイント数の積を求め、その総和をトレーニング回数で除した値を主観的運動強度の平均値とした。WEG で平均 2.9、LEG で平均 3.0 であり、差はみられなかった。しかし、各強度が選択された回数を比較すると、「きつい」と「ややきつい」は LEG が、「普通」は WEG が有意に多い回数を示した（$p<0.05$）。

表３に対象者の baPWV 測定時に計測した血圧値（仰臥位）を示した。トレーニング後に低い値を示す傾向にあり、特に LEG の収縮期血圧においては有意な低下が確認された（$p<0.05$）。

表３　対象者のトレーニング前後の血圧

	収縮期血圧 (mmHg) トレーニング前	トレーニング後	拡張期血圧 (mmHg) トレーニング前	トレーニング後
WEG n=23	144.9 ± 21.4	137.2 ± 21.3	82.8 ± 13.9	78.2 ± 13.5
LEG n=28	139.1 ± 14.8 *	130.5 ± 15.3	79.3 ± 10.0	76.3 ± 9.9

平均値±標準偏差

＊：収縮期血圧トレーニング前 VS 後, $p< 0.05$

図２にトレーニング前の baPWV 値とトレーニング前から後への変化量の関係を示した。塗りつぶしたエリアは、トレーニング前の baPWV 値が 1,500cm/sec 以上で，かつ絶対量の変化が 100 以上ある者のプロットエリアを示す。WEG では、12 名（52%）、LEG では、14 名（50%）であった。その中で、トレーニング後に値が減少した（大動脈スティフネスが低下した）者は、WEG で６名（26%）、LEG で６名（21%）であった。

WEG および LEG とも、トレーニング前後の baPWV 平均値において有意な差は見られなかった（WEG: 前 1,822.0 ± 556.1cm/sec・後 1,840.1 ± 533.8cm/sec、LEG: 前 1,804.5 ± 361.8cm/sec・ 後 1,841.9 ± 338.6cm/sec）。図２の各グラフの中央付近に位置する各グループの平均値プロットがこの傾向を反映しており、同様なプロット位置を示している。

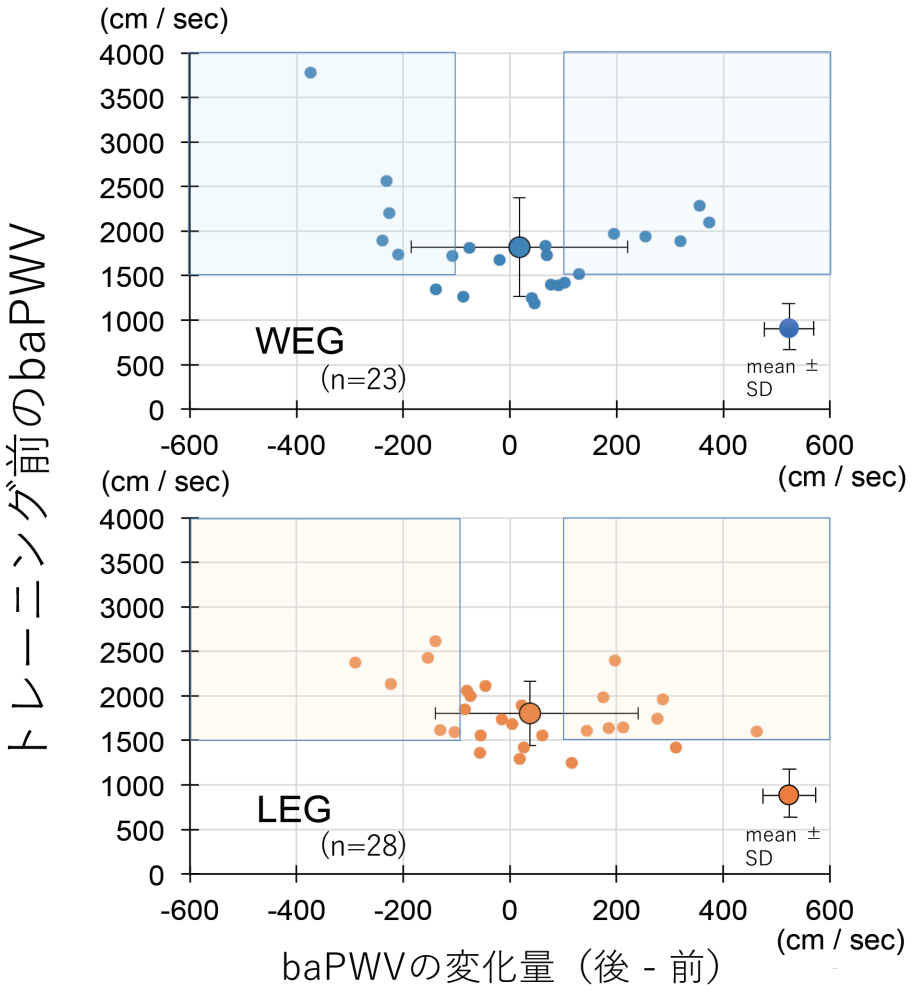
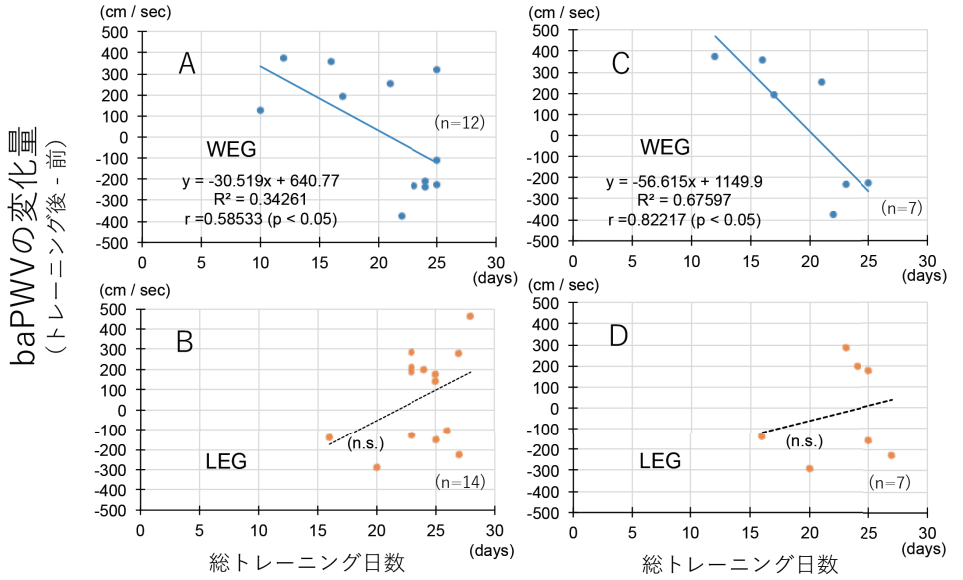


図２　トレーニング前の baPWV とトレーニング前後の baPWV 変化量との関係
WEG：Water exercise group　LEG：Land exercise group
※塗りつぶしたエリア：トレーニング前の baPWV 値が 1500(cm/sec) 以上で , かつ絶対量の変化が 100 以上ある者

図３は、図２で示したプロットリアの対象者について、トレーニング日数との関連で baPWV 値を示した図である。WEG においては、図３の A および B に示すように、baPWV 値の変化量とトレーニング日数との間に有意な負の相関関係が認められた（$p<0.05$）。トレーニング前の baPWV 値を 1,500cm/sec 以上の者とした場合には、$r=0.5853$ の相関係数が得られ（図 3-A）、さらに 1,900cm/sec 以上に限定した場合には $r=0.8222$ となり（図 3-C）、より強い相関関係が示された。一方、LEG においては、これらの有意な相関関係が示されなかった。

表４には、３ヶ月間のトレーニング前後の体力測定の結果を示した。握力、上体起こし、長座体前屈、開眼片足立ち、10m 障害物歩行においては、トレーニング前後および両グループの差は見られなかった。測定値比較で、有意差が確認されたのは、６分間歩行のみであり（$p<0.05$）、LEG においてトレーニング後の記録が平均で約 28m 低下した（平均 604.3m → 576.4m）。各項目の測定値から算出した体力得点（1 種目 10 点満点）の比較では、WEG の 10m 障害物歩行、両グループの６分間歩行において、それぞれトレーニング前後で有意な差が認められた（$p<0.05$）。具体的には、トレーニング後の得点が 10m 障害物歩行では向上し、両グループの６分間歩行では低下した。また、10m 障害物歩行については、４月のトレーニング前において WEG が LEG よりも 0.9 秒速く、体力得点の有意な群間差が見られた（$p<0.05$）。しかしトレーニング後には、差がなくなった。



＜グラフ A・B＞
トレーニング前のbaPWV値が**1500**(cm/sec)以上, かつ絶対量の変化が100以上ある者

＜グラフ C・D＞
トレーニング前のbaPWV値が**1900**(cm/sec)以上で, かつ絶対量の変化が100以上ある者

図３　トレーニング前後の baPWV 変化量と総トレーニング日数の関係

WEG：Water exercise group　LEG：Land exercise group
※ WEG は , 1500 以上 , 1900 以上の両区分において有意な相関関係を示した（グラフ A と C）.
一方 , LEG においては , 有意な相関関係が見られなかった（グラフ B と D）.

表４　トレーニング前後の体力測定値比較

	WEG (n=23) LEG (n=28)	トレーニング前 4月	トレーニング後 8月
握力	WEG	30.6 ± 8.9	29.9 ±9.0
（kg）	LEG	26.5 ± 5.8	26.3 ± 6.3
体力得点	WEG	6.5 ± 1.7	6.2 ± 1.9
	LEG	6.6 ± 1.6	6.3 ± 1.9
上体起こし	WEG	11.7 ± 5.4	11.8 ± 6.3
（回/30秒）	LEG	12.6 ± 4.4	12.1 ± 4.2
体力得点	WEG	6.4 ± 2.4	6.3 ± 2.6
	LEG	7.4 ± 2.2	7.0 ± 2.1
長座体前屈	WEG	34.2 ± 10.3	34.0 ± 9.3
（cm）	LEG	37.9 ± 10.5	38.5 ± 11.3
体力得点	WEG	5.0 ± 2.0	4.9 ± 1.8
	LEG	5.5 ± 2.1	5.8 ± 2.4
開眼片足立ち	WEG	69.5 ± 48.3	56.5 ± 44.0
（秒）	LEG	60.8 ± 43.6	74.0 ± 45.1
体力得点	WEG	7.4 ± 2.8	7.0 ± 2.8
	LEG	7.6 ± 2.0	8.0 ± 2.3
10m障害物歩行	WEG	7.0 ± 1.1	6.7 ± 1.1
（秒）	LEG	6.8 ± 1.2	6.7 ± 1.2
体力得点	WEG	6.3 ± 1.2 ⟷*	6.8 ± 1.4
	LEG	7.2 ± 1.3]*	7.2 ± 1.3
6分間歩行	WEG	605.3 ± 50.3	584.5 ± 56.8
（m）	LEG	604.3 ± 45.4 ⟷*	576.4 ± 47.6
体力得点	WEG	7.2 ± 1.2 ⟷*	6.5 ± 1.1
	LEG	7.4 ± 1.1 ⟷*	6.6 ± 1.2
体力テスト合計得点	WEG	38.8 ± 6.4	37.8 ±6. 8
[max 60点]	LEG	41.3 ± 7.9	40.9 ± 7.4

WEG：Water exercise group　LEG：Land exercise group　平均値±標準偏差
⟷：トレーニング前後の比較,　]：同時期でのグループ間比較　＊：$p < 0.05$

Ⅳ．考　察

A. トレーニングと動脈スティフネス

動脈スティフネスの計測は、心血管疾患発症の予測因子として有用であることが確認されており[8]、特に中心大動脈（弾性動脈）のスティフネスは、日常の血圧記録と同様に、高齢者が心臓血管系の健康度を意識する上でも重要な指標となり得る。本研究で用いた血圧脈波検査装置は、上腕と足首にカフを巻き、非侵襲的に短時間に血圧脈波（baPWV）を計測できるため、高齢者の測定に適していると考える。

図２に示すように、トレーニング前の baPWV 値には、WEG において突出した値を示す者がいたが、両グループとも概ね 1,200 ～ 2,600cm/sec の範囲であった。トレーニング前の baPWV レベルとトレーニング後の変化量との関係において、一定の傾向は確認できず、100cm/sec 以上の変化を示した者においても増加と減少の両方がみられた。本研究では週に２回のトレーニングを行うこと以外には、生活上の特別な規制や指示は行わなかったため、食事などの他の生活習慣による影響が含まれた可能性がある。３ヶ月間のトレーニングによって、値が減少した者は WEG で 43.5%（10 ／ 23 名）、LEG で 46.4%（13 ／ 28 名）であった。特に、100cm/sec 以上の低下が見られた者は、WEG で 30.4%（7 ／ 23 名）、LEG で 21.4%（6 ／ 28 名）であり、WEG の方が多い傾向にあった。

血圧脈波検査装置において設定されている年齢別の基準値を各対象者に当てはめると、その平均値が WEG で約 1,470cm/sec、LEG が約 1,500cm/sec であったため、1,500cm/sec を一つのカットオフ値として設定した。また、各グループの実際の平均値に近似する 1,900cm/sec を二つ目のカットオフ値として設定した。図３では、対象者のデータをこれらの基準を用いて抽出・分類し、1,500cm/sec 以上（A および B）、および 1,900cm/sec 以上（C および D）のデータのみをグラフ化した。その結果、WEG におけるトレーニング日数と baPWV の変化量の間に有意な負の相関関係が認められた（$p<0.05$，図３の A および C 参照）。このことについては、主に水中運動の方が水の物理的特性によって循環器機能への良好な刺激をもたらし、動脈スティフネスを改善するトレーニング効果が得やすくなっていたと考えられる。３ヶ月で概ね 25 回の水中運動トレーニングは、高齢者において推奨されるべきトレーニングであると推察された。また、LEG においては参加回数が多い者でも、プラスとマイナスの両方の変化を示していたため、有意な関連につながらなかった。この要因については不明であるが、日常生活活動や食事調査などのより詳細な分析を今後行っていく必要があると思われる。

エクササイズトレーニングが動脈スティフネスに及ぼす影響について、システマティックレビューを行った Li ら[14] の報告によれば、有酸素系トレーニングによって、頸動脈と大腿動脈間で計測する carotid-femoral PWV（cfPWV：中心動脈の PWV）が有意に低下することが示されている。主なトレーニング条件は、概ね１回 30 ～ 45 分、最大酸素摂取量の 50 ～ 90%もしくは最高心拍数の 50 ～ 80%強度で、週に 2、3 回、8 ～ 16 週間の範囲に設定されているとしている。健康な中高年者（32 ～ 59 歳：女性）を対象とした Yoshizawa ら[15] の研究によれば、週２回、12 週間の中等度（最大酸素摂取量の 60-70% 強度）の有酸素トレーニングによって、cfPWV 動脈スティフネスが 6.7%低下することが確かめられている。また、Kobayashi ら[16] は、より年齢層が高い健康な中高年者（平均年齢 65 歳）を対象に、有酸素トレーニングによる baPWV への影響を調べた。運動時間を 15 分間と 30 分間、運動強度を低強度（年齢推定最高心拍数の 25%）と中等度（同 50%）として組み合わせて４グループを設定し、週３回･8 週間のトレーニングを行った。各グループの比較を行ったところ、いずれのグループにおいても有意な動脈スティフネス（baPWV）の低下（平均約 14%）がみられたとしている（約 1540cm/sec から約 1330cm/sec への低下）。

本研究の週２回、約 12 週間のトレーニング頻度と期間は、Yoshizawa ら[15] と同様であった。また、各自の生理学的な運動強度の把握は行っていないが、運動後の主観的強度が「普通」あるいは「ややきつい」と答える者が多かったことから（表２参照）、概ね Kobayashi ら[16] の研究と同様、低強度から中等度であったと考えられる。しかし本研究では有意な中心動脈のスティフネスの改善がみられなかった。その理由としては、Yoshizawa ら[15] と比較して、運動強度が低かった点、Kobayashi ら[16] と比較して週あたりの運動頻度が低かった点、両者と比較してより対象者の平均年齢が高かった点などが考えられる。

一方、Ferrier ら[17] は、平均 64 歳の高血圧患者（stageI isolated systolic hypertension：収縮期 >150mmHg and 拡張期 <90mmHg）を対象に、65%強度・40 分間の運動

を設定し、週３回・８週間のトレーニングを行った。同一対象者においてトレーニングと非トレーニング（セデンタリー）の両条件を設定し、それらの条件間で比較が行われた。その結果、Ferrier ら[17] は、高血圧症の患者では中心動脈のスティフネスは、短期トレーニングでは変化しにくいと結論づけている。本研究の対象者の収縮期血圧（表３参照）は、彼らの被験者のレベル（154mmHg）よりも低く、Kobayashi ら[16] と同様なレベルであったが、平均年齢が両研究に比べて約 10 歳高い。このことがベースの PWV 値を引き上げ、Ferrier ら[17] の結果と同様、トレーニングによる影響を小さくしたと考えられる。図２に示す平均値プロットから、本研究の対象者は、概ね心血管疾患発症リスクが高まる 1800cm/sec 付近であり、中等度レベルの心血管疾患発症リスクを有していると推察できる（baPWV の中等度リスクのカットオフ値：>1,400cm/sec）[18]。こうした初期値のレベルが高齢者の動脈スティフネスにおけるトレーナビリティに影響し、顕著な増加と低下の両方をもたらすことで、平均値の有意な低下が抑制されることが示唆された。

B. 一過性の運動と動脈スティフネス

トレーニング効果は、一回一回の運動の影響の積み重ねとしてもたらされるが、一過性の運動においても動脈スティフネスが変化することが確認されている。Heffernan ら[10] は、cfPWV（前述）と fdPWV（femoral-dorsalis pedis PWV：大腿動脈と足の甲間で計測する末梢動脈の PWV）を測定し、有酸素運動（酸素摂取量ピーク値の 65％に相当する強度で 30 分間の自転車運動）の回復時に、運動前に比べて両指標が有意に低下することを報告している。

野上ら[11] は、同様に一過性の有酸素運動を用いて、若年者を対象に運動後の動脈スティフネスを測定した。予測最大酸素摂取量の 50% 強度で 15 分間の中等度自転車運動による影響を調べ、陸上と水中の条件比較も行っている。運動後１時間以内のデータにおいて、陸上運動では PWV（大動脈および大腿動脈）がそれぞれ安静時のベースライン値に比べて有意に低下すること、水中運動（30℃水温）ではいずれの PWV にも有意な低下がみられなかったことを報告している。その主な要因として、陸上運動では、体温上昇が引き起こされ、血管拡張による収縮期および拡張期の血圧低下が生じ、結果的に PWV の低下につながったこと、逆に水中運動では体温低下がみられ、血圧の低下や PWV の低下につながらなかったことが考察されている。本研究の対象者の年齢に近い被験者（平均 66 歳）において、水温約 30℃条件で一過性の水中歩行の影響をみた Ngomane ら[19] の研究は、野上ら[11] と同様に、大動脈スティフネスは変化しないことを示している。しかし収縮期血圧については運動前に比べて一過性の運動後に有意に低下（約 10mmHg）することを示している。

これらの先行研究から、中等度の有酸素運動トレーニングにおいては、毎回の運動後に一時的な動脈スティフネスの低下が生じること、運動の環境（水中、陸上）や年齢によって毎回の応答に差があることが推察された。また、毎回の運動で繰り返される循環器系への刺激は、運動後の循環器系応答の回復過程によい影響を与えることが示唆されている。

本研究で行ったトレーニングも WEG と LEG の両グループにおいて、血圧が低下する傾向が示され、特に LEG においては有意な低下が示された（$p<0.05$）。また、WEG においては、図３に示すように、トレーニング参加回数が多い者ほど baPWV の低下量が大きいことが明らかとなった。本研究では、各回のデータを検討していないが、毎回の運動で繰り返される循環器系への刺激がトレーニング効果として、トレーニング時の血圧や baPWV に影響を与えたと考えられる。

C. 体力

本研究では、文部科学省の新体力テストの要領[13] に基づき、高齢者用の体力測定項目、６項目を採用した。本研究の対象者は女性が多く、男女に分けて平均値を求めることが難しいため、体力測定値を男女混合で平均化した（表４参照）。本研究の測定結果と、「平成 30 年度体力・運動能力調査結果の概要及び報告書」[20] における全国平均値を比較するため、本研究対象者の平均年齢に該当する 70 ～ 74 歳の年齢区分の全国データを男女混合で平均化した。求めた全国平均値は、握力 30.9kg、上体起こし 11.1 回、長座体前屈 37.7cm、開眼片足立ち 76.2 秒、10m 障害物歩行 7.1 秒、６分間歩行 590.6m であった。これらを本研究の対象者の平均値と比較すると、握力は WEG が同等、LEG が低い傾向に、上体起こしは、WEG が同等、LEG が高い傾向に、長座体前屈は WEG が低く、LEG が同等の傾向にあった。また、開眼片足立ちは、いずれのグループも全国平均を下回ったが、トレー

ニング前はWEGの方が高く、トレーニング後はLEGが高くなり、逆転した。原因は不明であるが、トレーニング環境への慣れが影響したものと考えられる。10ｍ障害物歩行は、トレーニング前のLEGはWEGに比べて0.2秒速い傾向にあり、体力得点で有意な差がみられた（$p<0.05$）。一方、WEGはトレーニング後にトレーニング前よりも0.3秒速くなり、体力得点で有意な向上がみられた（$p<0.05$）。このことから、WEGにおいては開眼片足立ちによる静止バランスよりも10ｍ障害物歩行による移動バランスへの効果の方が大きいことが示唆された。また、この種目では両グループとも全国平均よりも速い傾向にあった。6分間歩行では、トレーニング前には、両グループとも全国平均を上回っていたが、トレーニング後には、両グループとも下回った。LEGにおいては、トレーニング前に比べて後において有意な低下がみられた（$p<0.05$）。また、この種目の体力得点も同様に有意に低下した（$p<0.05$）。このように持久的体力の低下がみられたことについては、体力測定を８月の暑熱環境下*で実施したことが影響したものと推察される。

＊茨木市に隣接する枚方市の気象庁気象データでは、体力測定を実施した4日間の測定時間帯の平均気温は、8時台の25.9℃から11時台の30.3℃の範囲であった。
気象庁：https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php?prec_no=40&block_no=47646

D. 集団的なエクササイズプログラム

高齢者の運動やスポーツは、様々な効果が期待される一方、集団で行うエクササイズプログラムでは、インストラクターが提示する動作を参加者が真似て行うものの、運動強度が厳密に設定されているわけではない。つまり、参加者個人が強度を自己調節しながら無理なく動作を行っているものと考えられる。そのため本研究においても、強度の設定は厳密には設定せず、参加者に委ねた。毎回の運動後の主観的運動強度の記録から推定すると、概ね、低強度から中強度であったと考えられる。本研究では陸上運動（LEG）と水中運動（WEG）ともに、6分間歩行の記録低下がみられたが、暑熱環境の影響を上回って明確な持久的効果を得るためには、若干の強度アップを考える必要があるかもしれない。そのためには、近年、市販されている腕時計タイプの心拍計や身体活動量計を装着して毎回のトレーニング強度をモニタリングすることが今後のエクササイズプログラムの課題となるであろう。

本研究は、地域において高齢者の身体活動を促進しようとする集団戦略と捉えることができる。対象者は、日常的に地域等でボランティア活動をしている者が多く、自力で移動してトレーニング会場に通うことが基本となっていたため、体力的には自立生活が余裕を持ってできるレベルであったと考えられる。一方、測定項目の一つである血圧値から判断すると、収縮期血圧が「正常高値（130 − 139 mmHg）」から「Ⅰ度高血圧（140-159mmHg）」の範囲にあり、血圧が高めであったといえる。また、血圧脈波（PWV）についても、心血管疾患発症リスクが高まる1800cm/sec付近の者が多かった。こうした循環器系に係る健康不安を抱えるため、対象者は健康への関心が高く、トレーニングへの動機付けが高かったと考えられる。

甲斐[2]は地域における身体活動促進の集団戦略において、暮らし向きにゆとりがある集団の方が、そうでない集団に比べて運動習慣者の割合が高く、ベースラインですでに格差が20%ほどあることを指摘している。本研究では、週２回３ヶ月間のトレーニングを実施したが、その中で全体平均８割前後の参加率が維持されていたことは、前述の動機付けの高さに加えて、甲斐[2]の報告のように、暮らし向きのゆとりが背景にあったものと推察される。

本研究では特に設定をしなかったが、高齢者の場合、メインの運動パートを遂行するだけでなく、前後の空き時間に余裕を持たせ、参加者同士の交流を進める取り組みを行うことが、心理的側面からも効果的であると考える。心と体をバランス良く保つための介入に向けたプログラムの工夫が今後の課題である。

Ⅴ．まとめ

本研究では、高齢者が集団で行う有酸素運動トレーニングの影響を、中心大動脈のスティフネス(baPWV値)および体力の変化から明らかにすることを目的とした。トレーニング参加者は陸上で行うグループ（LEG）と水中で行うグループ(WEG)に分け、週２回、３ヶ月間行った。各回の運動時間は45分間とした。中心大動脈のスティフネスにおいては、トレーニング前後での各グループの平均値において有意な変化はみられなかった。しかし、WEGの対象者でトレーニング前のbaPWV値が1,500cm/sec以上の者においては、baPWV値の変化量とトレーニング日数との間に有意な負の相関関係が認められた（$p<0.05$）。一方、LEGには同様な傾向が示されな

かった。baPWV 測定時の上腕血圧（仰臥位）においては、トレーニング後に収縮期血圧が低下する傾向にあり、特に LEG においては、有意な低下が示された ($p<0.05$)。体力測定値については、概ねトレーニング前のレベルが３ヶ月後にも維持されていたが、６分間歩行のパフォーマンスにおいては、有意な低下がみられた（$p<0.05$）。その要因としては、夏の暑熱環境の影響が考えられる。持久力向上のためには、適切なトレーニング強度のモニタリングが重要となるであろう。これらの結果から、低強度から中強度で行う高齢者の３ヶ月間の有酸素トレーニングは、体力向上への影響は少ないものの、血管系の適応という点では十分な刺激となっている可能性が示唆された。特に、水中運動のトレーニングは、大動脈のスティフネスが高い者ほど、トレーニング量に応じた効果が得られることが明らかとなった。

謝辞：　本研究は JSPS 科研費 JP16K01745 の助成を受けて実施しました。また、本研究にご協力をいただきました茨木市スポーツ推進課の皆様、茨木市老人クラブ連合会の皆様、ならびにシンコースポーツ（株）の関係者の皆様に感謝いたします。本研究にご賛同くださり、参加いただきました地域高齢者の皆様に敬意と感謝の意を表します。

＜参考文献＞

1）内閣府　高齢化の現状と将来像　平成 30 年版高齢社会白書全体版
https://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2018/html/zenbun/s1_1_1.html
（2020 年 2 月参照）

2）甲斐 裕子（2018），地域における健康づくり集団戦略の実践とその評価 :―身体活動の促進を目指して―. 日本健康教育学会誌 26（1），54-58.

3）齋藤義信 , 田島敬之 , 柴 知里 , 小熊祐子（2019），身体活動促進のためのポピュレーションアプローチ：ふじさわプラス・テンの取り組み . 日本健康教育学会誌 27（1），71-81.

4）堀川 俊一（2015）, 住民主体の介護予防活動：いき いき百歳体操の経験から（特集 地域包括ケアシステムとリハビリテーション）. 総合リハビリテーション 43（9），825-829.

5）元吉 明 , 明崎 禎輝 , 津野 良一 , 濱窪 隆 , 福島 美鈴 , 谷岡 博人 , 野村 卓生 , 佐藤 厚（2010），地域高齢者の運動行動を促す運動プログラムの考案：安芸の元気体操の効果
理学療法科学 25（5），791-795

6）佐藤文音 , 神藤隆志 , 藤井啓介 , 辻 大士 , 北濃成樹 , 堀田和司 , 大藏倫博（2017），高齢ボランティアが運営する運動サークルへの参加が地域在住女性高齢者の身体機能に与える影響―自治体主催の専門家による運動教室修了後の検討―, 日本プライマリ・ケア連合学会誌 , 40（1），9-15.

7）辻本宏美 , 山田和子 , 森岡郁晴（2017），運動サークルに参加する高齢女性の特徴および健康状態と生活機能の変化 , 日本衛生学雑誌 , 72（1），66-76.

8）Laurent S, Cockcroft J, Van Bortel L, Boutouyrie P, Giannattasio C, Hayoz D, Pannier B, Vlachopoulos C, Wilkinson I, Struijker-Boudier H（2006），Expert consensus document on arterial stiffness: methodological issues and clinical applications. Eur Heart J., 27, 2588-2605.

9）Kim HK, Hwang CL, Yoo JK, Hwang MH, Handberg EM, Petersen JW, Nichols WW, Sofianos S, Christou DD（2017），All-Extremity Exercise Training Improves Arterial Stiffness in Older Adults. Med Sci Sports Exerc.49（7），1404-1411.

10）Heffernan K S, Collier S R, Kelly E E, Jae S Y, Fernhall B（2007），Arterial Stiffness and Baroreflex Sensitivity Following Bouts of Aerobic and Resistance Exercise.Int J Sports Med, 28（3），197-203.

11）野上順子 , 斉藤陽子 , 谷村祐子 , 大槻毅 , 前田清司 , 鰺坂隆一（2011），一過性の水中運動が動脈スティ

フネスに及ぼす影響 － 陸上運動との差異 －．体力科学 ,60（3）, 269-277.

12）Shibata S, Fujimoto N, Hastings JL, Carrick-Ranson G, Bhella PS, Hearon CM Jr, Levine BD（2018）, The effect of lifelong exercise frequency on arterial stiffness. J Physiol. 596（14）, 2783-2795.

13）文部科学省「新体力テスト実施要項（65 歳～ 79 歳対象）」
https://www.mext.go.jp/sports/content/1408001_4.pdf（2020 年 2 月参照）

14）Li Y, Hanssen H, Cordes M, Rossmeissl A, Endes S, Schmidt-Trucksäss A（2014）, Aerobic, resistance and combined exercise training on arterial stiffness in normotensive and hypertensive adults: A review. Eur J Sport Sci. 15（5）, 443-57.

15）Yoshizawa M, Maeda S, Miyaki A, Misono M, Saito Y, Tanabe K, Kuno S, Ajisaka R（2009）, Effect of 12 weeks of moderate-intensity resistance training on arterial stiffness: a randomised controlled trial in women aged 32-59 years. Br J Sports Med. 43（8）, 615-618.

16）Kobayashi R, Kasahara Y, Ikeo T, Asaki K, Sato K, Matsui T, Iwanuma S, Ohashi N, Hashiguchi T（2020）, Effects of different intensities and durations of aerobic exercise training on arterial stiffness. J Phys Ther Sci. 32（2）, 104-109.

17）Ferrier KE, Waddell TK, Gatzka CD, Cameron JD, Dart AM, Kingwell BA（2001）, Aerobic exercise training does not modify large-artery compliance in isolated systolic hypertension. Hypertension, 38（2）, 222-226.

18）循環器病の診断と治療に関するガイドライン（2011-2012 年度合同研究班報告）
「ダイジェスト版」血管機能の非侵襲的評価法に関するガイドライン
Guidelines for non-invasive vascular function test（JCS 2013）
http://www.j-circ.or.jp/guideline/pdf/JCS2013_yamashina_d.pdf（2020 年 2 月参照）

19）Ngomane AY, Fernandes B, Guimarães GV, Ciolac EG（2019）, Hypotensive Effect of Heated Water-based Exercise in Older Individuals with Hypertension. Int J Sports Med. 40（4）, 283-291.

20）スポーツ庁「平成 30 年度体力・運動能力調査結果の概要及び報告書」
https://www.mext.go.jp/sports/b_menu/toukei/chousa04/tairyoku/kekka/k_detail/1421920.htm
（2020 年 3 月参照）