

# 博士学位論文審査要旨

2018年7月12日

論文題目： 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

学位申請者： 塩津 陽子

審査委員：

主査： スポーツ健康科学研究科 教授 柳田 昌彦

副査： スポーツ健康科学研究科 特別客員教授 大平 充宣

副査： スポーツ健康科学研究科 教授 石倉 忠夫

要旨：

博士論文審査申請者の塩津陽子氏は、本研究科博士課程（前期課程）在籍時より「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ける順序性」を研究テーマとして、地域在住の健常高齢者を対象に形態や生活体力、筋力（最大挙上重量）、血液成分、動脈硬化度（スティフネス）などのロコモティブシンドロームやメタボリックシンドロームに関連する重要な指標に及ぼす影響について研究している。

博士論文では、修士論文で得られた知見である複合トレーニングの順序性が脈波伝播速度を指標とした動脈スティフネスに異なる影響を及ぼす現象の再現性やメカニズム、性差やレジスタンス運動の強度などに視点を置き、さらに検討を深めた。

まず、地域在住の健常高齢男性を対象として中～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について検討した結果、動脈スティフネスの指標である脈波伝播速度（PWV）において、先にレジスタンス運動を実施する群ではトレーニング後に有意な低下を示したが、有酸素運動を先に実施する群では有意な変化は認められなかった。これらの結果より、高齢男性においては、先にレジスタンス運動を行い、その後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、そのメカニズムの代表的指標である血流依存性血管拡張反応（FMD）はレジスタンス運動を先に実施した群でトレーニング後に増加する傾向が認められた。

次に、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結果、体力や形態、脈波伝播速度（CAVI）においては運動の順序による影響差は見られず、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、歩行速度や最大挙上重量（1RM）を向上させるが、中等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だけでなくファンクショナルリーチも向上させ、運動強度が高齢女性の転倒・骨折に関連する動的バランス能力に及ぼす効果に違いを引き起こす可能性を示唆した。

塩津氏の研究は、超高齢社会を迎えた日本において、また多くの先進諸国において、より効果的で安全な複合運動トレーニングのプログラミングや指導方法のエビデンスを現場に提供でき

るものと大いに期待される。よって、本論文は、博士（スポーツ健康科学）（同志社大学）の学位を授与するにふさわしいものであると認められる。

## 総合試験結果の要旨

2018年7月12日

論文題目： 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

学位申請者： 塩津 陽子

審査委員：

主査： スポーツ健康科学研究科 教授 柳田 昌彦

副査： スポーツ健康科学研究科 特別客員教授 大平 充宣

副査： スポーツ健康科学研究科 教授 石倉 忠夫

要 旨：

本論文提出者は、2015年4月に本学大学院スポーツ健康科学研究科博士課程（後期課程）に入学し、2018年3月に満期退学した。修了に必要な単位取得としては、授業科目において「身体適応科学深論」「健康社会科学深論」の2科目4単位を、そして研究指導科目において「スポーツ健康科学特殊研究Ⅰ～Ⅵ」の6科目12単位を履修しており、必要単位数を満たしている。また各年度において優れた研究成果を挙げ、英語の語学試験にも合格しており十分な能力を有すると認定されている。

博士論文の内容は、筆頭著者として既にMenopauseに掲載されており、さらに、Experimental gerontologyにも受理されている。

2018年7月11日16時00分より約50分間にわたり提出論文に関する学術講演会（博士学位論文公聴会）が開催され、種々質疑討論がなされたが、提出者の説明により十分な理解が得られた。また、審査委員により論文内容ならびにこれらに関連する諸問題について約1時間にわたり口頭試問を実施した結果、本論文提出者は研究者として十分な学力を有することが認められた。

よって、総合試験の結果は合格であると認める。

## 博士學位論文要旨

論文題目： 健全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

氏名： 塩津陽子

### 要旨：

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。高齢者における健康づくり運動としては、心血管系疾患の危険因子や認知症の予防・改善に効果が認められている有酸素運動や、筋量・筋力の増加や、加齢に伴って低下する骨密度の維持・増加に寄与するレジスタンス運動が必要不可欠であると考えられる。近年、有酸素運動とレジスタンス運動を複合させたトレーニングが、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。しかし、高齢者が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るべきか否か、すなわち、順序性について検討した研究は、まだ緒についたばかりである。

博士前期課程の研究では、日常生活に支障のない地域在住高齢者を対象に10週間の介入研究を行い、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ける順序性が、体力や形態、血中成分、動脈スティフネス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する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。

この研究より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として一酸化窒素 (NO) や、血管内皮由来収縮因子であるエンドセリン-1 (ET-1) が、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。博士前期課程の研究では、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、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、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

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。

したがって、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。

実験1の結果として、両トレーニング群において、形態面の改善（体脂肪率、腹囲）、生活体力の向上（握力、歩行速度、ファンクショナル・リーチ、長座体前屈）や最大挙上重量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、先にレジスタンス運動を実施する群ではトレーニング後に有意な低下を示したが、有酸素運動を先に実施する群では有意な変化は認められなかった。これらの結果より、先行研究と同様、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。

高強度のレジスタンス運動は中心動脈のコンプライアンスを低下させ、動脈スティフネスを増加させることが報告されている。その一方で、習慣的な有酸素運動は血圧の上昇を抑制し、動脈のスティフネスを低下させることが報告されている。これらの報告は、レジスタンス運動によって引き起こされる中心動脈の硬化が、その後に行う有酸素運動によって、抑制される可能性がある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。博士前期課程の研究では、PWVの測定だけで動脈スティフネスを評価した。そこで実験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。その結果、先にレジスタンス運動を実施した場合、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、10週間のトレーニング期間であったが、加齢による血管内皮の器質的変化や機能的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、長期間の継続的な複合トレーニングについての研究が求められる。

次に、実験2の結果として、低強度や中等度強度の場合、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ないということが示唆された。一方、強度による比較では、低強度および中等度強度の両方のトレーニング群において、握力や歩行速度の向上、最大挙上重量の増加が認められたが、動的バランス能力は中等度強度のトレーニング群だけ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握力や歩行速度などの生活体力は改善できるが、転倒に関わる危険因子である動的バランス能力の向上には、中等度程度の強度が必要であることが示唆された。先行研究では、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、日常生活動作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。

本研究では、実験1、2における全てのトレーニング群で、最大挙上重量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。高齢男性を対象に複合トレーニングの順序性

を検討した先行研究で、下肢の筋力向上において順序性による差異が認められた報告がある。この先行研究は 12 週間のトレーニング期間で、さらに運動量が多い。先行研究と比較すると、本研究はトレーニング期間や量が少ないことが結果の違いに影響しているのかもしれない。

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。一方で、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。本研究ではレジスタンス運動単独の群を設定しなかったが、有酸素運動とレジスタンス運動の複合トレーニングは、高齢者において十分な筋力の向上をもたらす、日常生活活動 (ADL) の低下を防ぎ、骨折・転倒などを原因とする要介護状態を予防・改善できるものと考えられる。

久野らは、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。また、骨格筋は基礎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基礎代謝が低下することが明らかになっており、レジスタンス運動の実践によって、高齢者の除脂肪組織重量を増加させ、筋力とともに基礎代謝量を増加させることが大切である。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は、有酸素運動によって動脈のコンプライアンスを含む、心血管系疾患の危険因子を予防・改善すること、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の両面が健康寿命を延伸するために求められる。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をいかに安全で効果的に取り入れていくかが重要な課題である。

有酸素運動が血管機能を改善させることについては十分なエビデンスが蓄積されているが、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、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。また、有酸素運動とレジスタンス運動の複合トレーニングが、血管機能に及ぼす影響についての研究はまだ緒についたばかりである。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。今後、ますます高齢化が進む多くの先進国においては、有酸素運動とレジスタンス運動の複合トレーニングが重要な運動療法として期待され、さらに詳細なエビデンスが求められる。