

博士学位論文

健常な高齢者における  
有酸素運動とレジスタンス運動による複合トレーニングの  
順序性に関する研究

2018 年度

同志社大学大学院  
スポーツ健康科学研究科 スポーツ健康科学専攻

塩津 陽子

指導教員 柳田 昌彦 教授

## 【目次】

第1章 序論	1
1-1 研究の背景	1
1-2 研究の目的	4
第2章 文献研究	5
2-1 動脈の構造および機能に関する研究	5
2-1-1 中心動脈の構造およびウインドケッセル機能	5
2-1-2 動脈の加齢と伸展性	6
2-1-3 動脈機能の非侵襲的評価方法	7
2-2 トレーニングが動脈機能に及ぼす影響に関する研究	9
2-2-1 有酸素運動が動脈機能に及ぼす影響	9
2-2-2 レジスタンストレーニングが動脈機能に及ぼす影響	10
2-2-3 有酸素運動とレジスタンス運動の複合トレーニングが動脈機能に及ぼす影響	11

2-3 高齢者における有酸素運動とレジスタンス運動による複合トレーニングがメタボリック・ロコモティブシンドロームの危険因子に及ぼす影響	12
---	----

第3章 地域在住高齢者を対象とした有酸素運動とレジスタンス運動による複合トレーニングの順序性が、体力や形態、動脈スティフネスに及ぼす影響

—高齢男性を対象に中～高強度のレジスタンス運動を用いての検討—(実験1)

	14
3-1 目的	14
3-2 方法	15
3-3 結果	19
3-4 考察	28
3-5 小括	31

第4章 地域在住高齢者を対象とした有酸素運動とレジスタンス運動による複合トレーニングの順序性が、体力や形態、動脈スティフネスに及ぼす影響

—高齢女性を対象に低強度または中強度のレジスタンス運動を用いての検討—

(実験2) 33

4-1 目的	33
4-2 方法	35
4-3 結果	39
4-4 考察	48
4-5 小括	50
第5章 総合考察	52
5-1 本研究の目的と成果	52
5-2 今後の課題	54
第6章 結論	56
謝辞	58
参考文献	59

## 第1章 序論

### 1-1 研究の背景

現在わが国の平均寿命は、男性が 80.98 年、女性が 87.14 年となり、過去最高を更新している<sup>1)</sup>。それに伴い、医療費、介護費も年々増加の傾向にあり、平成 27 年度の国民医療費は前年度から 3.8%増加して 42 兆 3,644 億円となり、65 歳以上が全体の 59.3%を占めている<sup>2)</sup>。したがって、超高齢社会を迎えたわが国において、単に長寿であるというだけでなく、日常生活が制限されることなく自立して過ごすことができる期間を長くする、すなわち、健康寿命の延伸が保健政策における最重要課題である。

厚生労働省が発表した平成 28 年国民生活基礎調査の概況<sup>3)</sup>において、介護が必要になった主な原因を要介護度別にみると、要支援者では「関節疾患」が 17.2%で最も多く、次いで「高齢による衰弱」が 16.6%、「骨折・転倒」が 15.2%となっている。また、要介護者では「認知症」が 24.8%、次いで「脳血管疾患」が 18.4%、「高齢による衰弱」が 12.1%となっている。健康寿命を阻害する主な原因は、生活習慣病、加齢に伴う呼吸循環器系機能や骨格筋機能の低下であり、それらの予防や改善のためには、日常生活の中に運動を取り入れていくことが重要である。2006 年に厚生労働省は国民に対して、「1 に運動、2 に食事、しっかり禁煙、最後に薬」をスローガンとして運動の重要性を示し、運動習慣の定着化を普及・啓発している<sup>4)</sup>。

従来、健康づくり運動としては、ウォーキング、ジョギングなどの有酸素運動が中心であった。有酸素運動は、心血管系疾患の危険因子に対する改善効果があり<sup>5)</sup>、動脈ステイフネス（硬化）を低下させることが報告されている<sup>6,7)</sup>。最近では、認知症の予防・改善<sup>8)</sup>にも効果が認められている。しかし、現代の超高齢社会において、サルコペニアや骨粗鬆症、転倒・骨折を防ぎ、要支援・要介護を予防するためには、有酸素運動だけでは不十分であるという報告がある<sup>9)</sup>。

一方、レジスタンス運動は筋量・筋力を増加させるだけでなく、加齢に伴って低下する骨密度の維持・増加も期待できるため<sup>10-12)</sup>、近年、中高齢者のトレーニングとして積極的に取り入れられるようになってきた。したがって、高齢者の健康づくり運動には、有酸素運動とレジスタンス運動の二つの運動が必要不可欠であり、この異なる二つの運動をどのように組み合わせるのが安全で効果的かを検討する必要がある。

近年、有酸素運動とレジスタンス運動の複合トレーニングについて、数多くの研究が行われている<sup>13-20)</sup>。Cuffら<sup>16)</sup>は、2型糖尿病の閉経後女性28名を対象に複合トレーニングを実施させたところ、インスリン感受性が改善し筋力も向上したと報告している。また、糖代謝や心血管系疾患の危険因子の改善が見られたという報告<sup>17)</sup>もある。Sillanpääら<sup>18)</sup>は、中高齢女性を対象に複合トレーニングを実施した結果、体組成や筋力の向上に効果的であったこと、Sanalら<sup>19)</sup>は、有酸素運動と比較した結果、複合トレーニングにおいて除脂肪体重の増加が認められたことを報告している。これらの研究結果から、有酸素運動とレジスタンス運動を組み合わせた複合トレーニングが、体重や体脂肪の減少、心血管系疾患の危険因子の改善等に有効であることが示唆されている。しかし、多くの研究は、この二つの運動を連続して実施する場合、どちらの運動を先に実施すべきか否か、すなわち、運動を行う順序（以下順序性と称す）については検討していない。

有酸素運動とレジスタンス運動の順序性に関する一過性の研究において、Gotoら<sup>21)</sup>は健康な20代の男性10名を対象として、長時間の有酸素運動がその後に行うレジスタンス運動後の成長ホルモン分泌を抑制することを報告している。また、レジスタンス運動がその後に行う有酸素運動中の脂肪分解を亢進させることも示唆している<sup>22)</sup>。

Kawanoら<sup>23)</sup>は、健康な男性を対象に高強度のレジスタンス運動に有酸素運動を実施する複合トレーニングを行い、有酸素運動を後から行うことが、レジスタンス運動単独によって引き起こされる頸動脈スティフネスの増加を抑制する可能性があることを示唆している。さらに、Okamotoら<sup>24)</sup>は、33名の健康な若年男女を対象に8週間の複合トレーニング

グを行った結果、レジスタンス運動後の有酸素運動は動脈スティフネスを低下させることを報告している。高齢男性を対象に複合トレーニングの順序性を検討した研究として、下肢の筋力が有酸素運動の前にレジスタンス運動を実施した場合の方がより大きく向上したという報告がある<sup>25)</sup>。これらの先行研究から、有酸素運動とレジスタンス運動の順序性については、ホルモン分泌やエネルギー代謝、動脈スティフネス、筋力などの指標において異なる影響を引き起こす可能性が示唆されているが、まだ十分な証明はなされておらず、生理学的メカニズムの解明も緒に就いたばかりである。特に高齢者を対象に、運動の順序性が体力や形態、血中成分、動脈スティフネスなどを指標としてメタボリック・ロコモティブ症候群の危険因子に及ぼす影響について検討した研究は全く行われていない。

そこで、修士課程の研究<sup>26)</sup>では、日常生活に支障のない地域在住高齢男女31名を対象に、10週間の有酸素運動とレジスタンス運動の複合トレーニングの順序性が、メタボリック・ロコモティブ症候群の危険因子に及ぼす影響について検討した。その結果、体力や形態、血中成分において運動の順序性による差異は認められなかったが、動脈スティフネスにおいてレジスタンス運動を先に実施して有酸素運動を後に行う方が有意に低下した。トレーニングの効果には、運動の強度や時間、頻度、期間などが影響するが、複合トレーニングを実施する場合は、さらに運動の順序性を考慮する必要性が示唆された。

この研究ではいくつかの課題が挙げられた。第1の課題として、運動の順序性によって動脈スティフネスに差異が引き起こされた生理学的メカニズムである。動脈スティフネス低下のメカニズムには、血管内皮機能の低下が関与している可能性が考えられる。動脈の伸展性やスティフネスは、血管の弾性機能に影響を及ぼす様々な因子と関連があり、特に血管内皮由来弛緩因子である一酸化窒素(NO)や<sup>27)</sup>、血管内皮由来収縮因子であるエンドセリン-1(ET-1)が<sup>28)</sup>、血管内皮細胞の収縮・弛緩両面に関わっていることが明らかにされている。修士課程の研究では、脈波伝播速度(pulse wave velocity: PWV)の測定による動脈スティフネスの評価だけであったので、血管内皮機能の評価指標の一つである血流依

存性血管拡張反応 (flow-mediated dilation: FMD) も併せて検討する必要がある。第 2 に、被験者を十分に確保できなかったために男女混合で実施した結果、筋力において運動の順序性に差異は認められなかった。Cadore ら<sup>25)</sup>は、高齢男性を対象に複合トレーニングの順序性について研究した結果、先にレジスタンス運動を実施し、後から有酸素運動を行った場合に下肢の筋力の大きな向上が認められ、順序性による差異があったことを報告している。したがって、男女を明確に分けて、筋力においても順序性による差異が認められるか否かを検討する必要がある。第 3 に、先行研究<sup>23,24)</sup>と比較するために複合トレーニングにおけるレジスタンス運動を高強度で検討したが、高齢者に対する安全性を考慮すると、心血管系への負担が少ない軽強度のレジスタンス運動による複合トレーニングが望まれるのではないかと考えられる。

## 1-2 研究の目的

実験 1 では、性別を明確に区分することに主眼を置いて、健常な高齢男性を対象に、有酸素運動と中～高強度のレジスタンス運動との複合トレーニングにおける順序性が、体力や形態、血管機能（動脈スティフネス及び血管内皮機能）に及ぼす影響について検討することを目的とした。実験 2 では、トレーニング強度に着目し、健常な高齢女性を対象に、有酸素運動と低強度あるいは中等度強度のレジスタンス運動との複合トレーニングにおける順序性が、体力や形態、動脈スティフネスに及ぼす影響と、強度の違いによる差異について検討することを目的とした。



## 第2章 文献研究

### 2-1 動脈の構造および機能に関する研究

#### 2-1-1 中心動脈の構造およびウインドケッセル機能

大動脈や頸動脈などの中心動脈には、多くの弾性線維が含まれていて高い伸展性を有する。そのため、血液を運ぶ単なる導管ではなく、心収縮時には末梢への衝撃を和らげる緩衝役として働き、心拡張時には末梢へ血液を送る第二のポンプとして働く機能を持っている。心臓に接合する動脈は弾性動脈、筋性動脈、細動脈と枝分かれし、毛細血管を通して各臓器へと血液を供給している。動脈は内膜・中膜・外膜の三層で構成されている。内膜は内皮細胞からなる内皮とその下にある少量の結合組織からなり、中膜には平滑筋とエラスチンやコラーゲンなどの弾性線維が含まれ、外膜は結合組織が主成分である。毛細血管に平滑筋はなく、一層の内皮細胞から構成されているため、動脈に比べ血管抵抗が低く脆弱である。胸部大動脈や頸動脈などの中心動脈は、心臓の拍動と同調し、心収縮期には動脈壁が受動的に伸展し、左室一回拍出量の50%程度の血液を動脈内に蓄えることができる。また、心拡張期には伸展した動脈壁がその弾性により元の内径に戻る。これはウインドケッセル機能と呼ばれ、生理学的に心臓からの断続的な血液駆出によって生じる血流や血圧の変動（拍動性成分）を緩衝するという重要な役割を担っている。また、過度の収縮期血圧の上昇を抑制するとともに、左室後負荷（心臓の収縮期に心筋に加わる負荷量）の軽減を図るという機能を持っているほか、心拡張期に貯留した血液を末梢へ送るという第二のポンプの働きにより、心臓冠動脈血流量の維持と拡張期血圧の低下の抑制という重要な2つの機能を持っている<sup>29)</sup>。その結果、末梢では拍動変動が少なく、定常流でかつ低圧で血流は存在する。血管のスティフネスの増加は、血管のコンプライアンスを減弱し、ウインドケッセル機能の低下をもたらす<sup>30)</sup>。この機能の低下は、収縮期の血圧を上昇させ、また、

収縮期に貯留される血液量を減少するため、拡張期には血流量の減少とともに血圧の低下が生じ、結果的に脈圧が増加することになる。

## 2-1-2 動脈の加齢と伸展性

ヒトは加齢に伴い血管の構造変化を示すようになる。中心動脈中膜の結合組織には加齢変化がとくに顕著に認められ<sup>31)</sup>、また、加齢に伴い中心動脈内径は拡大するが<sup>32)</sup>、一般に壁の厚さの増加がそれを上回るので、壁の厚さと内径の比は増大する。弾性線維は成長期以後に減少し、断裂、走行の乱れ、配列の直線化などが進行する。弾性線維はエラスチンというタンパクで構成されているが、エラスチンの再生は起こり難く、しかも、エラスチンにはカルシウムや脂質沈着などの変性が進行するので、動脈壁の伸展性は低下する<sup>33)</sup>。代わって、膠原線維を構成するコラーゲンが増加し<sup>34)</sup>、減少した弾性線維の代わりに膠原線維が血管の変形に対応すれば、動脈壁の伸展性はますます低下すると考えられる。

動脈の伸展性は血管壁の器質的な変化ばかりでなく、機能的な因子にも影響される。動脈内皮機能は、ある刺激に対して動脈の内膜に存在する内皮細胞の NO を合成し、中膜にある平滑筋を弛緩させ、結果的に動脈が拡張することで動脈系の恒常性を保っている<sup>35)</sup>。さらに、動脈内皮機能は、血小板および白血球の凝固や平滑筋の増殖に対して抑制的に働くことから<sup>36)</sup>、健全な動脈内皮は動脈硬化を抑制する<sup>37)</sup>。加齢に伴って動脈壁中膜の平滑筋の緊張度が増大すれば、平滑筋に直列につながる膠原線維は引き伸ばされ<sup>38)</sup>、動脈系の伸展性低下は促進される可能性がある。実際に、平滑筋弛緩作用を持つ NO の血管内皮細胞での産生能は加齢に伴って低下し<sup>39)</sup>、また、高齢の高血圧患者では、カテコールアミン受容体のうち、平滑筋の緊張度を低下させる $\beta$ 受容体の感受性は低下する一方で、緊張度を亢進させる $\alpha$ 受容体の感受性が亢進しているという報告もあるので<sup>40)</sup>、高齢者ではこのような機序が動脈系の伸展性に影響する可能性は十分考えられる。

### 2-1-3 動脈機能の非侵襲的評価方法

血管機能の評価するために様々な評価方法が確立され、研究が進められてきた。2013年に日本循環器学会により策定された「血管機能の非侵襲的評価に関するガイドライン」によると<sup>41)</sup>、通常、血管機能は、血管内皮機能と動脈スティフネスを測定することにより評価できる。前者には、血流依存性血管拡張反応 (flow-mediated dilation: FMD)<sup>42)</sup>、RH-PAT (reactive hyperemia peripheral arterial tonometry)<sup>43)</sup>やプレチスモグラフィ<sup>44)</sup>があり、後者には、脈波伝播速度 (pulse wave velocity: PWV)<sup>45)</sup>、心臓足首血管指数 (cardio-ankle vascular index: CAVI)<sup>46)</sup>、足関節上腕血圧 (ankle-brachial index: ABI)<sup>47)</sup> やスティフネスパラメータ  $\beta$  (stiffness parameter  $\beta$ )<sup>48)</sup>などがある。本研究では、動脈スティフネスの評価として PWV (実験 1)、CAVI (実験 2) を、血管内皮機能の評価として FMD を用いた。

#### 脈波伝播速度 (pulse wave velocity: PWV)

心臓からの血液駆出により生じる動脈の脈動が末梢へと伝播する波が脈波であり、これが伝わる速度が PWV である。PWV は、ノーベル生理学賞を受賞した Hill と Bramwell によって 1922 年に報告された手法である<sup>45)</sup>。PWV は、脈動を 2 か所で検出した脈波の立ち上がり時間差と測定部位間距離から算出される指標で、動脈スティフネスを反映すると考えられている<sup>49)</sup>。PWV は動脈壁の硬さおよび厚さに比例し、動脈内径および血液粘度に反比例すると考えられる。血管内径の影響が大きく出るのは、異なる部位で PWV を測定した場合である。動脈は末梢へ進むほど狭小化し、相対的壁厚 (動脈壁厚 / 内径比) が大きくなるため、PWV 高値になる。PWV は離れた 2 点間で動脈波形を記録することができる。頸動脈と大腿動脈の 2 点で脈波を測定し、大動脈の PWV を評価する頸動脈 - 大腿動脈間 PWV (carotid-femoral PWV: cfPWV) は、動脈長 (L) を頸動脈と大腿動脈の脈波の立ち上が

りの時間差 (Tcf) で除して計算する (cfPWV=L/Tcf) 評価方法であり, 欧米を中心に cfPWV が大動脈スティフネス評価のゴールドスタンダードとして認知されている<sup>50)</sup>. 日本国内では四肢に血圧測定カフを装着するのみで測定可能な, 上腕と足首間の PWV (brachial-ankle pulse wave velocity: baPWV) が臨床研究で使用されている.

### 心臓足首血管指数 (cardio-ankle vascular index: CAVI)

CAVI<sup>46)</sup>は, 大動脈起始部から, 下肢, 足首までの動脈全体の弾性を表す指標であり, 特徴は血管弾性を血圧値で補正していることである. CAVI の原理は, 測定時の血圧に依存しないスティフネスパラメータ  $\beta$ <sup>48)</sup>である.

$$\text{スティフネスパラメータ } \beta = \ln(P_s/P_d) / [(D_s - D_d)/D_d]$$

(Ps: 収縮期血圧, Pd: 拡張期血圧, Ds: 収縮期血圧時の血管径, Dd: 拡張期血圧時の血管径, ln: e を底とする自然対数)

スティフネスパラメータ  $\beta$  は局所の動脈スティフネスを示すが, これを長さのある血管に応用したのが CAVI であり, 局所の値を対象血管全体に対して加算平均した値と考えられる. それを可能にしたのは, Bramwell-Hill の式で, 血管径変化は PWV の 2 乗に関係するという原理である<sup>51)</sup>.

$$PWV^2 = (\Delta P / \rho) \cdot (V / \Delta V)$$

( $\Delta P$ : 脈圧, V: 血管容量,  $\Delta V$ : 血管容量の変化,  $\rho$ : 血液密度)

$$CAVI = a[(2\rho / \Delta P) \times \ln(P_s/P_d) \times ha PWV^2] + b$$

(Ps: 収縮期血圧, Pd: 拡張期血圧, PWV: 脈波伝播速度,  $\Delta P$ : Ps-Pd,  $\rho$ : 血液密度)

## 血流依存性血管拡張反応(flow-mediated dilation: FMD)

FMD は上肢の虚血反応性充血後の血管径の変化で血管内皮細胞機能を評価する方法であり、導管血管レベルでの血管内皮機能を反映する<sup>52)</sup>。血管を収縮期血圧よりも高い圧で一定時間駆血した後に開放することによって、血流の増加が短時間のうちに上腕動脈で生じる(反応性充血)。これが血流と内皮の間に生じるずり応力(shear stress)となって血管内皮細胞が刺激され、NOをはじめとするさまざまな血管拡張因子が血管内皮から放出され、血管平滑筋細胞に作用することによって上腕動脈拡張が生じる<sup>53)</sup>。FMDは安静時血管径に対する最大拡張血管径の比率であり、下記の式で表される。

$$\text{FMD(\%)} = \frac{\text{最大拡張血管径} - \text{安静時血管径}}{\text{安静時血管径}} \times 100$$

## 2-2 トレーニングが動脈機能に及ぼす影響に関する研究

### 2-2-1 有酸素運動が動脈機能に及ぼす影響

有酸素運動が全身動脈系あるいは中心動脈の伸展性に影響を及ぼすことは、これまで多くの研究により明らかにされている。加齢に伴い動脈の伸展性は低下し、高血圧や心不全、冠動脈疾患などの心血管系疾患を引き起こす<sup>54-57)</sup>。有酸素運動は動脈の伸展性を向上させ<sup>54,55)</sup>、心血管系疾患の危険因子を改善させる効果があることが報告されている<sup>56-58)</sup>。習慣的な有酸素運動の強度と中心動脈の伸展性に関する研究では、運動強度が中心動脈の伸展性に関与することを示しており、高強度の有酸素運動を継続しているアスリートなどの動脈伸展性は、一般の対象者より大きいことが報告されている<sup>59)</sup>。中高齢者を対象に行った研究において、3か月間の中等度強度の持久性トレーニング介入後に、頸動脈の動脈伸展性が改善されたということが報告されている<sup>7)</sup>。一方、低強度の日常的な運動ではその関連性は認められないという報告がある<sup>60)</sup>。これらの研究から中心動脈伸展性には一定以上の運

動強度が必要と思われる。ACSM (American College of Sports Medicine)のガイドライン<sup>61)</sup>には、心血管系機能の維持・改善には有酸素運動の強度が高いほうが効果的であるとされている。有酸素運動による中心動脈伸展性の改善の機序として、器質的および機能的因子の影響が報告されている。運動による器質的因子の変化が大動脈伸展性に及ぼす影響を検討するため、若いラットに16週間の有酸素運動を行わせた結果、トレーニング後に大動脈伸展性の増大と同時に、動脈壁のエラスチン量の増加、およびカルシウム量の減少が認められたという報告がある<sup>62,63)</sup>。一方、高齢ラットでは、運動群の大動脈伸展性は非運動群に比べて増大したが、有意な差ではなく、動脈壁のエラスチンやコラーゲンの量にも有意差は認められなかった<sup>64)</sup>。機能的な因子については、習慣的な有酸素運動の実施により、若年者においては大動脈脈波伝播速度の有意な低下が生じ<sup>65)</sup>、血中のNO酸化物濃度の有意な上昇とエンドセリン-1の有意な低下<sup>66)</sup>が見られた。また、中高齢女性でも同様に、血中のエンドセリン-1が低下し<sup>67)</sup>、NO酸化物濃度が上昇した<sup>68)</sup>。運動が動脈伸展性規定因子および因子間の相互関係やバランスに及ぼす影響は、年齢や性別、体力などによって様々であり、その結果、動脈伸展性に及ぼす効果も異なるものと考えられている。

### 2-2-2 レジスタンス運動が動脈機能に及ぼす影響

近年、レジスタンス運動は、筋量・筋力を増大させるだけでなく、糖代謝や基礎代謝を向上させることができるため<sup>69)</sup>、ヘルスプロモーションにおいて必要な運動とされている<sup>70)</sup>。しかし、これまでの研究では、高強度のレジスタンス運動は著しい血圧上昇を引き起こすこと<sup>71)</sup>や中心動脈の伸展性を低下させ、動脈スティフネスを増加させることが報告されている<sup>72,73)</sup>。Bertovicら<sup>74)</sup>は、習慣的にレジスタンス運動を行っている若年男性は、一般的な若年男性と比較して全身性の動脈伸展性が低いこと、さらに収縮期血圧が高く拡張期血圧が低いために脈圧が増大することを報告している。Miyachiら<sup>72)</sup>は、16週間の高強度のレジスタンス運動が頸動脈伸展性を低下させることを報告している。また、この縦断

研究では、脱トレーニングによって低下した頸動脈伸展性が介入前に戻ることより、頸動脈伸展性の低下はレジスタンス運動に対する可逆的かつ生理的な適応である可能性も示唆された。レジスタンス運動が動脈伸展性を低下させる報告が数多くある一方で<sup>75-77)</sup>、最近の研究結果は変わらないという報告もある<sup>78-80)</sup>。Miyachi ら<sup>81)</sup>は、高強度のレジスタンス運動の場合や若年者を対象とした場合に動脈スティフネスが増加するのかもしれないと報告している。このように、レジスタンス運動が血管機能に及ぼす影響は、運動の強度や頻度、期間、また、対象者の年齢、血管機能評価方法など多岐にわたっているため、一致した見解は得られていない。いずれにしても動脈伸展性の低下が循環器疾患のリスクであることは事実であり、レジスタンス運動が血管機能に及ぼす影響については、今後さらに検討する必要がある。動脈伸展性を低下させずに筋量・筋力が増加する方法を確立することは重要な課題であり、フィットネスの現場に貴重なエビデンスを提供することができる。

### **2-2-3 有酸素運動とレジスタンス運動の複合トレーニングが動脈機能に及ぼす影響**

近年、有酸素運動とレジスタンス運動の複合トレーニングが動脈機能に及ぼす影響について、いくつかの研究が報告されている<sup>23,24,82,83)</sup>。Figuroa ら<sup>82)</sup>は、閉経後の中高齢女性を対象に12週間の中強度のレジスタンス運動に有酸素運動を複合したトレーニングを行った結果、動脈スティフネスが有意に低下し、血圧も有意に低下したことを報告している。Kawano ら<sup>23)</sup>は、健康な男性を対象として、レジスタンス運動のみと、高強度のレジスタンス運動後に有酸素運動を実施する複合トレーニングとの比較を行った結果、複合トレーニングにおいて頸動脈のコンプライアンスが改善されたことを示し、有酸素運動を後から行うことがレジスタンス運動によって引き起こされる頸動脈のスティフネスの増加を抑制する可能性があることを示唆している。

運動の順序によって効果に差異があるか否かを検討した研究として、Okamoto ら<sup>24)</sup>は、健康な若年男女を対象として8週間の複合トレーニングを行わせた結果、レジスタンス運

動後の有酸素運動が動脈ステイフネスを低下させることを報告している。我々の研究<sup>26)</sup>では、日常生活に支障のない地域在住高齢者を対象に10週間の有酸素運動とレジスタンス運動の複合トレーニングを行わせて、動脈ステイフネスに及ぼす影響について検討した結果、レジスタンス運動の後に有酸素運動を実施した方が動脈ステイフネスを低下させることが明らかになった。有酸素運動は動脈の伸展性を向上させ<sup>5・7,54,55)</sup>、心血管系疾患の危険因子を改善させる効果があることが報告されている<sup>56-59)</sup>。複合トレーニングが血管機能に及ぼす影響を検討した研究は少なく、運動様式や強度、頻度、期間、対象者の年齢、血管機能評価方法などについて、今後さらなる研究が求められる。

### 2-3 高齢者における有酸素運動とレジスタンス運動の複合トレーニングがメタボリック・ロコモティブシンドロームの危険因子に及ぼす影響

メタボリックシンドロームは、高血糖、脂質代謝異常、高血圧など心血管疾患の危険因子が、重積した病態である<sup>84)</sup>。これらは単なる合併ではなく、肥満や運動不足、加齢などを共通の基盤として重積するため、肥満や身体活動量不足などを改善することで、こうした危険因子の全般的な改善が期待できる。一方、ロコモティブシンドロームは、加齢による運動器の障害のため、移動能力が低下をきたして、要介護になる危険性が高い状態をさす<sup>85)</sup>。高齢者の移動能力を障害する疾患は、骨粗鬆症などの骨の脆弱性をきたす病態による骨折や変形性関節疾患、脊椎狭窄症、サルコペニアなどである。したがって、心血管系疾患の危険因子を予防・改善する有酸素運動と筋量・筋力の増加に寄与するレジスタンス運動による複合トレーニングは、メタボリック・ロコモティブシンドロームの危険因子を持った高齢者にとって非常に効果的な運動方法であると考えられている。Sillanpääら<sup>86)</sup>は、高齢男性を対象に週2回の複合トレーニングを12週間実施した結果、最大酸素摂取量において有酸素運動単独と同じくらいの増加が見られたと報告している。Yangら<sup>87)</sup>は、30～60歳の肥満女性を対象に複合トレーニングを12週間実施した結果、総コレステロールや



LDL コレステロール, 中性脂肪, 動脈スティフネスが有意に低下したことを示している.

また Willis ら<sup>88)</sup>は, 過体重または肥満の成人を対象に, 有酸素運動単独, レジスタンス運動単独, 複合トレーニングに分けて体重と体脂肪量, 除脂肪体重を指標として比較検討した結果, レジスタンス運動と複合トレーニングにおいて除脂肪体重が増加し, 有酸素運動と複合トレーニングにおいて体重と体脂肪量の減少が見られた. しかし, 有酸素運動単独の方が体重や体脂肪量の減少は大きかった. このことから, 複合トレーニングは, 体重や体脂肪量の減少と除脂肪体重の増加が期待できることが示唆された. 体力についての研究では, Rejeski ら<sup>89)</sup>が, 2年間の中等強度の複合トレーニングをした結果, 400m 歩行速度やバランス能力, 椅子の立ち上がりなど生活体力が改善したと報告している. また, Binder ら<sup>90)</sup>は, 筋力, 歩行速度, バランス能力が向上し, 身体組成も改善したと報告している. Holviala ら<sup>91)</sup>も, 歩行能力などの生活体力が向上し, 複合トレーニングの有効性を示唆している. 高齢者における複合トレーニングの効果は, 保有する危険因子や疾患などによって異なる可能性が考えられることから, それらに応じたトレーニングプログラムが必要だと考えられる.

### 第3章 地域在住高齢者を対象とした有酸素運動とレジスタンス運動による複合トレーニングの順序性が、体力や形態、血管機能（動脈ステイフネス及び血管内皮機能）に及ぼす影響

#### －高齢男性を対象に中～高強度のレジスタンス運動を用いての検討－（実験1）

##### 3-1 目的

超高齢社会を迎えたわが国において、健康寿命の延伸は保健政策における最重要課題である。高齢者における健康づくり運動としては、心血管疾患の危険因子<sup>5)</sup>を改善させ、動脈ステイフネスの低下<sup>6,7)</sup>に効果が認められている有酸素運動と、筋量・筋力の増加<sup>10,11)</sup>や、骨密度の維持・増加に寄与する<sup>12)</sup>レジスタンス運動が必要不可欠である。近年、有酸素運動とレジスタンス運動の複合トレーニングが、高齢者の生活習慣病・介護予防に効果的であるという研究が数多く報告されている<sup>13-19)</sup>。

我々は、有酸素運動とレジスタンス運動による複合トレーニングの順序性に関する研究において、レジスタンス運動を先に実施して有酸素運動を後に行う方が動脈ステイフネスを低下することを示し、トレーニングの効果は、運動の強度や時間、頻度、期間などが影響するが、複合トレーニングを実施する場合には、さらに運動の順序性を考慮する必要性を示唆した<sup>26)</sup>。しかし、なぜレジスタンス運動を先に行い、後から有酸素運動を実施した場合に動脈ステイフネスが低下したのかという課題が挙げられた。

一般的に、定期的な有酸素運動は高血圧の予防・治療の有効な手段であり、動脈ステイフネスを低下すると報告されている<sup>92)</sup>。一方、高強度のレジスタンス運動は著しい血圧上昇を引き起こすことが報告されている<sup>71)</sup>。また、中心動脈のコンプライアンスを低下させ、動脈ステイフネスを増加させることが報告されている<sup>70,71)</sup>。Okamotoら<sup>24)</sup>は、複合トレーニングの順序性の研究において、レジスタンス運動を先に行い有酸素運動を後から実施した群で、PWVの低下とFMDの増加が認められ、その逆の順序においては変化がなかつ

たことを示した。これは、レジスタンス運動後に有酸素運動を実施することによって、動脈の血管内皮機能が向上したことを示唆している。有酸素運動は血管拡張因子である NO などの産生能を高め、血管内皮機能を改善するという報告がある<sup>93)</sup>。修士課程の研究では、PWV の測定だけで動脈スティフネスを評価したが、血管内皮機能との両面から血管機能を検討する必要がある。また、被験者数が少なかったために男女混合で実施した結果、筋力において運動の順序性による差異が認められなかった。Cadore ら<sup>25)</sup> は、高齢男性を対象に複合トレーニングの順序性を研究した結果、先にレジスタンス運動を実施した方が下肢の筋力向上が大きかったと順序性による差異を報告している。前述の先行研究と比較するために、高齢男性を対象に、筋力において順序性に差異が認められるか否かについての検討も求められる。したがって、実験 1 では、高齢男性を対象に中～高強度のレジスタンス運動による複合トレーニングの順序性が、体力や形態、血管機能（動脈スティフネス及び血管内皮機能）に及ぼす影響について検討することを目的とした。先にレジスタンス運動を実施し、後から有酸素運動を行った方が、動脈スティフネスの低下と血管内皮機能の向上、さらに筋力の大きな増加が見られると仮説を立てた。

## 3-2 方法

### 1) 被験者

被験者は、日常生活に支障のない健常な地域在住高齢男性 45 名（63～83 歳）とした。全ての被験者は、心血管疾患や糖尿病に罹患していない者、医師から運動を禁止されていない者とした。実施にあたり、本研究の目的や方法、参加の撤回や中断は自由意志であること、事故等の発生や対応に万全の配慮をすること、個人情報の管理を徹底することなどを文書と口頭で十分に説明し、協力の承諾が得られた者については同意書に署名をもらった。本研究への参加の同意を得られた後、被験者を無作為に以下の 3 群に分けた：有酸素運動+レジスタンス運動群（AR 群；16 名）、レジスタンス運動+有酸素運動群（RA 群；

16名), トレーニングを実施しない群 (CON 群; 13名). CON 群は月 1 回の実技を伴わない講話のみの健康教室を行なった. 本研究は, 同志社大学「人を対象とする研究」に関する倫理審査委員会の承認を得て行なった (承認番号 15095).

## 2) トレーニング方法

有酸素運動として, 自転車エルゴメータ (Life Fitness 製) を使用し, 60%心拍予備量 (heart rate reserve : HRR) の強度で, ペダル回転数 50~55 回/分となるように条件設定した. 運動中, 被験者に対して主観的運動強度 (RPE) が「ややきつい (12~13)」のレベルを維持するよう指示し, AR 群はレジスタンス運動の前に 20 分間, RA 群はレジスタンス運動の後に 20 分間実施させた.

レジスタンス運動として, 5 種目のウェイトマシン (レッグプレス, レッグカール, チェストプレス, シーテッドロー, ショルダープレス : Life Fitness 製) を使用し, 中~高強度レジスタンス運動群は 70~80%最大挙上重量 (one repetition maximum : 1RM) を 8~12 回, 2~3 セット, (セット間休息 1 分) を実施させた. 被験者には, 息を止めず, 正確なフォームで, 弾みをつけずに, 均等な速さで実施するように指示した.

トレーニング期間に入る前に, トレーニング群は運動器具やトレーニング方法に慣れるための順化期間 (10 日間) を設け, 5 種類のレジスタンス運動をそれぞれ 10~15 回反復できる範囲で 1 セット, 有酸素運動を 10~15 分間実施させた. トレーニングの前後にはウォームアップとクールダウンを実施させた.

トレーニングを実施する日は, 運動前の安静時と運動 10 分後の前後 2 回, 心拍数と収縮期・拡張期血圧をオムロンの自動血圧計を用いて測定した. また, 実施したトレーニング内容は個人記録表に記入させ, 体調や実施状況を管理した.

トレーニングは週 2~3 回の頻度で 10 週間, 専門の指導者の監視下で実施させた.

### 3) 測定項目および方法

全ての測定は、トレーニングの前、トレーニング終了2~3日後の計2回測定した。

#### i) 形態計測

形態として身長、体重、体脂肪率、腹囲を測定した。身長は身長計を用いて0.1cm単位で計測し、体重および体脂肪率は体内脂肪計(TBF-305, タニタ社製)を用いて計測した。体重(kg)を身長(m)の2乗で除すことによりBMIを求めた。腹囲は非伸縮性のメジャーを用いて臍の周りの周囲径を0.1cm単位で計測した。除脂肪体重は「体重(kg)−体重(kg)×体脂肪率(%)」を計算することにより求めた。

#### ii) 体力測定

筋力の指標である「握力」、複合動作能力の指標である「timed up & go test」(以下TUG)、歩行能力の指標である「10m 歩行速度」、柔軟性の指標である「長座体前屈」、静的バランス能力の指標である「開眼片足立ち」、動的バランス能力の指標である「functional reach test」(以下FRT)を測定した。

握力は、デジタル握力計(竹井機器工業社製)を用いて2回測定し、高い方の値を握力値として採用した。

TUGは、椅子に座った状態から合図とともに起立し、3m前方に設置している目標物をできるだけ早く回って再び椅子に着席するまでの時間をストップウォッチで測定した。

10m歩行速度は、ストップウォッチを用いて自分の最大の歩行速度で歩く最大努力歩行を2回行い、速い方の値を採用した。

長座体前屈は、壁に腰、背中、頭を密着させて長座の姿勢をとり、長座体前屈計を用いて腕を伸ばした状態から、腰関節を前屈させ、指先が到達した長さを測定した。膝を曲げたり反動をつけたり、片手を余分に伸ばしたりしないようにして2回測定し、高い方の値

を採用した。

開眼片足立ちは、対象者に開眼で片脚立位をとらせ、挙上する脚は支持する脚に接触せず、自然な状態で浮かせるように指示した。ストップウォッチを用いて 2 回測定し、高い方の値を採用し、上限は 180 秒とした。途中でバランスを崩して支持側下肢が大きく動いた場合はそれまでの時間とした。

FRT は、両足を開いて安定した基本的立位姿勢をとり、左右上肢を肩の高さで手指を伸ばした状態から開始し、できるだけ前方へ上肢を伸ばさせ、手指先端の移動距離を測定した。リーチ測定器を用いて 0.1cm 単位で 2 回測定し、高い方の値を採用した。

### iii) 1 RM 測定

1 RM の測定は、軽い重量から徐々に重い重量へと負荷を増していき、持ち上げることができた最大重量を 1 RM として採用した。5 種類のマシン（レッグプレス、レッグカール、チェストプレス、シーテッドロー、ショルダープレス）を使って、ウォーミングアップの後に、3~5 回繰り返すことができる重さから始め、正確なフォームで一回だけ挙上できる重さを測定した。

### iv) 脈波伝播速度（pulse wave velocity : PWV）および血圧測定

動脈ステイフネスを評価するために、頸動脈-大腿動脈間 PWV（carotid-femoral PWV : cfPWV）<sup>48)</sup>を測定した。PWV は血圧、脈拍の影響を受けるため、ベッドの上に仰向けにさせ、10 分間安静を保った後に、右上腕に血圧の帯（カフ）を巻き、心電図の電極、心音マイクを取り付けた。次に、脈波センサーを右の大腿動脈と頸動脈の 2 か所に取り付け、血圧脈波検査装置（VaSera : フクダ電子社製）を用いて測定した。同時に、血圧測定も行った。なお、被験者には事前に測定の手順を十分に説明した。測定は、介入前とトレーニング終了 2~3 日後の計 2 回実施した。

v) 血流依存性血管拡張反応(flow-mediated dilation: FMD)

FMD<sup>40)</sup>は、内皮機能検査装置 (UNEX-EF, UNEX 社製) を用いて上腕動脈の安静時血管と反応性の血管拡張度を測定することによって測定した。まず、内皮機能検査装置を用いて上腕動脈を長軸にて抽出し、安静時血管径を測定した。安静時血管径を測定し終えた後、前腕部をマンシェットにて 5 分間駆血し、その後開放することによってずり応力を惹起させ、上腕動脈内径の拡張応答を超音波エコー法にて測定した。FMD の算出は、安静時血管径 (mm) に対する最大拡張血管径 (mm) の比率で表される。

vi) 解析方法

本研究で得られたデータは、全て平均値±標準偏差で示した。ベースラインにおける各測定項目の群間比較には、一元配置分散分析を用いた。また、介入前後の群間比較においては、二要因 (群×時間) の反復測定による二元配置分散分析を用い、有意な交互作用が認められた場合には、Tukey 法を用いて事後検定を行った。なお、統計解析には SPSS Statistics ver. 23.0 を用い、危険率 5%未満を有意水準とした。

### 3-3 結果

介入前において、形態計測、体力測定、1RM 測定、脈波伝播速度、血流依存性血管拡張反応の全ての測定値において 3 群間に有意差は認められなかった。

1) トレーニングの参加状況

Figure1 に参加者の 10 週間のフローチャートを示した。45 名の参加者のうち、AR 群 1 名、RA 群 1 名、CON 群 3 名の計 5 名が、旅行や家庭の事情で介入後の測定に参加できなかった。トレーニング内容を原因とした傷害の発生は一切無く、トレーニングを完了した。

## 2) 形態計測

10 週間の介入前後における 3 群の形態計測値の変化を Table 1. に示した. 身長, 体重, BMI, 除脂肪体重, 体脂肪率において, 有意な交互作用は認められなかったが, 腹囲において有意な交互作用が認められた( $F=10.516$ ,  $P=0.001$ ). しかし, 両トレーニング群の間に有意な差は認められなかった. 10 週間のトレーニング介入後, AR 群, RA 群において体脂肪率, 腹囲に有意な減少が認められた( $P < 0.01$ , respectively). CON 群では, 体重( $P < 0.01$ ), 除脂肪体重, 体脂肪率( $P < 0.05$ , respectively)において有意な減少が認められた.

## 3) 体力測定

10 週間の介入前後における 3 群の体力測定値の変化を Table 2 に示した. TUG, 開眼片足立ち, FRT, 長座体前屈において有意な交互作用は認められなかったが, 握力 ( $F=8.632$ ,  $P=0.001$ ), 10m 歩行速度 ( $F=5.064$ ,  $P=0.011$ ) において有意な交互作用が認められた. しかし, 両トレーニング群の間に有意な差は認められなかった. 10 週間のトレーニング介入後, AR 群, RA 群の両トレーニング群において, 握力, 10m 歩行速度, 長座体前屈( $P < 0.01$ , respectively), FRT( $P < 0.05$ )に有意な向上が認められた. CON 群では全ての体力指標に有意な変化は認められなかった.

## 4) 1 RM 測定

10 週間の介入前後における 5 種目の 1 RM 測定値の変化を Figure2 に示した.

レッグプレス ( $F=9.814$ ,  $P=0.001$ ), レッグカール ( $F=26.667$ ,  $P=0.001$ ), チェストプレス ( $F=17.223$ ,  $P=0.001$ ), シーテッドロー ( $F=15.648$ ,  $P=0.001$ ), ショルダープレス ( $F=13.244$ ,  $P=0.001$ ) の全てにおいて有意な交互作用が認められたが, 両トレーニング群の間に有意な差は認められなかった. 10 週間のトレーニング介入後, AR 群, RA 群の両トレーニング群において, レッグプレス, レッグカール, チェストプレス, シーテッドロー,



ショルダープレスの全ての種目で有意な増加が認められた ( $P < 0.01$ , respectively).

#### 5) 脈波伝播速度 (pulse wave velocity : PWV) 測定

10 週間の介入前後における PWV 値の変化を Figure3 に示した。トレーニング介入後、有意な交互作用が認められ ( $F=3.321$ ,  $P=0.047$ )、RA 群において有意な減少 ( $9.0 \pm 1.6 \rightarrow 8.0 \pm 1.6 \text{ m/s}$ ,  $P < 0.05$ ) が認められた。一方、AR 群と CON 群において有意な変化は認められなかった。

#### 6) 血流依存性血管拡張反応(flow-mediated dilation: FMD)

10 週間の介入前後における FMD 値の変化を Figure4 に示した。トレーニング介入後、3 群の間に有意な交互作用は認められなかった。変化量において有意な変化は認められなかったが、RA 群では増加の傾向が見られた。

#### 7) 血圧測定

10 週間の介入前後における血圧(収縮期血圧, 拡張期血圧)値の変化を Table1 に示した。トレーニング介入後、3 群の間に有意な交互作用は認められなかった。RA 群において有意な低下 ( $141.5 \pm 14.2 \rightarrow 135.9 \pm 14.7 \text{ mmHg}$ ,  $83.8 \pm 9.4 \rightarrow 80.3 \pm 10.4$ ,  $P < 0.05$  respectively) が認められた。一方、AR 群と CON 群において有意な変化は認められなかった。

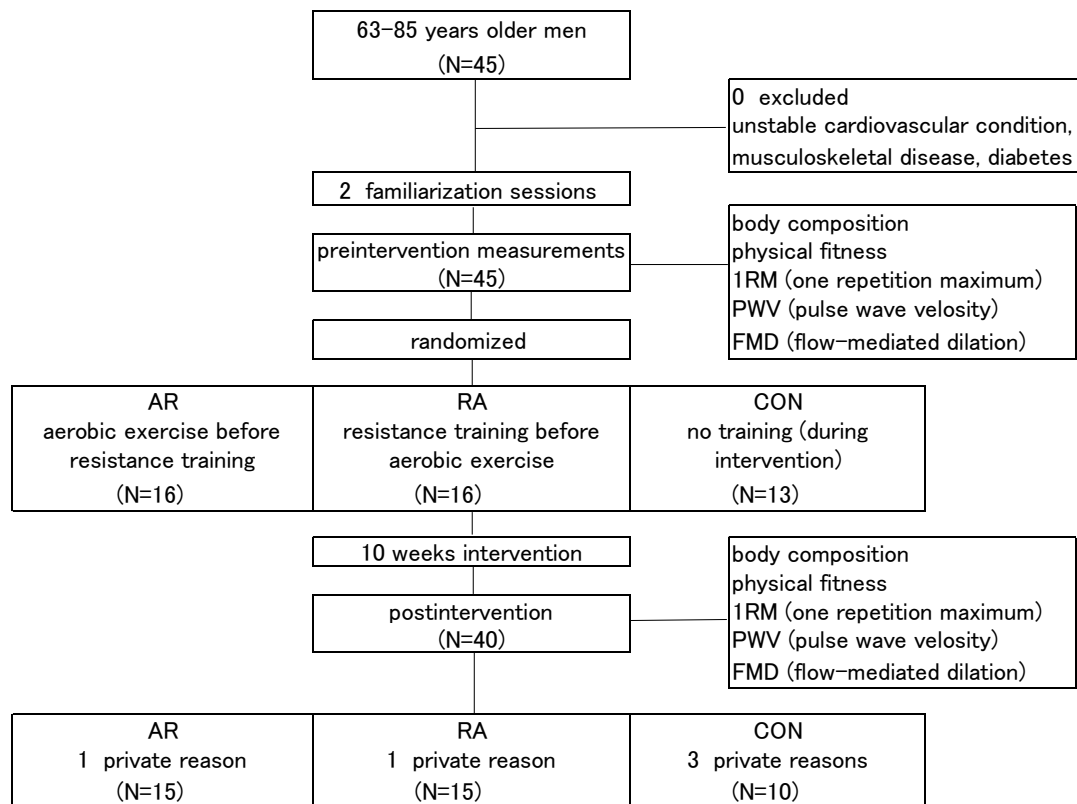


Figure.1 Flow of participants through the study.

Table 1. Changes in characteristics of subjects before and after 10-week intervention

		AR (n=15)	RA (n=15)	CON (n=10)	interaction (group × time)
Age (yrs)		70.4 ± 4.1	69.6 ± 4.6	71.0 ± 4.4	
Height (cm)	Pre	165.6 ± 3.3	165.1 ± 6.3	167.8 ± 7.4	F=1.626
	Post	165.8 ± 3.2	165.5 ± 6.2	168.2 ± 7.4	P=0.210
Body weight (kg)	Pre	64.8 ± 8.4	65.7 ± 6.2	66.7 ± 7.0	F=0.872
	Post	64.4 ± 8.3	64.9 ± 6.1	65.7 ± 7.1*	P=0.426
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	Pre	23.6 ± 3.1	24.1 ± 2.1	23.8 ± 2.5	F=1.573
	Post	23.4 ± 3.1	23.7 ± 2.0	23.3 ± 2.6	P=0.221
Lean body mass (kg)	Pre	50.7 ± 4.3	50.4 ± 3.4	50.8 ± 3.9	F=2.878
	Post	50.9 ± 4.2	50.7 ± 3.3	50.4 ± 3.9*	P=0.069
Body fat (%)	Pre	21.3 ± 4.6	23.0 ± 4.2	23.6 ± 3.2	F=2.652
	Post	20.4 ± 4.7**	21.6 ± 4.3**	23.1 ± 3.5	P=0.084
Waist circumference (cm)	Pre	88.2 ± 9.1	89.4 ± 7.1	89.1 ± 7.3	F=10.516
	Post	86.7 ± 8.7**	87.3 ± 7.1**	89.8 ± 8.0	P=0.001
Brachial systolic BP (mmHg)	Pre	142.0 ± 13.3	141.5 ± 14.2	142.7 ± 15.7	F=1.438
	Post	140.2 ± 13.6	135.9 ± 14.7*	142.7 ± 15.3	P=0.082
Brachial diastolic BP (mmHg)	Pre	82.3 ± 6.2	83.8 ± 9.4	83.3 ± 10.4	F=0.328
	Post	82.5 ± 10.7	80.3 ± 10.4*	85.3 ± 11.1	P=0.075

Data at pre and post are presented as mean ± standard deviation.

\* $P < 0.05$  vs. Pre ; \*\* $P < 0.01$  vs. Pre

AR: aerobic exercise before resistance training, RA: resistance training before aerobic exercise, CON: control, BMI: body mass index, BP: blood pressure

Table 2. Changes in physical fitness before and after 10-week intervention

			AR (n=15)	RA (n=15)	CON (n=10)	interaction (group × time)
Grip strength (kg) (Right)	Pre		35.4 ± 5.5	35.4 ± 4.5	33.9 ± 6.0	F=8.632
	Post		36.5 ± 5.9**	36.5 ± 5.2**	33.4 ± 6.2	P=0.001
Grip strength (kg) (Left)	Pre		34.3 ± 4.7	34.5 ± 5.3	32.3 ± 5.2	F=3.237
	Post		35.6 ± 5.3**	35.3 ± 5.9	32.0 ± 5.3	P=0.051
10m walk (sec)	Pre		4.2 ± 0.6	4.2 ± 0.6	4.0 ± 0.8	F=5.064
	Post		3.7 ± 0.6**	3.6 ± 0.6**	3.8 ± 0.8	P=0.011
Timed up and go (sec)	Pre		4.9 ± 0.9	4.7 ± 0.6	4.6 ± 0.7	F=2.713
	Post		4.7 ± 0.9	4.6 ± 0.5	4.8 ± 0.7	P=0.080
One-leg balance with eyes open (sec)	Pre		73.7 ± 64.9	66.1 ± 66.5	55.8 ± 55.1	F=1.102
	Post		81.9 ± 76.1	54.1 ± 56.1	49.1 ± 50.4	P=0.343
Functional reach (cm)	Pre		29.6 ± 3.6	33.1 ± 4.6	33.1 ± 4.4	F=1.442
	Post		32.1 ± 3.7*	36.6 ± 4.1*	33.7 ± 3.6	P=0.249
Sit and reach (cm)	Pre		24.5 ± 7.1	32.9 ± 9.1	28.7 ± 8.6	F=0.007
	Post		28.8 ± 6.3**	37.2 ± 7.9**	29.7 ± 8.6	P=0.993

Data at pre and post are presented as mean ± standard deviation.

\* $P < 0.05$  vs. Pre ; \*\* $P < 0.01$  vs. Pre

AR: aerobic exercise before resistance training, RA: resistance training before aerobic exercise, CON: control

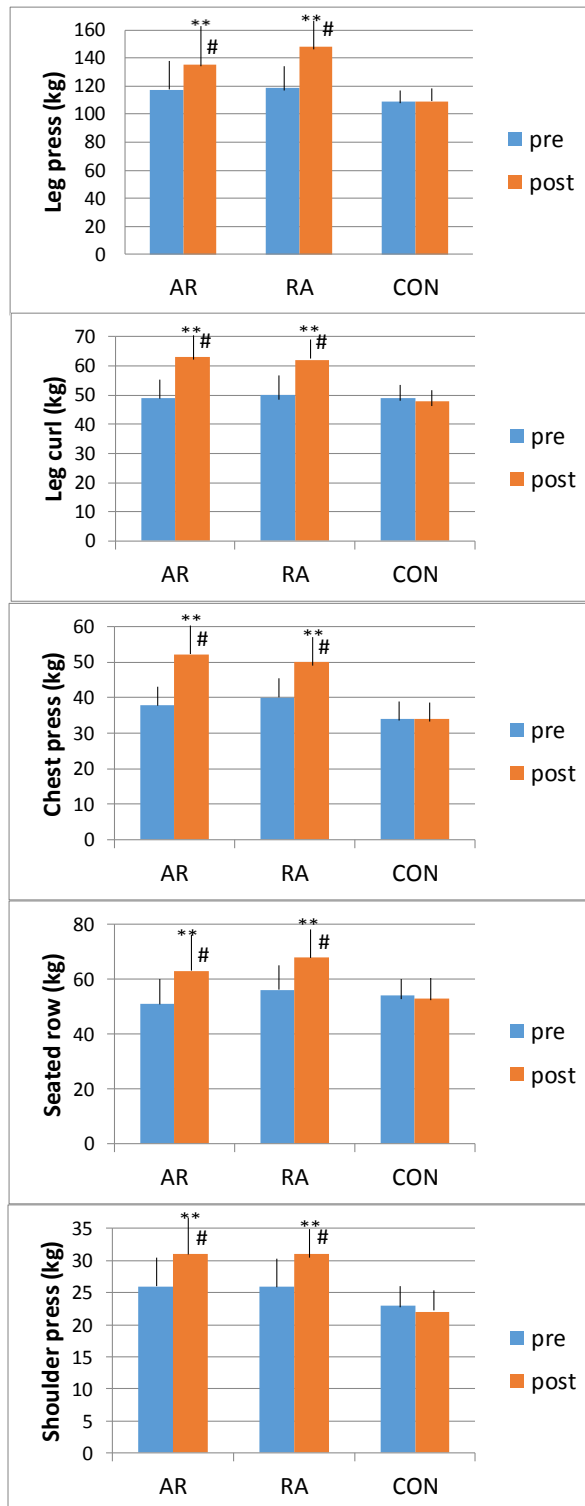


Figure2. Changes in 1RM before and after 10-week intervention  
 Data at pre and post are presented as mean  $\pm$  standard deviation.  
 \* $P < 0.05$  vs. Pre ; \*\* $P < 0.01$  vs. Pre ; # $P < 0.001$  vs. CON  
 AR: aerobic exercise before resistance training, RA: resistance training before aerobic exercise, CON: control

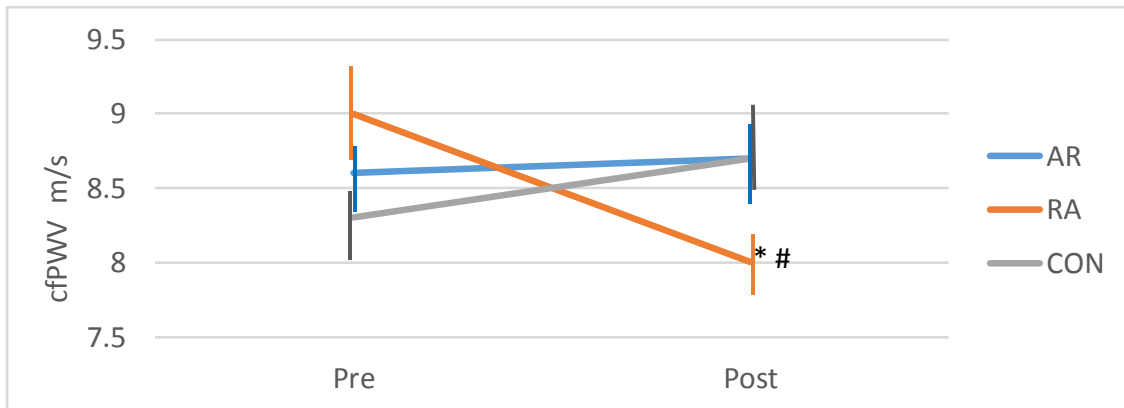


Figure 3. Changes in cfPWV before and after 10-week intervention  
 Data at pre and post are presented as mean  $\pm$  standard deviation.

\* $P < 0.05$  vs. Pre, # $P < 0.05$  vs. AR or CON

AR: aerobic exercise before resistance training, RA: resistance training before aerobic exercise, CON: control, cfPWV: cardio-femoral pulse wave velocity

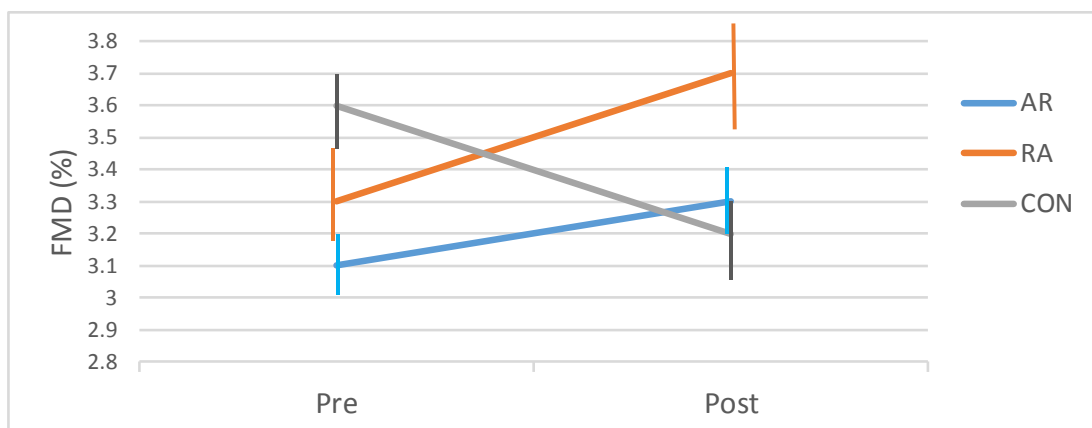


Figure 4. Changes in FMD before and after 10-week intervention  
 Data at pre and post are presented as mean  $\pm$  standard deviation.  
 AR: aerobic exercise before resistance training, RA: resistance training before aerobic exercise, CON: control, FMD: flow-mediated dilation

### 3-4 考察

実験1は、日常生活に支障のない地域在住の高齢男性を対象に、週2~3回、10週間の有酸素運動と中~高強度レジスタンス運動の複合トレーニングにおける順序性が、体力や形態、血管機能（動脈スティフネス及び血管内皮機能）に及ぼす影響について検討した。その結果、両トレーニング群において、形態面の改善（体脂肪率、腹囲）や生活体力の向上（握力、歩行速度、FRT、長座体前屈）、1RMの増加が認められた。動脈スティフネスの指標であるPWVにおいて、RA群ではトレーニング後に有意な低下を示したが、AR群では有意な変化は認められなかった。したがって、先行研究<sup>23,24,26</sup>と同様、高齢男性においても先にレジスタンス運動を行い、その後に有酸素運動を実施する方が、動脈スティフネスを低下させることが示唆された。また、RA群では、血圧の有意な低下や血管内皮機能の指標であるFMDにおいて増加の傾向が見られた。これらの結果より、有酸素運動と中~高強度のレジスタンス運動による複合トレーニングを実施する場合、運動の順序性によって血管機能を改善する可能性が示唆された。

これまで、高強度のレジスタンス運動は中心動脈の伸展性を低下させ、動脈スティフネスを増加させることが数多く報告されている<sup>72-77</sup>。Miyachiら<sup>72</sup>は、16週間の高強度のレジスタンス運動が頸動脈の伸展性を低下させることを示唆している。また、高強度のレジスタンス運動は著しい血圧上昇を引き起こすことが報告されている<sup>71</sup>。高強度レジスタンス運動が交感神経活動を過剰に活性化されることはよく知られており<sup>94</sup>、それにより増大した交感神経活動がアドレナリン性の血管収縮を引き金として動脈壁に作用し、動脈スティフネスを悪化させることが報告されている<sup>95</sup>。これらの報告は、強度の高いレジスタンス運動が血管機能に好ましくない影響を及ぼすことを示唆しているが、本研究の結果より、有酸素運動を後から行う複合トレーニングを実施することによって改善する可能性があることが示唆された。

動脈の伸展性やスティフネスは、動脈の弾性機能に影響を及ぼす様々な因子と関連があ



り、特に、血管内皮由来弛緩因子として NO や<sup>27)</sup>、血管内皮由来収縮因子である ET-1 が<sup>28)</sup>、血管内皮細胞の収縮・弛緩両面に寄与していることが明らかにされている。平滑筋弛緩作用を持つ NO の血管内皮細胞での産生能は加齢に伴って低下する<sup>96)</sup>。一方、血管収縮因子であるアンギオテンシン II (Ang II) の血管内皮での発現は増加し<sup>97)</sup>、ET-1 の血中濃度は増加する<sup>67)</sup>。これらの機能的因子における加齢変化は、個々に、あるいは相互に影響しながら働いて、動脈壁の伸展性に影響を及ぼすと考えられている。加齢に伴う動脈の器質的因子の低下を改善することは難しいが、機能的因子は有酸素運動によって改善されることが報告されており、これまでの多くの研究で明らかにされている<sup>66-68)</sup>。

Maeda ら<sup>64)</sup>は、有酸素運動により血中の NO 酸化濃度の有意な上昇と血管収縮物質である ET-1 の血中濃度の有意な低下が生じたことを報告している。また、中高齢女性でも同様に血中の ET-1 濃度が低下<sup>65)</sup>し、NO 酸化濃度は上昇した<sup>66)</sup>と報告している。Higashi & Yoshizumi<sup>93)</sup>は、有酸素運動は血管拡張因子である NO などの産生能を高め、血管内皮機能を改善する報告している。習慣的な有酸素運動は血圧の上昇を抑制し、この血圧上昇の抑制には、末梢血管抵抗の低下や動脈の伸展性の増大が関与していると考えられている<sup>98,99)</sup>。さらに、Green<sup>100)</sup>は、複合トレーニングの研究において、レジスタンス運動後に有酸素運動を実施した場合、血管内皮由来弛緩物質の NO を介して内皮機能を改善させることを示している。Okamoto ら<sup>24)</sup>は、レジスタンス運動後に有酸素運動を実施した複合トレーニングにおいて、PWV の低下と FMD の増加が認められ、血管機能が改善したと報告している。これは、先に高強度レジスタンス運動を実施することによって、著しい交感神経活動の上昇に伴う血管収縮反応を引き起こし、血管壁に強い圧力を加えた後、引き続き実施する有酸素運動によって血管内皮細胞を刺激し、動脈の内膜に存在する血管内皮由来弛緩物質である NO が合成され、さらに増加した NO は、中膜にある平滑筋を弛緩させ、動脈が拡張することで、動脈系の恒常性を保つ<sup>68)</sup> ように作用したのかもしれない。

実験 1 では、FMD の測定を用いて、複合トレーニングの順序性が血管内皮機能に及ぼす

影響を検討した。結果、RA 群において FMD の値がトレーニング後に増加する傾向にあったが、有意な差は認められなかった。本研究では、高齢男性による 10 週間のトレーニング期間を実施したが、高齢による血管内皮の器質的な変化や機能的な低下が大きい可能性があること、トレーニング期間が若干短かったことが血管内皮機能の有意な向上に至らなかった原因ではないかと考える。したがって、長期間継続する複合トレーニングによる検討が求められる。

1RM の結果より、RA 群、AR 群において、全ての種目にトレーニング後の増加が認められた。しかし、運動の順序性による差異は認められなかった。Cadore ら<sup>25)</sup>は、高齢男性を対象に 12 週間の複合トレーニングによる順序性を検討した結果、下肢筋力の向上において差異が認められたことを報告している。本研究のレジスタンス運動が 5 種目に対して、Cadore らの研究は 9 種目のレジスタンス運動による複合トレーニングであった。また、トレーニング期間は 12 週間で、最後の 11~12 週目は 6~8RM で 40 分間のレジスタンス運動と強度の高い有酸素運動によるトレーニングであった。運動種目の数やトレーニング強度、運動量の差が影響していると考えられる。Schumann ら<sup>101)</sup>は、24 週間の複合トレーニングにおける運動の順序性をホルモン動態と 1RM について検討した。その結果、トレーニング介入前 (0 週目) に実施した後の回復期間中 (48 h) に、有酸素運動を先に実施したトレーニング群では、テストステロンの分泌量が有意に減少しグループ間に差異が見られた。しかし、24 週間のトレーニング後には、ホルモン分泌量と 1RM の増加においてグループ間に有意差はなかった。この結果より、初期段階のホルモン分泌量において順序性による差異が見られたにもかかわらず、長期間にわたるトレーニングによって適応し、グループ間に差異が無くなったと考えられる。

有酸素運動とレジスタンス運動の複合トレーニングは、レジスタンス運動単独と比較して、筋力・パワーの向上効果が「阻害効果 (interference effect)」によって弱くなるという報告がある<sup>102-104)</sup>。しかし近年は、運動量や強度、運動順序によって差はないという報告も

見られる<sup>105,106)</sup>。本研究ではレジスタンス運動のみの群を設定しなかったが、有酸素運動と中～高強度レジスタンス運動の複合トレーニングは、高齢男性において十分な筋力の向上をもたらし、筋量・筋力の低下によるサルコペニアや骨粗鬆症の予防・改善が期待できる。

形態や生活体力において、運動の順序性に関わらず、両トレーニング群で体脂肪率や腹囲の減少や、握力や歩行速度、FRT、長座体前屈の向上が認められた。これは、5種目でも全身性のレジスタンストレーニングによる体幹や下肢の筋力の向上が関与したものと考えられる。久野ら<sup>107)</sup>は、高齢者になっても生活機能を維持・増進するためには、それと密接な関係にある歩行能力を低下させないことが大切であると述べている。したがって、下肢筋力を向上させるレジスタンス運動は高齢者の転倒予防や生活機能の維持・向上に寄与し、日常生活の質を高めるために有効な運動と言える。さらに、骨格筋は安静時代謝や活動代謝によるエネルギー消費の主要な器官であるが、加齢に伴う骨格筋量の減少によって安静時代謝が低下することが明らかになっており<sup>108)</sup>、比較的高強度のレジスタンス運動が、高齢者の除脂肪組織重量を増加させ、筋力とともに安静時代謝量を増加させることが報告されている<sup>109)</sup>。

高齢者の要支援・要介護を予防し、健康寿命を延伸していくためには、有酸素運動によって動脈スティフネスを含む、心血管系疾患の危険因子を予防・改善することと、レジスタンス運動によって筋力・筋量を増強しADLを向上させることが非常に重要である。したがって、超高齢社会を迎えた日本における健康づくり運動として、有酸素運動とレジスタンス運動による複合トレーニングは非常に効果的であり、この様な運動プログラムをいかに安全に効果的に実施していくことができるかが重要な課題である。

### 3-5 小括

実験1の結果、健常な高齢男性を対象に、有酸素運動と中～高強度レジスタンス運動を組み合わせた複合トレーニングにおいて、先にレジスタンス運動を実施し、後から有酸素

運動を行った場合、動脈スティフネスの低下が認められ、運動の順序性による差異があることが示唆された。また、運動の順序に関わらず、体脂肪率や腹囲の減少による形態面の改善や生活体力、1RMの向上が認められ、有酸素運動とレジスタンス運動の複合トレーニングはメタボリック・ロコモティブシンドロームの危険因子を持った高齢者の健康を維持・向上するために非常に有効であると考えられる。

第4章 地域在住高齢者を対象とした有酸素運動とレジスタンス運動による複合トレーニングの順序性が、体力や形態、動脈スティフネスに及ぼす影響  
—高齢女性を対象に低強度または中強度のレジスタンス運動を用いての検討—  
(実験2)

4-1 目的

加齢に伴う筋量、筋力の低下や心血管系機能の低下は、ADLを低下し、健康寿命を短縮させる大きな要因となっている。閉経前の女性は、同年代の男性と比較して心血管系疾患の発症リスクが低いことが知られている<sup>110)</sup>。しかし、閉経後はこの性差が消滅し、女性の方が2型糖尿病や心血管系疾患の罹患率が上昇する<sup>111)</sup>。Tomiyamaら<sup>112)</sup>は、動脈スティフネスは加齢により上昇するが、女性では閉経後にそれが加速することを示している。これは、閉経以降のエストロゲン生成の低下によると考えられる。エストロゲンには、心血管系機能に対する種々の保護作用（血管平滑筋弛緩作用、脂質代謝改善作用、NO合成系酵素誘導作用）がある<sup>113)</sup>。

最近の疫学研究では、高血圧の閉経後女性では、正常血圧に比べて、心筋梗塞、脳卒中、心不全の発症リスク、ならびに心血管系疾患による死亡のリスクが高くなる<sup>114)</sup>という報告がある。すなわち、閉経後の女性において、心血管系疾患の発症リスクを予防することは非常に重要である。したがって、高血圧の予防・治療の有効な手段であり<sup>92,115)</sup>、心血管系疾患の危険因子を改善させる効果があると報告されている有酸素運動は<sup>56-59)</sup>、有効な運動処方だと言える。しかし、有酸素運動だけでは加齢に伴う筋量・筋力の低下によるサルコペニアや骨粗鬆症、その結果としてADLの低下や生活の質の低下を防ぐには不十分であることも報告されている<sup>116)</sup>。

近年、加齢に伴う骨格筋の機能低下及び委縮に最も効果的な運動処方としてレジスタンス運動が積極的に取り入れられるようになってきた。レジスタンス運動は、単に筋量・筋

力を増加するだけでなく、骨密度の維持・増加も期待でき<sup>11,12)</sup>、血糖値や血中コレステロール濃度の低下などの代謝性危険因子の改善効果も報告されている<sup>117)</sup>。閉経後の2型糖尿病リスクの上昇と骨密度の低下が著しい<sup>118)</sup>高齢女性にとって、有酸素運動と同様にレジスタンス運動も重要な運動処方だと言える。したがって、この二つの運動を複合させたトレーニングは、閉経後の高齢女性にとって必要不可欠なトレーニングであり、どのように組み合わせることが安全で効果的かを検討する必要がある。

中高齢女性を対象にした有酸素運動とレジスタンス運動の複合トレーニングの先行研究として、Figuerolaら<sup>82)</sup>は、12週間の中等度強度の複合トレーニングを実施した結果、動脈スティフネスが低下し、血圧も低下したことを報告している。Sillanpääら<sup>18)</sup>は、体組成や筋力の向上に効果的であったことを報告している。これらの研究はレジスタンス運動を先に実施しており、運動の順序性については検討していない。したがって、高齢女性を対象に有酸素運動とレジスタンス運動の複合トレーニングの順序性が、体組成や筋力、動脈スティフネスに及ぼす影響について検討する必要がある。

実験1では、日常生活に支障のない地域在住高齢男性を対象に、10週間の有酸素運動と中～高強度レジスタンス運動の複合トレーニングにおける順序性が、体力や形態、動脈スティフネスに及ぼす影響について検討した結果、体力や形態面において運動の順序性による差異は認められなかったが、動脈スティフネスの維持・向上を図る場合には、レジスタンス運動を先に実施する方が効果的であることが示唆された。この研究では、中～高強度のレジスタンス運動を実施したが、高齢者に対する安全性や継続性を考慮すると、心血管系への負担が少ない軽強度のレジスタンス運動による複合トレーニングを検討する必要がある。特に高齢女性は、男性と比較して筋量が少なく、筋力が低いため、高強度の筋力トレーニングは適さないと考えられる。したがって、レジスタンス運動の強度を低強度あるいは中等度強度で実施した場合、運動の順序性による差異が認められるか否かということが検討課題として挙げられる。

実験 2 では、健常な高齢女性を対象として、有酸素運動と低強度または中等度強度のレジスタンス運動との複合トレーニングにおける順序性が、体力や形態、動脈スティフネスに及ぼす影響と、強度の違いによる差異について検討することを目的とした。低強度では、運動の順序性に関わらず動脈スティフネスの低下と筋力の向上、中等度強度では順序性に関わらず動脈スティフネスの低下、さらに、低強度より筋力の向上と形態面の改善があると仮説を立てた。

## 4-2 方法

### 1) 被験者

日常生活に支障のない健常な地域在住高齢女性 60 名（61～81 歳）被験者とした。全ての被験者は、心血管疾患や糖尿病に罹患していない者、医師から運動を禁止されていない者とした。実施にあたり、本研究の目的や方法、参加の撤回や中断は自由意志であること、事故等の発生や対応に万全の配慮をすること、個人情報管理を徹底することなどを文書と口頭で十分に説明し、協力の承諾が得られた者については同意書に署名をしてもらった。本研究への参加の同意を得られた後、被験者を無作為に以下の 5 群に分けた：有酸素運動+低強度レジスタンス運動群 (AR-L 群)、低強度レジスタンス運動+有酸素運動群 (RA-L 群)、有酸素運動+中強度レジスタンス運動群 (AR-M 群)、中強度レジスタンス運動+有酸素運動群 (RA-M 群)、トレーニングを実施しない群 (CON 群)。本研究は、同志社大学「人を対象とする研究」に関する倫理審査委員会の承認を得て行なった（承認番号 15095）。

### 2) トレーニング方法

有酸素運動として、自転車エルゴメータ（Life Fitness 製）を使用し、60%心拍予備量（heart rate reserve : HRR）の強度で、ペダル回転数 50～55 回/分となるように条件設定した。運動中、被験者に対して主観的運動強度（RPE）が「ややきつい（12～13）」のレ

ベルを維持するよう指示し、AR 群はレジスタンス運動の前に 20 分間、RA 群はレジスタンス運動の後に 20 分間実施させた。

レジスタンス運動として、5 種目のウエイトマシン（レッグプレス、レッグカール、チェストプレス、シーテッドロー、ショルダープレス：Life Fitness 製）を使用し、中強度レジスタンス運動群は 60～70%最大挙上重量(one repetition maximum：1RM) を 10～12回、2～3 セット、（セット間休息 1 分）を、低強度レジスタンス運動群は 40～50% 1 RM を 10～15 回、2～3 セット（セット間休息 1 分）を実施させた。被験者には、息を止めず、正確なフォームで、弾みをつけずに、均等な速さで実施するように指示した。

トレーニング期間に入る前に、トレーニング群は運動器具やトレーニング方法に慣れるための順化期間（10 日間）を設け、5 種類のレジスタンス運動をそれぞれ 10～15 回反復できる範囲で 1 セット、有酸素運動を 10～15 分間実施させた。トレーニングの前後にはウォームアップとクールダウンを実施させた。

トレーニングを実施する日は、運動前の安静時と運動 10 分後の前後 2 回、心拍数と収縮期・拡張期血圧をオムロンの自動血圧計を用いて測定した。また、実施したトレーニング内容は個人記録表に記入させ、体調や実施状況を管理した。

トレーニングは週 2 回の頻度で 10 週間、専門の指導者の監視下で実施させた。

### 3) 測定項目及び方法

全ての測定は、トレーニングの前、トレーニング終了 2～3 日後の計 2 回測定した。

#### i) 形態計測

形態計測として、身長、体重、体脂肪率、腹囲を測定した。身長は身長計を用いて 0.1cm 単位で計測し、体重および体脂肪率は体内脂肪計（TBF-305、タニタ社製）を用いて計測した。体重（kg）を身長（m）の 2 乗で除すことにより BMI を求めた。腹囲は非伸縮性の



メジャーを用いて臍の周りの周囲径を 0.1cm 単位で計測した。除脂肪体重は「体重(kg)－体重(kg)×体脂肪率(%)」を計算することより求めた。

#### 体力測定

体力測定として、筋力の指標である「握力」、複合動作能力の指標である「timed up & go test」(以下 TUG)、歩行能力の指標である「10m 歩行速度」、柔軟性の指標である「長座体前屈」、静的バランス能力の指標である「開眼片足立ち」、動的バランス能力の指標である「functional reach test」(以下 FRT)を測定した。

握力はデジタル握力計(竹井機器工業社製)を用いて 2 回測定し、高い方の値を握力値として採用した。

TUG は椅子に座った状態から合図とともに起立し、3m 前方に設置している目標物をできるだけ早く回って再び椅子に着席するまでの時間をストップウォッチで測定した。

10m 歩行速度はストップウォッチを用いて、自分の最大の歩行速度で歩く最大努力歩行を 2 回行い、速い方の値を採用した。

長座体前屈は壁に腰、背中、頭を密着させて長座の姿勢をとり、長座体前屈計を用いて腕を伸ばした状態から、腰関節を前屈させ、指先が到達した長さを測定した。膝を曲げたり反動をつけたり、片手を余分に伸ばしたりしないようにして 2 回測定し、高い方の値を採用した。

開眼片足立ちは、対象者に開眼で片脚立位をとらせ、挙上する脚は支持する脚に接触せず、自然な状態で浮かせるように指示した。ストップウォッチを用いて 2 回測定し、高い方の値を採用し、上限は 180 秒とした。途中でバランスを崩して支持側下肢が大きく動いた場合はそれまでの時間とした。

FRT は両足を開いて安定した基本的立位姿勢をとり、左右上肢を肩の高さで手指を伸ばした状態から開始し、できるだけ前方へ上肢を伸ばさせ、手指先端の移動距離を測定した。リーチ測定器を用いて 0.1cm 単位で 2 回測定し、高い方の値を採用した。

### iii) 1 RM 測定

1 RM の測定は、軽い重量から徐々に重い重量へと負荷を増していき、持ち上げることができた最大重量を 1 RM として採用した。5 種類のマシン（レッグプレス、レッグカール、チェストプレス、シーテッドロー、ショルダープレス）を使って、ウォーミングアップの後に、3~5 回繰り返すことができる重さから始め、正確なフォームで一回だけ挙上できる重さを測定した。

### iv) 心臓足首血管指数（cardio-ankle vascular index : CAVI）測定

動脈スティフネスを評価するために、心臓足首血管指数（cardio-ankle vascular index : CAVI）<sup>44)</sup>を測定した。CAVI は、大動脈起始部から、下肢、足首までの動脈全体の弾性を表す指標である。CAVI の原理は、測定時の血圧に依存しないスティフネスパラメータ  $\beta$ <sup>46)</sup> である。スティフネスパラメータ  $\beta$  は、局所の動脈スティフネスを示すが、これを長さのある血管に対応したのが CAVI であり、局所の値を対象血管全体に対して加算平均した値と考えられる。

まず、被験者をベッドの上に仰向けにさせ、10 分間安静を保った後に、上腕、足首に血圧の帯（カフ）を取り付けた。次に、四肢に心電図の電極と第 2 肋間胸骨の上に心音マイクを取り付け、血圧脈波検査装置（VaSera VS-1500：フクダ電子社製）を用いて測定した。心電図、心音図、四肢脈波の異常、または検査結果の信頼性が十分でないと認められる場合は、1~2 分の間隔を空けて再び計測した。なお、被験者には事前に測定の手順を十分に説明した。

### v) 解析方法

本研究で得られたデータは、全て平均値±標準偏差で示す。ベースラインにおける各測

定項目の群間比較は、一元配置分散分析を用いた。介入前後における各項目の群間比較は、群要因×時間要因の反復測定による二元配置分散分析を用い、有意な交互作用が認められた場合は、Tukey 法を用いて事後検定を行なった。各群における介入前後の変化量の比較は、対応のある t 検定を用いた。危険率 5%未満を有意水準とした。

#### 4-3 結果

介入前において、形態計測、体力測定、1RM 測定、CAVI、血液検査の全ての測定値において 5 群間に有意な差は認められなかった。

##### 1) トレーニングへの参加状況

Figure5 に参加者の状況についてフローチャートを示した。60 名の参加者のうち、AR-L 群 2 名、RA-M 群 1 名、CON 群 1 名の計 4 名が、旅行や家庭の事情、体調不良で介入後の測定に参加できなかった。トレーニング内容を原因とした傷害の発生は一切無く、最終的に 56 名がトレーニングを完了した。

##### 2) 形態計測

10 週間の介入前後における 5 群の形態計測値の変化を Table 3 に示した。全ての項目において有意な交互作用は認められなかった。AR-L 群において、トレーニング介入後に体重と体脂肪率に有意な変化が認められた ( $P<0.05$ )。

##### 3) 体力測定

10 週間の介入前後における体力測定の変化を強度別に Table4 (low-intensity), Table5 (moderate-intensity) に示した。

低強度群において、全ての項目で有意な交互作用は認められなかった。AR-L, RA-L 群

において、トレーニング介入後、10m歩行速度に有意な向上が認められた ( $P < 0.01$ , respectively). 中等度強度群において、握力、10m歩行速度、TUG、開眼片足立ち、長座位前屈に有意な交互作用は認められなかったが、FRTにおいて有意な交互作用が認められた ( $F = 9.444$ ,  $P = 0.001$ ). しかし、トレーニング順序によるグループ間差は認められなかった. AR-M, RA-M群において、トレーニング介入後、握力と10m歩行速度、FRTに有意な向上が認められた ( $P < 0.01$ , respectively).

同じトレーニング順序における、FRTの低強度と中等度強度を比較した結果(Figure6), AR群, RA群ともに有意な交互作用が認められた (AR群:  $F = 0.754$ ,  $P = 0.002$ ; RA群:  $F = 4.914$ ,  $P = 0.014$ ).

#### 1 RM 測定

10週間の介入前後における5種目の1RM測定の変化をFigure7に示した.

低強度群では、チェストプレス ( $F = 20.463$ ,  $P < 0.001$ ), ショルダープレス ( $F = 3.735$ ,  $P = 0.036$ ) において、有意な交互作用が認められた. 中等度強度群では、レッグプレス ( $F = 7.372$ ,  $P = 0.002$ ), レッグカール ( $F = 4.244$ ,  $P = 0.024$ ), チェストプレス ( $F = 12.105$ ,  $P < 0.001$ ), シーテッドロー ( $F = 10.376$ ,  $P < 0.001$ ), ショルダープレス ( $F = 12.227$ ,  $P < 0.001$ ) の全ての種目において、有意な交互作用が認められた. トレーニング順序によるグループ間差は認められなかった. トレーニング後、AR群, RA群の両トレーニング群において、レッグプレス、レッグカール、チェストプレス、シーテッドロー、ショルダープレスの全ての種目で有意な増加が認められた ( $P < 0.01$ , respectively).

#### 5) 心臓足首血管指数 (CAVI) 測定

10週間の介入前後における5群のCAVIの変化をTable6に示した.

介入前後において有意差は認められなかった. また、グループ間差も認められなかった.

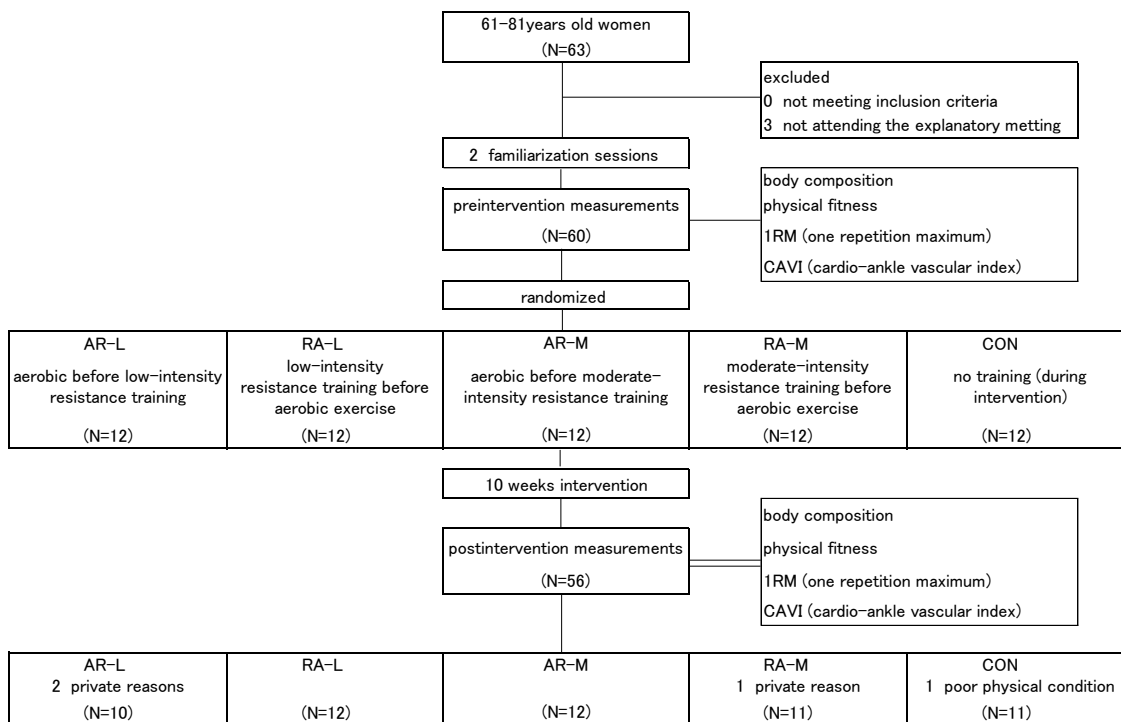


Figure5. Flow of participants through the study.

Table 3. Changes in body composition of subjects in 5 groups before and after 10-week intervention

		AR-L (n=10)	RA-L (n=12)	AR-M (n=12)	RA-M (n=11)	CON (n=11)
Age (yrs)		68.3±4.2	69.0±4.1	70.4±4.1	69.6±4.6	71.0±4.4
Height (cm)	Pre	156.3±4.0	155.7±4.0	153.1±4.5	154.1±4.8	153.3±2.9
	Post	156.2±4.1	155.5±3.9	152.9±4.6	153.9±4.8	153.1±2.7
Body weight (kg)	Pre	53.0±10.0	50.5±6.8	50.8±6.4	51.2±7.4	49.2±6.6
	Post	52.2±9.6*	50.4±6.9	50.3±6.2	51.2±7.4	49.1±6.7
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	Pre	21.6±3.9	20.8±2.0	21.6±2.2	21.5±2.4	20.2±2.7
	Post	21.3±3.7	20.8±2.1	21.5±2.2	21.5±2.4	20.9±2.8
Lean body mass (kg)	Pre	37.0±3.2	36.0±2.9	35.8±3.1	35.9±2.9	34.4±2.2
	Post	36.8±3.2	36.2±3.0	35.7±2.8	36.1±3.0	33.1±6.8
Body fat (%)	Pre	28.7±9.0	28.3±4.7	28.9±6.7	29.3±6.1	29.2±5.8
	Post	27.9±8.6*	27.6±4.7	28.5±5.8	28.8±5.5	28.8±5.7
Waist circumference (cm)	Pre	82.0±10.0	79.3±7.8	80.2±7.8	81.6±10.2	79.3±9.5
	Post	80.1±10.6	78.6±7.4	79.8±8.0	80.1±9.9	78.6±8.7

Values are mean ±SD.

\* $P < 0.05$  vs. Pre

AR-L: aerobic exercise before low-intensity resistance training; RA-L: low-intensity resistance training before aerobic exercise; AR-M: aerobic exercise before moderate-intensity resistance training; RA-M: moderate-intensity resistance training before aerobic exercise, CON: control; BMI: body mass index

Table 4. Changes in physical fitness before and after 10-week intervention (low-intensity)

			AR-L (n=10)	RA-L (n=12)	CON (n=11)	interaction (group × time)
Grip strength (kg) (Right)	Pre		24.8 ± 4.9	20.7 ± 3.3	22.1 ± 5.0	F=2.272
	Post		25.3 ± 4.2	22.5 ± 3.5	23.7 ± 4.5	P=0.121
Grip strength (kg) (Left)	Pre		23.0 ± 3.4	20.9 ± 3.8	19.5 ± 3.7	F=0.394
	Post		24.7 ± 4.2	21.8 ± 3.4	21.2 ± 3.5	P=0.678
10m walk (sec)	Pre		4.2 ± 0.4	4.4 ± 0.5	4.7 ± 0.5	F=0.306
	Post		3.6 ± 0.4**	3.7 ± 0.2**	4.2 ± 0.8	P=0.739
Timed up and go (sec)	Pre		4.5 ± 0.5	4.9 ± 0.7	4.9 ± 0.9	F=0.262
	Post		4.3 ± 0.3	4.7 ± 0.6	4.7 ± 0.8	P=0.771
One-leg balance with eyes open (sec)	Pre		118.3 ± 60.4	97.3 ± 61.6	128.4 ± 43.8	F=0.120
	Post		132.8 ± 58.4	104.8 ± 62.0	119.5 ± 70.3	P=0.888
Functional reach (cm)	Pre		34.0 ± 6.5	32.7 ± 5.4	32.6 ± 5.5	F=0.555
	Post		34.0 ± 4.6	34.2 ± 4.2	33.0 ± 7.0	P=0.580
Sit and reach (cm)	Pre		34.9 ± 4.2	38.1 ± 7.1	29.2 ± 10.8	F=0.254
	Post		34.6 ± 5.6	37.8 ± 7.1	27.7 ± 12.9	P=0.778

Values are mean ± SD.

\*  $P < 0.05$  vs. Pre ; \*\*  $P < 0.01$  vs. Pre

AR-L: aerobic exercise before low-intensity resistance training , RA-L: low-intensity resistance training before aerobic exercise , CON: control

Table 5. Changes in physical fitness before and after 10-week intervention (moderate-intensity)

		AR-M (n=12)	RA-M (n=11)	CON (n=11)	interaction (group × time)
Grip strength (kg) (Right)	Pre	24.1 ± 3.2	23.0 ± 2.6	22.1 ± 5.0	F=0.144
	Post	25.7 ± 2.9**	24.2 ± 3.0**	23.7 ± 4.5	P=0.866
Grip strength (kg) (Left)	Pre	23.2 ± 3.2	22.8 ± 2.6	19.5 ± 3.7	F=0.530
	Post	24.5 ± 3.1*	23.5 ± 2.8	21.2 ± 3.5	P=0.594
10m walk (sec)	Pre	4.6 ± 0.5	4.6 ± 0.5	4.7 ± 0.5	F=0.769
	Post	3.9 ± 0.4**	3.9 ± 0.5**	4.2 ± 0.8	P=0.472
Timed up and go(sec)	Pre	4.8 ± 0.7	5.0 ± 0.9	4.9 ± 0.9	F=0.588
	Post	4.6 ± 0.4	4.6 ± 0.7	4.7 ± 0.8	P=0.561
One-leg balance with eyes open (sec)	Pre	84.7 ± 61.5	89.4 ± 64.6	128.4 ± 43.8	F=0.654
	Post	94.2 ± 60.6	118.1 ± 73.8	119.5 ± 70.3	P=0.527
Functional reach (sec)	Pre	30.7 ± 4.3	31.2 ± 4.2	32.6 ± 5.5	F=9.444
	Post	35.3 ± 4.0**	35.4 ± 3.5**	33.0 ± 7.0	P=0.001
Sit and reach (sec)	Pre	34.8 ± 5.5	31.7 ± 10.7	29.2 ± 10.8	F=1.583
	Post	37.2 ± 6.3	34.5 ± 9.7	27.7 ± 12.9	P=0.222

Values are mean ± SD.

\* $P < 0.05$  vs. Pre ; \*\* $P < 0.01$  vs. Pre

AR-M: aerobic exercise before moderate-intensity resistance training, RA-M: moderate-intensity resistance training before aerobic exercise, CON: control



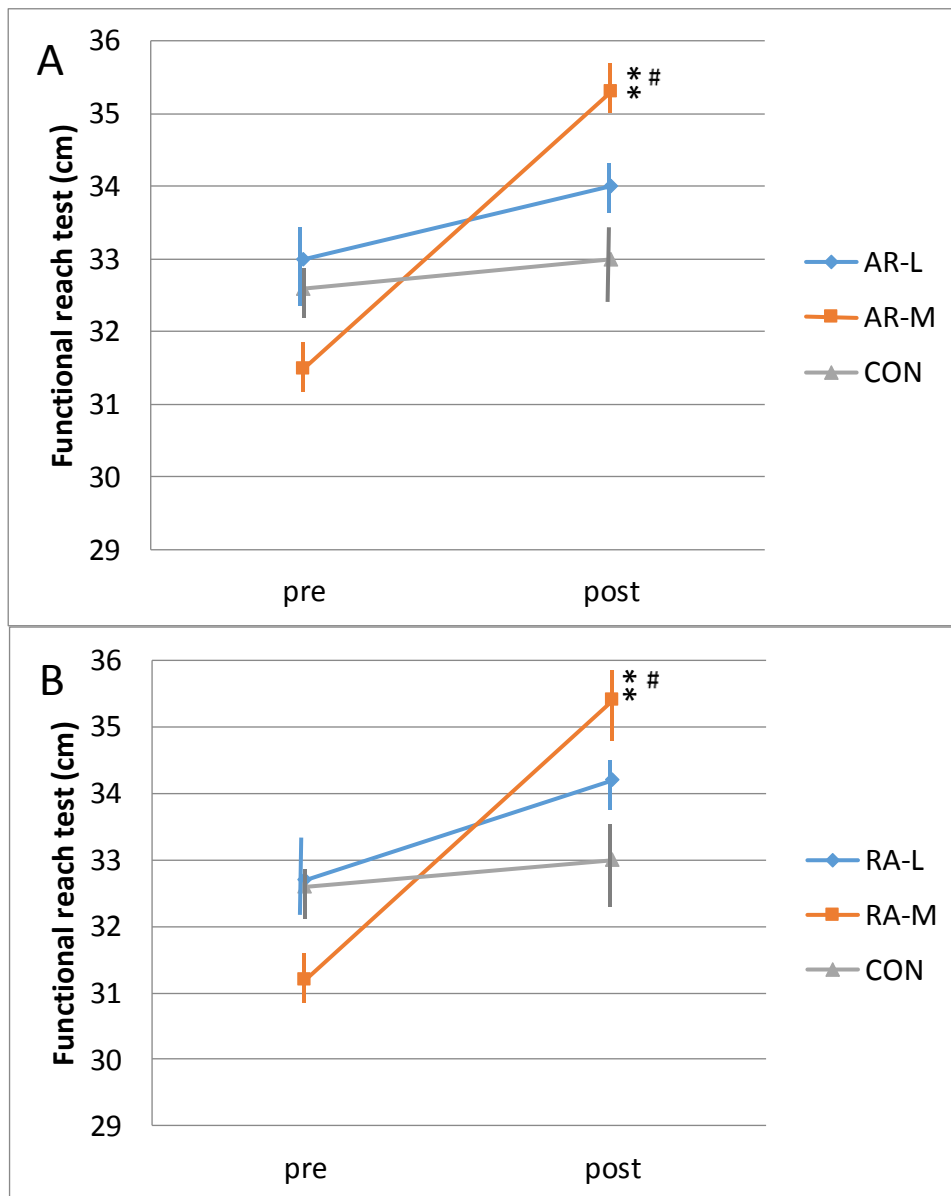


Figure 6. Comparison of low-intensity vs. moderate-intensity, AR-L vs. AR-M (A), RA-L vs. RA-M (B), in functional reach test.

Values are mean  $\pm$  SD. <sup>\*</sup> $P < 0.01$  vs. pre, <sup>#</sup> $P < 0.01$  significant interaction  
 AR-L: aerobic exercise before low-intensity resistance training; RA-L: low-intensity resistance training before aerobic exercise; AR-M: aerobic exercise before moderate-intensity resistance training; RA-M: moderate-intensity resistance training before aerobic exercise; CON: control

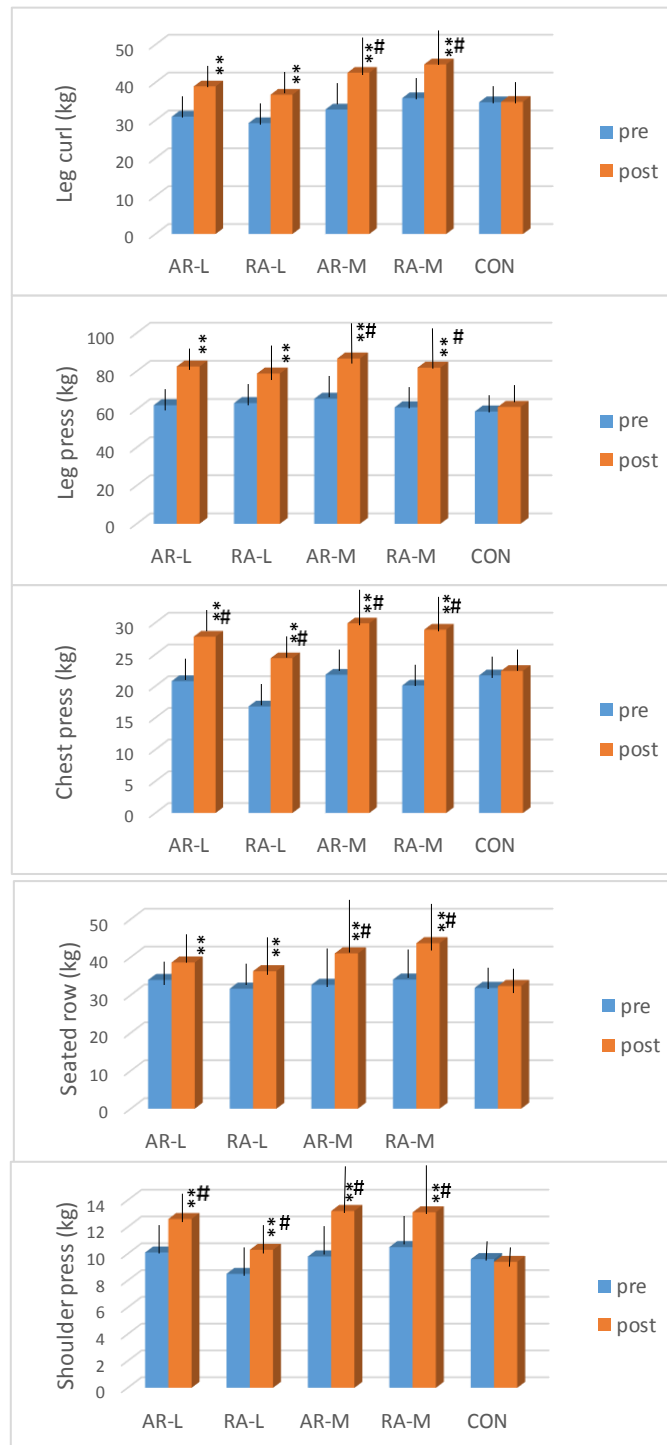


Fig. 7. Changes in 1RM strength of subjects before and after 10-week intervention  
 Values are mean  $\pm$  SD. \* $P < 0.01$  vs. pre, # $P < 0.01$  vs. CON

AR-L: aerobic exercise before low-intensity resistance training; RA-L: low-intensity resistance training before aerobic exercise; AR-M: aerobic exercise before moderate-intensity resistance training; RA-M: moderate-intensity resistance training before aerobic exercise; CON: control

Table 6. Changes in CAVI of subjects before and after 10-week intervention

			AR-L (n=10)	RA-L (n=12)	AR-M (n=12)	RA-M (n=11)	CON (n=11)
CAVI (m/sec)	Pre		8.5±1.6	8.3±0.8	8.1±0.9	8.4±1.0	8.2±1.2
	Post		8.7±1.1	8.6±1.0	8.3±0.7	8.4±1.0	8.6±1.3

Values are mean ±SD.

AR-L: aerobic exercise before low-intensity resistance training; RA-L: low-intensity resistance training before aerobic exercise; AR-M: aerobic exercise before moderate-intensity resistance training; RA-M: moderate-intensity resistance training before aerobic exercise, CON: control; CAVI: cardio-ankle vascular index

#### 4-4 考察

実験 2 では、高齢女性を対象に、有酸素運動と低強度または中等度強度のレジスタンス運動による複合トレーニングの順序性が、体力や形態、動脈スティフネスに及ぼす影響と、強度の違いによる差異について検討することを目的とした。その結果、高齢女性を対象にした有酸素運動と低強度または中等度強度のレジスタンス運動による複合トレーニングでは、低強度において歩行速度と 1RM の向上が、中等度強度において歩行速度と FRT, 1RM の向上が認められたが、形態や動脈スティフネスに変化は認められなかった。また、運動の順序性による差異はすべての指標において認められなかった。実験 1 では、高齢男性を対象に、中～高強度のレジスタンス運動による複合トレーニングの順序性が、体力や形態、血管機能（動脈スティフネスに及ぼす影響について検討した結果、両トレーニング群において、形態面の改善（体脂肪率、腹囲）や体力の向上（握力、歩行速度、FRT、長座体前屈）、1RM の増加が認められたが、順序性による差異は認められなかった。しかし、動脈スティフネスにおいて、先にレジスタンス運動を実施した場合、トレーニング後に有意な低下を示し順序性による差異が認められた。同じ強度で実施していないため、性差による比較はできないが、レジスタンス運動の強度が低～中等度強度の場合は、動脈スティフネスに及ぼす影響はなく、どちらの運動から始めても差異はないということが示唆された。

高強度のレジスタンス運動は動脈スティフネスを増加するが<sup>72-77)</sup>、低～中等度強度のレジスタンス運動において動脈スティフネスは変わらないという報告があり<sup>78-80)</sup>、実験 2 では、運動の順序性に関わらず動脈スティフネスは低下すると仮説を立てたが、有意な低下は認められなかった。Figuroa ら<sup>82)</sup>は、中高齢者を対象に 12 週間の中強度の複合トレーニング介入後に、動脈スティフネスが低下し筋力が向上した報告している。Miura ら<sup>119)</sup>も、高齢女性を対象に 3 ヶ月間の低強度の複合トレーニングにおいて動脈スティフネスが低下したと報告している。動物実験では、長期間のトレーニングにより血管の器質的変化すなわち動脈再構築（arterial remodeling）が起こることが報告されている<sup>120)</sup>。これら

の報告より、閉経後、急速に動脈スティフネスが上昇する高齢女性にとって、動脈スティフネスの改善には長期間の継続的なトレーニングが必要ではないかと考える。また、トレーニング内容を比較したところ、本研究では5種目のレジスタンストレーニングに対して、先行研究では9種目<sup>82)</sup>や6~8種目<sup>119)</sup>と、体幹と下肢を中心に多種目のレジスタンス運動を組み合わせた内容であった。このような運動内容の違いも動脈スティフネスに影響したのではないかと考える。さらに評価方法の違いも挙げられる。Hayashiら<sup>121)</sup>は3か月間の有酸素運動トレーニングにより大動脈PWVは改善したが、下肢動脈PWVに有意な変化は生じなかったと報告している。実験1ではcfPWVを、実験2では被験者数が多いため簡便に測定できるCAVIによって動脈スティフネスを評価した。cfPWVは頸動脈と大腿動脈間の中心動脈の硬化度を評価しているが、CAVIは心臓から足首までの動脈全体を評価している。したがって、動脈スティフネスにおけるトレーニング効果の差異は、測定部位の違いによるということも考えられる。実験1は男性を、実験2では女性を対象に行ったが、トレーニング強度の違いや測定部位の違いがあり性別による比較ができなかった。したがって、トレーニング強度や測定部位を同じに設定し、性差を検討することが今後の研究として求められる。

形態面において、中等度強度のトレーニング群において改善すると仮説を立てたが、どちらの強度においても有意な変化は見られなかった。Sillanpääら<sup>18)</sup>は、21週間の複合トレーニングによって、体組成や筋力の向上に効果的であったことを報告している。本研究の対象者は健常な高齢女性であるため、形態面に有意な変化が認められなかったのではないかと考えられる。

体力面において、低強度及び中等度強度の全てのトレーニング群で、歩行速度や1RMに有意な向上が認められた。しかし、動的バランス能力においては中等度強度トレーニング群だけに向上が見られ、群間差も認められた。これは、高齢者において低強度でも歩行速度などの生活体力は向上できるが、転倒に関わる危険因子である動的バランス能力の向上

を考えた場合、中等度強度のトレーニングの方が効果的であることが示唆された。

Rejeski ら<sup>89)</sup>は、2年間の有酸素運動とレジスタンス運動の複合トレーニングを実施した結果、歩行速度やバランス能力など生活体力の向上が認められたと報告している。Binder ら<sup>90)</sup>は、骨折による外科手術を受けた高齢男女を対象に、5年間の有酸素運動とレジスタンス運動の複合トレーニングを実施した結果、筋力や歩行能力、バランス能力、体組成などが向上したことを明らかにしている。また、Holviala ら<sup>91)</sup>は、高齢者の身体機能について、レジスタンス運動、有酸素運動、そして複合トレーニングを比較した結果、トレッドミルにおける歩行能力の向上が複合トレーニングで見られたと報告している。これらの先行研究は、高齢者において中等度強度の複合トレーニングを長期間することが筋機能の低下を防ぎ、ADLを向上させることができると報告しているが、本研究は10週間でも生活体力を向上させる可能性があることを示唆している。さらに、Granacher ら<sup>122)</sup>は、転倒予防のために、下肢の筋力だけでなく体幹の筋力を向上させることが重要であると報告している。本研究では、中等度強度のトレーニングにおいて、レッグプレスやレッグカールだけでなくシーテッドローにも大きな増加が認められた。これは、下肢の筋力だけでなく、背面部の筋力を向上させることも動的バランス能力の向上に関連していることを示唆している。

これらの結果より、2型糖尿病や心血管系疾患の発症リスクが上昇し、サルコペニアや骨粗鬆症のリスクも高まる高齢女性において、動脈スティフネスの改善や筋力・バランス能力の向上には、体幹や下肢の各筋をバランスよく鍛える全身性の中等度強度レジスタンス運動を取り入れた複合トレーニングを長期間継続することが効果的であると考えられる。

#### 4-5 小括

実験2では、健常な高齢女性を対象に、有酸素運動と低強度または中等度強度レジスタンス運動を組み合わせた複合トレーニングを実施した。その結果、体力や形態、動脈ステ

ィフネスにおいて、運動の順序性による影響は見られないことが示唆された。したがって、有酸素運動と低強度レジスタンス運動による複合トレーニングは、歩行速度や 1RM を向上させるが、中等度強度のレジスタンス運動を組み合わせた複合トレーニングの方が、歩行速度や 1RM だけでなく動的バランス能力も向上させ、運動強度が生活体力、特に転倒防止に関連する動的バランス能力に及ぼす効果に違いがあることが示唆された。

有酸素運動とレジスタンス運動の複合トレーニングにおいては、運動様式や強度、頻度、期間などによって様々な結果が見られる。今後は様々な組み合わせ方による複合トレーニングが、高齢者の体力や形態、1RM、動脈スティフネスに及ぼす影響について、またそのメカニズムについて研究を深めることが求められる。

## 第5章 総合考察

### 5-1 本研究の目的と成果

本研究では、健常な高齢者における有酸素運動とレジスタンス運動による複合トレーニングの順序性が、体力や形態、動脈スティフネスに及ぼす影響について、修士課程の研究で挙げた課題を基に検討し、さらに研究を深めることを目的とした。

実験 1 では、なぜレジスタンス運動を先に実施し、後から有酸素運動を行う場合において動脈スティフネスが低下したのかという課題に対して、血流依存性血管拡張反応を測定して血管内皮機能についても評価することに着目した。また、高齢男性を対象に複合トレーニングの順序性について検討した先行研究において、筋力でも順序性が認められた報告がある。したがって、高齢男性を対象に、有酸素運動と中～高強度のレジスタンス運動による複合トレーニングの順序性が、体力や形態、血管機能（動脈スティフネス及び血管内皮機能）に及ぼす影響について検討した。その結果、両トレーニング群において、形態面の改善（体脂肪率、腹囲）や体力の向上（握力、歩行速度、FRT、長座体前屈）、1RM の増加が認められたが運動の順序性による差異は認められなかった。しかし、動脈スティフネスにおいて、先にレジスタンス運動を実施し、後から有酸素運動を行った方が有意な低下を示し、先行研究<sup>23,26)</sup>と同様、運動の順序性による差異があることが示唆された。また、血圧の低下や血管内皮機能の指標である FMD において増加の傾向も見られた。これらの結果は、有酸素運動と中～高強度のレジスタンス運動による複合トレーニングにおいて、先にレジスタンス運動を実施する方が、血管機能を改善する可能性を示唆している。高強度のレジスタンス運動は中心動脈の伸展性を低下させ、動脈スティフネスを増加させること<sup>72-77)</sup>、また、著しい血圧上昇を引き起こすことが報告されている<sup>71)</sup>。これは、高強度のレジスタンス運動によって交感神経活動が過剰に活性化され、それによって血管収縮を引き起こし、動脈壁に強い影響を与えていると考える<sup>94,95)</sup>。一方で、有酸素運動は血管拡張因



子である NO などの産生能を高め、血管内皮機能を改善するという報告がある<sup>93)</sup>。これらの報告は、先に高強度レジスタンス運動を実施することによって引き起こされた動脈壁における妨害的影響が、引き続いて実施する有酸素運動によって緩和されたのではないかと考えられる。血管機能を改善する可能性があることが示唆されたが、筋力において順序性による差は認められなかった。先行研究<sup>25)</sup>と比較すると、運動種目の数やトレーニングの強度、運動量の違いであり、これらが結果の差異に影響していると考えられる。したがって、運動の種目や強度、量などについてさらに研究が必要である。

実験 1 では高齢男性を対象に有酸素運動と中～高強度レジスタンス運動による複合トレーニングの順序性について検討したが、高齢女性を対象に複合トレーニングの順序性について検討している研究は全くない。また、高齢者に対する安全性を考慮すると、心血管系への負担が少ない軽強度のレジスタンス運動による複合トレーニングを検討する必要がある。複合トレーニングは、運動の様式やトレーニング強度、時間、頻度、期間など様々な組み合わせ方が考えられる。したがって、実験 2 ではトレーニング強度に着目して、高齢女性を対象に、有酸素運動と低強度または中等度強度のレジスタンス運動との複合トレーニングにおける順序性が、体力や形態、動脈スティフネスに及ぼす影響と、強度の違いによる差異について検討することを目的とした。その結果として、低強度及び中等度強度のどちらにおいても、体力や形態、動脈スティフネスに運動の順序性による差異はないことが明らかになった。一方、強度による比較では、歩行速度や最大挙上重量において、全てのトレーニング群に向上が認められたが、動的バランス能力においては、中等度強度トレーニング群のみに有意な向上が認められた。これは、高齢者において低強度でも歩行速度や最大挙上重量の向上は可能だが、転倒に関わる危険因子である動的バランス能力の向上には、中等度強度のトレーニングの方が効果的であることが示唆された。これは、下肢の筋力だけでなくシーテッドローによる背面部の筋力の向上が影響していると考えられる。実験 1 及び 2 に共通していることは、運動種目とトレーニング期間であるが、他の先行研

究と比較すると 5 種目と若干少なく、トレーニング期間も短かったと言える。したがって、種目を増やし、トレーニング期間を 3 か月以上にすることによって、より多くのトレーニング効果が期待できるかもしれない。高齢者の健康寿命を延伸していくために、有酸素運動によって心血管系疾患の危険因子を予防・改善することと、レジスタンス運動によって筋力・筋量を増強させ、サルコペニアや骨粗鬆症を予防することが非常に重要である。実験 1 及び 2 の結果より、有酸素運動とレジスタンス運動による複合トレーニングをいかに安全に、効果的に実施していくかが重要な課題である。

本研究の結果は、男女を同じ強度で実施していないことや動脈スティフネスの評価方法の違いから、性差による比較はできないが、先行研究と同様に、有酸素運動と中～高強度レジスタンス運動による複合トレーニングを実施する場合は運動の順序性を考慮する必要があることが示唆された。実験 1 及び 2 とともに、10 週間のトレーニング期間であったが、先行研究と比較すると効果を得るには若干短いと考えられる。したがって、長期の継続的な複合トレーニングについての検討が求められる。また、レジスタンス運動の種目も先行研究と比較すると少ないため、効果に差異が見られたのかもしれない。しかし、5 種目でも効果が出ている指標があるので、本研究の運動様式でも高齢者の生活体力や最大挙上重量の向上をもたらし、ADL の維持・向上に有効だと考える。総合すると、高齢者の安全を考慮し、血管機能を改善し、生活体力やバランス能力を向上させるトレーニングとして、体幹や下肢の各筋をバランスよく組み合わせた全身性の中等度強度レジスタンス運動と有酸素運動の複合トレーニングを長期間継続して実施することが高齢者の健康寿命延伸に効果的であると考えられる。

## 5-2 今後の課題

超高齢社会を迎えたわが国において、健康寿命の延伸は保健政策における重要課題である。健康寿命を阻害する主な原因は、生活習慣病や加齢に伴う呼吸循環器系機能や骨格筋

機能の低下であり，それらの予防や改善のためには，日常生活の中に運動を取り入れていくことが重要である．したがって，有酸素運動とレジスタンス運動による複合トレーニングは，高齢者の ADL の低下を防ぎ，QOL を維持・向上させるために有効な運動処方だと言える．複合トレーニングは，運動の様式やトレーニング強度，時間，頻度，期間によって，あるいは評価方法によって様々な結果が見られる．本研究で実施した運動様式を見直し，トレーニング期間を長くすることで，また異なる結果が期待できる．また，本研究では，実験 1 において，PWV と FMD の測定による血管機能の評価をしたが，実験 2 では CAVI による測定のみで FMD の測定をせずに評価をしたので比較検討が難しい．したがって，同じ測定による評価を行って，検討することが求められる．さらに，有酸素運動が血管機能を改善させることには十分なエビデンスが蓄積されているが，有酸素運動とレジスタンス運動による複合トレーニングが血管機能に及ぼす影響は，いまだ一致した見解は得られていない．また，そのメカニズムについての研究はまだ緒に就いたばかりであり，今後，さらなる研究が求められる．

## 第6章 結論

本研究では、有酸素運動とレジスタンス運動の複合トレーニングについて、実験1では、健常な高齢男性を対象に、中～高強度のレジスタンス運動と有酸素運動による複合トレーニングの順序性が、体力や形態、血管機能（動脈スティフネス及び血管内皮機能）に及ぼす影響について、実験2では、健常な高齢女性を対象に、有酸素運動と低強度または中等度強度のレジスタンス運動との複合トレーニングにおける順序性が、体力や形態、動脈スティフネスに及ぼす影響と、強度の違いによる差異について検討することを目的とした。各実験から得られた結論は以下のとおりである。

1. 有酸素運動と中～高強度のレジスタンス運動を組み合わせた複合トレーニングは、体力の向上や形態の改善が認められたが、運動の順序性による差異は認められなかった。しかし、先にレジスタンス運動を実施し、後から有酸素運動を行う場合、PWV値の有意な低下とFMD値の増加する傾向が見られ、血管機能を改善する可能性があることが示唆された。
2. 有酸素運動とレジスタンス運動（低強度または中等度強度）による複合トレーニングでは、体力や形態、動脈スティフネスにおいて運動の順序性による影響がないことが示唆された。
3. 有酸素運動と低強度レジスタンス運動による複合トレーニングは、歩行速度や1RMの向上が認められた。しかし、中等度強度のレジスタンス運動を組み合わせた複合トレーニングの方が、歩行速度や1RMだけでなく動的バランス能力も向上させ、運動強度が転倒防止に関連する動的バランス能力の効果に影響を及ぼすことが示唆された。
4. 動的バランス能力には、下肢の筋力だけではなく背面部の筋力の向上も必要であることが示唆された。

以上の結果は、有酸素運動とレジスタンス運動による複合トレーニングの順序性が、高齢者の体力や形態、そして動脈スティフネスと血管内皮機能に及ぼす影響について、また、

トレーニング強度の違いによって体力や形態，動脈スティフネスに差異が認められるか否かについて検討したもので，今後，高齢化が進む多くの先進国において，高齢者の重要な運動処方の一助になると考えられる．

## 謝辞

本博士論文の作成に当たり、多くの皆様の御理解と御協力、そして御支援をいただきました。同志社大学大学院スポーツ健康科学研究科教授・柳田昌彦先生には、博士前期課程より5年間、指導教員として、介入研究や論文作成など全てにおいて懇切丁寧な御指導と御助言をいただきました。また、同志社大学大学院スポーツ健康科学研究科教授・大平充宣先生、石倉忠夫先生には、本博士論文の副査をお引き受けいただき、論文作成において貴重な御助言をいただきました。御指導・御助言いただきました諸先生方に対し、心より感謝申し上げます。

また、本研究の参加者として、快く御協力いただきました京田辺市の高齢者の皆様に心より感謝申し上げます。

最後に、大学院入学から協力、支援してくれた家族には、感謝の気持ちでいっぱいです。

【参考文献】

- 1) 厚生労働省：平成 28 年簡易生命表.
- 2) 厚生労働省：平成 27 年度国民医療費の概況.
- 3) 厚生労働省：平成 28 年国民生活基礎調査の概要.
- 4) 厚生労働省：健康づくりのための運動指針 2006.
- 5) 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* 116(3): 329-343, 2007.
- 6) Vaiktevicius PV, Fleg JL, Engel JH, O'Connor FC, Wright JG, Lakatta EG. Effects of age and aerobic capacity on arterial stiffness in healthy adults. *Circulation* 88(4 Pt 1): 1456-1462, 1993.
- 7) Tanaka H, Dinunno FA, Monahan KD, Clevenger CM, Desouza CA, Seals DR. Aging, habitual exercise, and dynamic arterial compliance. *Circulation* 102: 1270-127, 2000.
- 8) 独立行政法人国立長寿医療研究センター：参考資料 7-1, 認知症予防マニュアル.  
[www.mhlw.go.jp/topics/2009/05/dl/tp0501-sankou7-1.pdf](http://www.mhlw.go.jp/topics/2009/05/dl/tp0501-sankou7-1.pdf)
- 9) Cruz-Jentoft AJ, Baeyens JP, Bauer JM, Boirie Y, Cederholm T, Landi F, Martin FC, Michel JP, Rolland Y, Schneider SM, Topinkova E, Vandewoude M, Zamboni M. European Working Group on Sarcopenia in Older People. Sarcopenia: European consensus on definition and diagnosis: Report of European Working Group on Sarcopenia in Older People. *Age Aging* 39: 412-423, 2010.
- 10) Steib S, Schoene D, Pfeifer K. Dose-response relationship of resistance training

- in older adults: a meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc* 42(5): 902-914, 2010.
- 11) Louise A Burton and Deepa Sumukadas. Optimal management of sarcopenia. *Clinical Interventions in Aging* 5: 217-228, 2010.
  - 12) Montero-Fernandez N, Serra-Rexach JA. Role of exercise on Sarcopenia in the elderly. *Eur J Phys Rehabil Med* 49: 131-143, 2013.
  - 13) Bell GJ, Syrotuik D, Martin TP, Burnham R, Quinney HA. Effect of concurrent strength and endurance training on skeletal muscle properties and hormone concentrations in humans. *Eur J Appl Physiol* 81: 418-427, 2000.
  - 14) Izquierdo M, Ibanez J, Häkkinen K, Kraemer WJ, Larrion JL, Gorostiaga EM. Once weekly combined resistance and cardiovascular training in healthy older men. *Med Sci Sports Exerc* 36: 435-443, 2004.
  - 15) Karavirta L, Häkkinen A, Sillanpää E, et al. Effects of combined endurance and strength training on muscle strength, power and hypertrophy in 40-67-year-old men. *Scand J Med Sci Sports* 21: 402-411, 2011.
  - 16) Cuff DJ, Meneilly GS, Martin A, Ignaszewski A, Tildesley HD, Frohlich JJ. Effective exercise modality to reduce insulin resistance in women with type 2 diabetes. *Diabetes Care* 26: 2977-2982, 2003.
  - 17) Balducci S, Leonetti F, Di Mario U, Fallucca F. Is a Long-Term Aerobic Plus Resistance Training Program Feasible for and Effective on Metabolic Profiles in Type 2 Diabetic Patients? (Letter). *Diabetes Care* 27: 841-842, 2004.
  - 18) Sillanpää E, Laaksonen DE, Häkkinen A, Karavirta L, Jensen B, Kraemer WJ, Nyman K, Häkkinen K. Body composition, fitness, and metabolic health during strength and endurance training and their combination in middle-aged and older women. *Eur J Appl Physiol* 106: 285-296, 2009.



- 19) Sanal E, Ardic F, Kirac S. Effects of aerobic or combined aerobic resistance exercise on body composition in overweight and obese adults: gender differences. A randomized intervention study. *Eur J Phys Rehabil Med* 49: 1-11, 2013.
- 20) Duncan K, Pozehl B, Norman JF, Hertzog M. A self-directed adherence management program for patients with heart failure completing combined aerobic and resistance exercise training. *Appl Nurs Res* 24: 207-214, 2011.
- 21) Goto K, Higashiyama M, Ishii N, Takamatsu K. Prior endurance exercise attenuates growth hormone response to subsequent resistance exercise. *Eur J Appl Physiol* 94: 333-338, 2005.
- 22) Goto K, Ishii N, Sugihara S, Yoshioka T, Takamatsu K. Effects of resistance exercise on lipolysis during subsequent submaximal exercise. *Med Sci Sports Exerc* 39(2): 308-3015, 2007.
- 23) Kawano H, Tanaka H, Miyachi M. Resistance training and arterial compliance: keeping the benefits while minimizing the stiffening. *J Hypertens* 24: 1753-1754, 2006.
- 24) Okamoto T, Masuhara M, Ikuta K: Combined aerobic and resistance training and vascular function: effect of aerobic exercise before and after resistance training. *J Appl Physiol* 103: 1655-1661, 2007.
- 25) Cadore EL, Izquierdo M, Alberton CL, et al. Strength prior to endurance intra-session exercise sequence optimizes neuromuscular and cardiovascular gains in elderly men. *Exp Gerontol* 47: 164-169, 2012.
- 26) Shiotsu Y, Yanagita M. Intervention study on the exercise order of combined aerobic & resistance training in the elderly. *Journal of Sports Science* 5: 322-331, 2017.

- 27) Palmer RM, Ferrige A, Moncada S.: Nitric oxide release accounts for the biological activity of endothelium-derived relaxing factor. *Nature* 327: 524-526, 1987.
- 28) Yanagisawa M, Kurihara H, Kimura S, Tomobe Y, Kobayashi M, et al.: A novel potent vasoconstrictor peptide produced by vascular endothelial cells. *Nature* 332: 411-415, 1988.
- 29) Nichols WW & McDonald DA. McDonald's blood flow in arteries. Theoretical, experimental and clinical principles, 6th ed. Hodder Arnold, London, 2011.
- 30) Nichols WW, O'Rourke MF. McDonald's blood flow in arteries. Theoretical, experimental and clinical principles, 4th ed. Arnold, London, 1998.
- 31) Lakatta EG, Levy D. Arterial and cardiac aging: major shareholders in cardiovascular disease enterprises: Part I: aging arteries: a "set up" for vascular disease. *Circulation* 107: 139-146, 2003.
- 32) Hansen F, Mangel P, Lanne T. Diameter and compliance in the human common carotid artery-variations with age and sex. *Ultrasound Med Biol* 19: 1091-1097, 1995.
- 33) Partridge SM, Keeley FW. Age related and atherosclerotic changes in aortic elastin. In: Wagner WD and Clarkson TD. (Eds.) Arterial Mesenchyme and Arteriosclerosis. *Plenum Press*: New York, pp. 173-191, 1974.
- 34) Bakris GL, Bank AJ, Kass DA, Neutel JM, Preston RA, Oparill S. Advanced glycation end-product cross-link breakers: a novel approach to cardiovascular pathologies related to the aging process. *Am J Hypertens* 17: 23S-30S, 2004.
- 35) Laurent S, Cockcroft J, Van Bortel L, Boutouyrie P, Giannattasio C, Hayoz D, et al. Expert consensus document on arterial stiffness: methodological issues and

- clinical applications. *Eur Heart J* 27: 2588-2605, 2006.
- 36) Dudzinski DM, Igarashi J, Greif D, et al. The regulation and pharmacology of endothelial nitric oxide synthase. *Annu Rev Pharmacol Toxicol* 46: 235-276, 2006.
- 37) Furchgott RF, Zawadzki JV. The obligatory role of endothelial cells in the relaxation of arterial smooth muscle by acetylcholine. *Nature* Nov 27: 288 (5789): 373-376, 1980.
- 38) O'Rourke MF. Arterial stiffness, systolic blood pressure and logical treatment of arterial hypertension. *Hypertension* 15: 339-347, 1990.
- 39) Luscher TF, Tanner FC. Endothelial regulation of vascular tone and growth. *Am J Hypertens* 6: 283S-293S, 1993.
- 40) Bertel O, Buhler FR, Kiowski W, Lutold BE. Decreased beta-adrenoreceptor responsiveness as related to age, blood pressure, and plasma catecholamines in patients with essential hypertension. *Hypertension* 2: 130-138, 1980.
- 41) 日本循環器学会, 日本高血圧学会, 日本心臓病学会, 日本腎臓学会, 日本超音波医学会, 日本糖尿病学会, 日本動脈硬化学会, 日本脈管学会, 日本臨床生理学会, 日本老年医学会. : 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) : 血管機能の非侵襲的評価法に関するガイドライン 2013.
- 42) Pala S, Kahveci G, Akcakoyun M, et al. Reliability of ultrasonography in detecting flow mediated dilation. *Int Cardiovasc Imaging* 25: 705-711, 2009.
- 43) Kuvin JT, Patel AR, Sliney KA, et al. Assessment of peripheral vascular endothelial function with finger arterial pulse wave amplitude. *Am Heart J* 146: 168-174, 2003.
- 44) Perticone F, Ceravolo R, Pujia A, et al. Prognostic significance of endothelial

- dysfunction in hypertensive patients. *Circulation* 104: 191-196, 2001.
- 45) Bramwell JC, Hill AV. Velocity transmission of the pulse wave and elasticity of arteries. *Lancet* 199: 891-892, 1922
- 46) Shirai K, Utino J, Otsuka K, et al. A novel blood pressure-independent arterial wall stiffness parameter; cardio-ankle vascular index (CAVI). *J Atheroscler Thromb* 13: 101-107, 2006.
- 47) Resnick HE, Lindsay RS, McDermott MM, et al. Relationship of high and low ankle brachial index to all-cause and cardiovascular disease mortality: the Strong Heart Study. *Circulation* 109: 733-739, 2004.
- 48) Hayashi K, Sato M, Handa H, et al. Biomechanical study of the constitutive laws of vascular walls. *Exp Mech* 14: 440-444, 1974.
- 49) O'Rourke MF, Hashimoto J. Mechanical factors in arterial aging: a clinical perspective. *J Am Coll Cardiol* 50: 1-13, 2007.
- 50) Safar ME, London GM. Therapeutic studies and arterial stiffness in hypertension: recommendations of the European Society of Hypertension. The Clinical Committee of Arterial Structure and Function. Working Group on Vascular Structure and Function of the European Society of Hypertensions. *J Hypertens* 18: 1527-1535, 2000.
- 51) Nichols W, O'Rourke MF. McDonald's Blood Flow in Arteries 5th ed. Theoretical, experimental and clinical principles. Arnold 2005.
- 52) Deanfield JE, Halcox JP, Rabelink TJ. Endothelial function and dysfunction: testing and clinical relevance. *Circulation* 115: 1285-1295, 2007.
- 53) Anderson TJ. Assessment and treatment of endothelial dysfunction in humans. *J Am Coll Cardiol* 34 (3): 631-638, 1999.

- 54) Sugawara J, Komine H, Hayashi K, Yoshizawa M, Otsuki T, Shimojo N, Miyauchi T, Yokoi T, Maeda S, Tanaka H. Reduction in alpha-adrenergic receptor-mediated vascular tone contributes to improved arterial compliance with endurance training. *Int J Cardiol* 135: 346-352, 2009.
- 55) Tanahashi, K., Akazawa, N., Miyaki, A., Choi, Y., Ra, S. G., Matsubara, T., Kumagai, H., Oikawa, S., Maeda, S. 2014. Aerobic exercise training decreases plasma asymmetric dimethylarginine concentrations with increase in arterial compliance in postmenopausal women. *Am J Hypertens* 27: 415-421.
- 56) Alan S, Ulgen MS, Ozturk O, Alan B, Ozdemir L, Topark N. Relation between coronary artery disease, risk factors and intima-media thickness of carotid artery, arterial distensibility, and stiffness index. *Angiology* 54: 261-267, 2003.
- 57) Vlachopoulos, C., Aznaouridis, K., Terentes-Printzios, D., Ioakeimidis, N., Stefanadis, C. Prediction of cardiovascular events and all-cause mortality with Brachial-Ankle Elasticity Index. A systematic review and meta-analysis. *Hypertension* 60: 556-562, 2012.
- 58) Morei, M., Reid, K. F., Miciek, R., Lajevardi, N., Choong, K., Krasnoff, J. B., Storer, T. W., Fielding, R. A., Bhasin, S., LeBrausseau, N. K. Habitual physical activity levels are associated with performance in measures of physical function and mobility in older men. *J Am Geriatr Soc* 58: 1727-1733, 2010.
- 59) Mohiaddin RK, Underwood SR, Borgen HG, Firmin DN, Klipstein RH, Ress SRO, Longmore DB. Regional aortic compliance studied by magnetic resonance imaging: the effect of age, training and coronary artery disease. *Br Heart J* 62: 90-96, 1989.
- 60) Kakiyama T, Matsuda M, Koseki S. Effects of physical activity on the

- distensibility of the aortic wall in healthy males. *Angiology* 49: 749-757, 1998a.
- 61) Haskell WL, Lee IM, Pate RR, Powell KE, Blair SN, 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* 39: 1423-1434, 2007.
- 62) Matsuda M, Nosaka T, Sato M, Iijima M, Ohshima N, Fukushima H. Effects of exercise training on biochemical and biomechanical properties of rat aorta. *Angiology* 40: 51-55, 1989.
- 63) Matsuda M, Nosaka T, Sato M, Ohshima N. Effects of physical exercise on the elasticity and elastic components of the rat aorta. *Eur J Appl Physiol* 6: 122-126, 1993.
- 64) Nosaka T, Watanabe I, Tanaka H, Sato M, Matsuda M. Influence of regular exercise on age-related changes in arterial elasticity: Mechanistic insights from wall compositions in rat aorta. *Can J Appl Physiol* 28: 204-212, 2003.
- 65) Kakiyama T, Sugawara J, Murakami H, Maeda S, Kuno S, Matsuda M. Effects of short-term endurance training on aortic distensibility in young males. *Med Sci Sports Exerc* 37: 267-271, 2005.
- 66) Maeda S, Miyauchi T, Kakiyama T, Sugawara J, Iemitsu M, Irukayama-Tomobe Y, Murakami H, Kumagai Y, Kuno S, Matsuda M. Effects of exercise training of 8 weeks and detraining on plasma levels of endothelium-derived factors, endothelin-1 and nitric oxide, in healthy young humans. *Life Sci* 69: 1005-1016, 2001.
- 67) Maeda S, Tanabe T, Miyauchi T, Otsuki T, Sugawara J, Iemitsu M, Kuno S, Ajisaka R, Yamaguchi I, Matsuda M. Aerobic exercise training reduces plasma

- endothelin-1 concentration in older women. *J Appl Physiol* 95: 336-341, 2003b.
- 68) Maeda S, Tanabe T, Otsuki T, Sugawara J, Iemitsu M, Miyauchi T, Kuno S, Ajisaka R, Matsuda M. Moderate regular exercise increases basal production of nitric oxide in elderly women. *Hyperten Res* 27: 947-953, 2004.
- 69) Boule NG, Haddad E, Kenny GP, Wells GA, Sigal RJ. Effects of exercise on glycemic control and body mass in type 2 diabetes mellitus: a meta-analysis of controlled clinical trials. *JAMA* 286: 1218-1227, 2001.
- 70) Williams MA, Haskell WL, Ades PA, et al.: Resistance exercise in individuals with and without cardiovascular disease: 2007 update: a scientific statement from the American Heart Association Council on Clinical Cardiology and Council on Nutrition, Physical Activity, and Metabolism. *Circulation* 116(5): 572-584, 2007.
- 71) MacDougall JD, Tuxen D, Sale DG, et al.: Arterial blood pressure response to heavy resistance exercise. *J Appl Physiol* 58(3): 785-790, 1985.
- 72) 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* 110: 2858-2863, 2004.
- 73) DeVan AE, Anton MM, Cook JN, Neidre DB, Cortez-Cooper MY, Tanaka H: Acute effects of resistance exercise on arterial compliance. *J Appl Physiol* 98: 2287-2297, 2005.
- 74) Bertovic DA, Waddell TK, Gatzka CD, et al. Muscular strength training is associated with low arterial compliance and high pulse pressure. *Hypertension* 33(6): 1385-1391, 1999.

- 75) Cortez-Cooper, M. Y., DeVan, A. E., Anton, M. M., Farrar, R. P., Beckwith, K. A., Todd, J. S., Tanaka, H. Effects of high intensity resistance training on arterial stiffness and wave reflection in women. *Am J Hypertense* 18: 930-934, 2005.
- 76) Okamoto, T., Masuhara, M., Ikuta, K. Effects of eccentric and concentric resistance training on arterial stiffness. *J Hum Hypertens* 20: 348-354, 2006.
- 77) Miyachi M, Donato AJ, Yamamoto K, Takahashi K, Gates PE, Moreau KL, et al. Greater age-related reductions in central arterial compliance in resistance-trained men. *Hypertension* 41: 130-135, 2003.
- 78) Cortez-Cooper, M. Y., Anton, M. M., DeVan, A. E., Neidre, D.B., Cook, J. N., Tanaka, H. The effects of strength training on central arterial compliance in middle-aged and older adults. *Eur J Cardiovas Pre Rehabil* 15: 149-155, 2008.
- 79) Yoshizawa, M., Maeda, S., Miyaki, A., Misono, M., Saito, Y., et al. 12 weeks of moderate-intensity resistance training on arterial stiffness: a randomized controlled trial in women aged 32-59 years. *Br J Sports Med* 43: 615-618, 2009.
- 80) Rakobowchuk M, McGowan CL, de Groot PC, et al. Effect of whole body resistance training on arterial compliance in young men. *Exp Physiol* 90(4): 645-651, 2005.
- 81) Miyachi M. Effects of resistance training on arterial stiffness: a meta-analysis. *Br J Sports Med*, 2013.
- 82) Figueroa A, Park SY, Seo DY, Sanchez-Gonzalez MA, Baek YH. Combined resistance and endurance exercise training improves arterial stiffness, blood pressure, and muscle strength in postmenopausal women. *Menopause* 18: 980-984, 2011.
- 83) Stewart KJ, Bacher AC, Turner KL, Fleg JL, Hees PS, Shapiro EP, et al. Effect



- of exercise on blood pressure in older persons: A randomized controlled trial. *Arch Intern Med* 165: 756-762, 2005.
- 84) Expert Panel on Detection, Evaluation, and Treatment of High Blood Cholesterol in Adults: Executive Summary of The Third Report of The National Cholesterol Education Program (NCEP) Expert Panel on Detection, Evaluation, and Treatment of High Blood Cholesterol in Adults (Adult Treatment Panel III). *JAMA* 285(19): 2486-2497, 2001.
- 85) 大江隆史 : ロコモティブシンドロームの概念. *臨床スポーツ医学* 27: 1-6, 2010.
- 86) Sillanpää E, Häkkinen A, Nyman K, Cheng S, Karavirta L, Laaksonen DE, Huuhka N, Kraemer WJ, Häkkinen K. Body composition and fitness during strength and/or endurance training in older men. *Med Sci Sports Exerc* 40: 950-958, 2008.
- 87) Yang SJ, Hong HC, Choi HY, et al. Effects of a three-month combined exercise program on fibroblast growth factor 21 and fetuin-A levels and arterial stiffness in obese women. *Clin Endocrinol (Oxf)* 75(4): 464-469, 2011.
- 88) Willis LH, Slentz CA, Bateman LA, Shields T, Piner LW, Bales CW, Houmard JA, Kraus WE. Effects of aerobic and /or resistance training body mass and fat mass in overweight or obese adults. *J Appl Physiol* 113: 1831-1837, 2012.
- 89) Rejeski WJ, Marsh AP, Chmelo E, et al. The lifestyle interventions and independence for elders pilot (life-p): 2-year follow-up. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2009; 64: 462-467, 2009.
- 90) Binder EF, Brown M, Sinacore DR, Steger-May K, Yarasheski KE, Schechtman KB. Effects of extended outpatient rehabilitation after hip fracture: a randomized controlled trial. *JAMA* 292: 837-846, 2004.

- 91) Holviala J, Häkkinen A, Karavirta L, et al. Effects of combined strength and endurance training on treadmill load carrying walking performance in aging men. *J Strength Cond Res* 24:1584-1595, 2010.
- 92) Welton PK, He J, Appel LJ, Cutler JA, Havas S, Kotchen TA, Roccella EJ, Stout R, Vallbona C, Winston MC, Karimbakas J. Primary prevention of hypertension: clinical and public health advisory from The National High Blood Pressure Education Program. *JAMA* 288: 1882-1888, 2002.
- 93) Higashi Y, Yoshizumi M. Exercise and endothelial function: role of endothelium-derived nitric oxide and oxidative stress in healthy subjects and hypertensive patients. *Pharmacol Ther* 102: 87-96, 2004.
- 94) Pratley R, Nicklas B, Rubi, M, Miller J, Smith M, Hurley B, Goldberg A. Strength training increases resting metabolic rate and norepinephrine levels in healthy 50- to 65-yr-old men. *J Appl Physiol* 76(1): 133-137, 1994.
- 95) Failla M, Grappiolo A, Emanuelli G, Vitale G, Fraschini N, Bigoni M, Grieco N, Denti M, Giannattasio C, Mancina G. Sympathetic tone restrains arterial distensibility of healthy and atherosclerotic subjects. *Hypertension* 17: 1117-1123, 1999.
- 96) Luscher TF, Tanner FC. Endothelial regulation of vascular tone and growth. *Am J Hypertens* 6: 283S-293S, 1993.
- 97) Wang M, Takagi G, Asai K, Resuello RG, Natividad FF, Vatner DE, Vatner SF, Lakatta EG. Aging increases aortic MMP-2 activity and angiotensin II in nonhuman primates. *Hypertension* 41: 1308-1316, 2003.
- 98) Cameron JD, Dart AM.: Exercise training increases total systemic arterial compliance in humans. *Am J Physiol* 266(2Pt2): H693-701, 1994.

- 99) Martin WH, 3rd, Ogawa T, Kohrt WM, et al.: Effects of aging, gender, and physical training on peripheral vascular function. *Circulation* 84(2): 654-664, 1991.
- 100) Green DJ, Walsh JH, Maiorana A, Burke V, Taylor RR, et al.: Comparison of resistance and conduit vessel nitric oxide-mediated vascular function in vivo: effects of exercise training. *J Appl Physiol* 97: 749-755, 2004.
- 101) Schumann M, Walker S, Izquierdo M, Newton RU, Kraemer WJ, Häkkinen K. The order effect of combined endurance and strength loadings o force and hormone responses: effects of prolonged training. *Eur J Appl Physiol* 114: 867-880, 2014.
- 102) Kraemer WJ, Patton JF, Gordon SE, et al. Compatibility of high-intensity strength and endurance training on hormonal and skeletal muscle adaptations. *J Appl Physiol* 78: 976-989, 1995.
- 103) Häkkinen K, Alen M, Kraemer WJ, et al. Neuromuscular adaptations during concurrent strength and endurance training versus strength training. *J Appl Physiol* 89: 42-52, 2003.
- 104) Cadore EL, Pinto RS, Lhullier FLR, et al. Physiological effects of concurrent training in elderly men. *Int J Sports Med* 31: 689-697, 2010.
- 105) Izquierdo M, Häkkinen K, Ibanez J, Kraemer WJ, Gorostiaga EM. Effects of combined resistance and cardiovascular training on strength, power, muscle cross-sectional are, and endurance markers in middle-aged men. *Eur J Appl Physiol* 94: 70-75, 2005.
- 106) Cadore EL, Izquierdo M, Pinto SS, et al. Neuromuscular adaptations to concurrent training in the elderly: effects of intrasession exercise sequence.

- Age* 35(3): 891-903, 2013.
- 107) 久野譜也, 坂戸洋子 : 高齢者になぜ筋力トレーニングが必要. *体育の科学*, 54(9): 712-719, 2004.
- 108) Campbell WW, Crim MC, Young VR, Evans WJ. : Increased energy requirements and changes in body composition with resistance training in older adults. *Am J Clin Nutr* 60: 167-175, 1994.
- 109) Hunter GR, Wetzstein CJ, Fields DA, Brown A, Bamman MM.: Resistance training increases total energy expenditure and free-living physical activity in older adults. *J Appl Physiol* 89: 977-84, 2000.
- 110) Kannel WB, Hjortland MC, McNamara PM, Gordon T. Menopause and risk of cardiovascular disease: the Framingham study. *Ann Intern Med* 85: 447-452, 1976.
- 111) Kotani K, Tokunaga K, Fujioka S, et al. Sexual dimorphism of age-related changes in whole-body fat distribution in the obese. *Int J Obes Relat Metab Disord* 18: 207-212, 1994.
- 112) Tomiyama H, Yamashina A, Arai T, et al. Influences of age and gender on results of noninvasive brachial-ankle pulse wave velocity measurement-a survey of 12517 subjects. *Atherosclerosis* 166 (2): 303-309, 2003.
- 113) Ouyang P, Michos ED, Karas RH. Hormone replacement therapy and the cardiovascular system. *J Am Coll Cardiol* 47: 1741-1753, 2006.
- 114) Hsia J, Margolis KL, Eaton CB, Wenger NK, Allison M, Wu L, LaCroix AZ, Black, HR. Prehypertension and cardiovascular disease risk in the Women's Health Initiative. *Circulation* 115: 855-860, 2007.
- 115) Seals DR, Hagberg JM. The effect of exercise training on human hypertension:

- a review. *Med Sci Sports Exerc* 16: 207-215, 1984.
- 116) Dinunno FA, Seals DR, Desouza CA, Tanaka H. Age-related decreases in basal limb blood flow in humans: time course, determinants and habitual exercise effects. *Journal of Physiology* 531: 573-579, 2001.
- 117) Holton MK, Zacho M, Gaster M, Juel C, Wojtaszewski JFP, Dela F: Strength training increases insulin-mediated glucose uptake, GLUT4 content, and insulin signaling in skeletal muscle in patients with type 2 diabetes. *Diabetes* 53(2): 294-305, 2004.
- 118) Baykara M, Ozturk C, Elbukcn F. The relationship between bone mineral density and arterial stiffness in Turkish women. *Diagn Interv Radiol* 18 (5): 441-445, 2012.
- 119) Miura H, Nakagawa E, Takahashi Y. Influence of group training frequency on arterial stiffness in elderly women. *Eur J Appl Physiol* 104: 1039-1044, 2008.
- 120) Prior BM, Lloyd PG, Yang HT, Terjung RL. Exercise-induced vascular remodeling. *Exercise and Sport Science Reviews* 31: 26-33, 2003.
- 121) Hayashi K, Sugawara J, Komine H, Maeda S, Yokoi T. Effects of aerobic exercise training on the stiffness of central and peripheral arteries in middle-aged sedentary men. *Jpn Physiol* 55: 235-239, 2005.
- 122) Granacher U, Gollhofer A, Hortobagyi T, Kressig RW, Muehlbauer T. The importance of trunk muscle strength for balance, functional performance, and fall prevention in seniors: a systematic review. *Sports Med* 43(7): 627-641, 2013.