

博士論文

高齢者の移動能力向上を目的とした
トレーニングの研究

平成 25 年度

東亜大学大学院 総合学術研究科 人間科学専攻

菅野 昌明

指導教員

古満 伊里 教授

目次

表一覧	2
図一覧	3
略語・記号一覧	4
第1章 緒言 (序章)	5
第2章 文献研究	8
第1節 加齢に伴う移動能力の変化に関する文献	8
第2節 高齢者のレジスタンス運動に関する文献	13
第3章 研究課題と研究目的	19
第1節 高齢者の歩行能力改善のトレーニングに関する課題	19
第2節 高齢者の階段昇段能力改善のトレーニングに関する課題	20
第3節 研究目的	21
第4章 介入研究I (研究I)	22
第5章 介入研究II (研究II)	35
第6章 介入研究III (研究III)	50
第7章 介入研究IV (研究IV)	63
第8章 総合討論	78
第9章 総括	83
謝辞	85
参考文献	87

表一覧

介入研究Ⅰ

表 1. エクササイズ・ウォーキング教室のプログラム

表 2. 介入前後の測定項目の変比

介入研究Ⅱ

表 3. レジスタンス運動プログラム（調整トレーニング期）

表 4. レジスタンス運動プログラム（基本トレーニング期）

表 5. レジスタンス運動プログラム（応用トレーニング期）

表 6. 介入前後の各測定項目の変化

表 7. 各測定項目の相関関係

介入研究Ⅲ

表 8. レジスタンス運動プログラム

表 9. 介入前後の各測定項目の結果

介入研究Ⅳ

表 10. レジスタンス運動プログラム

表 11. トレーニング（介入）前後の各測定項目の結果

図一覧

介入研究 I

- 図 1. 歩行速度の 1m 区間毎の介入前後の比較
- 図 2. CS-30 と TUG の介入前後の変化量の相関関係

介入研究 II

- 図 3. VCS-30 との相関関係 5m 速歩 (A), 10m 速歩 (B), TUG (C), ステッピング(D)

介入研究 III

- 図 4. 高速コンビネーション・スクワット
- 図 5. 高筋力群が介入後期に行った高速コンビネーション・スクワット・ジャンプ
- 図 6. 下肢筋力 (CS-30) の介入前の比較
- 図 7. 下肢筋力 (CS-30) の介入前後の変化量の比較

介入研究 IV

- 図 8. 高速コンビネーション・スクワット・トレーニング
- 図 9. 高速コンビネーション・スクワット動作の測定風景
- 図 10. 10m 速歩の上位改善群, 下位改善群における下肢角速度の変化率の比較
- 図 11. 階段昇段速歩の上位改善群, 下位改善群における下肢角速度の変化率の比較
- 図 12. 10m速歩, 階段昇段速歩のトレーニング前後の個人の変化率

略語・記号一覧

ACSM	American College of Sports Medicine, アメリカスポーツ医学会
BMI	Body Mass Index, 体格指数
CS-30	30-sec Seconds Chair Stand test, 30 秒間椅子立ち座りテスト
Ex	Exercise, エクササイズ (METs×運動時間)
FR	Functional Reach, ファンクショナルリーチ
GS	Grip Strength, 握力
METs	Metabolic Equivalents, メッツ (身体代謝)
QOL	Quality of Life, 生活の質
RPE	Ratings of Perceived Exertion, 主観的運動強度
S&R	Shit and Reach, シットアンドリーチ
SSC	Stretch-Shortening Cycle, 伸張-短縮サイクル
STP	Stepping, ステッピング
TUG	Timed Up & Go, 機能的移動能力
VCS-30	30-sec Chair Stand Velocity, 30 秒間椅子立ち上がり速度
WD12	12-minutes Walking Distance, 12 分間歩行テスト
WHO	World Health Organization, 世界保健機関
WV-10m	10m Walking Velocity, 10m 速歩
WV-5m	5m Walking Velocity, 5m 速歩

第1章 緒言（序章）

内閣府が発表した「平成 25 年度版高齢社会白書」によると、我が国は平均寿命の延伸と急速な出生率の低下による総人口の減少などによって、世界のどの国も経験したことのない高齢化社会を迎えることが予測されている（内閣府, 2013）。また、人口の高齢化に伴い増加する高齢者の要介護の原因の大半が、生活習慣病、認知症、高齢による衰弱、関節疾患、骨折、転倒などの生活機能の低下であることが報告されている（厚生科学審議会地域保健健康増進栄養部会次期国民健康づくり運動プラン策定専門委員会, 2012）。

これらの背景から、高齢者が要介護の原因となる生活習慣病や生活機能の低下を予防し、日常的な介護に頼ることなく心身ともに健康で自立した生活を営むことができる健康寿命を延伸することが提唱されている（厚生科学審議会地域保健健康増進栄養部会次期国民健康づくり運動プラン策定専門委員会, 2012）。健康寿命は世界保健機関（WHO）が 2000 年に示した新しい寿命の指標で、平均寿命から寝たきりや認知症などの介護状態の期間を差し引いた期間である。そのために、疾病予防や健康増進、介護予防などによって平均寿命と健康寿命が延伸すれば、高齢者の生活の質の低下を防ぐと共に、高齢者にかかわる社会保障費の負担軽減も期待できる（厚生科学審議会地域保健健康増進栄養部会次期国民健康づくり運動プラン策定専門委員会, 2012）。

高齢者の健康寿命の延伸に向けた取り組みには、医療、栄養、生活習慣などの側面から複数の提案がなされている（厚生労働省, 2013）。その中で、身体活動量を増加させることは健康寿命に影響を及ぼすメタボリックシンドロームを含めた代謝系疾患や循環器系疾患などの生活習慣病の予防に有効であり（運動所要量・運動指針の策定検討会, 2006）、これらの疾患が原因となる死亡リスクの減少やロコモティブシンドローム（運動器症候群）などの加齢に伴う生活機能の低下リスクを低減できる可能性が示唆されている（厚生労働省, 2013）。

そこで、厚生労働省は 21 世紀における国民の健康づくり運動（健康日本 21）の取り組みとして、2006 年に「健康づくりのための運動指針 2006」を策定し、2013 年には「健康づくりのための身体活動基準 2013」と改定し、国民に対して具体的な指標を示しながら身体活動の積極的な増加を働きかけている。

しかしながら、1 日当たりの歩数で評価される国民の身体活動量は、近年各世代とも男女で大幅に減少している（平成 21 年国民健康・栄養調査）ことや、歩行速度で評価される歩行能力は 60 歳から 70 歳を境に顕著な低下を示すことが報告されている（金ほか, 2000）。歩行能

力の低下は、高齢者の心身の健康や活動的な生活にも影響を及ぼし（衣笠ほか, 1994, 新開, 2000, WHO, 2010), 死亡, 転倒, 要介護の各リスクが増大することが明らかになっている（Studenski et al, 2011, 鈴木, 2000, 木村, 2008）。また, Aoyagi et al (2009) は, 高齢者の歩行速度は中高強度の身体活動量と関連性があることを報告している。

歩数で示される身体活動量は, 年齢, 性別（厚生労働省, 2013), 職業・職種（吉澤ほか, 2012), 居住地域（Dyck et al, 2011) などに影響を受けることが報告されているが, 歩数の減少の原因については明らかになされていない。一方で, 移動能力の低下は, 過体重（Davison et al, 2002), 関節痛（Onder et al, 2006), 抑うつ（McDermott et al, 2003), 身体活動量の減少（Rejeski et al, 2004), 低栄養（権ほか, 2005) などに加え, 加齢や身体活動不足に起因する下肢筋量の減少, タイプ II 線維の委縮, 運動単位機能の低下, 伸張-短縮サイクル（Stretch-Shortening Cycle : SSC) 機能の低下（Himann et al, 1988, 三井と図子, 2006) などの生理学的要因, あるいは下肢筋力, 下肢パワー, バランス能力, 柔軟性の低下（Bassey et al, 1992, Brown et al, 1995, 久野ほか, 2003) などの体力学的要因が関与していることが報告されている。

このような要因の低下を改善するためには, 筋に過負荷となる抵抗負荷を与えるレジスタンストレーニング（以下, レジスタンス運動）が有効であることが明らかであり（ACSM, 2011a）。適切に処方されたレジスタンス運動は, 筋量の増加, 筋力や筋パワーなどの筋機能の改善に有効であることが報告されている（Faigendaum, 2008）。したがって, レジスタンス運動によって筋量や筋機能が改善され, 歩行速度などの移動能力が向上すれば, 健康づくりに必要な身体活動量の増加にも貢献することができると考えられる。

伝統的なレジスタンス運動は, 比較的ゆっくりとした低速で反復され反復動作を用いない手法が推奨されてきた（竹島, 2012）。その理由は, 力と時間の積で示される力積を増加させ, 筋量の増加に不可欠な力学的ストレスを増大させるためである（後藤, 2003, 谷本, 2005）。しかし, このような低速レジスタンス運動は, 筋量や筋力の増加に対しては有効的であるものの, 歩行, 階段昇降などの移動能力や身体活動能力の改善効果については, それほど大きくないことが報告されている（Latham et al, 2004）。一方で, Fleck and Kraemer (2004) は, 身体活動能力の改善には, 身体活動の活動筋群, 筋活動様式, 力-速度関係などの特性が類似したレジスタンス運動を行うことの重要性を示唆している。また, Bassey et al (1992) は身体活動能力には筋量や筋力よりも素早く力を発揮する能力, すなわち筋パワーが密接に関係していることを示唆し, Sayers (2008) は素早い動作速度を強調した高速レジスタンス運動が身体活

動能力の改善に必要であることを示している。これらの知見に対して、Bean et al (2002) や Krebs et al (2007) は、歩行などの動作様式、すなわち活動筋群や筋活動様式が類似したレジスタンス運動が高齢者の日常生活動作パフォーマンスの向上に有効であることを報告している。ところが、これらの先行研究は、力 - 速度関係が類似する高速でエクササイズが行われていない。また、高齢者においては、結合組織への過度のストレスを避けることや、負荷の増加に伴う血圧上昇を抑制させるために、自体重負荷や低負荷のレジスタンス運動が推奨されている(鯉坂, 2009)。しかし、これらの負荷強度で行われる高速レジスタンス運動の移動能力に対する改善効果については十分な知見は得られていない。

他方、日常生活の中で行われる歩行、階段昇降などの移動動作には主に股関節伸展筋群、膝関節伸展筋群、足関節底屈筋群が複合的に作用している (Gottschall and Kram , 2003, 西島ほか, 2003)。そのために、高齢者の移動能力の改善にはこれらの筋群やこれに関連する下肢関節を総合的に高めるレジスタンス運動が実施されている (Bean et al, 2002, Krebs et al, 2007)。しかし、レジスタンス運動に伴う下肢の筋群や関節の機能的改善度が、移動能力にどのように貢献しているのかについて十分な検討がなされていない。

これらの現状を踏まえ、移動能力の向上に有効的なレジスタンス運動やレジスタンス運動の実施に伴う下肢関節動作の機能的な変化が、移動能力にどのように貢献しているのかが明らかになれば、加齢に伴う移動能力の低下を効率的に維持・改善するためのトレーニング法の開発に寄与することができると考えられる。

第2章 文献研究

第1節 加齢に伴う移動能力の変化に関する先行研究

I. 移動動作などの身体活動量の増加が心身に及ぼす影響

これまでに、歩行などの身体活動量の増加が心身の健康に有益であることが多岐に報告されている (Paffenbarger et al, 1986, Iwane et al, 2000, Yasunaga et al, 2006, Yoshiuchi et al, 2006, 山本ほか, 2007, WHO, 2010)。例えば、身体活動量の指標として最も代表的な歩数では、1日に10,000歩程度の歩行や1日に60分間程度の身体活動が降圧作用、および体脂肪量、体脂肪率、血糖、中性脂肪などの減少、あるいはロコモティブシンドローム (運動器症候群) などの生活機能低下の予防に有効であることが報告されている (運動所要量・運動指針の策定検討会, 2006, Paffenbarger et al, 1986, 厚生労働省, 2013)。また、2007年の日本人の非感染疾患と障害による成人死亡の主要な単一因子は、喫煙と高血圧に次いで身体活動不足が高い因子であり (Ikeda et al, 2012)、1日の歩数が多い高齢者は健康関連 QOL (Quality of life) やメンタルヘルスが良好であることが報告されている (Yasunaga et al, 2006, Yoshiuchi et al, 2006)。

厚生労働省が2006年に策定した「健康づくりのための運動基準2006」には、1週間当たりの身体活動量の基準値に、運動強度の指標のひとつである METs (メッツ) と身体活動時間の積で示されるエクササイズ (Ex) という表記が用いられ、普通歩行、速歩、自転車での移動などの3メッツ以上の強度で行われる身体活動を、週23エクササイズ (メッツ・時) 行うことが推奨されている (運動所要量・運動指針の策定検討会, 2006)。この身体活動量を1日の歩数に換算すると、およそ8,000歩から10,000歩であることが示されている (運動所要量・運動指針の策定検討会, 2006, 厚生労働省, 2013)。また、2013年に改定された「健康づくりのための身体活動基準2013」では、1日に3メッツ以上の強度の身体活動を18~64歳は60分間、65歳以上では40分間、全年齢層に共通する考え方では「今よりも毎日10分ずつ長く歩くようにする」といった、年齢や現在の身体活動量の個人差に配慮した具体的な指標が示されている (厚生労働省, 2013)。これらの基準値はエビデンス・レベルの高い、システムティックレビュー、およびメタ解析を基盤に設定され、メタボリックシンドローム、II型糖尿病、脂質異常症などの代謝系、高血圧症、冠動脈疾患などの循環器系の生活習慣病の予防、あるいはロコモティブシンドローム (運動器症候群) などの生活機能低下の予防に有効な身体活動量であるこ

とが示されている（運動所要量・運動指針の策定検討会, 2006, 厚生労働省, 2013）。また, 身体活動量の増加と生活習慣病や生活機能低下などの発症リスクの低減には, 量反応関係があることが認められている (Zheng et al, 2009, 厚生労働省, 2013)。

以上の報告は, 歩数や時間で示されている身体活動量に関するものであるが, 身体活動強度に関連する報告も散見される。中高齢者を対象とした身体活動強度と死亡率との関係の調査によると, 4~6 メッツ以上の中・高強度の身体活動習慣と死亡率との間には有意な負の相関関係があるものの, 4 メッツ以下の低強度の身体活動習慣と死亡率との関連性は認められていない (Lee and Paffenbarger, 2000)。また, 運動耐容能力と全死亡および心血管疾患との関連性を検討したメタ解析では, 運動耐容能力が 1 メッツ増加した場合には全死亡は約 13%, 心血管疾患については約 15% リスクが減少することが明らかになっている (児玉と曾根, 2010)。

一方で, ロコモティブシンドロームに関連する報告においても, 歩行速度が速い高齢者や歩数が多い高齢者は骨密度が高く (石田ほか, 2002, 小松ほか, 2003), 佐藤ほか (2008) は, 骨密度低下の予防には歩行量に加えて歩行速度を考慮する必要があることを示唆している。また, 階段昇降運動は平地での歩行と比較して下肢に 2~3 倍の負担がかかり, 日常生活における移動運動のなかで最も負担の多い動作のひとつである (沢井ほか, 2004) ことや, 階段昇降動作は高齢者の日常生活における不自由さや外出状況との関連性があり (南ほか, 1997), 階段は転倒による日常災害の発生率が高い箇所であることが示唆されている (直井, 1978)。

II. 加齢に伴う移動能力の低下に関与する要因

移動能力は加齢と共に徐々に低下することが知られ, 歩行速度で示される歩行能力は 60 歳以降から顕著に低下し (金ほか, 2000), 20 歳を 100% とした場合 60 歳で約 60%, 70 歳では約 54% にまで低下することが示唆されている (衣笠ほか, 1994)。このような歩行速度の低下は, 高齢者の心身の健康や活動的な生活にも影響を及ぼし (衣笠ほか, 1994, 新開, 2000, WHO, 2010), 転倒リスク, 要介護リスク, 死亡リスクが増大すること (鈴木, 2000, 木村, 2008, Studenski et al, 2011) や, 将来引きこもり老人になりやすいことなどが報告されている (新開, 2000, 木村, 2008)。また, 高齢者の歩行速度は中高強度の身体活動量との間には有意な相関関係があることが示唆されている (Aoyagi et al, 2009)。

加齢に伴う移動能力の低下には, 過体重 (Davison et al, 2002), 関節痛 (Onder et al, 2006), 抑うつ (McDermott et al, 2003), 身体活動量の減少 (Rejeski et al, 2004), 低栄養 (権ほか, 2005) などの要因が関与し, さらに加齢や身体活動不足などに起因する生理学的要因や体力的

要因の低下、ストライド長やストライド頻度など運動学に関するパラメーターの変化などが報告されている。

生理学的要因では、下肢筋量の減少、タイプII線維の委縮、運動単位機能の低下 (Himann et al, 1988), SSC 機能の低下 (三井と関子, 2006) などが関与していることが示唆されている。加齢に伴う筋量の減少はサルコペニア (Sarcopenia) と呼ばれ、30 歳代までに筋量の減少が始まり、50 歳代からその減少が顕著に目立ち始める (Janseen et al, 2000)。このような、筋量の減少は筋収縮活動の持続性能力に優れたタイプ I 線維 (遅筋線維) と比較して、高い筋力発揮能力や素早い筋収縮能力を有するタイプ II 線維 (速筋線維) の方が顕著である (Larsson, 1983)。また、タイプ II 線維においてはサブタイプの連続体であるタイプ II_x が大幅に減少し、タイプ II_a 線維が増加するといった速筋線維のサブタイプの遅筋化が生じることも報告されている (Sugiura et al, 1992)。一方、身体部位で比較した場合には、上肢と比較して下肢の方が顕著であり (Miyatani et al, 2003)、下肢では膝関節伸筋群や足関節底屈筋群の筋萎縮が顕著である (宮谷ほか, 2003)。

筋力発揮に筋量と共に影響を及ぼす神経系機能のひとつである運動単位は、10 歳代から 90 歳代までに約 25%失われる (Bellew, 2004)。また、上位中枢から伝達された大脳皮質からの運動指令の減少と α 運動ニューロンの興奮低下が、運動単位の動員と発火頻度に影響を及ぼし、そのため筋力発揮能力が損なわれる (Barry and Carson, 2004)。さらに、主働筋活動時の拮抗筋の同時収縮が増大しスムーズな筋力発揮を妨げることが示唆されている (Macaluso and DeVito, 2004)。これらの筋量の減少や筋組成の変化、神経系機能の低下に加えて、ホルモン分泌の減少、栄養不足、身体活動量の減少、慢性疾患の蓄積などが、筋力や筋パワーなどの筋機能の低下の主な原因となる (Kraemer, 1992, Fiatarone and Evans, 1993)。

加齢に伴う筋力の低下は、筋量の減少よりも顕著であり (Hughes et al, 2001)、筋量の減少と同様に下肢の方が上肢と比べて筋力の低下が著しい (Thompson, 1994)。この筋力の低下の主要な原因は上肢と下肢ではやや異なり、下肢は筋量の減少に加えて運動単位や発火頻度などの神経系機能の低下が関係しているのに対して、上肢では筋量の減少が最も影響していることが示唆されている (Landers et al, 2001)。

加齢に伴う筋パワーの低下も筋力同様に上肢よりも下肢において顕著であり、筋パワー低下の原因は主に筋収縮速度の減少によって引き起こされることが報告されている (加賀谷ほか, 1993)。また、筋厚よりも筋力が、筋力よりもパワーの方が著しい低下傾向を示し (福永, 2005)、パワーに代表される垂直跳びの成績は筋力よりも顕著に低下することが報告されている (小林

と近藤, 1985)。このような、加齢に伴う筋量の減少や筋力、筋パワーなどの筋機能の低下は、移動能力と密接に関連していることがいくつか報告されている (Bassey et al, 1992, 加賀谷ほか, 1993, 金ほか, 2000, Rantanen et al, 2001)。金ほか (2000) は、股関節屈曲筋群のひとつである大腰筋の筋量は加齢と共に低下し、歩行速度との間に有意な相関関係があることを報告している。眞竹ほか (2007) は、通常の歩行速度では下肢筋力とは有意な相関関係が認められなかったものの、歩行速度を増加させた場合には有意な相関関係を示すことを明らかにしている。また、Bassey et al (1992) は、移動能力や日常的な身体活動には筋力よりも筋パワーの方が重要であり、脚伸展筋パワーは歩行速度、階段昇段速度、椅子からの起立速度などと有意な相関関係があることを示している。

一方、歩行動作は身体重心の位置エネルギーと運動エネルギーの変化による振り子の原理で行われているとする力学的モデルに対して、川上と福永 (2006) は、歩行動作はランニング動作と同様に下肢全体の筋腱複合体が伸張—短縮するバネ機構が用いられ、歩行動作の効率を高めていると報告している。このバネ能力である筋腱の弾性収縮要素は加齢に伴って低下し、その結果、SSC を用いる身体活動動作パフォーマンスも低下することが示唆されている (Bosco and Komi, 1980)。また、三井と岡子 (2006) は、歩行能力には SSC 能力が下肢筋力やバランス能力を基礎とした階層モデルの上位に位置するため、下肢筋力などに加えて SSC 能力を改善することが高齢者の歩行能力の改善に重要であることを示している。

これらの筋機能に関連する体力的要因以外では、歩行速度はバランス能力と関連性があることが報告されている (猪飼ほか, 2006)。バランス能力とは、重力下の身体重心を支持基底面内に維持、あるいは支持基底面に戻すことにより平衡を維持する能力である (Nashner, 1990)。この能力には、姿勢調整機構である感覚器系、中枢神経系、運動器系に加え (内山, 2001) 高齢者では下肢筋力が重要な役割を果たしている (Horak et al, 1989)。また、これらの姿勢調整機構や下肢筋力は加齢に伴い低下することが明らかであり、これに起因するバランス能力の低下が歩行動作のストライド長の低下にも影響を及ぼし (Judge et al, 1995)、その結果、歩行速度が低下して高齢者の転倒リスクを増大させる (木村, 2008) と考えられている。

以上のように、加齢に伴う歩行速度の低下には、下肢筋量、筋線維サブタイプ、神経系機能、下肢筋力、下肢筋パワー、SSC 能力、バランス能力といった複数の要因が関与していると考えられているが、どの要因が強く影響を及ぼすかについては、対象者の体力水準、身体活動習慣、歩行速度などによって個人差があると考えられている。

Ⅲ. 加齢に伴う歩行の運動学的パラメーターの変化

歩行の運動学に関するパラメーターの研究では、これまでにストライド長、ストライド頻度、歩隔などの報告がある (Himann et al, 1988, 吳と渡部, 2005, 湯ほか, 2007, 宮辻ほか, 2007)。ストライド長とは、左右いずれか一方の足が接地してから、再度同側の足が接地するまでの距離であり、逆側の足が接地するまでの距離はステップ長と呼ぶ。一方、ストライド頻度は、1分間当たりの歩数 (ステップ数) のことで、ケーデンスと呼ばれることがある。また、歩隔は左右の踵の幅である (Götz-Neumann, 2005)。

歩行速度はストライド長とストライド頻度の積によって規定されるが、加齢に伴う歩行速度の低下には、ストライド長の減少が強く影響を及ぼしていると報告されている (Himann et al, 1988)。また、ストライド長の減少には、加齢に伴う下肢筋力や筋パワーの低下、バランス能力の低下が関与していると考えられている (Bassey et al, 1992, Judge et al, 1995, Lindle et al, 1997)。しかし、高齢者の歩行速度にかかわるストライド長とストライド頻度の低下には、生活習慣などに伴い個人差が生じること (湯ほか, 2007) や、高齢者は歩行速度の向上に伴ってストライド長とストライド頻度が増加するものの、ストライド頻度の増大がより顕著であることなどが報告されている (吳と渡部, 2005)。これらの報告から、歩行速度を増加させるためにはストライド長とストライド頻度の両者を高めることが必要であると考えられる。

一方、歩行時の足向角度を検討した宮辻ほか (2007) の研究では、高齢者は若年成人と比較して男女とも足部の外旋角が大きく歩隔も広いことという特徴があり、この特徴には下肢筋機能やバランス能力の低下などが関与していると考えられている。

Ⅳ. 階段昇段動作の特性と加齢変化

歩行能力に対して、階段昇段能力に関する研究報告は極めて少なく、その中で階段昇段動作における活動筋群に関する報告が多いため階段昇段能力についてはこれらの知見をまとめる。

西島ほか (2003) は、筋電図を用いた分析により階段昇段動作には股関節伸展筋群、膝関節伸展筋群、足関節底屈筋群が関与し、これらの筋群は昇段速度の増加に伴い放電量が増加することを明らかにしている。また、吉澤ほか (2004) は、階段昇段動作において靴底全面をステップに着床する方法と靴底前半部を着床する方法とを検討した結果、靴底前半部を着床する方法では腓腹筋やヒラメ筋などの足関節底屈動作に貢献する筋群の筋放電量が増加する特性があり、ステップ高が増加すると支持脚の膝関節伸展筋群や足関節底屈筋群の筋放電量の積分値が有意に増大することを示唆している。一方、McFadyen and Winter (1988) は、階段昇段

周期における下肢の筋活動パターンは、ステップ面に片足を乗せ身体を上方に引き上げる局面において、支持脚の大殿筋や大腿四頭筋などの活動が増加し、身体を前方に移動する局面では、下腿三頭筋の活動が増加することを報告している。したがって、階段昇段動作全体においては、股関節伸展筋群、膝関節伸展筋群、足関節底屈筋群が関与しているものの、昇段周期によってその貢献度が異なることを示している。

また、若年成人と高齢者の階段昇段における動作パターンを比較した勝平ほか（2004）の研究によると、高齢者は上体をかなり前傾させて昇段を行う特徴があることから、加齢に伴う膝関節伸展および足関節底屈などの筋力低下を補うために、股関節伸展トルクを増大させる姿勢で階段昇段を行っていると考えられている。

ところで、高齢者では下肢筋群の機能低下や下肢関節に傷害を有する場合には、通常行われている1足1段での昇段ではなく、2足1段での昇段動作が用いられることがある。枝松ほか（2001）は、身体の数学的モデルから階段昇段動作を分析し、2足1段昇段では1足1段昇段と比較して、後続脚の膝関節伸展動作と先導脚の足関節底屈動作に加わる負担が減少することを報告している。また、この知見に基づき膝関節伸展機能が低下している場合には、健側脚を2足1段昇段の先導脚とし患側脚を後続脚に、逆に足関節底屈機能が低下している場合には、患側脚を先導脚にし、健側脚を後続脚にして昇段することを推奨している。

これらの報告は、すべて階段昇段動作に関するものであるが、加藤ほか（2004）は、階段下降動作の速度増加に伴う下肢筋群の対応を分析し、下降速度を増加させた場合には、股関節屈曲筋群や膝関節屈曲筋群の放電量が増加することから、これらの筋群の素早い筋活動によってスムーズな下降速度に対応していると報告している。

第2節 高齢者のレジスタンス運動に関する先行研究

I. レジスタンス運動の効果

レジスタンス運動（レジスタンストレーニング）とは、筋や腱などに対して過負荷となる抵抗負荷を与え神経-筋機能の適応を引き出すトレーニングの総称で、国内の競技スポーツやフィットネス領域で普及している筋力トレーニングやウェイトトレーニング、あるいは海外で用いられているストレングストレーニングと同義語である。

レジスタンス運動は抵抗負荷の大きさ、すなわち強度と反復回数やセット数で示される量の設定に応じて異なる適応が生じる。強度が高く反復回数が少ない場合には筋力向上に対する効果が得られ、強度が低く反復回数が多い場合には筋持久力の向上に効果的であることが示唆さ

れている (Anderson and Kearney, 1982)。したがって、強度、量、セット間休息时间、動作速度などのトレーニング・プログラム変数 (Fleck and Kraemer, 2004) の操作によって筋肥大、筋力向上、筋パワー向上、筋持久力向上などの目的を効率的に達成することが可能となる (Fleck and Kraemer, 2004)。筋に対して過負荷となる外的な抵抗負荷の様式は多岐にわたり、バーベルやダンベルなどのフリーウェイトとウェイト・スタック式マシン、プレートローディング式マシンなどの慣性抵抗、エラスティックバンドなどの弾性抵抗、ウェイトスレッドなどの摩擦抵抗、そして油圧抵抗、空気圧抵抗、水流抵抗に代表される流体抵抗などが存在する。また、レジスタンス運動マシンでは、抵抗負荷が筋の「長さ-力関係」の特性に類似して変化する可変抵抗負荷の様式などがある (Harman, 2008)。

このように、強度や量の変数操作によって筋力だけではなく他の筋機能の改善に有効的であることや、筋に与える抵抗負荷様式に多様性があることから、現在では特定の筋機能や抵抗負荷様式を指す筋力トレーニングやウェイトトレーニングという名称よりも、レジスタンス運動の方が望ましいと考えられている。

また、レジスタンス運動は筋肥大、筋力、筋パワーなどの改善効果に加え、加齢に伴う筋量の減少、骨密度の減少、筋機能や筋代謝能力の低下、体脂肪の増加などに対して有益であり (Faigendaum, 2008)、スポーツや日常生活における、さまざまな身体活動パフォーマンス向上 (Fleck and Kraemer, 2004)、転倒予防 (竹島, 2006)、生活習慣病やメタボリックシンドロームの改善に効果があることが示唆されている (田辺ほか, 2008, 久野, 2009)。

II. 筋量と筋力増加に対する効果

若年成人においてレジスタンス運動が筋量や筋機能の改善に有効的であることは知られているが、高齢者においても筋量や筋力が増大することが明らかになっている。また、Fleck and Kraemer (2004) は、若年成人の筋力の増加は、筋量と神経系機能の相互関係によってもたらされていることを示唆しているが、Häkkinen et al (1998) は、高齢者に対して 10 週間のレジスタンス運動を行ったところ、筋横断面積と最大積分筋電図の平均値が増大したことから、高齢者においても筋肥大と神経系の両方に改善効果が生じることを報告している。

Fiatarone et al (1990) は、非常に高齢 (86~96 歳) の男女に対して最大拳上重量 (One Repetition Maximum : 1RM) の 50~80% の強度で 8 週間の膝伸展エクササイズを行ったところ、筋サイズが有意に増大し極めて高齢の人でも筋肥大が生じることを証明した最初の研究である。また、Bemben et al (2000) は、41~60 歳の女性を対象に 80%1RM と 40%1RM

の強度を設定し、上肢と下肢の筋肥大の効果を比較した。その結果によると両強度とも筋横断面積は有意に増加したが、トレーニング強度による差は認められていない。これらの報告は、中等度や高強度の負荷を用いたトレーニングであれば、高齢者においても筋量や筋力の増加が期待できることを示唆している。一方で、Fujiwara et al (2011) は、自体重負荷でのかかとの上げ下げ動作によって下腿部の筋量が増加したと報告している。しかし、Kubo et al, (2003) は、自体重負荷でのスクワット動作においては、大腿四頭筋の筋厚の変化は認められていないことを示している。Peterson et al (2010) は、過去に行われた高齢者のレジスタンス運動研究のメタ解析によって、高齢者の筋力の改善は 20~30%が見込まれ、強度が高いほど効果が大きいことを示している。

ところで、レジスタンス運動による筋肥大は、筋に対する力、伸展、短縮、圧迫などの力学的ストレスと、筋内の乳酸、水素イオン、無機リン酸、アデノシン三リン酸などの変化や低酸素状態による化学的ストレスに起因する(後藤,2003, 谷本, 2005)。したがって、筋肥大を誘発するためには、力学的ストレスと化学的ストレスが生じやすいトレーニング法が有効的であるとされている(谷本, 2005)。

筋力の増加について、Fiatarone et al (1994) は、高齢者に対して 80%1RM の強度で 10 週間のレジスタンス運動を行ったところ、筋サイズには変化は認められなかったが筋力が有意に増大し、さらに歩行速度、階段昇段パワー、バランス能力が向上したことを報告している。また、Fatouros et al (2005) は、50~55%1RM と 80~85%1RM でのトレーニング効果を比較した結果、筋力増加の効果と 48 週間のディトレーニング後の筋力の維持効果は、いずれも低強度よりも高強度が優れていたことを示している。一方で、40~50%1RM から 80~85% 1RM の範囲で行われた複数の研究を比較した結果、筋力増加に対する効果は強度による違いは見られないとする報告や、高強度でのトレーニングの方が大きな効果が得られるとする報告がある(金久, 2007)。

このような筋量や筋力に対するトレーニング効果は、強度や量、部位、対象者の体力水準、年齢、身体活動経験、反復における追い込み方、筋に与えるストレスの種類などが影響していると考えられ、対象者が低体力者であれば自体重負荷でも筋に対して過負荷が与えられ筋肥大や筋力増加が生じる可能性がある。しかし、高体力者の場合では筋に過負荷となる外的な抵抗負荷を加えない限り期待する効果が得られないと考えられる。また、高齢者が行うレジスタンス運動では、筋肥大には 70~85%1RM の強度で 8~12 回の反復で 3 セット、週 2~3 回、少なくとも 8~12 週間のレジスタンス運動を、筋力向上には 80%1RM 以上の強度で 8 回までの

反復で3~5セット, 週3回, 数週間のレジスタンス運動が推奨されている (Meyer et al, 2011)。

III. 筋パワー増加に対する効果

レジスタンス運動は, 高齢者のみならずスポーツトレーニングの領域においても, 伝統的に比較的ゆっくりとした速度での反復動作を行うことが推奨されてきた (竹島, 2012)。この背景には, 1980年代から全米を中心に広く普及した, ノーチラス・マシン (Nautilus Machine) の手法が強く影響を及ぼしていると思われる。このレジスタンス運動マシンは, オーム具に形状が類似する特殊なカムによって, 関節角度に応じてウェイト・スタックのモーメントアーム長が変化して抵抗負荷 (トルク) が増減するようにデザインされ, 「長さ-力関係」に応じた抵抗負荷を与えることができる可変抵抗の概念を初めて具体化したマシンである (Harman, 2008)。また, このレジスタンス運動マシンを用いたトレーニング法では, 筋の短縮時 (コンセントリック筋活動) に2秒間, 伸張時 (エキセントリック筋活動) は4秒間かけて, 1回の反復動作を計6秒間で行い, 反動を用いることなく反復の限界まで正確に行うことが最も効果的であると提言されていた (Darden, 1985)。

一方, 窪田 (1986) は, アイソトニックでのレジスタンス運動では, 反動動作を用いないで静かに動作を行うストリクト・スタイル (Strict Style) で1回の反復を1.5~3秒間程度で行い, 筋パワーを向上させるトレーニングでは, 爆発的な素早い速度で行うことを推奨している。

比較的ゆっくりとした反復速度は, 爆発的な加速を伴う拳上動作と比較して, バーベルやダンベル, あるいはウェイト・スタック・マシンの抵抗負荷に対する加速度を最小限に制限できるため, 拳上動作開始時から終盤まで筋に対して安定した刺激を与えることができる。そのため, 筋肥大を誘発する力学的ストレスのひとつとなる (後藤, 2003, 谷本, 2005)。また, 低強度の負荷であっても1回の反復動作に10秒間前後の時間をかける, 超低速レジスタンス運動によって化学的ストレスが増大し, 筋肥大が生じることが報告されている (Tanimoto and Ishii, 2006)。このような, 低強度・超低速でのレジスタンス運動は, 結合組織への過度のストレスを避ける必要のある中高齢者や整形外科的傷害を有する対象者のリハビリテーションなどに有用な手法であると考えられる。

しかし, 伝統的な低速や超低速レジスタンス運動は筋パワーの改善効果はそれほど小さく, 筋パワーの増加や高速領域での爆発的な力発揮能力の改善には高速レジスタンス運動を行う必要性が示唆されている (Zatsiorsky and Kraemer, 2004, Tanimoto and Ishii, 2007)。金久 (2007) は, 高齢者の筋パワー向上トレーニングに関するレビューにおいて, 拳上動作を爆

発的で素早い速度で行う高速レジスタンス運動が高齢者にも実施可能であると同時に、筋パワーの改善に有効であることを示している。また、Bassey et al (1992) は、移動能力や日常的な身体活動には素早い力発揮能力である筋パワーが重要であり、脚伸展筋パワーが歩行速度、階段昇段速度、椅子立ち上がり速度などと有意な相関関係があることを示している。これに関連して、Fleck and Kraemer (2004) は、スポーツや日常生活活動のパフォーマンス向上を目的としたトレーニング・プログラムの階層モデルにおいて、筋パワーを筋力や筋量よりも上位に位置づけている。

このような筋パワーは、力とスピードの積で求められるため、筋力や筋収縮速度が改善すれば筋パワーは向上する。また、最大パワーは等尺性最大筋力の 30%の負荷で最大のスピードで活動が行われたときに発揮されることが明らかになっている(金子ほか, 1981)。そのために、筋パワーの向上には最大筋力の 30%の負荷でレジスタンス運動を行うことが推奨された(金子, 1988)。しかし、スポーツや日常生活の身体活動が常にこのような値で行われているわけではないため、Zatsiorsky and Kraemer (2004) は身体活動動作パフォーマンスに必要な筋パワーの改善には、力-速度曲線における負荷やスピードが類似する範囲でレジスタンス運動を行うことが重要であると示している。また、筋パワーの向上はパワートレーニングに用いられた負荷と速度に依存して特異的に生じ、低負荷・高速のトレーニングでは低負荷領域のパワーが、高負荷・低速のトレーニングでは高負荷領域でのパワーが向上することが明らかになっている(金子ほか, 1981, Zatsiorsky and Kraemer, 2004, Fleck and Kraemer, 2004)。

IV. 移動能力や身体活動能力に対する改善効果

高齢者が日常生活で行う移動能力や身体活動能力には筋量、筋力、筋パワー、SSC 機能などが関連している(Bassey et al, 1992, 久野ほか, 2003, 三井と図子, 2006) ことから、これらの筋量や筋機能の改善に有効的なレジスタンス運動が推奨されている(Faigendaum, 2008)。また、高齢者のレジスタンス運動は筋量の増加や筋機能の改善に有効であると共に、移動能力や身体活動能力に対する改善効果も示唆されている(Galvão and Taaffe, 2005, Sayers, 2008)。しかし、レジスタンス運動によって、筋量や筋機能が改善したとしても移動能力や身体活動能力の変化が認められたとする報告もあれば、変化が認められないとする報告もあり、歩行能力、起居能力、階段昇降能力などの身体活動能力の改善に対しては有効かどうかについては一致した見解は得られていない(金久, 2007)。

一方、このような移動能力や身体活動能力の改善には、パフォーマンスに関わる活動筋群や

動作様式などの特性が類似するレジスタンス運動が有効的であることが示唆されている (Zatsiorsky and Kraemer, 2004, Fleck and Kraemer, 2004)。移動能力の代表である歩行動作では、立脚期に股関節伸展筋群や足関節底屈筋群が、遊脚期には股関節屈筋群や足関節背屈筋群が主に活動し (Okamoto K and Okamoto T, 2001)、歩行動作における前方への推進力を生み出す力は足関節底屈動作が貢献していることが示唆されている (Gottschall and Kram, 2003)。堤ほか (1997) は、椅子立ち上がり動作の筋電図のデータと歩行動作の活動筋群が類似していることから、股関節・膝関節伸展動作に足関節底屈動作を加えるトレーニングが歩行能力の改善に有効であるとしている。Krebs et al (2007) は、高齢者に対して通常のレジスタンス運動群と、日常生活に類似したレジスタンス運動群との介入前後の結果を比較したところ、筋力の増加率は両群間に差が認められなかったものの、歩行速度は両群共に増加し、その増加率は日常生活に類似したレジスタンス運動群の方が高いことを報告している。Bean et al (2002) は、高齢女性に対して歩行動作などの日常的な身体活動動作との類似性が高いレジスタンス運動群と類似性が低いレジスタンス運動群を比較したところ、身体活動との類似性の高いレジスタンス運動群が歩行速度の向上に有効であったことを示唆している。

また、Sayers (2008) は、一般的な日常生活で行われる移動や身体活動は素早い動作で行われたため、身体活動能力の改善を目的としたレジスタンス運動では発揮筋力の大きさよりも筋収縮速度の方が重要であることを示唆し、Hruda et al (2003) は、高齢者を対象に自体重やエクササイズチューブなどの軽負荷で行う高速レジスタンス運動を行ったところ、6m 歩行、TUG、脚伸展筋パワーが有意に改善したことを報告している。このような高速レジスタンス運動に関して長谷川 (2013) は、拳上スピードをモニタリングして即時的にフィードバックを与えるトレーニング法が従来から行われている高速レジスタンス運動よりも筋力、拳上スピード、筋パワーなどの筋機能に加え、跳躍能力やスプリント走能力の改善効果が高いことを示し、この手法で行うトレーニング方法の重要性を示唆している。

しかし、Tschopp et al (2011) が行ったメタ解析によると、高齢者の高速で行うパワートレーニングはバランス、歩行能力、筋力、パワー、筋量などへの効果量 (Effect size) は小さかったとしている。そのため、竹島 (2012) は、パワートレーニングだけでなく伝統的な低速レジスタンス運動も導入した、バリエーションをもったプログラムづくりの必要性を示唆している。また、池添と市橋 (2009) は、自体重負荷のレジスタンス運動単独群と自体重負荷のレジスタンス運動にパワートレーニング、バランス運動などを組み合わせた複合トレーニング群とでは、複合トレーニング群の方が移動能力や体力要素が有意に改善したことを報告している。

第3章 研究課題と研究目的

第1節 高齢者の歩行能力改善のトレーニングに関する課題

高齢者の移動能力の低下には、加齢や身体活動不足に起因する筋量の減少や筋機能の低下が影響を及ぼしている (Himann et al, 1988, Bassey et al, 1992, Brown et al, 1995, Judge et al, 1995, 久野ほか, 2003, 三井と図子, 2006)。そのために、筋量の減少や筋機能の改善に有効的であるレジスタンス運動が広く推奨されている (Keysor and Jette, 2001)。Brandon et al (2004) は、レジスタンス運動によって高齢者の筋力の増大と共に、機能的移動能力が有意に向上したことを報告している。また、歩行能力は通常、歩行速度で評価されているが、Aoyagi et al (2009) は高齢者の歩行速度と中高強度の身体活動量との間に有意な相関関係があることを示唆している。したがって、レジスタンス運動によって歩行能力が向上すれば、健康づくりに必要な身体活動量の増加にも貢献することができると考えられる。

しかし、Latham et al (2004) が行ったメタ解析の結果によると、高齢者のレジスタンス運動で伝統的に行われている低速のレジスタンス運動は筋量の増加や筋力の有意な増加は認められるものの、歩行能力などの改善効果はそれほど大きくはないことを示している。一方で、Bassey et al (1992) は移動能力の改善には下肢筋力よりも筋パワーが重要であることを報告し、Fleck and Kraemer (2004) は身体活動能力の改善には、身体活動の活動筋群、筋活動様式、力 - 速度関係などの特性が類似する特異的なレジスタンス運動を実施することが必要であることを示唆している。したがって、高齢者の移動能力の向上には、筋パワーの改善や身体活動の特性が類似する様式で行われるレジスタンス運動が関連している可能性がある。

筋パワーの改善には低速レジスタンス運動よりも高速レジスタンス運動などが有効であることが報告されている (ACSM, 2002, Fleck and Kraemer, 2004)。また、中等度以上の外的抵抗負荷を加えた高速レジスタンス運動の研究においては、筋パワーの改善と移動能力の向上を示している (Miszko et al, 2003, Bottaro et al, 2007)。しかし、高齢者においては、結合組織への過度のストレスを避けることや、負荷の増加に伴う血圧上昇を抑制させるために、自体重負荷や低負荷のレジスタンス運動が推奨されている (鯉坂, 2009)。したがって、複数の高齢者に適用可能な自体重負荷などの低負荷で行われる高速レジスタンス運動の効果を明らかにする必要がある。また、Miszko et al (2003) や Bottaro et al (2007) の先行研究では、下肢筋力水準が異なる対象者で比較検討が行われていないため、対象者の下肢筋力水準に適合した高速レジスタンス運動のエクササイズ様式に関する知見が得られていない。

一方、Bean et al (2002) や Krebs et al (2007) は、移動動作と活動筋群と筋活動様式が類似する様式のレジスタンス運動の有効性を報告している。しかし、いずれの研究も移動能力との関連性が高いカー速度関係 (Hakkinen and Komi, 1985a, Bassey et al, 1992, 福永, 2003) を考慮したトレーニングが行われていないため、移動能力と活動筋群、筋活動様式、カー速度関係の多くが類似する特異的レジスタンス運動の効果を明らかにする必要がある。

以上は、すべてレジスタンス運動に関する知見や課題であるが、スポーツトレーニングにおいては古典的に、原理・原則に基づいたトレーニングの重要性が示唆され (Ozolin, 1966), Baechle et al (2010) は、トレーニングにおける生体の適応は特異的に生じるため、特異的なトレーニングを実践することの必要性を示している。したがって、歩行能力の改善には積極的な歩行実践や、通常歩行よりもやや強度の高い速歩トレーニングが最も有効であると解釈することも可能である。しかし、歩行などの身体活動量の増加が生活習慣病やメタボリックシンドロームの予防・改善に有効的であることは多数報告されている (Paffenbarger et al, 1986, Iwane et al, 2000, Yasunaga et al, 2006, Yoshiuchi et al, 2006, 山本ほか, 2007, WHO, 2010) もの、速歩トレーニングが移動能力や体力要素に及ぼす影響については十分に研究が行われていない。

第2節 高齢者の階段昇降能力改善のトレーニングに関する課題

日常生活動作は複数の条件や環境に適合しながら営まれているため、移動動作においても通常歩行、速歩、坂道歩行、段差歩行、起居動作を含む移動、階段昇降などの身体活動強度が異なる複数の移動能力が必要であると考えられる。沢井ほか (2004) は、さまざまな日常生活動作の中でも階段昇降動作は最も身体活動強度が高い動作のひとつであることを報告している。また、南ほか (1997) は、高齢者の日常生活における不自由さや外出の制限因子に階段昇降動作が関与していることを示唆し、さらに、階段は高齢者の転倒による日常災害の発生率が高い箇所であることが報告されている (直井, 1978)。

これらの報告から、高齢者が階段昇降動作を苦痛なく遂行できる能力を身につけることは、日常生活におけるさまざまな環境に適応でき、身体活動量の増加や転倒事故などによる要介護リスクの低減にも有益であると考えられる。

このような階段昇降能力には歩行能力と同様に、生理学的要因 (Himann et al, 1988, 三井と図子, 2006) や、体力学的要因 (Bassey et al, 1992, Brown et al, 1995, 久野ほか, 2003) が複合的に関与していると思われる。また、階段昇降動作には、主に股関節伸展筋群、膝関節伸

展筋群、足関節底屈筋群が活動し、昇段速度の増加に伴いこれらの筋の活動量が増加することが報告されている（西島ほか, 2003）。ところが、吉澤ほか（2004）は階段のステップ高の増加に伴い支持脚の膝関節伸展筋群や足関節底屈筋群の筋活動量が増加することを示している。そのために、若年成人と比較して平均身長が低い高齢者においては、支持脚の膝関節伸展筋群や足関節底屈筋群の筋活動量を増加させて階段昇段動作を行うことが多いと予測される。また、勝平ほか（2004）は、高齢者は階段昇段時に加齢に伴う膝関節伸展筋力や足関節底屈筋力の低下を補償するために、上体をかなり前傾させ股関節伸展トルクを増大させた姿勢で階段昇段動作を行う特徴があることを報告している。

しかし、歩行能力改善トレーニングに関する豊富な研究に対して、このような知見を活用した階段昇降能力改善のトレーニングの研究は十分に行われていない。

また、歩行動作や階段昇降には主に下肢の諸筋群や関節動作が複合的に作用していることが報告されている（Gottschall and Kram, 2003, 西島ほか, 2003）。そのために、高齢者のレジスタンス運動では、これらの筋群にターゲットを絞ったトレーニングが行われて、移動能力の改善効果が示されている（Bean et al, 2002, Krebs et al, 2007）。しかし、これらの研究では、レジスタンス運動の実施に伴う下肢関節動作の運動学的な変化などの分析が行われていないため、歩行能力と階段昇段能力の改善に、下肢関節機能の改善効果がどのように貢献しているかについては十分に検討がなされていない。

第3節 研究目的

これらの課題を踏まえて、介入研究Ⅰでは、速歩トレーニングが高齢者の移動能力および体力に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。また、介入研究Ⅱでは、移動能力と活動筋群、筋活動様式、力-速度関係などの特性が類似する自体重負荷を中心とした高速レジスタンス運動の効果を明らかにすることを目的とした。この研究の結果を踏まえて、介入研究Ⅲでは、下肢筋力水準に応じて設定した異なるエクササイズ様式の高速レジスタンス運動の効果を検証することを目的とした。さらに、介入研究Ⅳでは、高速レジスタンス運動に伴う下肢関節の運動学的変化が移動能力に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。これらの介入研究の結果を踏まえて、高齢者の移動能力の向上を目的としたトレーニング法を提案し、新たなトレーニング法の開発に寄与することを目的とした。

第4章 介入研究 I

「速歩トレーニングが高齢者の移動能力および体力に及ぼす影響」

I. 緒言

加齢に伴う歩行速度の低下には、下肢筋量の減少、タイプII線維の委縮、運動単位機能の低下 (Himann et al, 1988)、下肢筋力、筋パワー、Stretch-Shortening Cycle (SSC) 機能、バランス能力、柔軟性の低下 (Bassey et al, 1992, , Brown et al, 1995, Judge et al, 1995, 久野ほか, 2003, 三井と関子, 2006) などが関連していると考えられている。これに対して、高齢者に対するレジスタンス運動が筋量の増加や筋機能の改善に有効的であることが認められ (Keysor and Jette, 2001)、一部の研究においては、高齢者の筋力の増大と機能的移動能力が有意に向上したことが報告されている (Brandon et al, 2004)。

一方で、スポーツトレーニングにおいては古典的に、原理・原則に基づいたトレーニングの重要性が示唆されている (Ozolin, 1966)。Baechle et al (2010) は、トレーニングにおける生体の適応は特異的に生じるため、パフォーマンスの改善には、運動生理学的、バイオメカニクス的な特性を考慮したトレーニングを実践することの必要性を示している。したがって、この特異性の原理に基づくならば、レジスタンス運動よりも歩行運動そのものの積極的な実践が歩行能力の改善に有効であると解釈することもできる。

しかし、歩行速度を意図的に増加させて行う歩行運動 (以下、速歩トレーニング) がメタボリックシンドロームや生活習慣病の改善や死亡リスクの低減に有効であることは示唆されているものの (Paffenbarger et al, 1986, Iwane et al, 2000, 山本ほか, 2007, ACSM, 2011b)、歩行能力や体力要素にどのような影響を及ぼすかについては十分な研究が行われていない。

そこで本研究は、速歩トレーニングが高齢者の移動能力や体力要素にどのような影響を及ぼすかを明らかにすることを目的とした。

II. 方法

1. 対象者

本研究の対象者は、自治体から委託され実施した高齢者対象のエクササイズ・ウォーキング教室に参加した定期的な運動習慣のない高齢者 10 名 (男性 : 6 名, 女性 4 名) である。対象者の介入前の年齢および身体的特徴は、年齢 : 67.3 ± 6.50 歳, 身長 : 160.4 ± 8.55 cm, 体重 :

62.9±6.47kg, BMI : 25.0±3.37kg/m²であった。教室の参加条件は自治体に在住する年齢 60 歳以上の男女で、自治体が発行する広報誌を通じて募集した。すべての対象者に、研究目的、教室内容、測定内容、および測定に伴う危険について十分に説明し、書面にて研究協力への同意を得た。また、途中で研究から離脱することを認め、個人の自由意志による参加を尊重した。なお、本研究は名古屋市立大学倫理委員会の承認を得て実施した。

2. 運動プログラム

エクササイズ・ウォーキング教室の典型的なプログラムを表 1 に示した。対象者は自治体が所有する屋外体育施設の平坦な周回路を使用して 1 回約 60 分間、週 3 回の頻度で計 12 週間行われたエクササイズ・ウォーキング教室に参加しプログラムを実施した。1 回のプログラムは、10～15 分間のウォーミングアップとして行った、立位姿勢による軽運動、静的ストレッチング (各 10 秒～20 秒間程度)、および動的ストレッチング (各 10 回程度)、30～40 分間の速歩トレーニング、5 分間のクーリングダウンとして行った、整理運動と静的ストレッチングで構成され、教室開始前には安静時脈拍を計測し、教室前後に体調を確認した。

教室開始から 2 週目までの期間は、速歩トレーニングの時間に、歩行姿勢、腕の振り方、脚の動作などを教示したうえで、比較的緩やかな速度でのウォーキングを 5～10 分間程度行った。

速歩トレーニングは、まず段階的に時間を延伸し、その後に歩行速度を増加するように指導した。また、速歩トレーニング時の運動強度を把握するために、主観的運動強度 (RPE) と脈拍を速歩トレーニング時および終了直後に計測した。RPE は Borg のオリジナルスケール (Borg, 1970) を用いて 11～13 (楽である～ややきつい) を目安とし、脈拍計測は橈骨動脈あるいは頸動脈に人差し指、中指、薬指の 3 指を添えて計測し、10 秒間の脈拍が 15～20 拍程度の範囲であることを目標とした。

3. 測定項目および測定方法

介入前後の速歩トレーニングの効果を検証するために、移動能力および体力要素を測定した。これらの測定は 12 週間のエクササイズ・ウォーキング教室開始の 1 週間前、および終了 1 週間後に行った。

移動能力は、歩行能力 (10m 速歩) と椅子からの起立動作および着座動作、歩行動作、歩行時の方向変換動作などで構成され、高齢者の機能的移動能力の評価指標 (Podsiadlo et al, 1991) として用いられている Timed Up & Go (TUG) を採用した。

表 1. エクササイズ・ウォーキング教室のプログラム

時間	目的	主な実施内容
10～15 分間	ウォーミングアップ	軽運動, 静的ストレッチング, 動的ストレッチング
5～10 分間	速歩トレーニング	ウォーキング・テクニック指導 緩やかな速度でのウォーキング
20～30 分間		速歩トレーニングの実践
5 分間	クーリングダウン	整理運動, 静的ストレッチング

また、体力要素は体格（身長、体重、BMI）、全身持久力（12分間歩行）、下肢筋力（30秒間椅子立ち上がりテスト）、柔軟性（シットアンドリーチ）、動的バランス（ファンクショナルリーチ）をそれぞれ採用し、測定方法は岡田ら（2006）の文献を参照した。

1) 体格

体格の計測項目として身長、体重、BMI（Body mass index）を測定した。身長および体重は、自動身長計付き体重計（WB-510 タニタ社製）にて測定を行った。BMIは、体重（kg）を身長（m）の2乗で除して算出した。

2) 10m 速歩（WV-10m）

屋内体育館に直線 10m の歩行路を設置し、対象者にはスタート地点で両足のつま先をライン上に合わせた立位姿勢で構え、開始の合図で主観的最速の歩行速度で 10m 地点のラインを通過するように指示した。測定にはレーザー式速度測定装置（LDM300C-Sports:JEN-OPTIK 社製）を用いて、1m 区間毎の平均速度、および 10m 区間の平均速度を算出した。歩行時に左右いずれか一方の足が地面に接地している立脚局面が認められた場合を速歩と規定し、左右の足が同時に遊脚している場合には走行と判断し再テストを実施した。2回テストを行い、最高速度を測定値として採用した。

3) Timed Up & Go（TUG）

高さ 42cm の椅子座面の中央部に着座し、両足を腰幅か肩幅程度に広げて両手を大腿部の上に置いた姿勢で構えた。開始の合図で椅子から素早く起立し、主観的最速の歩行速度で歩き 3m 地点のコーンを折り返して再び椅子に着座して、臀部が座面に触れるまでの所要時間を計測した。速歩動作時に、左右の足が同時に遊脚している局面が含まれている場合には走行動作と判断し、再テストを実施した。2回テストを行い、最速時間を測定値として採用した。

4) 12分間歩行テスト（WD12）

屋内体育館に設置した 1周 60m（縦 20m×横 10m）の歩行路を用いて、12分間内に歩くことのできた歩行路の周回数と距離を計測した。対象者には、合図で歩行を開始して 60m の歩行路を周回し、12分間が経過した時点で歩行を停止し、その場で足踏みを行うように指示した。また、他者との競争を避けることや走行しないことを指導し、周回遅れの者を追い越す

際には、追い越す者が外側から追い越すように指示した。テストは1回とし、周回数と距離から12分間の歩行距離を求めた。

5) 30秒間椅子立ち座りテスト (CS-30)

高さ42cmの椅子の座面の中央部に着座し、両腕を胸の前で交差させて組み、両足を肩幅程度に広げ、膝関節を100°程度に屈曲した姿勢で構えた。開始の合図で素早い起立動作と着座動作を行い、30秒間の起立動作の反復回数を計測した。対象者には起立動作では股関節・膝関節が完全に伸展し、着座動作では臀部が椅子に触れるように指示した。テストは1回とし、正しい試技が行われていない場合には反復回数から減算した。

6) シットアンドリーチ (S&R)

高さ42cmの椅子のやや前方に腰掛け、一方の脚の膝関節を伸展し踵を床面に付け、足関節底屈0°に保持し、他方の脚は股関節、膝関節を屈曲させ足裏全体を床面に付けた姿勢を測定肢位とした。両手の第3指(中指)先端を重ねて、つま先方向に向かって身体を前傾させ、つま先と第3指先の距離を計測した。対象者には、測定肢位を保持し反動動作を用いることなく、ゆっくりと息を吐きながら行うように指示した。膝関節の屈曲動作や足関節の底背屈動作が見られた場合には再テストを実施した。2回テストを行い、最大距離を測定値として採用した。

7) ファンクショナルリーチ (FR)

壁掛け型のスケールの横に両足を肩幅程度に広げた立位で、両腕を肩関節90°屈曲位の高さに合わせ、前方に伸ばした姿勢で構えた。両腕の高さを変えずに両腕を前方に最大限に伸ばし、バランスを崩さずに開始姿勢に戻ることができた距離を計測した。両腕を前方に伸ばす際には、つま先立ち姿勢でバランスを保持することは許可し、左右いずれかの足が床面から離れた場合には、再テストを実施した。2回テストを行い、最大距離を測定値として採用した。

4. 統計解析

統計解析にはSPSS 11.5J for Windowsを用いて、各測定項目の介入前後の比較には対応のある t 検定を用い、各測定項目の介入前後の差の大きさを示す効果量(Cohen's d)を算出した。10m速歩の1m区間の平均歩行速度の介入前後の比較には、WilcoxonのT検定を用い、介入前後の差の大きさを示す効果量(r)を算出した。また、移動能力と体力要素との相関

関係を検討するためにピアソンの積率相関関係を算出した。効果量を除く統計解析の有意水準は5%に設定した。

III. 結果

表2に介入前後の結果を示した。体重 ($d=-0.15$), BMI ($d=0.16$), WV-10m ($d=0.23$), TUG ($d=-0.28$) に有意な変化は認められなかったが, WD12 ($d=1.48$), CS-30 ($d=0.65$), S&R ($d=0.16$), FR ($d=0.71$) に有意な改善が認められた。歩行速度の1m区間毎の介入前後の結果を図1に示した。歩行速度はいずれの区間においても有意な変化が認められなかった。この項目の効果量は $r = 0.06 - 0.79$ であった。

また、移動能力と体格を除く体力との介入前後の変化量の相関関係を検討した結果、CS-30とTUGとの間に有意な負の相関関係が認められたが、その他の項目とは有意な相関関係は示さなかった(図2)。

IV. 考察

1. 移動能力の変化

本研究では、運動習慣のない高齢者を対象とし、12週間の速歩トレーニングの効果を検討した。その結果、10m速歩とTUGの移動能力については、いずれの項目においても介入後に有意な改善は認められなかった。

加齢に伴う歩行速度の低下には、下肢筋量の減少、タイプII線維の委縮、運動単位機能の低下(Himann et al, 1988)、あるいは下肢の筋力、筋パワー、SSC機能、バランス能力、柔軟性の低下(Bassey et al, 1992, Brown et al, 1995, Judge et al, 1995, 久野ほか, 2003, 三井と図子, 2006)、および、これらの要因に起因するストライド長やストライド頻度の減少(Himann et al, 1988)などが関与している。そのため、本研究で行った速歩トレーニングが歩行速度の低下に影響を及ぼすいくつかの要因を、十分に改善することができなかった可能性が考えられる。

移動能力の代表的な歩行動作は、立脚期に股関節伸展筋群や足関節底屈筋群が、遊脚期には股関節屈筋群や足関節背屈筋群が主に活動していることが報告されている(Okamoto K and Okamoto T, 2001)。したがって、これらの活動筋群に対して特異的な刺激を与えることができる速歩トレーニングは、最も優れたトレーニングであると考えられる。しかし、金子(1988)は、パフォーマンス向上を図るためには、古典的なスポーツトレーニングの原理である過負荷

表 2. 介入前後の測定項目の変比

	Pre		Post		t value	p value	Cohen's d
Weight (kg)	63.9 ± 7.05	62.9 ± 6.5	2.200	n.s.	-0.15		
BMI (kg/m ²)	25.0 ± 3.37	24.5 ± 2.9	2.205	n.s.	0.16		
WV-10m (m/s)	1.75 ± 0.19	1.79 ± 0.17	-1.770	n.s.	0.23		
TUG (sec.)	4.46 ± 0.67	4.28 ± 0.62	1.549	n.s.	-0.28		
WD12 (m)	1156.4 ± 91.0	1321.5 ± 129.5	-7.848	0.01	** 1.48		
CS-30 (#/30s)	24.8 ± 3.33	27.2 ± 4.02	-5.308	0.01	** 0.65		
S&R (cm)	-1.60 ± 18.1	1.25 ± 16.9	-3.985	0.01	** 0.16		
FR (cm)	29.2 ± 5.12	33.4 ± 6.67	-2.427	0.05	* 0.71		
Mean±SD					** p < 0.01 * p < 0.05		

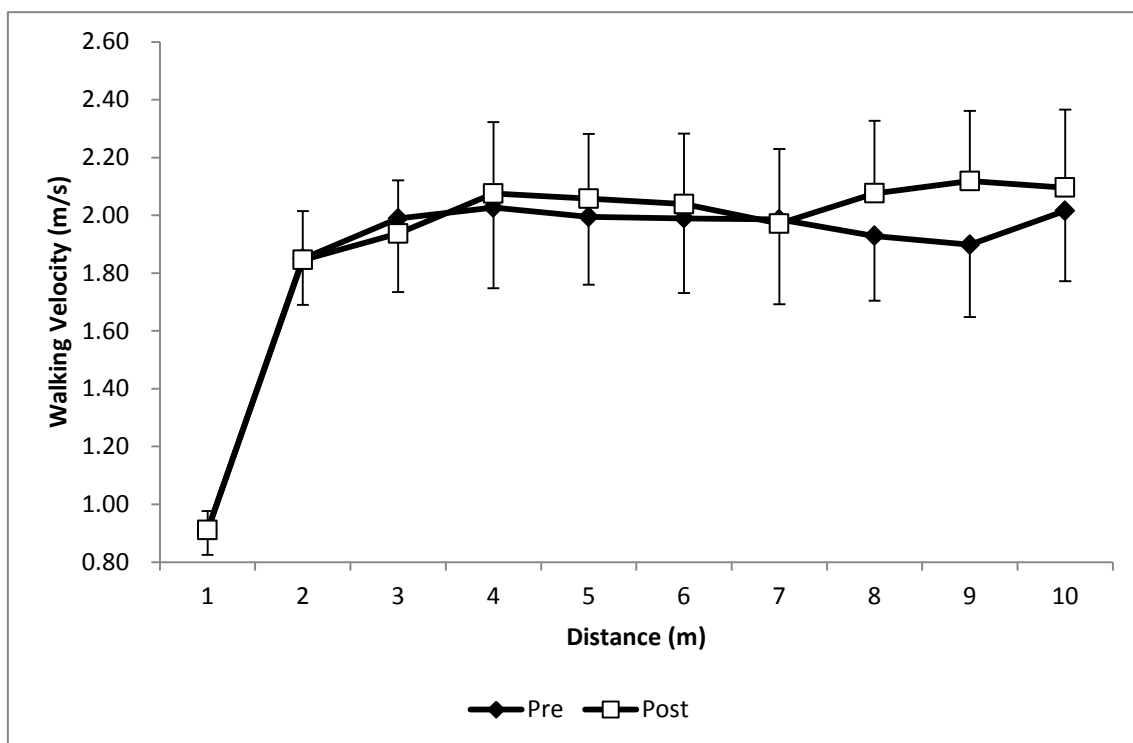


図1. 歩行速度の1m 区間毎の介入前後の比較

Mean±SD

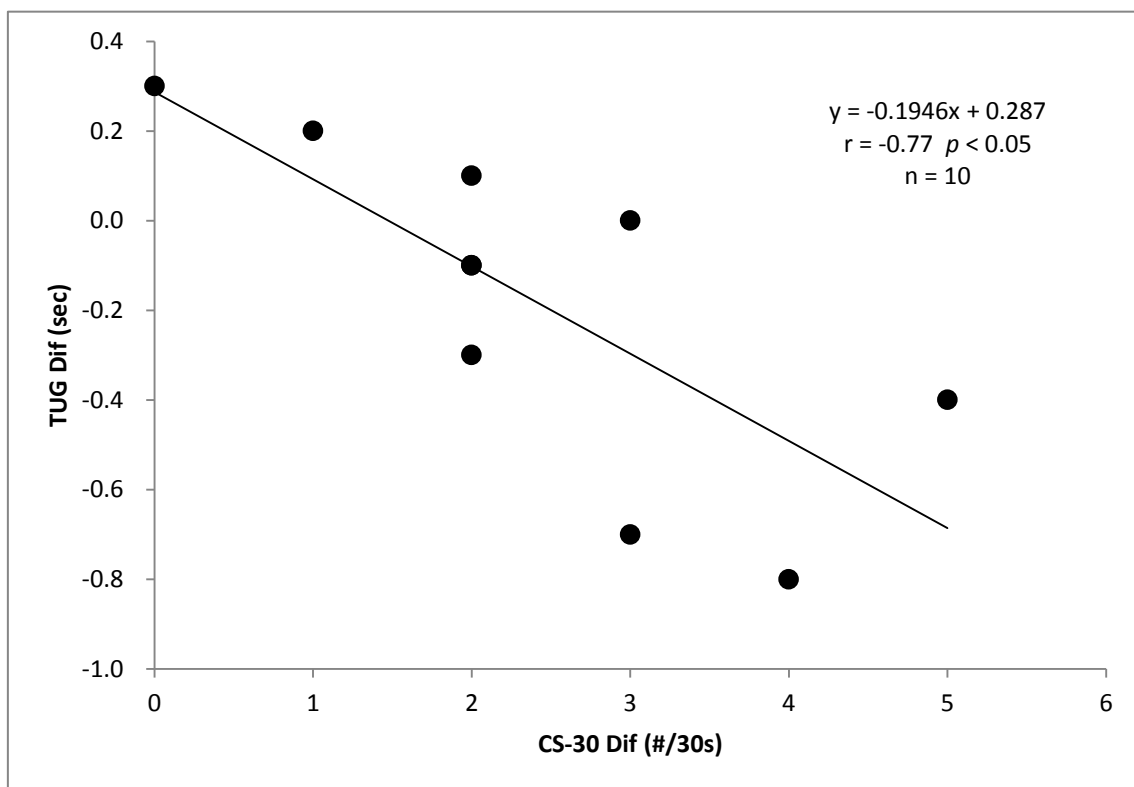


図2. CS-30 と TUG の介入前後の変化量の相関関係

と特異性の互いに相反する原理をうまく組み合わせなければ適切な効果が得られないことを指摘している。過負荷とは、現在順応している生体に過負荷となる負荷を与えることによって、さらなる適応を引き出すことを目的としている (Ozolin, 1966)。過負荷の原則が正しく適用されれば、オーバートレーニングを回避し、期待する適応を引き出すことができ (Baechle and Earle, 2010)、漸進的な過負荷を与えることのより長期的に適応を徐々に引き出し続けることが可能となる (Bompa, 2006)。一方、特異性とは、すべてのトレーニング・プログラムに含まれる最も基本的な概念のひとつであり、生体に対するトレーニングの刺激の種類が、それによって生じる適応の種類を決定づける原則に基づくものである (Baechle and Earle, 2010)。また、これらの原理を活用した先行研究では、歩行動作に用いられる筋群に対して過負荷となる抵抗を与え、歩行動作とエクササイズの実施様式が類似するレジスタンス運動が高齢者の歩行能力の改善に有効的であることが報告されている (Bean et al, 2002, Krebs et al, 2007)。

本研究の対象者は、CS-30による下肢筋力評価 (中谷ほか, 2002) で比較すると、介入前の値はいずれの対象者も普通からやや優れた値であった。また、トレーニング強度と量とは相反するトレーニング・プログラム変数であるため、多量のトレーニングを行う場合に高い強度を長時間にわたり維持することは不可能である。本研究では、対象者自身の主観的な強度を目安として、速歩トレーニングを 30~40 分間連続的に行ったことから、毎回のトレーニング時に定められたトレーニング時間を確実に達成するために、歩行速度の増加をやや抑制して、速歩トレーニングが行われたと推察される。したがって、移動能力に有意な改善が認められなかったことは、速歩トレーニングは移動能力に対して特異的トレーニングであるが、一定水準の下肢筋力を有する本研究の対象者の 10m 速歩と TUG で活動する下肢の筋機能の改善を図るために必要な、過負荷の条件を満たしていなかったことが第一の原因であると考えられる。

一方、加齢に伴う歩行速度の低下には、主にストライド長の減少が関与していることが報告されている (Himann et al, 1988)。しかし、歩行速度にはストライド長とストライド頻度の相互が関連していることや個人差があることなどから (湯ほか, 2007)、歩行速度の増加にはストライド長とストライド頻度の両者の能力を高めることが必要である。呉と渡部 (2005) は、歩幅や腕振り動作などを意識した歩行は、ストライド長の増大が認められ、最大速度を意識した歩行では、特にストライド頻度の増大が顕著であったことから、これらの歩行は高齢者の歩行能力維持のトレーニングとして有用であることを示唆している。本研究では、ストライド長とストライド頻度の計測は行われていないため変化の程度は明らかではないが、これらの能力の改善を意識したトレーニングは行われていなかった。したがって、本研究で行った速歩トレ

ーニングによるストライド長とストライド頻度の変化が少なく、10m 速歩や TUG の有意な改善が認められなかったことが第二の原因であると考えられる。

2. 体力要素の変化

体力要素については、全身持久力 (WD12)、下肢筋力 (CS-30)、柔軟性 (S&R)、動的バランス (FR) に有意な変化が認められた。

12 分間歩行で評価された全身持久力が介入後に最も顕著な改善効果を示したことは、トレーニングの原理・原則に示されている過負荷や特異性の原理に基づく、典型的な効果であると思われる。ウォーキングやジョギングなどに代表される有酸素性持久力トレーニングの適応は、主に呼吸循環器系機能や代謝エネルギー系などに生じることが明らかであり (Swank, 2010)、これらの能力の向上が全身持久力の改善に貢献していることが報告されている (Swank, 2010)。また、運動習慣のない対象者であれば最大酸素摂取量の 40~50%程度の強度においても全身持久力が有意に増加することが報告されている (Branch et al, 2000)。本研究で行われた速歩トレーニング時の心拍数は、HR reserve 法 (ACSM, 2011c) で算出した強度の 50~60%程度であり、さらに 30~40 分間の運動を週 3 回の頻度で行った。したがって、12 週間行われた速歩トレーニングは、運動習慣のない対象者の呼吸循環器系機能の改善に必要な強度、時間、頻度の条件 (ACSM, 2011c) を満たし、12 分間歩行テストが顕著に向上したものと考えられる。

大須賀ほか (2012) は、ウォーキングなどの日常的な運動習慣を有する高齢者は、下肢筋力などの体力要素に良好な影響を及ぼすことを示唆している。また、沢井ほか (2004) は、歩行速度の増加に伴い下肢の筋活動水準が増加することを報告している。本研究の対象者は、日常的な運動習慣がないため、日常的な歩行よりも強度、時間が高い速歩トレーニングによって、CS-30 に関連する筋機能が向上した結果であると考えられる。CS-30 は、30 秒間に最大速度での椅子の起立・着座動作を連続的に繰り返すため、身体活動のエネルギー供給機構は 6 秒間以内に大きな力を発揮するような運動とはやや異なる (Cramer, 2010)。また、30 秒間の試行によって下肢の筋疲労を訴える者が多い。そのため、CS-30 は下肢の最大筋力との相関関係は高い (中谷ほか, 2002) もの、極めて短時間に大きな力を発揮する運動とは異なり、どちらかといえば筋持久力と筋力の両者を兼ね備えた筋機能が関与していると推察される。トレーニング効果は強度と量の設定に応じて異なる適応が生じ、レジスタンス運動においては強度が高く反復回数が少ない場合には、筋線維サイズ、筋力、筋パワーの増加が、強度が低く反復回数

多い場合には筋持久力が向上することが示唆されている (Anderson and Keerney, 1982)。また、有酸素性持久力トレーニングは呼吸循環器系機能の改善に加えて、局所的筋持久力の改善や、それに関連する筋のミトコンドリアおよび毛細血管密度の増加、筋のエネルギー供給能力が増大することが報告されている (加賀谷, 1973, 勝田と田中, 1983)。これらの報告から、本研究で CS-30 が有意に改善されたことは、速歩トレーニングによって筋持久力に関連する筋の疲労耐性能力などが改善され CS-30 の試行回数が増加したと思われる。

一方で、本研究では TUG の変化量と CS-30 の変化量との間に有意な負の相関関係が認められたが、10m 速歩ではこの傾向が認められなかったことから、椅子からの起立および着座動作、歩行動作、歩行時の方向変換動作などによって構成される TUG には、10m 速歩以上に下肢筋力が影響を及ぼすものと考えられる。

柔軟性の改善には、一般的に静的ストレッチングによって 15~30 秒間の伸展時間が推奨されている (Riewald, 2004)。しかし、Broms et al (1987) は、10 秒間程度の静的ストレッチングにおいても関節可動域の改善には十分な効果があることを示唆している。本研究においては、教室開始前後のウォーミングアップとクーリングダウンの中で、歩行動作に用いる下肢筋群を中心に、各部位で約 10~20 秒間伸展する静的ストレッチングを行った。その結果シットアンドリーチが改善したと考えられる。また、ファンクショナルリーチは、足関節底屈動作に関与するヒラメ筋の筋活動量が顕著に増大する (佐々木ほか, 2009) ことや、歩行速度の増加に足関節底屈筋群が関連していることが報告されている (Gottschall and Kram, 2003)。したがって、ファンクショナルリーチの改善には、速歩トレーニングによる足関節底屈筋群の筋機能の改善が関与していると考えられる。

V. まとめ

本研究では、運動習慣を有しない高齢者を対象に、1 回約 60 分間、週 3 回の頻度で計 12 週間の速歩トレーニングを行った。その結果、10m 速歩や TUG で評価された移動能力に有意な改善が認められなかったが、体力要素には有意な向上が認められた。この結果から、本研究で行われた速歩トレーニングは、一定水準の下肢筋力を有している高齢者の 10m 速歩や TUG で活動する下肢の筋機能の改善に必要な、過負荷の条件を満たしていなかった可能性がある。したがって、高齢者の移動能力の改善を目的としたトレーニングにおいても、アスリートのスポーツトレーニングで示されている、過負荷と特異性の原理を適用したトレーニングが必要であることが示唆された。

一方、全身持久力の顕著な改善は、本研究で行った速度トレーニングが対象者の全身持久力の向上に必要な条件に適合した結果であると考えられ、下肢筋力の評価項目が改善されたことは、速歩トレーニングによって筋持久力に関連する能力が改善されたことによるものであると推察される。また、柔軟性の改善には、本教室開始前後に行った静的ストレッチングが貢献し、ファンクショナルリーチの改善には、速歩トレーニングによる足関節底屈筋群の筋機能の改善効果が関与していると考えられる。

第5章 介入研究Ⅱ

「高齢女性の自体重負荷を中心とした高速レジスタンス運動の移動能力に及ぼす効果」

I. 緒言

高齢者に限らずアスリートにおいても伝統的なレジスタンス運動は比較的ゆっくりとした速度で、反動動作を用いない様式で行うことが推奨されてきた(竹島, 2012)。このような低速レジスタンス運動は、筋量の増加や筋力などの筋機能の改善に有効であることに加え、転倒予防やバランス能力の改善(竹島, 2006)、生活習慣病やメタボリックシンドロームの改善などに効果的であることが報告されている(田辺ほか, 2008, 久野, 2009)。しかし、意図的に動作速度を抑制する低速でのレジスタンス運動は、移動能力に筋力以上に関係している筋パワー(Bassey et al, 1992, 村田ほか, 2010)の改善にはマイナスに作用する可能性がある(Fielding et al, 2002)。

一方で、筋パワーの改善には低速レジスタンス運動よりも、抵抗負荷に対して短時間に大きな力を発揮する高速レジスタンス運動などが有効であることが報告されている(ACSM, 2002, Fleck and Kraemer, 2004)。また、高齢者においても中等度以上の外的抵抗負荷を加えた高速レジスタンス運動によって筋パワーと共に身体活動能力が改善されることが認められている(Miszko et al, 2003, Bottaro et al, 2007)。

しかし、外的抵抗負荷を加えた高速レジスタンス運動は、運動習慣のない高齢者には危険が伴うことや、外的な抵抗負荷を加えることができるバーベル、ダンベル、レジスタンス運動マシンなどが整備されていなければ容易に実施することはできない。また、Hruda et al (2003)は、高齢者を対象に自体重やエクササイズチューブなどの軽負荷で行う高速レジスタンス運動によって、6m 歩行、TUG、脚伸展筋パワーが有意に改善したことを報告している。しかし、Hruda et al (2003)の研究は非運動群と比較しているため、トレーニング効果をもたらした要因が自体重負荷によるものなのか、高速レジスタンス運動によるものなのかは明らかではない。

そこで本研究は、高齢者に対する自体重を中心とした高速レジスタンス運動が、歩行能力や機能的移動能力などの移動能力にどのような影響を及ぼすかについて検討し、さらに、移動能力と関連する体力要素についても検討することを目的とした。

II. 方法

1. 対象者

本研究の対象者は、人口 7,884 人、世帯数 2,500 世帯、高齢化率 25.3%の某自治体が主催した高齢者のレジスタンス運動教室に参加した定期的な運動習慣のない高齢者女性 30 名である。対象者を無作為に高速と低速の複合的レジスタンス運動群 (H/S 群)、および低速レジスタンス運動群 (S 群) に振り分け、H/S 群は 16 名 (年齢: 66.3 ± 3.26 歳, 身長: 149.6 ± 5.20 cm, 体重: 57.8 ± 9.48 kg), S 群は 14 名 (年齢: 66.7 ± 4.14 歳, 身長: 151.6 ± 5.37 cm, 体重: 60.5 ± 8.89 kg) であった。

教室の参加条件は町内に在住する年齢 60 歳以上の男女で、次のいずれかの項目が該当していることを参加条件とした。すなわち、①高齢者実態調査から介護予防の必要性があり、教室への参加が有効と思われる、②体力低下を自覚し、移動能力などに不安を感じる、③日常生活に困難を感じている、である。対象者は自治体の広報誌、全戸回覧、保健師からの助言などを通じて募集した。すべての対象者に、研究の目的や教室の内容、測定内容や測定に伴う危険について十分に説明し、書面にて研究協力への同意を得た。また、途中で研究から離脱することを認め、個人の自由意志による参加を尊重した。なお、教室には H/S 群に男性 2 名が参加していたが、本研究では性差による影響を排除するために分析から除外した。

2. 運動プログラム

各トレーニング期のプログラムを表 3~5 に示した。対象者は自治体の保健福祉センターで週 2 回、14 週間、全 28 回、1 回 90 分間行われるレジスタンス運動教室に参加した。運動教室の内容は、10~15 分間のウォーミングアップとして行われる、座位姿勢あるいは立位姿勢による軽運動、静的ストレッチング、レクリエーション、30~60 分間のレジスタンス運動、5 分間の整理運動と静的ストレッチングで構成され、運動前後に保健師による安静時血圧、安静時心拍数を測定し、体調の確認を行った。運動プログラムは、2 週~5 週を調整トレーニング期、6 週~9 週までを基本トレーニング期、10 週~13 週までを応用トレーニング期として実施し、トレーニング期に応じて、段階的にエクササイズを変更し、強度、回数、セット数を漸増させた。

調整トレーニング期では、定期的に行われるレジスタンス運動に慣れることを目的として、油圧式レジスタンストレーニングマシン (ミズノ社製) を用いて、6 種類のエクササイズを低負荷・低速で実施した (表 3)。油圧式レジスタンストレーニングマシンは、1 回の動作で短縮

筋活動のみを実施する流体抵抗による負荷形態であるため、油圧シリンダーの流体流量の調節、および動作速度の増減によって抵抗負荷を調整することができる(楠, 2005)。本教室では、動作速度の向上にともなう抵抗負荷の増加を抑制するために、全参加者が流体流量調節ダイヤルを同一負荷に設定し、さらに1回の動作速度を2カウントで行うように指導した。

本教室は、参加者自身が教室修了後も自宅などでレジスタンス運動を継続して実施することを目的とした。そのため基本トレーニング期では、トレーニングマシン以外の抵抗負荷を用いた代表的なレジスタンス運動のテクニックを習得することを目的として、自体重および1~2.5kgのダンベルを用いて、8種目のエクササイズを実施した(表4)。H/S群はその中の1種類のエクササイズについて、主観的に最高速度で動作を実施するように指示した。その他の種目については、短縮性筋活動局面を1~2カウント、伸張性筋活動局面を2カウントで実施し1回の動作をコントロールされた速度で行うように指示した。S群はすべての種目で、短縮性筋活動局面を1~2カウント、伸張性筋活動局面を2カウントで実施し1回の動作をコントロールされた速度で行うように指示した。

応用トレーニング期は、歩行動作や起居動作などの日常生活動作の機能的な改善を図ることを目的として、自体重および2~5kgのダンベル、エクササイズチューブおよびエクササイズボールを用いて8種類のエクササイズを実施した(表5)。H/S群では、その中の5種類のエクササイズについて、主観的に最高速度で動作を実施するように指示した。その他の種目については、短縮性筋活動局面を1~2カウント、伸張性筋活動局面を2カウントで実施し1回の動作をコントロールされた速度で行うように指示した。S群はすべての種目で、短縮性筋活動局面を1~2カウント、伸張性筋活動局面を2カウントで実施し1回の動作をコントロールされた速度で行うように指示した。

3. 測定項目および測定方法

各群の介入前後のトレーニング効果を検証するために、体力および身体活動能力を測定した。体力は、体格、筋力、筋パワー、敏捷性、動的バランスを測定し、身体活動能力は、歩行能力、機能的移動能力について測定した。

1)体力の測定

(1)体格

体格の計測項目として身長、体重、BMI (Body mass index) を測定した。身長および体重

表 3. レジスタンス運動プログラム (調整トレーニング期)

No	Exercise	Load	Reps	Sets	Rest period length
1	Leg Press	1~2	5~10	1~3	—
2	Vertical Chest Press & Seated Row	1~2	5~10	1~3	—
3	Leg Extension & Leg Curl	1~2	5~10	1~3	—
4	Machine Back Extension & Abdominal Crunch	1~2	5~10	1~3	—
5	Chair Squat	Wb	5~10	1~3	—
6	Shoulder Shrug	2~5kg	5~10	1~3	—

Wb: Weight-bearing

表 4. レジスタンス運動プログラム (基本トレーニング期)

No	Exercise	Load	Reps	Sets	Rest period length
1	※Chair Squat (Single・Continuousness)	Wb	10	2~3	60s
2	Alternate Knee-Up	Wb	6~10	2~3	60s
3	Split Squat	Wb	5	2~3	60s
4	Shoulder Press	1~2.5kg	10	2~3	60s
5	Standing Hip Abduction	Wb	5~10	2~3	60s
6	Seated Hip Adduction	Exercise Ball	10	2~3	60s
7	Resistance Band Row	Resistance Band	10	2~3	60s
8	Bent Knee Sit-Up	Wb	5~10	2~3	60s

Wb: Weight-bearing

※ As for the item of the seal, only H/S group carried out movement with conscious maximum velocity.

表 5. レジスタンス運動プログラム (応用トレーニング期)

No	Exercise	Load	Reps	Sets	Rest period length
1	※Chair Squat & Shoulder Press	2~5kg	5~10	2~3	60s
2	※Standing Knee-Up	Wb	10	2~3	60s
3	3 Direction Single-Leg Squat	Wb	3~6	2~3	60s
4	※Walking Lunge	Wb	6~10	2~3	60s
5	※Exercise Bowl Chest Fly	Exercise Ball	5~10	2~3	60s
6	※Standing Hip Abduction	Wb	5~10	2~3	60s
7	Standing Resistance Band Row	Resistance Band	10	2~3	60s
8	Reverse Burpee	Wb	5~10	2~3	60s

Wb: Weight-bearing

※ As for the item of the seal, only H/S group carried out movement with conscious maximum velocity.

は、自動身長計付き体重計 (WB-510 タニタ社製) にて測定を行った。BMI は、体重 (kg) を身長 (m) の 2 乗で除して算出した。

(2)握力 (GS)

両足を肩幅程度に広げ、両腕を伸ばした立位姿勢で構え、示指 (第 2 指) の近位指節間関節が 90° 屈曲位の位置にグリップ幅を合わせ、スメドレー式握力計 (DM-100S YAGAMI 社製) を用いて測定した。測定の際に腕を振り回したり、立位姿勢が著しく崩れたりした場合には無効とし、左右それぞれ 2 回ずつ測定し、最高値 (kg) の左右の平均値を採用した。

(3)30 秒間椅子立ち上がりテスト (30-sec Chair Stand Test : CS-30)

高さ 42cm の椅子に浅く着座し、両腕を胸の前で交差させて組み、両足を肩幅程度に広げ、膝関節を 100° 程度に屈曲した姿勢で構えた。開始の合図によって股関節と膝関節が完全に伸展するまで素早く起立動作を行い、再び椅子に着座し、素早く起立および着座動作を反復させ、30 秒間の起立動作の反復回数を測定した。試技は 1 回とし、起立動作の際に、股関節や膝関節が完全に伸展していない試技や、着座動作で臀部が椅子に触れていない試技は、反復回数から減算した。

(4)30 秒間椅子立ち上がり速度 (30-sec Chair Stand Velocity : VCS-30)

30 秒間椅子立ち上がりテストの際に、30 秒間に実施できた起立動作の平均速度 (m/s) を、フィットロダイン (FiTRONiC s.r.o 社製) を用いて測定した。測定に際して、完全着座位から起立動作を開始し、起立時には股関節、膝関節が完全に伸展するように対象者に指示した。対象者の腸骨部分に巻きつけたマジックテープ型のベルトにフィットロダインのケーブルの先端部分を取り付け、着座位から起立位までの間にケーブルが鉛直方向に引き出されるようにリールの位置を調整して測定を行った。なお、本研究では介入前後の体重 (質量) の増減に伴うパワーの変化を考慮して、分析方法は 30 秒間に反復できた起立動作の平均速度 (m/s) を採用した。

(5)ステッピング (STP)

床面に中央、および左右に 30cm 間隔の 3 本のライン引き、中央ラインに両足をそろえ椅子に浅く着座し、両手で椅子の両端を持った姿勢で構えた。開始の合図で左右の脚をできるだけ

素早く開脚し、左右それぞれのライン上に左右の足が触れるか又はラインを越えた位置で床面に触れ、その後に素早く中央のライン上まで左右の脚を閉脚する反復動作を 20 秒間実施し、最大反復回数を測定した。計測は、中央ラインから左右のラインに両足が触れるか又はラインを越え、中央ラインに再び両足が触れることのできた試技を 1 回として計測し、左右のラインを触れるか越えていない試技は、反復回数から減算した。2 回実施し最大反復回数 (回/20 秒) を測定値として採用した。

2)移動能力

(1)5m, 10m 速歩 (WV-5m, WV-10m)

スタート地点, 5m 地点, 10m 地点の垂直線上に光電管スピードトラップ (Brauer 社製) を設置し、スタート地点で両足のつま先をスタートライン上に合わせた立位姿勢で構えた。開始の合図で主観的最速の歩行速度で 10m 地点の光電管を通過させ、5m 地点のラップタイムおよび 10m 地点の通過時間を測定した。歩行時に左右いずれか一方の足が地面に接地している立脚局面が認められた場合を速歩と規定し、左右の足が同時に遊脚している局面が含まれている場合には走行と判断し再テストを実施した。2 回実施し 5m, 10m 地点のそれぞれの最速時間 (秒) を測定値として採用し、歩行時間から 5m, 10m の平均歩行速度 (m/s) を算出した。

(2)TUG (Timed Up&Go)

高さ 42cm の椅子の背もたれに、背中をつけた姿勢で椅子中央に着座し、両足を腰幅か肩幅程度に広げて、両手を大腿部の上に置いた姿勢で構えた。開始の合図で椅子から素早く起立し、主観的最速の歩行速度で歩き出し 3m 地点のコーンを折り返して再び椅子に着座し、背中が椅子の背もたれに触れるまでの所要時間を測定した。速歩動作時に、左右の足が同時に遊脚している局面が含まれている場合には走行動作と判断し、再テストを実施した。2 回実施し最速時間 (秒) を測定値として採用した。

4. 統計解析

統計解析には SPSS 11.5J for Windows を用いて、介入前後および群の各測定項目の変化について、群および介入時期を要因とする反復測定による二元配置分散分析により交互作用の有意性を検討し、交互作用が見られた項目については各要因の下位検定を実施した。また、群、時期、群×時期の効果量 (partial r^2) を算出した。各測定項目の関連性の検討については、

ピアソンの積率相関関係を算出した。すべての統計解析の統計的有意水準は5%に設定した。

III. 結果

表6に介入前後の結果を示した。すべての測定項目で群に有意な主効果は認められなかった。これらの項目における効果量は、 $\text{partial } r^2=0.000 - 0.082$ であった。時間に有意な主効果が認められた項目は、5m 速歩、10m 速歩、TUG、CS-30、VCS-30、ステップング、握力であった。これらの項目における効果量は、 $\text{partial } r^2=0.20 - 0.74$ であった。また、10m 速歩、TUGにおいて交互作用が認められ、H/S 群がS 群に比べて有意な変化を示した。これらの項目における効果量は、 $\text{partial } r^2=0.14 - 0.34$ であった。ステップングについては、両群に有意差は見られなかったが、H/S 群の方がS 群に比べて顕著な変化を示した ($p = 0.09$)。

各測定項目の相関関係を検討した結果、表7および図3に示すように、5m 速歩および10m 速歩は、TUG、VCS-30との間に有意な相関を示し、TUGは、5m 速歩および10m 速歩、VCS-30との間に有意な相関関係が認められた。また、CS-30はVCS-30との間に、ステップングはVCS-30との間に有意な相関関係を認めた。しかし、各測定項目の介入前後の変化率に関しては有意な相関関係は認められなかった。

IV. 考察

1. 移動能力の変化

移動能力の改善を目的として行われるレジスタンス運動は、その活動における活動筋群、筋活動様式、力-速度特性などを考慮した特異的なレジスタンス運動を行うことが必要であり、レジスタンス運動が実際の身体活動の特徴に類似するほどトレーニング効果が高くなることが報告されている (Fleck and Kraemer, 2004, Baechle et al, 2010)。歩行動作の活動筋群は、遊脚期には股関節屈曲筋群や足関節背屈筋群が、立脚期では股関節伸展筋群や足関節底屈筋群が貢献し (Okamoto K and Okamoto T, 2001, Gottschall and Kram, 2003)、椅子立ち上がり動作については、大腿四頭筋、大殿筋、ハムストリングなどの膝関節伸展筋群、股関節伸展筋群が関与していることが報告されている (Lieber, 1990, Hughes et al, 1996, Flanagan et al, 2003)。また、歩行動作や椅子立ち上がり動作の筋活動様式は、伸張性筋活動時に筋腱複合体に蓄積された弾性エネルギーを短縮性筋活動時に効率的に発揮する、Stretch-Shortening Cycle (伸張-短縮サイクル) であると考えられている (Lee and Farley, 1998, Fukunaga et al, 2001)。これらの活動筋群および筋活動様式の特異性に加えて、筋力発揮における力-速度特

表 6. 介入前後の各測定項目の変化

	H/S Group				S Group				Main Effect				Interaction			
	Pre		Post		Pre		Post		G		T		T × G		partial η ²	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	partial η ²	F	partial η ²	F	partial η ²	F	partial η ²	
Weight(kg)	57.8	± 9.43	57.5	± 9.03	60.5	± 8.89	60.1	± 8.72	0.43	0.022	0.22	0.054	0.798	0.002	0.002	
BMI(kg/m ²)	25.9	± 4.28	25.8	± 4.07	26.3	± 3.36	26.1	± 3.19	0.78	0.003	0.23	0.052	0.755	0.004	0.004	
5m Walking Velocity (m/s)	1.79	± 0.27	1.90	± 0.20	1.95	± 0.41	2.01	± 0.37	0.24	0.048	0.01	0.214	0.344	0.032	0.032	
10m Walking Velocity (m/s)	1.79	± 0.21	1.93	± 0.18	1.94	± 0.35	1.96	± 0.31	0.33	0.034	0.01	0.301	0.039	0.143	0.143	
TUG(sec)	6.06	± 0.72	5.15	± 0.51	5.62	± 0.88	5.51	± 0.92	0.88	0.001	0.01	0.453	0.001	0.339	0.339	
CS-30(N/30s)	21.5	± 2.53	30.0	± 6.02	20.1	± 4.29	26.5	± 5.43	0.12	0.082	0.01	0.744	0.204	0.057	0.057	
VCS-30(m/s)	0.44	± 0.08	0.52	± 0.09	0.40	± 0.08	0.47	± 0.08	0.13	0.081	0.01	0.614	0.445	0.021	0.021	
Stepping(N/20s)	31.9	± 5.52	35.6	± 4.38	32.9	± 3.48	35.0	± 3.16	0.91	0.000	0.01	0.627	0.089	0.100	0.100	
Grip Strength(kg)	25.5	± 4.62	27.4	± 3.23	24.1	± 3.89	25.4	± 3.58	0.19	0.060	0.01	0.200	0.665	0.007	0.007	

Mean±SD

* $p < 0.05$ ** $p < 0.01$

表 7. 各測定項目の相関関係

	Weight	BMI	WV-5m	WV-10m	TUG	CS-30	VCS-30	Stepping	GS
Weight	1								
BMI	.879(**)	1							
WV-5m	0.111	0.249	1						
WV-10m	0.015	0.178	.901(**)	1					
TUG	0.116	0.19	.813(**)	.826(**)	1				
CS-30	0.026	0.14	0.02	0.065	-0.281	1			
VCS-30	0.061	-0.085	-475(**)	-473(**)	-651(**)	.464(**)	1		
Stepping	-0.092	-0.253	-0.322	-0.344	-0.228	0.047	.465(**)	1	
GS	0.316	0.299	0.017	-0.025	-0.12	0.271	0.29	0.162	1

** $p < 0.01$ * $p < 0.05$

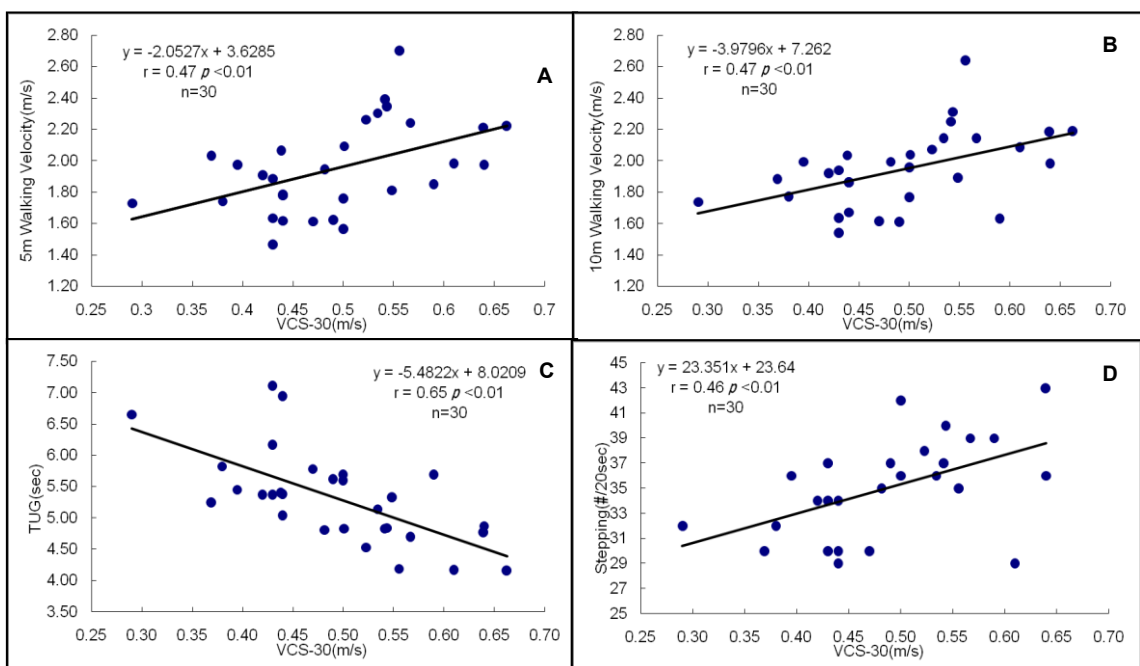


図3. VCS-30 との相関関係 5m 速歩 (A), 10m 速歩 (B), TUG (C), ステッピング(D)

性から見ると、多くの身体活動では、短時間に大きな力を発揮する筋パワーが必要であるため (Bassey et al, 1992, 福永, 2003), 一般的に低負荷・高速で示される筋パワーが重要であると考えられている (Hakkinen and Komi, 1985a)。そして、低負荷・高速の筋パワーを向上するためには、低負荷・高速でのレジスタンス運動が有効であることも明らかになっている (金子ほか, 1981, 金久と宮下, 1982, Hakkinen and Komi, 1985a, Hakkinen and Komi, 1985b)。これらを踏まえて本研究では、歩行動作と椅子立ち上がり動作に着目し、H/S 群は活動筋群のみならず、筋活動様式と力-速度特性が類似したレジスタンス運動を実施し、S 群は活動筋群が類似したレジスタンス運動を実施した。

堤ほか (1997) は、椅子立ち上がり動作の筋電図のデータから、本研究の H/S 群ならびに S 群の両群で実施したチェア・スクワットが歩行能力の改善に有効であることを認めている。また、Bean et al (2004) は、高齢者女性に対して歩行動作などの日常的な身体活動との動作様式の類似性が高いレジスタンス運動と動作様式の類似性が低い一般的なレジスタンス運動のトレーニング効果を比較したところ、身体活動との類似性の高いレジスタンス運動が歩行速度の向上に有効であったことを報告している。しかし、本研究では H/S 群は S 群と比較し、10m 速歩と、TUG において有意に顕著な改善を示した。このことは、高齢者における歩行動作と機能的移動能力の改善に対して動作様式や筋活動様式のみならず、高速レジスタンス運動の要因が有効に貢献したことを示唆するものである。H/S 群の実施した高速レジスタンス運動は、力-速度特性で示される低負荷・高速の筋パワーの向上を目的として、自体重や軽負荷による高速レジスタンス運動と伸張-短縮サイクル筋活動様式での素早い繰り返し動作を伴うことから、高齢者のレジスタンス運動では、身体活動能力に関係する活動筋群、筋活動様式、力-速度特性などの複数の特異性を考慮する必要があると考えられる。

一方、本研究において、意図的に動作速度を制限する低速レジスタンス運動を実施した S 群は 10m 速歩、TUG で有意な変化を示さなかった。この結果は、意図的に動作速度を制限する低速レジスタンス運動が、筋パワーの改善や身体活動能力の改善を妨げる可能性があるという Fielding et al (2002) の報告を支持するものである。この原因として第一に考えられる要因は、高齢者における共同筋と拮抗筋の共縮の増加である。Barry and Carson (2004) は、高齢者では共同筋と拮抗筋の共縮が増加するため主動筋と拮抗筋間のコーディネーションが低下し、主動筋の筋収縮速度を低下させる可能性があることを報告している。第二に、この共縮がトレーニングによってさらに学習された可能性があるということである。丹羽と高柳 (2006) は、低負荷のレジスタンス運動を意図的に低速で行った場合には、主動筋の筋放電と共に拮抗筋の

筋放電が増加することを認めている。そのため、低負荷・低速でのレジスタンス運動を長期的に行った場合には、主働筋活動時に拮抗筋が同時に収縮する筋活動が学習され、身体活動のスムーズな筋活動の改善にはマイナスに作用する可能性が考えられる。本研究では、H/S 群の10m 速歩と TUG がトレーニングによって有意に変化し、VCS-30 の変化率が S 群よりも高かった (表 6)。この要因は、トレーニングで用いられた高速レジスタンス運動や筋活動様式が、改善を目的とした身体活動の特異性に合致し、加齢に伴い増加する拮抗筋の共縮を抑制し、円滑な筋活動を遂行するような神経的な改善により有効に作用したためと思われる。

2. 移動能力と体力要素の関係

本研究では、5m 速歩ならびに 10m 速歩、TUG、ステッピングにおいて、VCS-30 との間には中等度の有意な相関関係を示したが、Jones et al (1999) によって考案され高齢者の下肢筋力と高い相関関係を示す CS-30 とはいずれの項目においても有意な相関関係は認められなかった (表 7)。この結果は、高齢者の歩行能力や TUG には、下肢筋パワーが貢献していることを明らかにした村田ほか(2010)の研究と類似し、高齢者の日常生活での身体活動の評価には、筋力よりも筋パワーの方が有効であるとする Bassey et al (1992) の報告を支持するものである。また、敏捷性の評価項目であるステッピングが VCS-30 と有意な相関関係を示したことから、敏捷性にも筋パワーが密接に関連していることが示唆された (表 7, 図 3-D)。

本研究では、H/S 群が S 群よりも 10m 速歩、TUG でトレーニングによる有意な変化を示し、筋パワーの評価に用いた VCS-30 において有意ではないものの高い変化が認められた。しかし、介入前後の VCS-30 の変化率と 5m 速歩、10m 速歩、TUG の変化率との間には有意な相関関係を示さなかった。この理由として、歩行動作における速度の向上には足関節底屈動作が大きく貢献すると考えられる (Gottschall and Kram, 2003) が、本研究で用いた VCS-30 の測定には、足関節底屈動作が含まれていなかったため、VCS-30 の変化率はこれらの歩行と関連する測定項目の変化率と有意な相関関係を示さなかったと推察される。このことは、股関節伸展動作と膝関節伸展動作での椅子立ち上がり動作に足関節底屈動作を組み合わせることが、歩行能力の改善に効果的であるという堤ほか(1997)の研究結果によっても支持されると思われる。

本研究において、TUG は 5m 速歩および 10m 速歩、VCS-30 との間には有意な相関関係が認められた (表 7)。TUG は、椅子からの起立動作および着座動作、歩行動作、歩行時の方向変換動作などによって構成されるため、高齢者の機能的移動能力の評価の他に、動的バランスや転倒リスクの評価にも用いられている (Podsiadlo et al, 1991)。高齢者の歩行能力とバランス

能力との関係を検討した研究では（猪飼ほか, 2006, 藤澤ほか, 2006）, 歩行速度と TUG との間に有意な相関関係を認め, 歩行能力はバランス能力に影響されやすいことを報告している。また, 島田ほか (2006) は, 歩行能力の低下が転倒リスクの増大に関連していることを明らかにしている。これらの結果から, 歩行能力や機能的移動能力には筋パワーに加えバランス能力も関連し, これらの測定項目は, 共通して足関節底屈筋群が関連していることから (Okamoto K and Okamoto T, 2001, Gottschall and Kram, 2003), 足関節底屈筋群の筋機能が歩行能力や機能的移動能力, ステッピング能力, バランス能力に関連しているものと推察される。

V. まとめ

本研究は, 高齢者女性 30 名を対象に, 14 週間の高速/低速レジスタンス運動と低速レジスタンス運動が移動能力に及ぼす影響を検討した。その結果, 10m 速歩と機能的移動能力において, 高速/低速レジスタンス運動群が低速レジスタンス運動群と比べて有意な変化を示した。

本研究の結果から, 自体重を中心とした高速椅子立ち上がりトレーニングなどを含む高速レジスタンス運動が高齢女性の移動能力の改善に有効であることが示唆された。また, 高速椅子立ち上がりトレーニングは移動能力と活動筋群, 筋活動様式, 力-速度特性などが類似する特異的トレーニングであり, さらに移動能力の改善に必要な過負荷の条件を満たしている可能性が示唆された。

第6章 介入研究Ⅲ

「高速コンビネーション・スクワットが高齢女性の移動能力に及ぼす効果」—下肢筋力水準が異なるグループを対象として—

I. 緒言

高齢者が日常生活のさまざまな環境に適応し、自立した生活を営むためには、歩行、速歩、坂道歩行、段差歩行、階段昇降などの複数の移動能力を維持・改善する必要があると考えられる。沢井ほか(2004)は、階段昇降動作は日常生活の中で最も身体活動強度が高い動作のひとつであることを報告し、南ほか(1997)は、階段が高齢者の日常生活における不自由さや外出の制限因子になることを示唆している。また、歩行速度と高齢者は骨密度との関連性が認められている(小松ほか, 2003)ことから、佐藤ほか(2008)は、骨密度低下の予防には歩行速度にも配慮する必要があることを示唆している。一方、4~6メッツ以上の強度で行う身体活動習慣と死亡率の間には有意な負の相関関係が認められ(Lee and Paffenbarger, 2000)、運動強度に対する耐容能力が1メッツ増加した場合には、死亡や心血管疾患のリスクが減少することが報告されている(児玉と曾根, 2010)。これらの報告から、身体活動強度がやや高い移動能力を改善することが、高齢者の自立や健康づくりのうえで重要であり、ロコモティブシンドロームや転倒事故に伴う要介護リスクの予防にも必要であると考えられる。

移動能力を改善するレジスタンス運動について、Krebs et al (2007)は、歩行動作に活動筋群などが類似するレジスタンス運動群と通常のレジスタンス運動の効果を比較し、歩行能力の改善効果は歩行動作に類似するレジスタンス運動群の方が高いことを報告している。また、菅野ほか(2010)は、高速椅子立ち上りトレーニングが歩行能力の改善に有効であることを報告している。しかし、これらの先行研究で行われたレジスタンス運動は歩行や階段昇降動作に用いられる足関節底屈動作(Gottschall and Kram, 2003, 西島ほか, 2003)が含まれていない。また、運動習慣がなく体力水準に差がない高齢者を対象としているため、体力水準が異なる対象に対するレジスタンス運動の様式に関する知見は十分に得られていない。

そこで、本研究は歩行能力と階段昇降能力の改善には、股関節・膝関節伸展動作に足関節底屈動作を加えた高速椅子立ち上りトレーニング(以下、高速コンビネーション・スクワット)が有効であるとの仮説を立て、下肢筋力水準に応じて設定した2種類の異なるエクササイズ様式の効果を検証することを目的とした。

II. 方法

1. 対象

対象は自治体が所有するトレーニング施設で開講された高齢者運動教室に参加している高齢者女性 21 名であった。本研究では高齢者の下肢筋力水準の評価として多用されている 30 秒間椅子立ち上がりテスト (CS-30) (Jones et al, 1999) の介入前の起立回数の値から、対象者を高筋力群 (High Muscular Strength Group : HS 群) と低筋力群 (Low Muscular Strength Group : LS 群) と定義して振り分けた。HS 群は 10 名 (年齢 : 67.9 ± 1.32 歳) , LS 群は 11 名 (年齢 : 66.9 ± 1.11 歳) であった。また、本研究では整形外科的傷害による疼痛や機能障害などによって介入実験に支障をきたす対象者は含まれていない。すべての対象者に研究の目的や教室の内容、測定内容や測定に伴う危険について十分に説明し、途中で研究から離脱することを認め個人の自由意志による参加を尊重したうえで書面にて研究協力への同意を得た。なお、本研究は東海学園大学倫理委員会の承認を得て実施した。

2. 運動プログラム

対象者は自治体所有のトレーニング施設で 1 回 60 分間、週 1 回の頻度で 16 週間のレジスタンス運動を実施した。プログラムは、10~15 分間のウォーミングアップとして行われる座位あるいは立位による軽運動、静的ストレッチング、レクリエーション、30~45 分間のレジスタンス運動、5 分間の整理運動と静的ストレッチングで構成し、運動前後に安静時血圧、安静時心拍数を測定し体調の確認を行った。なお、両群の対象者が介入前に行っていた運動は、高齢者のレジスタンス運動で一般に行われている自体重負荷を中心とした軽負荷・低速でのレジスタンス運動であった。

3. レジスタンス運動

表 8 に両群が介入全期間に実施したレジスタンス運動のプログラムを示す。歩行能力と階段昇降能力の改善を目的として行った自体重負荷による高速コンビネーション・スクワットは、高さ 42cm の椅子の前方に着座し両足を肩幅に広げ、股関節屈曲位 $110 \sim 120^\circ$, 膝関節屈曲位 $100 \sim 110^\circ$ とし、両腕を胸の前で交差した姿勢から、主観的最高速度で股関節・膝関節の伸展動作に足関節底屈動作を組み合わせた起立動作を行った (図 4)。HS 群の介入前期 (1~4 週) は 2~3 秒間の休息時間を挟みながら間欠的に、介入中期 (5~10 週目) は連続的に 3 回行った。また、介入後期 (11~16 週目) は高速コンビネーション・スクワットからの跳躍動

表 8. レジスタンス運動プログラム

No	Exercise	Load	Reps	Sets	Rest period Length
1	High-velocity combination squat	Body weight-bearing	3	2~3	15~30s
2	One-leg chair squat	Body weight-bearing	3	2~3	15~30s
3	Forward lunge	Body weight-bearing	10	2~3	60s
4	One-leg bent-over row	0. 5~2kg	10	2~3	60s
5	One-leg stiff-leg deadlift	Body weight-bearing	5	2~3	60s
6	Shoulder press & knee-up	0. 5~2kg	10	2~3	60s
7	Kneeling push-up	Body weight-bearing	8	2~3	60s
8	Twisting trunk curl	Body weight-bearing	8	2~3	60s



図4. 高速コンビネーション・スクワット

作（以下、高速コンビネーション・スクワット・ジャンプ）を連続的に3回行った（図5）。一方、LS群の介入前期（1～4週）は2～3秒間の休息時間を挟みながら間欠的に、介入中期・後期（5～16週目）は連続的に3回行った。その他のエクササイズは、強度、量、休息时间、動作速度は両群とも同一に設定し、短縮性筋活動局面を1カウント、伸張性筋活動局面を1～2カウントで実施するように指示した。また、介入全期間においてエクササイズ数、強度、量、休息时间、動作速度、エクササイズ様式などの変更は行わなかった。さらに普段の生活スタイルを心掛け、日常生活で歩行や階段昇降などが増加しないように指示して介入研究を行った。

3. 測定項目および測定方法

(1) 体格

体格の計測項目として身長、体重、BMI（Body mass index）を測定した。身長はデジタル身長計（TK-11850 竹井機器工業社製）を用いて計測し、体重は体重・体組成率計（TBF-401 タニタ社製）にて測定を行った。

(2) 歩行能力

両足を揃えた立位姿勢で構え、開始の合図で主観的最速の歩行速度（速歩）で10m地点を通過し、光電管スピードトラップ（Brauer社製）を用いて5m地点および10m地点の所要時間（秒）を測定した。左右の足が同時に遊脚している局面が含まれている場合には走行と判断し再テストを実施した。対象者には直線歩行を行うように指示し、ゴール地点に目標物を設置し直線歩行が行いやすいように配慮した。テストは2回実施し5m、10m地点のそれぞれの最速時間（秒）を測定値として採用し、歩行時間から5m、10m、および5-10mの平均歩行速度（m/s）を算出した。また、10m歩行区間のステップ数を計測し、ステップ数と歩行距離からストライド長を次式で算出した：ストライド長（m）＝歩行距離（10m）×2/ステップ数（歩/10m）。

(3) 階段昇段能力

1段あたりの高さ（蹴上げ）17cm、踏み面（ステップ）32cmの12段階を用いて、1段目の手前10cmをスタート地点、12段目の踏み面から10cm遠位をゴール地点としてジェスタープロ光電管（T7727B ニススポーツ社製）にて測定した。両足を揃えた立位姿勢で構え、開始の合図で主観的最速の歩行速度で12段階を昇段し所要時間（秒）を測定した。階段昇段



図5. 高筋力群が介入後期に行った高速コンビネーション・スクワット・ジャンプ

時に左右いずれか一方の足が段面に接地している立脚局面が認められた場合を速歩と規定し、左右の足が同時に遊脚している局面が含まれている場合には走行と判断し再テストを実施した。また、階段の歩行路に目印を貼付した目印を参考に直線的な階段昇段を行うように指示した。テストは2回実施し最速時間（秒）を測定値として採用した。

(4)30 秒間椅子立ち上がりテスト

30 秒間椅子立ち上がりテスト（CS-30）は、高さ 42cm の椅子の前方に着座し、両腕を胸の前で交差させて組み両足を肩幅程度に広げ、膝関節を 100° 程度に屈曲した姿勢で構えた。開始の合図によって股関節と膝関節が完全に伸展するまで素早く起立動作を行い、素早い起立および着座動作を反復させ 30 秒間の起立動作の反復回数を測定した。テストは1回とし、起立動作の際に股関節や膝関節が完全に伸展していない試技や、着座動作で臀部が椅子に触れていない試技は反復回数から減算した。

4. 統計解析

介入前の両群間の各測定項目の平均値の差の比較には対応のない t 検定を用い、CS-30 を除く測定項目の介入前後の比較は、群 (2) × 測定時期 (2) の混合計画 2 要因分散分析を実施し、交互作用が見られた項目については各要因の下位検定を実施した。また、群、時期、群 × 時期の効果量（ $\text{partial } \eta^2$ ）を算出した。CS-30 については、両群の介入前後の差を Mann-Whitney U 検定を用いて解析し、効果量（ r ）を算出した。統計解析には SPSS 11.5 J for Windows を用い、効果量を除く統計解析の有意水準は 5%未満に設定した。

III. 結果

介入前後の各測定項目の結果を表 9 に示した。介入前の各測定項目は CS-30 に有意差が認められ HS 群が有意に高値を示したが（図 6）、その他の項目に両群で有意差は認められなかった。介入前後で有意な群の主効果が認められた測定項目は、5m 速歩、10m 速歩、5-10m 速歩、階段昇段速度であった。これらの項目における効果量は、 $\text{partial } \eta^2 = 0.20 - 0.27$ であった。時期の主効果が認められた測定項目は、5m 速歩、10m 速歩、5-10m 速歩、10m 区間のステップおよびストライド長、階段昇段速度であった。これらの項目における効果量は、 $\text{partial } \eta^2 = 0.48 - 0.91$ であった。また、群 × 時間の交互作用が有意な測定項目は、10m 速歩、5-10m 速歩であり、多重比較の結果、いずれの項目においても HS 群が LS 群よりも大きな変化を示

表9. 介入前後の各測定項目の結果

	HS Group		LS Group		Main Effect			Interaction	
	Pre	Post	Pre	Post	Group	partial η^2	Time	partial η^2	G×T partial η^2
Weight (kg)	55.0 ± 5.28	54.8 ± 3.68	56.2 ± 6.19	56.6 ± 6.04	0.51	0.02	0.84	0.00	0.58
BMI (kg/m ²)	23.1 ± 2.73	23.0 ± 2.26	24.8 ± 3.63	25.0 ± 3.54	0.22	0.09	0.94	0.00	0.60
5m Walking Velocity (m/s)	2.06 ± 0.15	2.19 ± 0.16	1.93 ± 0.15	1.98 ± 0.12	0.02*	0.27	0.01**	0.60	0.09
10m Walking Velocity (m/s)	2.17 ± 0.18	2.36 ± 0.19	2.02 ± 0.17	2.12 ± 0.16	0.03*	0.24	0.01**	0.88	0.02*
5-10m Walking Velocity (m/s)	2.29 ± 0.22	2.56 ± 0.26	2.11 ± 0.21	2.28 ± 0.25	0.04*	0.20	0.01**	0.91	0.05*
Step (#/10m)	12.1 ± 0.14	11.5 ± 0.69	12.7 ± 0.95	11.9 ± 0.88	0.21	0.08	0.01**	0.48	0.44
Stride length (m)	1.67 ± 0.14	1.74 ± 0.10	1.58 ± 0.12	1.69 ± 0.13	0.21	0.08	0.01**	0.49	0.41
Stair Ascent Time (sec)	3.77 ± 0.23	3.41 ± 0.18	4.06 ± 0.27	3.61 ± 0.42	0.04*	0.20	0.01**	0.74	0.43
Mean ± SD									

** $p < 0.01$ * $p \leq 0.05$

HS Group: High muscular strength Group, LS Group: Low muscular strength Group,

BMI: body mass index, partial η^2 : partial eta squared

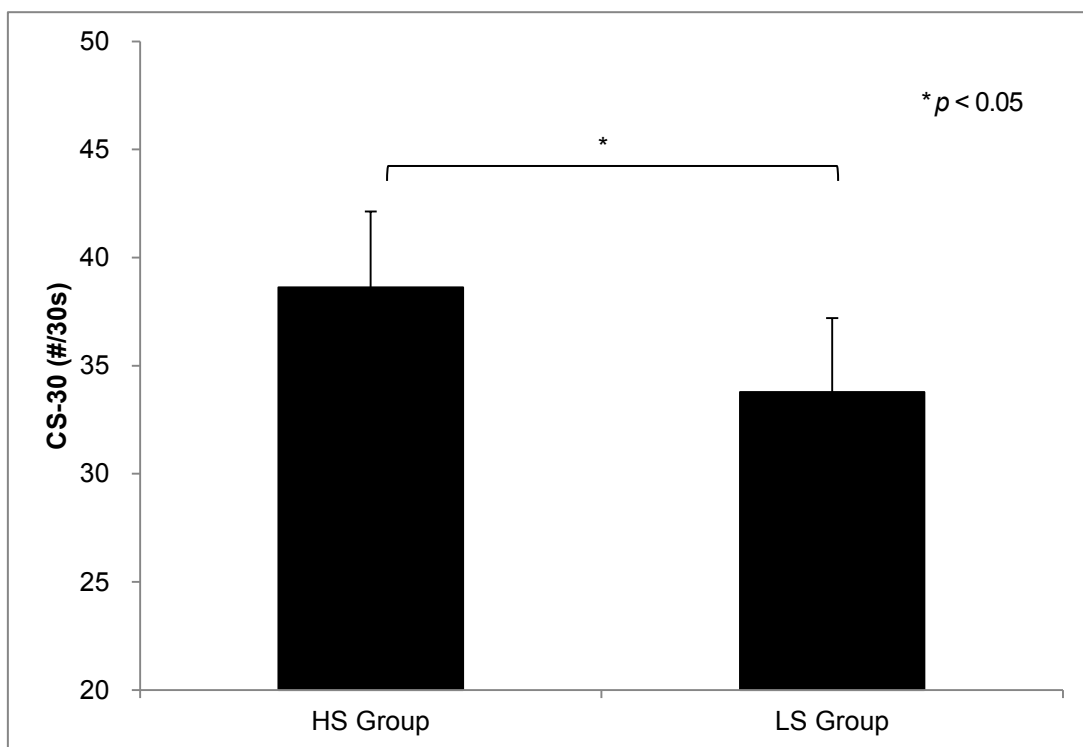


図6. 下肢筋力 (CS-30) の介入前の比較
Mean±SD

した。これらの項目における効果量は、 $\text{partial } \eta^2 = 0.18 - 0.25$ であった。CS-30は両群の介入後に有意な変化は認められなかった(図7)。この項目の効果量は、 $r = -0.22$ であった。

IV. 考察

1. 歩行能力の変化

加齢に伴う歩行速度の低下の原因は主にストライド長の減少であり(Himann et al, 1988), ストライド長の減少には下肢の筋力や筋パワー(Bassey et al, 1992, Lindle et al, 1997), SSC筋活動能力の低下(三井と図子, 2006)などが考えられている。しかしながら、歩行速度にはストライド長とストライド頻度(歩調)の相互が関連していることや生活様式などによる個人差があることなどから(湯ほか, 2007), 歩行速度の低下には複数の要因が相互に関連していると考えられる。また、歩行動作の推進力を生み出す原動力として足関節底屈筋群が大きく貢献し(Gottschall and Kram, 2003), 椅子立ち上がり動作に足関節底屈動作を組み合わせることが、歩行能力の改善に効果なレジスタンス運動である可能性が示唆されている(堤ほか, 1997)。これらの知見を踏まえ本研究では介入前の筋力水準に応じて2種類の異なる高速コンビネーション・スクワットの運動介入を行った。その結果、両群とも歩行速度は介入後に大きな変化を認めたことから、両群が行った高速コンビネーション・スクワットは歩行能力の改善に有効的であることを示唆するもので、身体活動の特性との類似性が高いレジスタンス運動の有効性を示す先行研究(Beau et al, 2002, Krebs et al, 2007, 菅野ほか, 2010)を支持するものである。

一方で、LS群よりもHS群の方が10m速度、5-10m速歩が有意に高い変化を示したことは、介入前の下肢筋力や介入時期によって設定した高速コンビネーション・スクワットのエクササイズ様式が影響していると考えられる。高齢者の膝伸展筋力と動的バランス能力との間には有意な相関関係が認められていることや下肢筋力が高いほど動的バランス能力が優れていることから(小野と琉子, 2001, 津山ほか, 2012), HS群は高速コンビネーション・スクワットにおいて身体バランスを崩すことなくスムーズに動作速度の増加を強調したトレーニングが実施できたと推察される。また、HS群が介入後期に行った高速コンビネーション・スクワット・ジャンプも足関節底屈動作を強調して行ったため、歩行動作の推進力を生み出す原動力である足関節底屈筋群の機能改善が図られたと考えられる。一方、LS群はこのトレーニングで身体バランスを崩すほどではないが、対象者が身体バランスの保持に努める様子が見受けられた。Behm and Anderson (2006)は、身体バランスが不安定な条件下でのレジスタンス運動は動

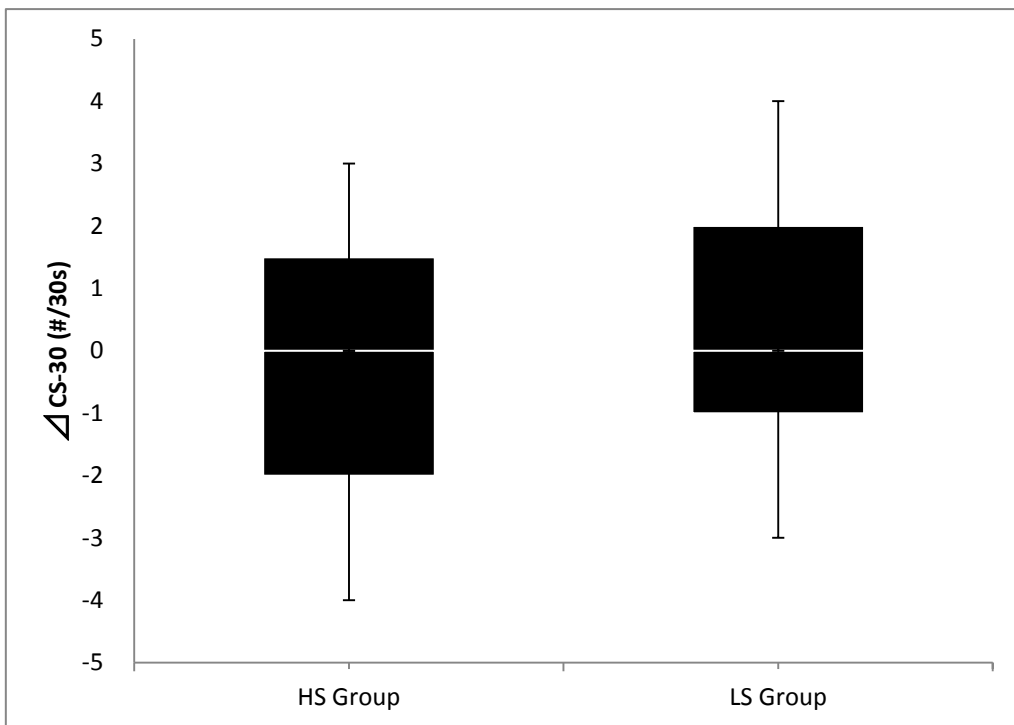


図7. 下肢筋力 (CS-30) の介入前後の変化量の比較

作速度が低減することや、不安定条件下が関節スティッフネスを増加させて安定性を確保するために主働筋と拮抗筋を共縮させる可能性があることを示唆している。Cressey et al (2007) は、安定条件下と不安定条件下における 10 週間の下半身トレーニングが身体活動能力に及ぼす影響を比較し、安定条件下では有意な改善が見られたが、不安定条件下では有意な変化が見られなかったことを報告している。すなわち、LS 群は高速コンビネーション・スクワットにおいて、動作終盤で身体の安定性を高めるために椅子立ち上がり動作における主働筋と拮抗筋が共縮し、動作速度が抑制された可能性がある。

2. 階段昇段能力の変化

階段昇段動作は、昇段速度を増加させた場合に股関節・膝関節伸展筋群に加えて足関節底屈筋群の筋放電量が増加すること（西島ほか, 2003）や、階段昇段速度を増加する際に行われる靴底の前半部着床では、足関節底屈動作に関与する筋群の筋放電量が増加することが報告されている（吉澤ほか, 2004）。また、階段昇段動作は歩行動作と同様に SSC 筋活動を利用して効率的に下肢の力を発揮していると考えられていることから（西島ほか, 2003）、両群が行った高速コンビネーション・スクワットは階段昇段動作における活動筋群と SSC 筋活動能力の改善に有効的であると推察される。

一方で、階段昇段時間は両群とも介入後に大きな変化を示したものの、歩行能力とは異なり両群間に差が認められなかったことは、介入前の下肢筋力水準やトレーニングの負荷強度が影響していると考えられる。沢井ほか（2004）は、階段昇段動作では下肢に歩行動作の 2~3 倍程度の負担がかかることを示唆していることから、階段昇段能力の改善には負荷強度を漸増させながらトレーニングを行うことが必要であると考えられる。本研究の対象者は運動経験を有するため CS-30 で評価される介入前の下肢筋力の平均値は、中谷ほか（2002）の報告と比較すると両群とも非常に優れ、さらに介入後の CS-30 は有意な変化を示さなかった。また、両群とも高速コンビネーション・スクワットは介入全期間を通じて自体重負荷で行ったため、特に HS 群が行った高速コンビネーション・スクワットや高速コンビネーション・スクワット・ジャンプでは、階段昇段能力の改善に必要な負荷強度がやや不足していたと考えられる。したがって、階段昇段能力の改善には、外的な抵抗負荷を加えた高速コンビネーション・スクワットなどのエクササイズが有効的であると考えられる。

3. 実践現場への提案

本研究の結果から、下肢筋力水準に応じてエクササイズ様式を設定した、体重負荷で行う高速コンビネーション・スクワットは運動習慣を有する高齢女性の歩行能力や階段昇段能力の改善に有効なレジスタンス運動であることが示唆された。また、下肢筋力の増加が認められなくても歩行速度や階段昇段時間が改善したことは、筋量や筋力の増加が身体活動能力の向上に必ずしも貢献しないとする報告（金久, 2007）や下肢筋力と移動能力との間には有意な相関関係を示さないとする先行研究（菅野ほか, 2010）を支持するものである。この結果から、一定水準の筋力が獲得できれば、その後は筋パワーなどの筋機能の改善を意識した高速レジスタンス運動が必要であると考えられる。また、実施するエクササイズの活動筋群や筋活動様式が身体活動と類似していたとしても下肢筋力などが不足している場合には、身体活動に類似する素早い動作速度が制限され十分に効果を引き出すことができない可能性がある。したがって、本研究で実施した高速コンビネーション・スクワットを採用する際には、まず下肢筋力の増加を前提条件とし、次にエクササイズの難易度を段階的に高め、常に身体の安定性が維持された状態で動作速度を強調したトレーニングが実施できるように工夫する必要がある。

一方で、階段昇段能力には歩行能力よりも高い筋力が必要であることから、対象者の筋力水準を考慮したうえで、外的な抵抗負荷を加えた高速コンビネーション・スクワットや高速コンビネーション・スクワット・ジャンプなどのトレーニングを行う必要があると考えられる。

V. まとめ

本研究は、下肢筋力水準が異なるグループに対して、移動能力との動作特性が類似する高速コンビネーション・スクワットが有効であるとの仮説を立て、下肢筋力水準に応じて設定した2種類の異なるエクササイズ様式の効果を検証することを目的とした。その結果、歩行速度と階段昇段時間は両群で介入後に有意な改善を示したことから、歩行能力や階段昇段能力の改善には、活動筋群、筋活動様式、力-速度関係が類似し、下肢筋力水準に応じてエクササイズ様式を設定した自体重負荷で行う高速コンビネーション・スクワットなどのレジスタンス運動が有効であることが示唆された。しかし、下肢筋力などが不足している場合には、身体活動に類似する素早い動作速度が制限され十分に効果を引き出すことができない可能性があるため、常に身体の安定性が維持された状態で動作速度を強調したトレーニングが実施できるように工夫する必要がある。また、階段昇段能力には外的な抵抗負荷を加えた高速レジスタンス運動を行う必要があると考えられる。

第7章 介入研究IV

「高齢者の高速コンビネーション・スクワット・トレーニングの効果 —移動能力およびスクワット時の下肢関節角速度に及ぼす影響—」

I. 緒言

ヒトの代表的な移動手段のひとつである歩行は、歩行周期の立脚期に股関節伸展筋群や足関節底屈筋群が、遊脚期では股関節屈筋群や足関節背屈筋群が主に活動していることが報告されている (Okamoto K and Okamoto T, 2001)。また、階段昇段動作では階段昇段周期によって下肢の筋活動の貢献度は異なる (McFadyen and Winter, 1988, 吉澤ほか, 2004) もの、主に股関節伸展筋群と膝関節伸展筋群に加えて足関節底屈筋群が活動することが示唆されている (西島ほか, 2003)。これらの知見から、移動能力の改善を目指したレジスタンス運動では、歩行や階段昇降動作に用いられる活動筋群を中心にトレーニングを行うことが必要である (Fleck and Kraemer, 2004)。Bean et al (2002) は、高齢女性に対して歩行動作などの日常的な身体活動動作との類似性の高いレジスタンス運動によって歩行速度の向上が顕著であったことを報告している。また、菅野ほか (2014) は、股関節・膝関節伸展動作に足関節底屈動作を加えた高速コンビネーション・スクワット・トレーニングが歩行能力や階段昇段能力の改善に有効であることを認めている。

しかし、これらの先行研究は、移動能力と関連性の高い股関節、膝関節、足関節それぞれの運動学的な分析は行われていないため、このような能力の改善度が移動能力にどのように貢献しているかについては明らかにされていない。また、移動動作に下肢のどの関節が影響しているかが明らかになれば、移動能力を効率的に高めるレジスタンス運動を提案することができると思われる。そこで、本研究は股関節・膝関節伸展動作に足関節底屈動作を加えた高速コンビネーション・スクワットを含む・トレーニングに伴う下肢関節角速度の変化が移動能力に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

II. 方法

1. 対象者

対象者は自治体から委託された運動施設管理会社が主催する運動教室に参加した、日常的な運動習慣を有する高齢女性 12 名 (年齢: 66.5 ± 3.21 歳, 身長: 151.6 ± 6.29 cm, 体重: 55.2

±3.95kg)であった。対象者は自治体所有のトレーニング施設で、週1回、1回60分間のレジスタンス運動を16週間実施した。本研究では整形外科的傷害による疼痛や機能障害などによって介入実験に支障をきたす対象者は含まれていない。すべての対象者に研究の目的や教室の内容、測定内容や測定に伴う危険について十分に説明し、途中で研究から離脱することを認め個人の自由意志による参加を尊重したうえで書面にて研究協力への同意を得た。なお、本研究は東海学園大学倫理委員会の承認を得て実施した。

2. 運動プログラム

運動プログラムは、10～15分間のウォーミングアップ（軽運動）、静的ストレッチング、レクリエーション、30～45分間のレジスタンス運動、5分間の整理運動と静的ストレッチングで構成した。運動前後に安静時血圧、安静時心拍数を測定し体調の確認を行った。対象者が行ったレジスタンス運動プログラムを表10に示す。主に歩行能力と階段昇段能力の改善を目的として行われた高速コンビネーション・スクワットは、高さ42cmの椅子の前方に着座し両足を肩幅に広げ、股関節屈曲位110～120°、膝関節屈曲位100～110°とし、両腕を胸の前で交差した姿勢から、主観的最高速度で股関節・膝関節の伸展動作に足関節底屈動作を組み合わせた起立動作を行った（図8）。その他のレジスタンス運動は、片脚チェア・スクワット、フワード・ランジ、片脚ベントオーバー・ロウ、片脚スティッフレッグ・デッドリフト、ショルダープレス&ニーアップ、膝支持位プッシュアップ、ツイスティング・トランクカールの8種類を一般的な動作速度（低速）で行った。

高速コンビネーション・スクワットはトレーニング前期（1～4週）に2～3秒間の休息時間を挟みながら間欠的に3回行い、トレーニング中期（5～10週）からは連続的に3回実施した。

また、トレーニング後期（11～16週）には1回の高速椅子立ち上がりトレーニングから足関節底屈動作を強調した軽度の跳躍動作を3回連続的に行った。すべてのトレーニング期間においてエクササイズ数、強度、量、休息時間、動作速度、エクササイズ様式などのプログラム変数の変更は行わなかった。なお、本研究では歩行や階段昇段などの身体活動が日常生活において増加しないように、普段の生活スタイルを心掛けるように指示したうえでトレーニングを行った。

3. 測定項目および測定方法

本研究では、測定項目の結果に1回のトレーニングの影響が及ばないように配慮するために、

表 10. レジスタンス運動プログラム

No	Exercise	Load	Reps	Sets	Rest period Length
1	High-velocity combination squat	Body weight-bearing	3	2~3	15~30s
2	One-leg chair squat	Body weight-bearing	3	2~3	15~30s
3	Forward lunge	Body weight-bearing	10	2~3	60s
4	One-leg bent-over row	0. 5~2kg	10	2~3	60s
5	One-leg stiff-leg deadlift	Body weight-bearing	5	2~3	60s
6	Shoulder press & knee-up	0. 5~2kg	10	2~3	60s
7	Kneeling push-up	Body weight-bearing	8	2~3	60s
8	Twisting trunk curl	Body weight-bearing	8	2~3	60s



図8. 高速コンビネーション・スクワット

事前測定および事後測定はトレーニング時期と前後それぞれ1週間の間隔を空けて行った。

1) 体格

体格の測定項目として身長、体重、BMI (Body mass index) を測定した。身長はデジタル身長計 (TK-11850 : 竹井機器工業社製) を用いて計測し、体重は体重・体組成計 (TBF-401 : タニタ社製) にて測定を行った。

2) 高速コンビネーション・スクワット動作中の下肢関節角速度

高さ 42cm の椅子のやや前方に着座し両足を肩幅に広げ、起立動作において足関節底屈動作がスムーズに遂行できるように床面に固定し小台 (4cm) に踵を乗せた状態から動作を開始した。起立動作は股関節屈曲位 110~120°, 膝関節屈曲位 100~110°, 両腕を胸の前で交差した姿勢から、主観的 maximum 速度で股関節・膝関節の伸展動作に足関節底屈動作を組み合わせた起立動作を 3 回連続で行った (図 9)。対象者には、起立動作で股関節・膝関節伸展に加えて、足関節底屈を行うことや着座動作では臀部が必ず椅子に着座すること、足関節底屈・背屈時につま先が床面から離れないことを指示した。試技は 1 回としバランスを崩した試技や連続的に行われなかった試技が確認できた際には再試技を実施した。

対象者の関節動作を分析するために、肩峰、大転子、腓骨骨頭上部、外踝、第五中足外踝のそれぞれに反射マーカーを貼付し、高速度カメラ (EX-F1 : カシオ社製) を用いてサンプリング周波数 300fps で右側の矢状面から撮影した。撮影した映像はパーソナルコンピュータに取り込み、ビデオ画像変換ソフト (EDIUS Neo, Grassvalley 社製) で画像変換し、画像分析ソフト (Frame Dias IV, DKH 社製) を用いて 3 回連続の高速コンビネーション・スクワット時の着座位から起立位における、各関節の関節角速度のデータを算出し、最大値を後の分析に用いた。

①股関節伸展角度 : 右側の体幹から大腿のなす角度

②膝関節伸展角度 : 右側の大腿と下腿のなす角度

③足関節底屈角度 : 右側の下腿から足部のなす角度

3) 10m 速歩

歩行路の前後に 5 歩以上歩くことができる場所を用いて、対象者が直線歩行を行うことができるように歩行路面の右側に歩行の目印となるラインを設置した。床面から 30cm の高さに設

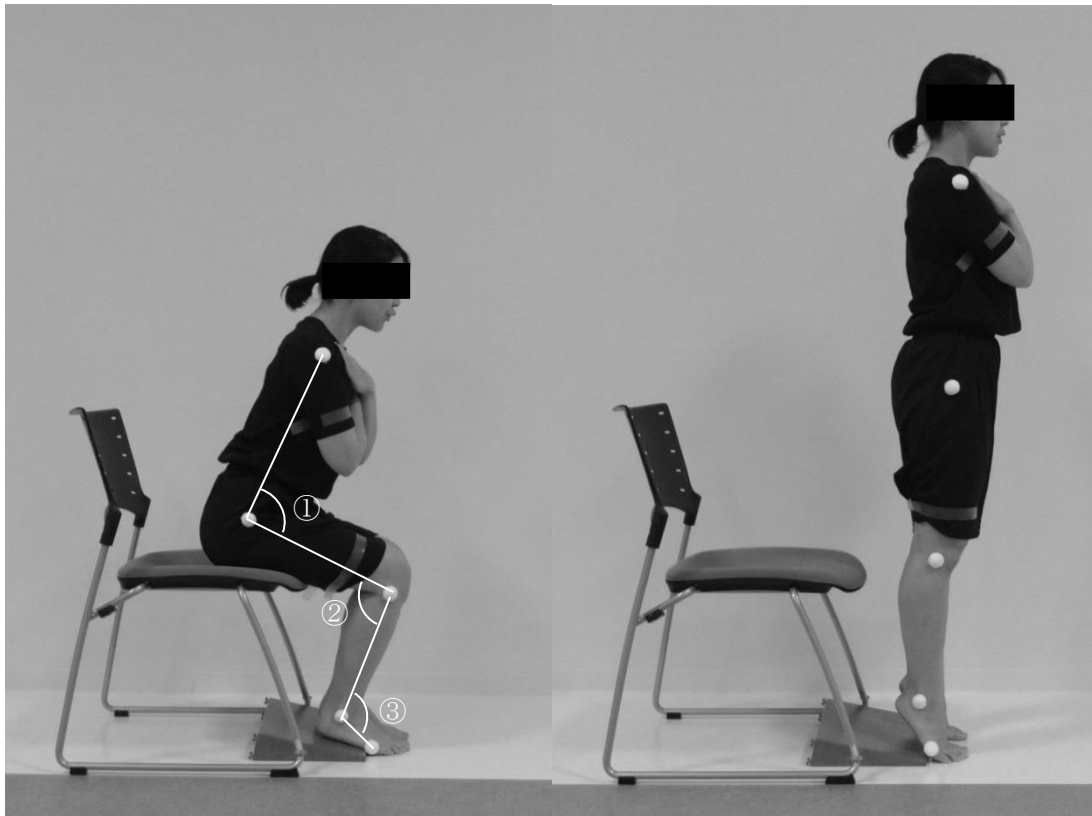


図9. 高速コンビネーション・スクワット動作の測定風景

- ①股関節伸展角度：右側の体幹から大腿のなす角度
- ②膝関節伸展角度：右側の大股と下腿のなす角度
- ③足関節底屈角度：右側の下腿から足部のなす角度

定した光電管スピードトラップ (Brauer 社製) をスタート、10m の各地点の垂直線上に設置し、10m 速歩の所要時間 (秒) を計測した。対象者にはスタート地点のラインに両足のつま先をそろえた姿勢で構え、開始の合図で主観的最速の歩行速度で歩き出し 10m 地点を通過するように指示した。テストは 2 回実施し、最速時間を測定値として採用した。同時に 10m 歩行区間のステップ数を計測し、次式でストライド長を算出した：ストライド長 (m) = 歩行距離 (10m) × 2 / ステップ数 (歩/10m)。

4) 階段昇段速歩

自治体が所有するトレーニング施設の 1 段あたりのステップ高 (蹴上げ) 17cm, 踏み面 (ステップ) 32cm の 12 段階を用いて、1 段目の手前 10cm および 12 段目の踏み面から 10cm 遠位地点にジェスタープロ光電管 (T7727B : ニススポーツ社製) を設置し、12 段の階段昇段の所要時間 (秒) を計測した。スタート地点に両足を揃えた立位姿勢で構え、開始の合図で主観的最速の歩行速度で 12 階段を昇段し所要時間を測定した。また、階段の歩行路中央に貼付した目印を参考に直線的な階段昇段を行うように指示した。テストは 2 回実施し最速時間を測定値として採用した。

4. 統計解析

トレーニング前後の各測定項目の比較は、対応のある t 検定を用いて分析した。また、10m 速歩および階段昇段速歩のそれぞれの項目の変化率の中央値で上位改善群と下位改善群に二分し、両群の高速コンビネーション・スクワット動作中の股関節、膝関節、足関節の最大角速度のトレーニング前後の変化率の比較を、対応のない t 検定を用いて分析した。なお、各測定項目の差の大きさを示すために効果量 (Cohen's d) を算出した。効果量を除く統計解析には SPSS 11.5 J for Windows を用いて、有意水準は 5%未満に設定した。

III. 結果

表 11 にトレーニング前後の結果を示す。トレーニング前後で有意な改善が認められた項目は、10m 速歩 ($d = 0.95$)、10m 速歩におけるステップ数 ($d = 0.56$)、ストライド長 ($d = 0.56$)、階段昇段速歩 ($d = 0.81$)、高速コンビネーション・スクワット動作における股関節最大角速度 ($d = 1.96$)、膝関節最大角速度 ($d = 2.13$) であった。足関節最大角速度 ($d = 0.72$) については改善傾向を示した。体重 ($d = 0.44$)、BMI ($d = 0.42$) は有意な改善が認められ

表 11. トレーニング (介入) 前後の各測定項目の結果

	Pre		Post		p value	Cohen's d
Weight (kg)	55.2	± 3.95	55.7	± 4.03	0.13	0.44
BMI (kg/m ²)	24.1	± 2.81	24.4	± 2.80	0.15	0.42
10m Walking time (sec.)	4.87	± 0.46	4.55	± 0.45	0.01	** 0.95
Step (#/10m)	12.4	± 1.31	11.8	± 0.94	0.05	** 0.56
Stride length (m)	1.63	± 0.16	1.70	± 0.14	0.05	* 0.56
Stair Up Time (sec.)	3.89	± 0.14	3.54	± 0.25	0.01	** 0.81
Hip Joint (deg/s)	282.4	± 33.6	381.0	± 62.7	0.01	** 1.96
Knee Joint (deg/s)	326.6	± 40.0	453.1	± 74.1	0.01	** 2.13
Ankle Joint (deg/s)	386.8	± 73.2	495.8	± 201.1	0.06	0.72
Mean±SD	** p < 0.01 * p < 0.05					

なかった。また、10m 速歩および階段昇段速歩のそれぞれの項目の変化率の中央値で上位改善群と下位改善群に二分した。その結果、両群の高速コンビネーション・スクワット動作中の各角速度のトレーニング前の値には、両群で有意差が認められなかった。しかし、トレーニング後において 10m 速歩の上位改善群と下位改善群で比較した結果、股関節の最大角速度の変化率は、下位改善群よりも上位改善群が有意に高かった ($d = 1.82$) (図 10)。一方で、階段昇段速歩の上位改善群と下位改善群との間に高速コンビネーション・スクワット動作中の下肢関節最大角速度の変化率に有意差は認められなかったものの、両群の差の大きさを示す効果量は、膝関節 ($d = 0.87$)、足関節 ($d = 0.89$) で、いずれの項目も変化率は上位改善群が下位改善群よりも高かった (図 11)。

IV. 考察

1. 高速コンビネーション・スクワット動作中の下肢関節角速度の変化

本研究では、高速コンビネーション・スクワット動作中の下肢関節最大角速度は、股関節および膝関節がトレーニング後に有意に改善し、足関節については有意な改善傾向を示した。一般に行われているレジスタンス運動は、神経-筋機能に過負荷となる刺激を与え適応を引き出すために、重量負荷を加えてトレーニングが行われている。しかし、力は質量と加速度の積であるために、質量が同一であっても加速度を高めることによって、発揮している力も増大する。Pai and Rogers (1991) は、椅子立ち上がり動作における股関節、膝関節の伸展トルクは、立ち上がり速度の増加に伴い増大することを示している。また、股関節・膝関節伸展動作に関与する大殿筋、大腿二頭筋、内側広筋の筋活動量も立ち上がり速度の増加によって増大する (藤澤ほか, 2010a)。本研究では、自体重負荷を中心とした複数のレジスタンス運動で構成されているが、素早い起立動作によって加速度を高めたエクササイズは高速コンビネーション・スクワットのみである。したがって、このエクササイズが本研究の対象者に対して、神経-筋機能の適応を引き出すための過負荷となり、股関節、膝関節、足関節の角速度の改善に大きく貢献したと考えられる。

2. 歩行能力の変化

歩行速度で示される歩行能力は加齢に伴い低下することが知られ (金ほか, 2000)、その原因は加齢に伴う筋量の減少や筋力、筋パワーなどの筋機能の低下、バランス能力の低下が関与していると報告されている (Bassey et al, 1992, Judge et al, 1995, Lindle et al, 1997, 金ほか,

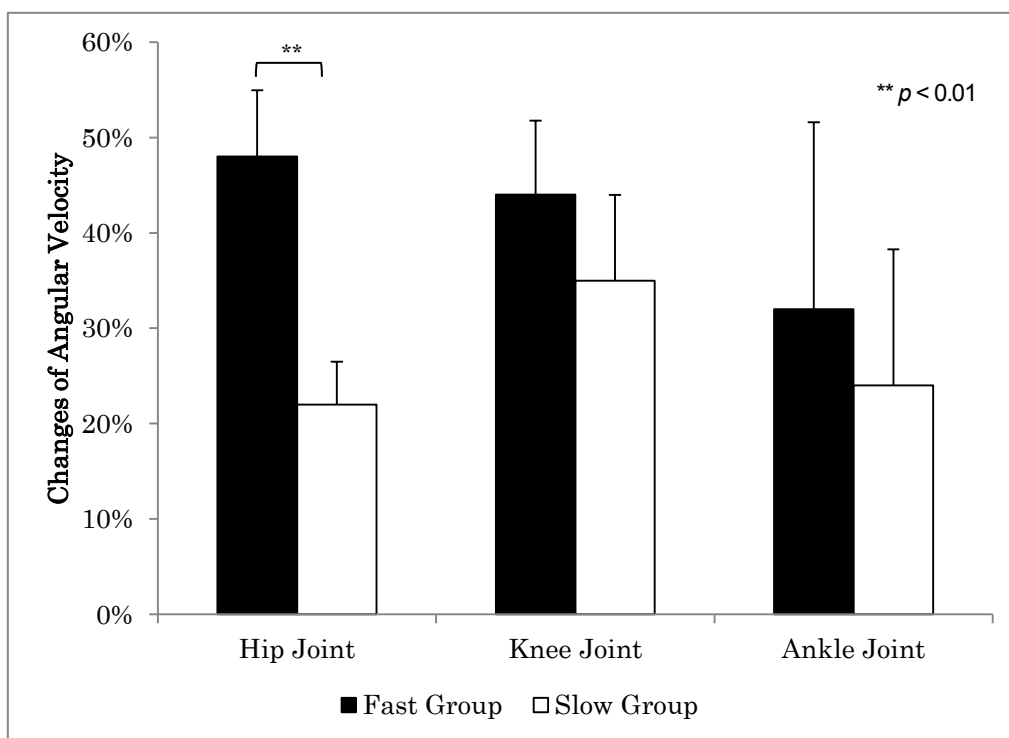


図 10. 10m 速歩の上位改善群, 下位改善群における下肢角速度の変化率の比較
Mean±SD

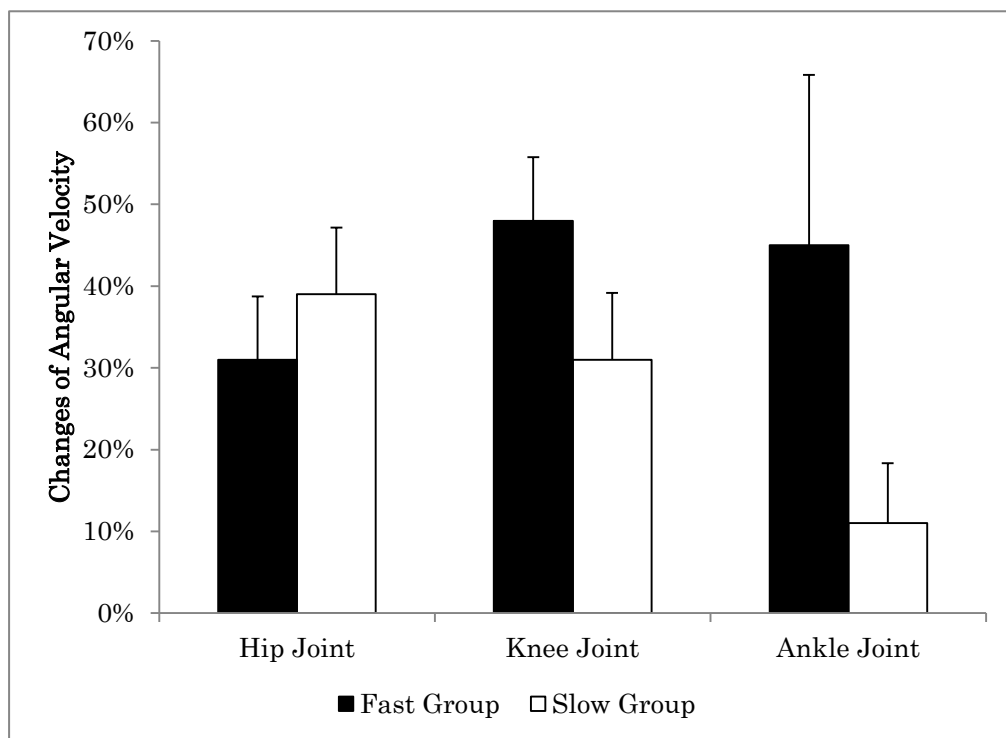


図 11. 階段昇段速歩の上位改善群, 下位改善群における下肢角速度の変化率の比較
Mean ± SD

2000, Rantanen et al, 2001)。また、筋量の減少や筋機能の低下は歩行動作のストライド長や頻度にも影響を及ぼし、高齢者では特にストライド長の減少によって歩行速度の低下を招いている (Himann et al, 1988)。本研究では、有意に 10m 区間のステップ数が減少しストライド長が増加したことから (表 11)、10m 歩行時間の短縮にストライド長の増加が大きく貢献したと考えられ、高速コンビネーション・スクワットを含むトレーニングは、ストライド長の増加に伴う歩行速度の改善に有効的であると思われる。

一方、加齢に伴う筋量の減少や筋機能の低下は上肢と比べて下肢の方が顕著であり (Thompson, 1994, Miyatani et al, 2003)、その中で歩行能力の低下に密接に関係していると考えられる下肢の筋パワーは (Macaluso and DeVito, 2004)、60 歳以降から筋力の低下率を上回ることが示唆されている (Petrella et al, 2005)。したがって、高齢者の歩行速度の低下には、下肢の筋パワーに関連する素早い力の立ち上がり能力の低下が関連していると考えられる。また、歩行動作は立脚期に股関節伸展筋群や足関節底屈筋群が、遊脚期には股関節屈筋群や足関節背屈筋群が主に活動していることが明らかになっている (Okamoto K and Okamoto T, 2001)。しかし、岡田ほか (1997) は、高齢者と若年成人とでは歩行速度の増加に関与する関節の貢献度が異なり、高齢者では歩行速度の増加に伴い股関節伸展トルクやパワーが増大することを報告している。また、金ほか (2001) は、歩行速度の増加には股関節伸展筋群が重要な機能を果たしていることを示唆している。本研究では、10m 速歩の改善が大きい上位改善群に、高速コンビネーション・スクワット動作の股関節伸展動作の最大角速度の顕著な改善が認められたことから (図 10)、上位改善群は高速コンビネーション・スクワットなどによって、歩行動作において推進力を生み出すために重要な素早い股関節伸展能力が特に改善され、10m 歩行時間の短縮に貢献したと考えられる。

3. 階段昇段能力の変化

階段昇段動作は、階段昇段速度を増加させた場合に股関節伸展筋群と膝関節伸展筋群に加えて足関節底屈筋群の筋放電量が増加することが報告されている (西島ほか, 2003)。McFadyen and Winter (1988) は、階段昇段周期における下肢の筋活動パターンは、ステップ面に片足を乗せ身体を上方に引き上げる局面において、支持脚の大殿筋や大腿四頭筋などの活動が高まり、身体を前方に移動する局面では、下腿三頭筋の活動が増加することを報告している。また、吉澤ほか (2004) は、本研究と類似するステップ高では、支持脚の膝関節伸展筋群や足関節底屈筋群の筋放電量の積分値が有意に増大し、さらに、段差を効率的に昇段するために支持脚側

の足関節底屈動作が強調されていることを示唆している。これらの報告から素早い速度で行われる階段昇段動作では、膝関節伸展筋群や足関節底屈筋群が大きな役割を担っていると考えられる。

本研究では、階段昇段能力の改善が大きい上位改善群は、膝関節伸展、足関節底屈の最大角速度の改善が下位改善群よりも顕著であった（図 11）。この結果から、膝関節伸展動作や足関節底屈動作に関与する筋群が高速コンビネーション・スクワットなどによって改善され、階段昇段時間が短縮したと考えられる。

4. トレーニング効果の個人差

本研究によって得られた興味深い知見は、10m 速歩の上位改善群と階段昇段速歩の上位改善群とが必ずしも一致していないことである。むしろ、10m 速歩の上位改善群は階段昇段速歩では下位改善群へ、階段昇段速歩の上位改善群は 10m 速歩の下位改善群となる傾向が認められた（図 12）。菅野ほか（2014）は、歩行能力や階段昇段能力の改善には、これらの動作と活動筋群、筋活動様式、力速度関係が類似する高速コンビネーション・スクワットが有効であることを示唆していることから、このエクササイズがトレーニング効果の個人差に最も影響を及ぼしたと考えられる。すなわち、10m 速歩の改善が顕著であった対象者は股関節伸展動作を、階段昇段速歩の改善が顕著であった対象者は膝関節伸展動作と足関節底屈動作を強調して高速コンビネーション・スクワットが行われたと推察される。高速コンビネーション・スクワットに類似するエクササイズであるスクワットでは、活動筋群の部位や筋活動の大きさは股関節や膝関節の屈曲角度、動作時の体幹の姿勢、負荷の大きさなどによって異なる（Stuart et al, 1996, Escamilla et al, 1997）。また、椅子から立ち上がる際の矢状面における下肢関節角度や重心軌道は、立ち上がる速度や椅子の座面高、若年成人と高齢者によっても異なることが示唆されている（Pai and Rogers, 1991, Dubost et al, 2005, 藤澤, 2010b）。これらの報告から、本研究の対象者の身長、下肢長などの体格や下肢の各関節が発揮する筋力や筋パワーの大きさなどの相違が高速コンビネーション・スクワットの遂行方法に影響を及ぼし、トレーニング効果に個人差が生じたものと考えられる。

5. 実践現場への提言

本研究の結果から、歩行動作の改善には股関節伸展動作を階段昇段動作には膝関節伸展動作や足関節底屈動作を強調して行う複合関節が関与する、高速コンビネーション・スクワットの

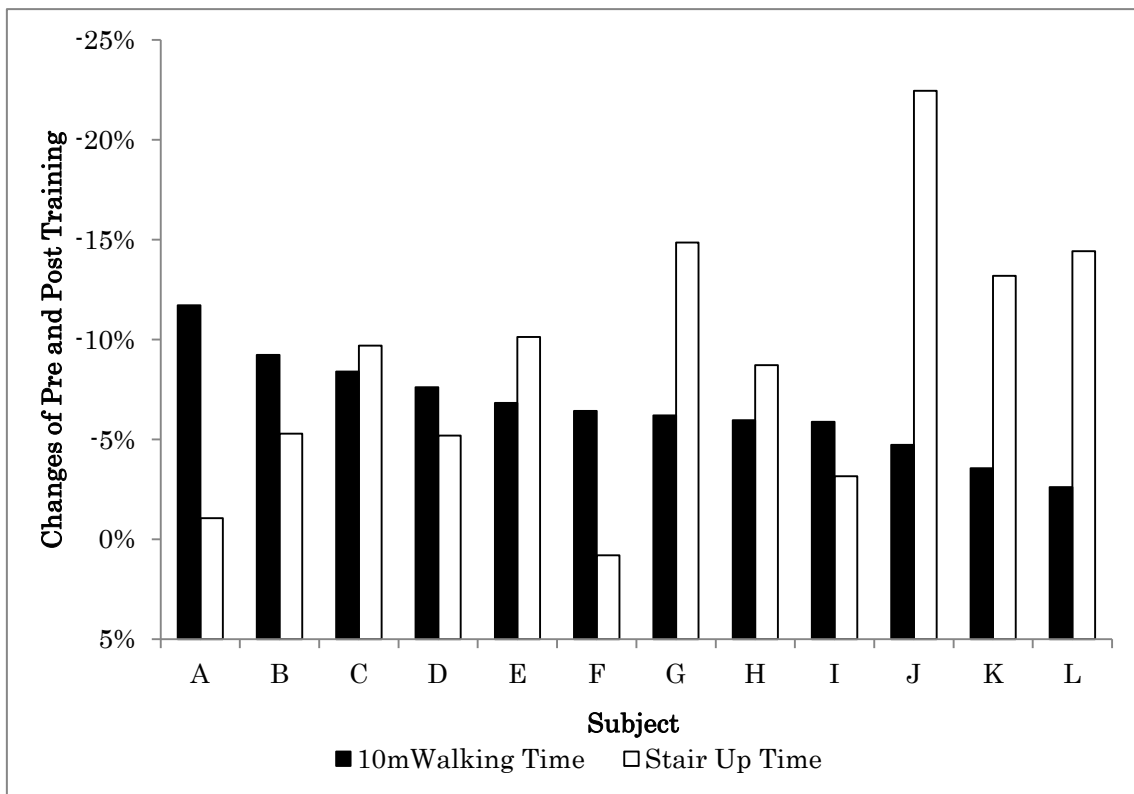


図 12. 10m速歩, 階段昇段速歩のトレーニング前後の個人の変化率

ようなレジスタンス運動が有効であると考えられる。

しかし、トレーニング効果は生体への直接的な刺激となるエクササイズの種類、強度、量、頻度などのトレーニング・プログラム変数に加えて、遺伝的要因が関与する組織の構造や形態、年齢、性別から遺伝子レベルに至るまでの内的要因、あるいは暑熱、寒冷、標高などの外的要因などによって、効果の有無やその大きさが異なることが明らかになっている（福永, 1996, 長谷川, 2009, 家光, 2011, 中里ほか, 2012）。したがって、異なる個人特性を有する対象者が一定水準のトレーニング効果を得るためには、現段階ではトレーニング・プログラム変数を多様化することが最も重要であると考えられる。この知見を高速コンビネーション・スクワットの指導で例えるならば、対象者の体力特性に応じて動作の安定性を維持したエクササイズ様式を選択して、常に素早い起立動作を強調する。次に、移動能力に関与する下肢関節の伸展（底屈）動作を強調する部位に変化を加えたり、活動筋群の貢献度が異なるエクササイズ様式を選択して実施することなどが有効的であると考えられる。

V. まとめ

本研究は、運動習慣を有する高齢者が 16 週間の自体重負荷を中心とした高速コンビネーション・スクワットおよび低速レジスタンス運動を行った。その結果、10m 速歩は股関節伸展動作の角速度の改善が、階段昇段動作は膝関節伸展や足関節底屈動作の角速度の改善が貢献することが示唆された。この結果から、歩行動作の改善には股関節伸展動作を階段昇段動作には膝関節伸展動作や足関節底屈動作を強調して行う複合関節が関与するレジスタンス運動が有効であると考えられる。

また、10m 速歩の改善上位群は股関節伸展動作を、階段昇段速歩の改善上位群は膝関節伸展動作、足関節底屈動作を強調した様式で高速コンビネーション・スクワットが行われたと推察される。このような、高速コンビネーション・スクワットの遂行方法の相違には、対象者の身長、下肢長などの体格やこの動作に関与する下肢の各関節が発揮する筋力や筋パワーの大きさなどが影響を及ぼしていると考えられる。

したがって、高速コンビネーション・スクワットを実施する際には、エクササイズ様式に変化を加えながら行うことが必要であると考えられる。

第8章 総合討論

これまでの研究によって、歩行などの身体活動量の増加が生活習慣病やメタボリックシンドロームの予防・改善に有効的であることが知られている。しかし、通常歩行よりも強度が高く歩行動作に特異的であると考えられる速歩トレーニングが、移動能力や体力要素に対して及ぼす影響については十分な研究は行われていない。

そこで、介入研究Ⅰでは定期的な運動習慣のない高齢者を対象として、速歩トレーニングが移動能力および体力要素に及ぼす影響を検討した。

その結果、10m 速歩や TUG に有意な改善が認められなかったが、体力要素には有意な向上が認められた。この結果は、一定水準の下肢筋力を有する高齢者の移動能力の向上には、速歩トレーニングよりも高い強度を与えるトレーニングが必要であることを示唆し、パフォーマンスの向上には過負荷と特異性の両者に配慮したトレーニングが重要であるとする、金子(1988)の知見が高齢者においても支持された。一方、全身持久力の顕著な改善は、速度トレーニングが対象者の全身持久力の向上に必要な条件に適合した結果であると考えられ、下肢筋力の評価に用いた CS-30 が向上したことは、速歩トレーニングによって筋持久力に類似する能力が改善したことによるものであると推察される。また、柔軟性の改善には、教室開始前後に行った静的ストレッチングが、動的バランスの向上には、速歩トレーニングによる足関節底屈筋群の筋機能の改善効果が貢献していると考えられる。

加齢に伴う移動能力の低下の原因は、主に筋量減少や筋機能の低下が関与していると考えられ (Bassey et al, 1992, 金ほか, 2000, Rantanen et al, 2001), 筋量や筋機能の改善にはレジスタンス運動が有効的であることが報告されている (Faigendaum, 2008)。従来から行われている高齢者のレジスタンス運動は、安全性に配慮して低負荷・低速で実施されることが一般的である。このようなレジスタンス運動は、運動習慣がない対象者の筋量増加や筋機能の改善に有益である可能性がある。一方で、移動能力と活動筋群、筋活動様式、力-速度関係が類似する自体重負荷で行う高速レジスタンス運動は移動能力の改善に有効的であると考えられている (Fleck and Kraemer, 2004)。

そこで、介入研究Ⅱでは移動動作の特性が類似する自体重負荷を中心とした高速椅子立ち上がりトレーニングなどに、低速レジスタンス運動を加えた高速/低速レジスタンス運動群と、これらのすべてのエクササイズを低速で行う低速レジスタンス運動群とを比較して移動能力に及ぼす影響を検討した。

その結果、両群とも介入後に移動能力と筋力、筋パワー、敏捷性に変化が認められたが、10m速歩とTUGは、高速/低速レジスタンス運動群の方が有意に改善した。また、移動能力と筋パワーに有意な相関関係が認められたことから、移動能力の改善には下肢の筋力よりも筋パワーが重要であるとする Bassey et al (1992) の先行研究を支持する結果が得られた。

これらの結果から、移動動作と活動筋群、筋活動様式、力-速度関係の多くが類似する高速レジスタンス運動が低速レジスタンス運動よりも、移動能力に対してより特異的なトレーニングであり、素早い立ち上がり動作を強調した高速椅子立ち上がりトレーニングなどのエクササイズが移動能力の改善に大きく貢献したと考えられる。また、Miszko et al (2003) や Bottaro et al (2007) の先行研究は中等度以上の外的抵抗負荷を加えた高速レジスタンス運動で、移動能力の向上を示しているが、本研究では、自体重負荷を中心とした低負荷で行っていることから、自体重などの低負荷であっても加速度を高めた高速レジスタンス運動が、高齢者の神経-筋機能の適応を引き出す過負荷となる可能性が示唆された。一方で、歩行動作における速度の向上には足関節底屈動作が重要であり (Gottschall and Kram, 2003)、堤ほか (1997) も、椅子立ち上がりトレーニングに足関節底屈動作を含むエクササイズが歩行能力の改善に有効である可能性を示唆している。しかし、本研究ではこのエクササイズが行われていないため、この様式で行われる高速レジスタンス運動の効果を検証することが新たな研究課題となった。

他方、これまでに行われた先行研究においても、歩行動作などの日常生活動作とエクササイズ様式が類似するレジスタンス運動が、これらの動作の改善に有効的であることが示唆されている (Bean et al, 2002, Krebs et al, 2007)。しかし、これらの研究は運動習慣がない対象者であるため、定期的な運動習慣の有無や、それに伴う下肢筋力水準の影響は考慮されていない。また、階段昇段動作は日常生活のなかで最も下肢への負担が多い動作である (沢井ほか, 2004) にも関わらず、この能力を改善するためのトレーニングの研究は十分に行われていない。さらに、介入研究Ⅱで得られた新たな研究課題である、椅子立ち上がりトレーニングに足関節底屈動作を含むエクササイズの効果を検証することが必要である。

これらを踏まえて介入研究Ⅲでは、下肢筋力水準が異なる対象者に対して、歩行動作や階段昇段動作と活動筋群、筋活動様式、力-速度関係が類似し、移動能力の改善に有効的であると考えられる、高速コンビネーション・スクワットの異なるエクササイズ様式の効果を検証した。

その結果、対象者の下肢筋力水準に応じてエクササイズ様式を設定した自体重負荷の高速コンビネーション・スクワットは、10m速歩と階段昇段速歩の改善に有効であり、高筋力群においては高速コンビネーション・スクワット・ジャンプが10m速歩と階段昇段速歩の改善に有

効なレジスタンス運動であることが示唆された。また、16週間の運動介入で下肢筋力は有意な変化を示さなかったものの、10m速歩や階段昇段速歩が大きく変化したことから、一定水準の筋力が獲得できれば、それ以降は筋パワーなどの筋機能を高速レジスタンス運動で改善することが重要であると考えられる。しかしながら、実施するエクササイズの種類や活動筋群や筋活動様式が身体活動と類似していたとしても下肢筋力などが不足している場合には、身体活動に類似する素早い動作速度が制限され十分に効果を引き出すことができない可能性がある (Behm and Anderson, 2006, Cressey et al, 2007)。したがって、動作終盤の足関節底屈動作に伴い支持基底面が減少する高速コンビネーション・スクワットでは、常に身体が安定し素早い動作速度を強調したトレーニングを遂行できるように、エクササイズ様式を工夫する必要がある。

一方、階段昇段速歩は両群で改善効果を示したが群間に差が認められなかったことは、対象者の下肢筋力水準やトレーニングの負荷強度が影響していると考えられる。沢井ほか (2004) は、階段昇段動作は歩行動作よりも高い筋力が必要であること示唆している。また、本研究の対象者は運動経験を有するため下肢筋力水準が非常に優れていた。そのため、自体重負荷で実施した高速コンビネーション・スクワットやジャンプ動作の負荷強度が、特に高筋力群ではやや不足していたと考えられる。したがって、階段昇段能力の改善には対象者の下肢筋力水準を考慮したうえで、外的な抵抗負荷を加えて高速コンビネーション・スクワットなどを行う必要があると思われる。

ところで、移動能力は下肢の複数の関節が関与していることは明らかであるが、これらの関節動作がレジスタンス運動によって改善され、移動能力の改善にどのように関与しているかどうかについては明らかになっていない。

そこで、介入研究IVでは、移動能力の改善に股関節、膝関節、足関節がどのように影響を及ぼしているかを検討するために、高速コンビネーション・スクワット動作における、下肢関節の角速度の変化と移動能力との関係について検討した。

その結果、高速コンビネーション・スクワット動作における股関節伸展角速度の上位改善群は10m速歩が、膝関節伸展角速度と足関節底屈角速度の上位改善群は階段昇段速歩で、それぞれ高い改善効果を示した。これらの結果から、歩行動作の改善には股関節伸展動作を、階段昇段動作には膝関節伸展動作や足関節底屈動作を強調した様式で行う高速コンビネーション・スクワットが有効であると考えられる。一方、この研究で得られた興味深い知見は、10m速歩の上位改善群と階段昇段速歩の上位改善群とが必ずしも一致していないことである。この結果から、10m速歩の上位改善群では股関節伸展動作を、階段昇段速歩の上位改善群は膝関節

伸展動作、足関節底屈動作を強調した様式で高速コンビネーション・スクワット・トレーニングが実施されたと推察される。この原因には、トレーニング時の下肢関節屈曲角度、負荷の大きさ、座面高、年齢層が影響を及ぼす可能性が示唆されている (Pai and Rogers, 1991, Stuart et al, 1996, Escamilla et al, 1997, Dubost et al, 2005, 藤澤, 2010)。そのため、対象者の身長や下肢長、あるいはエクササイズ実施中の下肢の各関節が発揮する筋力や筋パワーの大きさなどの個人差が、エクササイズの実施様式に影響を及ぼしたと考えられる。

以上の知見を総括すると、移動動作と活動筋群、筋活動様式、力-速度関係の多くが類似する高速レジスタンス運動が、従来から行われている低速レジスタンス運動よりも、高齢者の移動能力の向上に有効的な特異的なトレーニングであると考えられる。また、自体重などの低負荷であっても加速度を高めた高速椅子立ち上がりトレーニング、高速コンビネーション・スクワット、高速コンビネーション・スクワット・ジャンプなどのエクササイズが、高齢者の神経-筋機能の適応を引き出す過負荷となる可能性が示唆された。一方で、下肢筋力水準が高い対象者が階段昇段能力を改善する場合には、外的負荷抵抗を加えた様式でこれらのエクササイズを実施することが必要であると考えられる。また、長谷川 (2013) は拳上スピードをモニタリングして即時的にフィードバックを与えるトレーニング法が筋機能や身体活動動作パフォーマンスの改善に優れた手法であることを示唆している。したがって、このようなトレーニング法も視野に入れて高速レジスタンス運動の実施方法を検討する必要がある。

しかし、高速コンビネーション・スクワットなどの高速椅子立ち上がりトレーニングでは、移動能力との力-速度関係の類似性を高めるために、身体の安定性が維持され素早い動作速度を強調したトレーニングが必要である。そのために、対象者の下肢筋力水準やエクササイズ・テクニックを見定め、身体の安定性が維持できる様式を工夫しながら実施することや、対象者の下肢筋力水準に応じてエクササイズ様式を設定することが必要である。

また、歩行能力の改善には股関節伸展動作を、階段昇段能力の改善には膝関節伸展動作、足関節底屈動作を強調した様式で高速コンビネーション・スクワットを遂行することが有効的であると考えられる。これに関連して Jonathan (2008) は、高速コンビネーション・スクワットと類似するスクワット運動において、上体をやや前傾させた姿勢から開始する場合には股関節伸展筋群が、上体をやや起こした姿勢から開始する場合には、膝関節伸展筋群の作用が増大することを示唆している。また、スクワット動作でスタンス幅を増大させることにより股関節伸展筋群の主働筋のひとつである大殿筋の活動が増大することが報告されている (Paoli et al, 2009)。したがって、これらの知見を参考にして高速コンビネーション・スクワットのバリエ

ーションを検討することが必要である。

他方、池添と市橋（2009）は、通常のレジスタンス運動にパワートレーニングやバランス運動などを組み合わせた複合トレーニングが移動能力や体力要素の改善に有効であることを報告し、Fleck and Kraemer（2004）は、長期的にはエクササイズ種目、強度、量などのトレーニング・プログラム変数に変化を加えたトレーニングが、単調なプログラムと比べて体力要素やパフォーマンスの改善に有効であることを示唆している。したがって、介入研究Ⅱ、Ⅲ、Ⅳで実施した移動能力に関連する筋群を多角的にトレーニングすることができる複数のエクササイズで構成されたプログラムや、長期的なトレーニング・プログラムにおいてはエクササイズ、強度、量などの変数に変化を加えることが必要であると考えられる。

これらの知見から、高齢者の移動能力向上を目的としたトレーニングでは、①まず低速レジスタンス運動によって下肢筋力を向上させる。②下肢筋力が性・年齢別の評価で標準値以上に達していれば、高速椅子立ち上がりトレーニングや、身体の安定性が維持される様式で行われる高速コンビネーション・スクワットを行うことが推奨される。③これらが容易に遂行できる対象者では、高速コンビネーション・スクワット・ジャンプや外的負荷抵抗を加えた高強度のエクササイズを実施することが可能である。④トレーニング効果にエクササイズ様式、体格的要因、体力的要因などが影響を及ぼす可能性があるため、高速コンビネーション・スクワットなどのエクササイズにバリエーションを加える。⑤移動能力向上に関連する複数のエクササイズでプログラムを構成し、定期的にエクササイズ、強度、量などの変数に変化を加えながらトレーニングを行う。ことなどが提案される。

終わりに、厚生労働省が策定した「健康づくりのための身体活動基準 2013」には、速歩などの3メッツ以上の強度で行われる身体活動量の増加が、メタボリックシンドロームや生活習慣病の予防、これらが原因となる死亡リスク、あるいはロコモティブシンドロームを低減できる可能性が示唆されている（厚生労働省, 2013）。したがって、上述する知見を活用したトレーニングを継続することが、加齢に伴い低下する移動能力の効率的な維持・改善に貢献でき、高齢者の自立した生活、心身の健康づくり、健康寿命の延伸などに寄与できるものと考えられる。

第9章 総括

本研究は、高齢者の移動能力の向上に有効的なトレーニング法やトレーニングの実施に伴い改善された下肢関節の機能的な変化を明らかにし、移動能力を効率的に維持・改善するためのトレーニング法を検討することを目的とした。その結果、以下の知見を得ることができた。

1. 一定水準の下肢筋力を有する高齢者の移動能力の向上には、速歩トレーニングよりも高い強度を与えるトレーニングが必要であり、パフォーマンスの向上には過負荷と特異性の両者に配慮したトレーニングの重要性が高齢者においても示唆された。一方で、速歩トレーニングは高齢者の全身持久力の向上に適合したトレーニングであり、さらに下肢の筋持久力に類似する能力の改善にも有効的であることが示された。
2. 移動動作と活動筋群、筋活動様式、力-速度関係の多くが類似する高速レジスタンス運動が、移動能力に向上に対する特異的なトレーニングであり、高齢者の移動能力の改善には、高速椅子立ち上がりトレーニングなどのエクササイズが有効的であることが示唆された。また、自体重負荷などの低負荷であっても、加速度を高めた高速レジスタンス運動が神経-筋機能の適応を引き出す過負荷となり、移動能力の改善に貢献した可能性が示された。
3. 対象者の筋力水準に応じて様式を設定する自体重負荷の高速コンビネーション・スクワットは、歩行能力と階段昇段能力の改善に有効である。しかし、下肢筋力が不足している場合には、エクササイズ実施時に身体の不安定性が生じて、移動動作に類似する素早い動作速度が制限され、トレーニング効果を十分に引き出すことができない可能性がある。また、階段昇段動作は歩行動作よりも高い筋力が必要であることから、外的な負荷抵抗を加えた高速コンビネーション・スクワットなどが有効であると思われる。
4. 歩行動作の改善には股関節伸展動作を、階段昇段動作には膝関節伸展動作や足関節底屈動作を強調した様式で行う高速コンビネーション・スクワットが有効であると考えられる。また、高速コンビネーション・スクワットの実施様式には、身長や下肢長、あるいはエクササイズ実施中の下肢の各関節が発揮する筋力や筋パワーの大きさなどの個人差が影響を及ぼす可能性がある。

以上の知見から、移動動作と活動筋群、筋活動様式、力-速度関係などの特性の多くが類似する高速椅子立ち上がりトレーニングや高速コンビネーション・スクワットなどの高速レジスタンス運動が高齢者の移動能力向上に有効的なトレーニングであり、これらのエクササイズを行う際には、対象者の下肢筋力水準などに応じて段階的に行うことが必要である。また、対象者の体格や体力水準などの個人特性に配慮して、エクササイズの実施様式にバリエーションを加えることが重要であり、さらに、移動能力の改善に関連する体力要素や筋機能を多角的にトレーニングすることができる複数のエクササイズでプログラムを構成し、定期的にエクササイズ、強度、量などの変数に変化を加えながらトレーニングを行うことが提案される。

謝辞

はじめに、本論文の作成にあたり、終始暖かい激励とご指導、ご鞭撻を賜りました東亜大学大学院 総合学術研究科 教授 江橋 博 先生に心より御礼申し上げます。私が、本学への進学を決意した理由は、これまでに競技スポーツ分野やフィットネス分野におけるトレーニングにおいて、多数の研究業績を収められスポーツの競技力向上や国民の健康づくりに多大なる貢献をなされた江橋 博 先生が存在があったからです。大学院修士課程から大変お世話になり、進学を後押ししてくださいました博士課程においても多大なるご指導をいただき、誠に有難うございました。社会経験豊富な先生からのご指導やご助言は、私の人生の大切な財産であります。これまでに、丁寧かつ的確にご指導をいただき、心より御礼申し上げます。ただ、本論文の完成を目前とした平成 26 年 1 月 15 日にご逝去されたことは誠に残念でなりません。心よりご冥福をお祈り申し上げるとともに、本論文の完成をご報告させていただきます。

江橋 博 先生にかわり主査をお努めいただきました東亜大学大学院 総合学術研究科 教授 古満 伊里 先生には、統計解析をはじめ論文の執筆の心構えなどにおいて多大なるご指導いただき、心より御礼申し上げます。ときには先生の出張先のホテルにまで押しかけたにもかかわらず、丁寧にご指導いただいたことは、難解な統計解析の理解を深めるきっかけとなり、さらに論文執筆に不可欠なポイントなどを丁寧にご指導いただき、深く感謝申し上げます。

また、本論文作成にあたり審査委員としてご助言をいただきました、東亜大学大学院 総合学術研究科 准教授 加藤雄一郎 先生、ならびに宮原祐徹 先生に感謝申し上げます。

龍谷大学スポーツサイエンスコース教授 長谷川 裕 先生は、私に対してトレーニング指導に必要な実践的研究の重要性や、従来から提唱されている原理・原則などの固定概念にとらわれない探究心を持つことの必要性などをご指導いただいた恩師であり、実践的研究から得られた知見のトレーニング指導の実践現場への活用法など、常に最新の方向性や知見を導いていただき、心より御礼申し上げます。

鹿屋体育大学スポーツ生命科学系 教授 竹島 伸生 先生（前 名古屋市立大学大学院システム自然科学研究科博士課程 教授）には、共同研究への参加を快くご承諾していただいたばかりか、勉強会参加のお誘いや学会発表におけるご指導をいただき、深く感謝いたします。

東海学園大学スポーツ健康科学部 准教授 島 典広 先生には、日頃より研究および教育において大変お世話になり、本論文の大半を占める介入研究の共同研究者として、実験から論文執筆にいたるまで多大なるご協力、ご指導、ご支援をいただき、心より御礼申し上げます。

最後に、唐突に大学院への進学を相談したにもかかわらず、即答で快く承諾し5年間の研究活動と仕事の両立を支援し、これまであたたかく応援、励まし続けてくれた妻と、いつも仕事と研究に明け暮れ、父親としての責務を果たしていないにもかかわらず、いつのまにか大きく成長してくれた息子に心から感謝します。

参考文献

- 1) 鯨坂隆一：運動プログラム実施の可否判断，久野譜也編，保健指導に求められる個別運動プログラム作成・実践ガイド，p.37-43，杏林書院，東京，2009
- 2) American College of Sports Medicine：ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription (Eighth Edition) . p.190-194, Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, Pennsylvania, 2011a
- 3) American College of Sports Medicine：Benefits and risks associated with physical activity: ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription (Eighth Edition). p.2-15, Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, Pennsylvania, 2011b
- 4) American College of Sports Medicine：General Principles of Exercise Prescription：ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription (Eighth Edition). p.152-165, Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, Pennsylvania, 2011c
- 5) American College of Sports Medicine：Muscular Fitness.American College of Sports Medicine：ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription (Seventh Edition). p.165-170, Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, Pennsylvania, 2006
- 6) American College of Sports Medicine：Position stand progression models in resistance training for healthy adults. Med Sci Sports Exerc, 34, 364-380, 2002
- 7) Anderson TA, Kearney, JT：Effects of three resistance training programs on muscular strength and absolute and relative endurance. Research Quarterly for Exercise and Sport, 53, 1-7, 1982
- 8) Aoyagi Y, Park H, Watanabe E, Park S, Shephard RJ：Habitual physical activity and physical fitness in older Japanese adults: the Nakanajo Study. Gerontology, 55, 523-531, 2009
- 9) Baechle TB, Earle RW, Don W：レジスタンストレーニング，Baechle TB, Earle RW 編：ストレングストレーニング&コンディショニング第3版. p.418-420, ブックハウスHD, 東京, 2010
- 10) Barry BK, Carson RG：The consequences of resistance training for movement control in older adults. J Gerontol A Biol Sci Med Sci, 59, 730-754, 2004
- 11) Bassey EJ, Fiatarone MA, O'Neill EF, Kelly M, Evans WJ, Lipsitz LA：Leg extensor

- power and functional performance in very old men and women. *Clin Sci*, 82, 321-327, 1992
- 12) Bean J, Herman S, Kiely DK, Callahan D, Mizer K, Frontera WR, Fielding RA : Weighted stair climbing in mobility-limited older people : a pilot study. *J Am GeriatrSoc*, 50, 663-670, 2002
 - 13) Behm DG, Anderson KG : The role of instability with resistance training. *J Strength Cond Res*, 20, 716-722, 2006
 - 14) Bellew, JW : Age-related motor unit remodeling and its effect on muscle performance. *Strength and Conditioning Journal*. 26, 34-37, 2004
 - 15) Bemben DA, Fetters NL, Bemben MG, Nabavi N, Koh ET : Musculoskeletal responses to high-and low-intensity resistance training in early postmenopausal women. *Med. Sci. Sports Exerc*, 32, 1949-1957, 2000
 - 16) Binda SM, Culham EG, Brouwer B : Balance, muscle strength, and fear of falling in older adults. *Exp Aging Res*. 29, 205-219, 2003
 - 17) Bompa TO : レーニングの原理,尾懸 貢, 青山清英監訳 : 競技力向上のトレーニング戦略. p. 20-37, 大修館書店, 東京, 2006
 - 18) Borg, G : "Perceived exertion as an indicator of somatic stress". *Scandinavian journal of rehabilitation medicine*, 2, 92-98, 1970.
 - 19) Borms J, Van Roy P, Santens JP, Haentjens A : Optimal duration of static stretching exercises for improvement of coxo-femoral flexibility. *J Sports Sci*, 5, 39-47, 1987
 - 20) BoscoC and Komi PV : Influence of aging on the mechanical behavior of leg extensor muscles. *Eur J Appl Physiol*, 45, 209-219, 1980
 - 21) Bottaro M, Machado SN, Nogueira W, Scales R, Veloso J : Effect of high versus low-velocity resistance training on muscular fitness and functional performance in older men. *Eur J Appl Physiol*, 99, 257-264, 2007
 - 22) Branch JD, Pate RR, Bourque SP : Moderate intensity exercise training improves cardiorespiratory fitness in women. *J Womens Health Gend Based Med*, 9, 65-73, 2000
 - 23) Brandon LJ, Boyette LW, Lloyd A, Gaasch DA : Resistive training and long-term function in older adults. *J Aging Phys Act*, 12, 10-28, 2004
 - 24) Brown M, Sinacore DR, Host HH : The relationship of strength to function in the older

- adult. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 50, 55-59, 1995
- 25) Cramer JT : 運動とトレーニングの生体エネルギー論, Baechle TB, Earle RW 編 : ストレングストレーニング&コンディショニング第 3 版. p.23-43, ブックハウス HD, 東京, 2010
 - 26) Cressey EM, West CA, Tiberio DP, Kraemer WJ and Maresh CM : The effects of ten week of lower-body unstable surface training on markers of athletic performance. *J Strength Cond Res*, 21, 561-567, 2007
 - 27) Darden E : *The Nautilus Book*. Contemporary books, inc, 1985
 - 28) Davison KK, Ford ES, Cogswell ME, Dietz WH : Percentage of body fat and body mass index are associated with mobility limitations in people aged 70 and older from NHANES III. *J Am Geriatr Soc*, 50, 1802-1809, 2002
 - 29) Dubost V, Beauchet O, Manckoundia P, Herrmann F, Mourey F : Decreased trunk angular displacement during sitting down: an early feature of aging, *Phys Ther*, 85, 404-412, 2005
 - 30) Dyck DV, Cardon G, Deforche B, De Bourdeaudhuij I : Urban-rural differences in physical activity in Belgian adults and the importance of psychosocial factors. *J Urban Health*. 88, 154-167, 2011
 - 31) Escamilla RF, Fleisig GS, Zheng N, Barrentine SW, Wilk KE, Andrews JR : Biomechanics of the knee during closed kinetic chain and open kinetic chain exercises, *Med Sci Sports Exerc*, 30, 556-569, 1998
 - 32) Faigendaum, Age-and sex related differences and their implications for resistance exercise, Baechle and Earle de : *Essentials of strength training and conditioning 3rd ed.* p.141-158, Human Kinetics, Chicago, Illinois, 2008
 - 33) Fatouros IG, Kambas A, Katrabasas I, Nikolaidis K, Chatzinikolaou A, Leontsini D, Taxildaris K : Strength training and detraining effects on muscular strength, anaerobic power, and mobility of inactive older men are intensity dependent. *Br J Sports Med*, 39, 776-780, 2005
 - 34) Fiatarone MA and Evans WJ : The etiology and reversibility of muscle dysfunction in the aged. *J Gerontol*, 48, 77-83, 1993
 - 35) Fiatarone MA, Marks EC, Ryan ND, Meredith CN, Lipsitz LA, Evans WJ :

- High-intensity strength training in nonagenarians. Effects on skeletal muscle. *JAMA*, 263, 3029-3034, 1990
- 36) Fiatarone MA, O'Neill EF, Ryan ND, Clements KM, Solares GR, Nelson ME, Roberts SB, Kehayias JJ, Lipsitz LA, and Evans WJ : Exercise training and nutritional supplementation for physical frailty in very elderly people. *N Engl J Med*, 330, 1769-1775, 1994
- 37) Fielding RA, Lebrasseur HK, Cuoco A, Bean J, Mizer K, Singh MAF : High-velocity resistance training increases skeletal muscle peak power in older women. *J Am Geriatr Soc*, 50, 655-662, 2002
- 38) Flanagan S, Salem GJ, Wang MY : Squatting exercises in older adults: Kinematic and kinetic comparisons. *Med Sci Sports Exerc*, 35, 635-643, 2003
- 39) Fleck SJ, Kraemer WJ : Designing Resistance Training Program (3rd ed). p.13-52, Human Kinetics, Chicago, Illinois, 2004
- 40) Fujiwara K, Toyama H, Asai H, Yaguchi C, Irei M, Naka M, Kaida C : Effects of regular heel-raise training aimed at the soleus muscle on dynamic balance associated with arm movement in elderly women. *J Strength Cond Res*, 25, 2605-2615, 2011
- 41) 藤澤宏幸 : 起居動作における動作支援のバイオメカニクス, *理学療法*, 27, 33-42, 2010a
- 42) 藤澤宏幸, 武田涼子, 植木章三, 河西敏幸, 高戸仁郎, 犬塚剛, 本田春彦, 伊藤弓月, 芳賀博 : 地域高齢者の歩行能力に影響を及ぼす運動機能の変化について. *東北文化大学医療福祉学部リハビリテーション学科紀要, リハビリテーション科学*, 2, 51-58, 2006
- 43) 藤澤宏幸, 武田涼子, 山崎弘嗣, 佐藤洋一郎, 村上賢一, 鈴木誠 : 立ち上がり動作における相互作用トルクの関与, *バイオメカニズム学会誌*, 34, 240-247, 2010b
- 44) Fukunaga T, Kubo K, Kawakami Y, Fukashiro S, Kanehisa H and Maganaris CN : In vivo behavior of human muscle tendon during walking. *Proc Biol Sci*, 268, 229-233, 2001
- 45) 福永哲夫 : 高齢者の筋力トレーニングの実践効果「ホーム預筋術」の科学的根拠. *トレーニング科学*, 17, 287-289, 2005
- 46) 福永哲夫 : 身体活動能力に影響する遺伝と環境因子—トレーニング可能性—, *トレーニング科学研究会編: トレーニング科学ハンドブック*. P.1-17, 朝倉書店, 東京, 1996
- 47) 福永哲夫 : 生活フィットネスの性年齢別変化. *体力科学*, 52, 9-16, 2003

- 48) Galvão DA, Taaffe DR : Resistance exercise dosage in older adults: Single- versus multiset effects on physical performance and body composition. *J Am Geriatr Soc*, 53, 2090–2097, 2005
- 49) 後藤勝正 : ストレスと筋力の増強, 吉岡利忠, 後藤勝正, 石井直方編: 筋力をデザインする. p. 50-64, 杏林書院, 東京, 2003
- 50) Gottschall JS, Kram R : Energy cost and muscular activity required for propulsion during walking. *J Appl Physiol*, 94, 1766-1772, 2003
- 51) Hakkinen K, Komi PV : Effect of explosive type strength training on electromyographic and force production characteristics of leg extensor muscles during concentric and various stretch-shortening cycle exercises. *Scand J Sports Sci*, 7, 65-76, 1985a
- 52) Hakkinen K, Komi PV : Changes in electrical and mechanical behavior of leg extensor muscles during heavy resistance strength training. *Scand J Sports Sci*, 7, 55-64, 1985b
- 53) Hakkinen K, Newton RU, Gordon SE, McCormick M, Volek JS, Nindl BC, Gotshalk LA, Campbell WW, Evans WJ, Hakkinen A, Humphries BJ, Kraemer WJ : Changes in muscle morphology, electromyographic activity, and force production characteristics during progressive strength training in young and older men. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 53, B415-23, 1998
- 54) Harman E : Biomechanics of resistance exercise, Baechle and Earle de : Essentials of strength training and conditioning 3rd ed. p.65-92, Human Kinetics, Chicago, Illinois, 2008
- 55) 長谷川裕 : トレーニング計画の立案, トレーニング指導者テキスト実践編. P.26-37, 大修館書店, 東京, 2009
- 56) 長谷川 裕 : パフォーマンス向上のためのレジスタンストレーニングの『質』はリフティングスピードのモニタリングによって向上する. *JATI EXPRESS*, 37, 10-12, 2013
- 57) Himann JE, Cunningham DA, Rechnitzer PA, and Paterson DH : Age-related changes in speed of walking. *Med Sports Exerc*, 20, 161-166, 1988
- 58) Horak FB, Shupert CL, Mirkaet A : Components of postural dyscontrol in the elderly: A review. *Neurobiology of Aging*, 10, 727-738, 1989
- 59) Hruda KV, Hicks AL, McCartney N : Training for muscle power in older adults: Effects on functional abilities. *Can J Appl Physiol*, 28,178-189, 2003

- 60) Hughes MA, Myers BS, Schenkman ML : The role of strength in rising from a chair in the functionally impaired elderly. *J Biomech*, 29, 1509-1513, 1996
- 61) Hughes VA, Frontera WR, Wood M, Evans WJ, Dallal GE, Roubenoff R, Fiatarone Singh MA : Longitudinal muscle strength changes in older adults: influence of muscle mass, physical activity, and health. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 56, B209-217, 2001
- 62) Hunter GR, McCarthy JP and Bamman MM : Effects of resistance training on older adults. *Sports Med*, 34, 329-348, 2004
- 63) 家光素行 : 遺伝子がパフォーマンスにどのくらい影響するか?, *JATI EXPRESS*, 25, 14-15, 2011
- 64) 猪飼哲夫, 辰濃尚, 宮野佐年 : 歩行能力とバランス能力の関係. *リハビリテーション医学*, 43, 828-833, 2006
- 65) Ikeda N, Inoue M, Iso H, Ikeda S, Satoh T, Noda M, Mizoue T, Imano H, Saito E, Katanoda K, Sobue T, Tsugane S, Naghavi M, Ezzati M, Shibuya K : Adult Mortality Attributable to Preventable Risk Factors for Non-Communicable Diseases and Injuries in Japan: A Comparative Risk Assessment. *PLoS Med*, 9, e1001160, 2012
- 66) 池添冬芽, 市橋則明 : 地域在住高齢者に対するトレーニングが運動機能に及ぼす影響 - 筋力トレーニングと複合トレーニングの効果の違いについて -. *京都大学大学院医学研究科人間健康科学系専攻紀要*, 6, 15-19, 2009
- 67) 石田健司, 山本博司, 川上照彦, 谷 俊一, 高橋敏明 : 高齢者の歩行の意義—歩行の量と質. *運動療法と物理療法*, 13, 106-112, 2002
- 68) Iwane M, Arita M, Tomimoto S, Satani O, Matsumoto M, Miyashita K, Nishiol : Walking 10.000step/day or more reduces blood pressure and sympathetic nerve activity in mild essential hypertension. *Hypertens Res*, 23, 573-580, 2000
- 69) Janseen I, Heymsfield SB, Wang Z, Ross R : Skeletal muscle mass and distribution in 468 men and women aged 18-99yr. *J Appl Physiol*, 89, 81-88, 2000
- 70) Jonathan HA : A practical comparison of different lower body resistance modes. *NSCAs Performance Training Journal*, 7, 10-12, 2008
- 71) Jones CJ, Rikli RE, Beam WC : A 30-s chair stand test as a measure of lower body strength in community-residing older adults. *Res Q Exerc Sports*, 70, 113-119, 1999
- 72) Judge JO, King MB, Whipple R, Clive J, Wolfson LI : Dynamic balance in older

- persons: effects of reduced visual and proprioceptive input. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 50, M263-270, 1995
- 73) 加賀谷淳子：末梢循環と筋持久力, 猪飼道夫編：身体活動の科学. p211-277, 杏林書院, 東京, 1973
- 74) 加賀谷淳子, 江橋 博, 沢井 史穂, 田畑 泉, 福永哲夫：中高年者の筋機能向上に関する研究, 平成5年日本体育協会スポーツ医科学研究報告, NoIX, 1-3, 1993
- 75) 金久博昭：高齢者におけるレジスタンストレーニングの効果. *トレーニング科学*, 19, 173-191, 2007
- 76) 金久博昭, 宮下充正：アイソキネティック・トレーニングとトレーニング速度とトレーニング効果－. *J J Sports Sci*, 1, 147-151, 1982
- 77) 金子公宥：パワーアップの科学. p. 152-164, 朝倉書店, 東京, 1988
- 78) 金子公宥, 澁本隆文, 田路秀樹, 末井健作：人体筋の力・速度・パワーの関係に及ぼすトレーニング効果. *体力科学*, 30, 86-93, 1981
- 79) 菅野昌明, 島 典広, 長谷川 裕, 江橋 博：高齢女性の自体重負荷を中心とした高速レジスタンス運動の身体運動能力におよぼす効果. *Japanese Journal of Health Fitness and Nutrition*, 15, 14-22, 2010
- 80) 菅野昌明, 島 典広, 黒須雅弘, 古満伊里, 奥本 正, 江橋 博：高速コンビネーション・スクワットが高齢女性の移動能力に及ぼす効果－下肢筋力水準が異なるグループを対象として－, *Japanese Journal of Health Fitness and Nutrition*, 18, 1, 2014
- 81) 加藤達雄, 西島吉典, 小室吉昭, 吉澤正尹, 宮下充正：階段下降動作におけるピッチ変化に伴う下肢筋群の対応. *Walking Research*, 8, 99-103, 2004
- 82) 勝平純司, 山本澄子, 丸山仁司, 関川伸哉：階段およびスロープ昇降時の関節モーメントの分析. *バイオメカニズム*, 17, 99-109, 2004
- 83) 勝田 茂, 田中 守：トレーニングによる筋の組織科学的变化. *Jpn J Sports Sci*, 2, 2-11, 1983
- 84) 川上泰雄, 福永哲夫：ウォーキングにおけるバネの役割. *バイオメカニクス研究*, 10, 52-57, 2006
- 85) Keysor JJ, Jette AM：Have we oversold the benefit of late-life exercise?. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 56, M412-423, 2001
- 86) 金 俊東, 久野譜也, 相馬りか, 増田和実, 足立和隆, 西嶋尚彦, 石津政雄, 岡田守彦：加

- 齢による下肢筋量の低下が歩行能力に及ぼす影響. 体力科学, 49, 589-596, 2000
- 87) 金 承革, 福井 勉, 関屋 昇, 高橋正明, 玉利光太郎, 大成幹彦: 下肢関節モーメントの歩行速度への寄与—速い速度での歩行に寄与する筋群の調査—. バイオメカニズム学会誌, 25, 29-35, 2001
- 88) 木村みさか: 加齢に伴う体力低下と介護予防の必要性. The Bone, 22, 469-474, 2008
- 89) 衣笠 隆, 長崎 浩, 伊東 元, 橋詰謙, 古名丈人, 丸山仁司: 男性 (18~83 歳) を対象にした運動能力の加齢的变化の研究. 体力科学, 43, 343-351, 1994
- 90) 小林寛道, 近藤孝晴: 高齢者の健康と体力, p.60-76, 朝倉書店, 東京, 1985
- 91) 児玉 暁, 曾根博仁: 生活習慣病発症リスクと最大酸素摂取量. 体育の科学, 60, 379-383, 2010
- 92) 小松泰喜, 上内哲男, 黒柳律雄, 松田達男, 奥泉宏康, 伊藤晴夫, 武藤芳照, 太田美穂, 朴眩泰, 長谷川亜弓: 高齢者の転倒回避能力と大腿部骨密度との関連. 身体教育医学研究, 4, 27-30, 2003
- 93) 厚生科学審議会地域保健健康増進栄養部会次期国民健康づくり運動プラン策定専門委員会: 健康日本 21 (第 2 次) の推進に関する参考資料, http://www.e-healthnet.mhlw.go.jp/information/21_2nd/pdf/reference.pdf, 2012
- 94) 厚生労働省: 平成 21 年国民健康・栄養調査, <http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r9852000000xtwq-att/2r9852000000xu3s.pdf>
- 95) 厚生労働省: 平成 22 年度国民医療費の概要, <http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/k-iryohi/10/>, 2010
- 96) 厚生労働省: 平成 23 年国民健康・栄養調査, <http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r9852000002q1st-att/2r9852000002q1wo.pdf>, 2013
- 97) 厚生労働省: 健康づくりのための身体活動基準 2013, 2013
- 98) Kraemer WJ: Hormonal mechanisms related to the expression of muscular strength and power, Komi PV ed: strength and power in sports, p. 64-76, Balckwel Scientific, Boston, 1992
- 99) Krebs DE, Scarborough DM and McGibbon CA: Functional vs. strength training in disabled elderly outpatients. Am J Phys Med Rehabil, 86, 93-103, 2007
- 100) Kubo K, Kanehisa H, Miyatani M, Tachi M, Fukunaga T: Effect of low-load resistance training on the tendon properties in middle aged and elderly women. Acta Physiologica

Scand, 178, 25-32, 2003

- 101) 窪田 登：スポーツトレーニング教本. p.57-68, 大修館書店, 東京, 1986
- 102) 久野譜也：加齢に伴う筋機能の低下と運動による予防効果. 久野譜也編：保健指導に求められる個別運動プログラム作成・実践ガイド. p.81-89, 杏林書院, 東京, 2009
- 103) 久野譜也, 村上晴香, 馬場紫乃, 金 俊東, 上岡方士：高齢者の筋特性と筋力トレーニング. 体力科学, 52, 17-30, 2003
- 104) 楠 正暢：油圧マシンの特徴と負荷, 竹島伸生編著：油圧マシンを使ったレジスタンストレーニングの理論と実際. p.14-15, メディカルレビュー社, 東京, 2005
- 105) 権 珍嬉, 鈴木隆雄, 金 憲経, 吉田英世, 熊谷 修, 吉田祐子, 古名丈人, 杉浦美穂：地域在宅高齢者における低栄養と健康状態および体力との関連. 体力科学, 54, 99-106, 2005
- 106) Landers KA, Hunter GR, Wetzstein CJ, Bamman MM, Weinsier RL. 'The interrelationship among muscle mass, strength, and the ability to perform physical tasks of daily living in younger and older women. J Gerontol A Biol Sci Med Sci, 56, B443-448, 2001
- 107) Larsson L：Histochemical characteristics of human skeletal muscle during aging. Acta Physiol Scand, 117, 469-471, 1983
- 108) Latham NK, Bennett DA, Stretton CM, Anderson CS：Systematic review of progressive resistance strength training in older adults. J Gerontol A Biol Sci Med Sci, 59, 48-61, 2004
- 109) Lee CR, Farley CT：Determinants of the center of mass trajectory in human walking and running. J Exp Biol, 201, 2935-2944, 1998
- 110) Lee IM, Paffenbarger RS Jr：Associations of light, moderate, and vigorous intensity physical activity with longevity, The Harvard Alumni Health Study. Am J Epidemiol, 151, 293-299, 2000
- 111) Lieber RL：Hypothesis: biarticular muscles transfer moments between joints. Dev Child Neurol, 32, 456-458, 1990
- 112) Lindle RS, Metter EJ, Lynch NA, Fleg JL, Fozard JL, Tobin J, Roy TA and Hurley BF：Age and gender comparisons of muscle strength in 654 women and men aged 20-93 yr. J Appl Physiol, 83, 1581-1587, 1997
- 113) Macaluso A and DeVito G：Muscle strength, power and adaptations to resistance

- training in older people. *Eur J Appl Physiol*, 91, 450-72, 2004
- 114) 眞竹昭宏, 三浦由紀子, 福元清剛 : 中高年女性の下肢筋群の筋量および筋力と歩行速度との関係. *山口県立大学看護学部紀要*, 11, 1-6, 2007
- 115) 松枝千尋, 宮川 健, 早田 剛, 山口英峰, 小野寺 昇 : 階段昇降における二足一段昇降と下肢への負担. *体力科学*, 50, 453-466, 2001
- 116) Mayer F, Scharhag-Rosenberger F, Carlsohn A, Cassel M, Müller S, Scharhag J : The Intensity and Effects of Strength Training in the Elderly. *DtschArzteblInt*, 108, 359-364, 2011
- 117) McDermott MM, Greenland P, Guralnik JM, Liu K, Criqui MH, Pearce WH, Chan C, Schneider J, Sharma L, Taylor LM, Arseven A, Quann M, Celic L : Depressive symptoms and lower extremity functioning in men and women with peripheral arterial disease. *J Gen Intern Med*, 18, 461-467, 2003
- 118) McFadyen BJ, Winter DA : An integrated biomechanical analysis of normal stair ascent and descent. *J Biomech*, 21, 733-744, 1988
- 119) 南 雅樹, 出村慎一, 春日晃章, 郷司文男 : 在宅高齢者における日常生活動作と諸要因との関連-運動習慣, 外出状況, 体力, 健康, 日常生活の不自由さについて-. *教育医学*, 42, 170-181, 1997
- 120) Miszko TA, Cress ME, Slade JM, Covey CJ, Agrawal SK, Doerr CE : Effect of strength and power training on physical function in community-dwelling older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 58A, 171-175, 2003
- 121) 三井 孝, 関子浩二 : はずみ運動を用いて評価した高齢者における伸張 - 短縮サイクル運動の遂行能力. *体力学研究*, 51, 773-782, 2006
- 122) Miyatani M, Kanehisa H, Azuma K, Kuno S, Fukunaga T : Site-related Differences in Muscle Loss with Aging : “A Cross-sectional Survey On The Muscle Thickness in Japanese Men Aged 20 to 79 Years”. *International Journal of Sport and Health Science*, 1, 34-40, 2003
- 123) 宮谷昌枝, 東香寿美, 金久博昭, 久野譜也, 福永哲夫 : 下肢筋厚における加齢変化の部位差および性差-20 歳代と 70 歳代の比較. *体力科学*, 52, 133-140, 2003
- 124) 宮辻和貴, 澤山純也, 川端浩一, 金子公有 : 高齢者の自由歩行における着地足の方向と歩隔. *日本生理人類学雑誌*, 12, 165-170, 2007

- 125) 村田 伸, 大田尾浩, 村田 潤, 堀江 淳, 鬼塚美佳, 横山智子, 原 広光 : 虚弱高齢者用 10 秒椅子立ち上がりテスト (Frail CS-10) の有用性の検討. 理学療法学, 25, 431-435, 2010
- 126) 内閣府 : 平成 25 年版高齢社会白書, <http://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2013/zenbun/index.html>, 2013
- 127) 直井英雄 : 日常災害の実態と日常安全性の評価. 建築技術, 337, 175-189, 1978
- 128) 中谷敏明, 灘本雅一, 三村寛一, 伊藤 稔 : 日本人高齢者の下肢筋力を簡便に評価する 30 秒椅子立ち上がりテストの妥当性. 体育学研究, 47, 451-461, 2002
- 129) 中里浩一, 岡本信孝, 須永美歌子 : 1 から学ぶスポーツ生理学. P.142-167, NAP, 東京, 2012
- 130) Nashner LM : Sensory, neuromuscular and biochemical contributions to human balance. in Balance ,Duncan PM, Proceedings of the APTA Forum, American Physical Therapy Association, Alexandria, VA, p. 5-12, 1990
- 131) 西島吉典, 加藤達雄, 馬場崇豪, 吉澤正尹 : 平地歩行と階段昇行運動のピッチ変化に伴う下肢筋群の対応. Walking Research, 7, 61-66, 2003
- 132) 丹羽滋郎, 高柳富士丸 : 低負荷・無負荷での筋力トレーニング～「意識」がもたらす効果について～. Sportsmedicine, 84, 6-14, 2006
- 133) 岡田英孝, 今村美由起, 阿江通良, 藤井範久 : 加齢および歩行速度が歩行中の関節の力学的仕事に及ぼす影響. 身体運動のバイオメカニクス, 120-160, 1997
- 134) 岡田暁宜, 竹島伸生, 長谷川龍一, 那須英里子 : 地域型ヘルスマーションの実際, 竹島伸生, ロジャース・マイケル編 : 高齢者のための地域型運動プログラムの理論と実際. p.19-38, NAP, 東京, 2006
- 135) Okamoto K, Okamoto T : Electromyographic characteristics at the onset of independent walking in infancy case. Electromyogr Clin Neurophysiol, 41, 33-41, 2001
- 136) Onder G, Cesari M, Russo A, Zamboni V, Bernabei R, Landi F : Association between daily pain and physical function among old-old adults living in the community: results from the ilSIRENTE study. Pain,121, 53-59, 2006
- 137) 小野 晃, 琉子友男 : 高齢者における下肢筋厚および筋力が動的バランスに及ぼす影響. 日本生理人類学会誌, 6, 17-22, 2001
- 138) 大須賀洋祐, 藪下典子, 金 美芝, 清野 諭, 松尾知明, 大久保善郎, 根本みゆき, 鄭 松

- 伊, 大藏倫博, 田中喜代次 : 身体的虚弱が疑われる低体力と運動量の関係 : 地域在住高齢女性を対象とした横断研究. 体育学研究, 57, 9-19, 2012
- 139) Ozolin NG : スポーツトレーニングの基本原則. Ozolin NG, Romanov AO: スポーツマン教科書. p.19-27, 講談社, 東京, 1966
- 140) Paffenbarger RS Jr, Hyde RT, Wing AL, Hsieh CC : Physical activity, all-cause mortality, and longevity of college alumni. N Engl J Med, 314, 605-613, 1986
- 141) Pai YC, Rogers MW : Speed variation and resultant joint torques during sit-to-stand, Arch Phys Med Rehabi, 72, 881-885, 1991
- 142) Paoli A, Marcolin G, Petrone N : The effect of stance width on the electromyographical activity of eight superficial thigh muscles during back squat with different bar loads. J Strength Cond Res, 23, 246-250, 2009
- 143) Peterson MD, Rhea MR, Senc A, Gordona PM : Resistance exercise for muscular strength in older adults: A meta-analysis. Ageing Research Reviews, 9, 226-237, 2010
- 144) Petrella JK, Kim JS, Tuggle SC, Hall SR, Bamman MM : Age differences in knee extension power, contractile velocity, and fatigability. J Appl Physiol, 98, 211-220, 2005
- 145) Podsiadlo D, Richardson S : The timed "up & go": a test of basic functional mobility for frail elderly persons. J Am Geriatr Soc, 39, 142-148, 1991
- 146) Rantanen T, Guralnik JM, Ferrucci L, Penninx BW, Leveille S, Sipilä S, Fried LP : Coimpairments as predictors of severe walking disability in older women. J Am Geriatr Soc, 49, 21-27, 2001
- 147) Rejeski WJ, Fielding RA, Blair SN, Guralnik JM, Gill TM, Hadley EC, King AC, Kritchevsky SB, Miller ME, Newman AB, Pahor M : The lifestyle interventions and independence for elders (LIFE) pilot study: design and methods. Contemp Clin Trials. 26, 141-154, 2005
- 148) Riewald S : Review of Stretching the Limits of our Knowledge on Stretching. Strength & Conditioning Journal, 26, 58-59, 2004
- 149) 佐々木賢太郎, 神谷晃央, 小島聖 : ファンクショナル・リーチ動作の筋電図学的解析. 理学療法科学, 24, 813-816, 2009
- 150) 佐藤鈴子, 林稚佳子, 濱本洋子, 会田玲子, 住垣千恵子, 水野正之 : 地域居住の自立高齢者における体力と体力自覚・主観的幸福感. J Nurs Studies NCNJ, 7, 9-17, 2008

- 151) 沢井史穂, 実松寛之, 金久博昭, 角田直也, 福永哲夫 : 日常生活動作における身体各部位の筋活動水準の評価 - 姿勢保持・姿勢変換・体重移動動作について - . 体力科学, 53, 93-106, 2004
- 152) Sayers SP : High velocity power training in older adults. *Curr Aging Sci*, 1, 62-67, 2008
- 153) 島田裕之, 古名丈人, 大淵修一, 杉浦美穂, 吉田英世, 金憲 経, 吉田祐子, 西澤 哲, 鈴木隆雄 : 高齢者を対象とした地域保健活動における Time Up & Go Test の有用性. 理学療法学, 33, 105-111, 2006
- 154) 新開省二 : 地域在宅高齢者の「要介護」予防をめざした目標体力水準設定. 東京都老人総合研究所長期プロジェクト研究報告書, 151-157, 2000
- 155) Stuart MJ, Meglan DA, Lutz GE, Growney ES, An KN : Comparison of intersegmentaltibiofemoral joint forces and muscle activity during various closed kinetic chain exercises, *Am J Sports Med*, 24, 792-799, 1996
- 156) Studenski S, Perera S, Patel K, Rosano C, Faulkner K, Inzitari M, Brach J, Chandler J, Cawthon P, Connor EB, Nevitt M, Visser M, Kritchevsky S, Badinelli S, Harris T, Newman AB, Cauley J, Ferrucci L, Guralnik J : Gait speed and survival in older adults. *JAMA*, 305, 50-58, 2011
- 157) Sugiura T, Matoba H, Miyata H, Kawai Y, Murakami N : Myosin heavy chain isoform transition in ageing fast and slow muscles of the rat. *Acta Physiol Scand*, 144, 419-423, 1992
- 158) 鈴木隆雄 : 転倒予防の重要性と対策. *Medical Practice*, 17, 443-447, 2000
- 159) Swank A : 有酸素性持久力トレーニングによる適応, Baechle TB, Earle RW 編 : ストレングストレーニング&コンディショニング第3版. p.133-153, ブックハウスHD, 東京, 2010
- 160) 立 正伸, 牛山潤一, 宮谷昌枝, 久野譜也, 金久博昭, 福永哲夫 : 膝関節伸展トルクおよび膝伸展パワーにおける年齢差および性差. 体力科学, 52, 141-148, 2003
- 161) 竹島伸生 : 地域型ヘルスマーションの実際, 竹島伸生, ロジャース・マイケル編 : 高齢者のための地域型運動プログラムの理論と実際. p.105-110, NAP, 東京, 2006
- 162) 竹島伸生 : 高齢者におけるレジスタンストレーニングのプログラムデザイン. *Strength & Conditioning Journal*, 19, 2-9, 2012

- 163) 田辺 解, 久野譜也, 前田清司 : 筋肉の質量・質的維持がメタボリックシンドロームの予防に及ぼす効果に関する研究. 厚生労働科学循環器疾患等生活習慣病対策総合研究抄録, 290-293, 2008
- 164) Tanomoto M and Ishii N : Effects of low-intensity resistance exercise with slow movement and tonic force generation on muscular function in young men. *J Appl Physiol*, 100, 1150-1157, 2006
- 165) 谷本道哉 : 石井直方監修 : 使える筋肉使えない筋肉, p. 156-197, 海山堂, 東京, 2005
- 166) Taxildaris K : Strength training and detraining effects on muscular strength, anaerobic power, and mobility of inactive older men are intensity dependent. *Br J Sports Med*, 39, 776-780, 2005
- 167) Thompson LV : Effect of age and training on skeletal muscle physiology and performance. *Phys Ther*, 74, 71-81, 1994
- 168) 湯 海鵬, 豊島進太郎, 岡本 敦, 川端昭夫, 星川 保 : 8年間における高齢者の歩行動作の変化. *バイオメカニズム学会誌*, 31, 51-55, 2007
- 169) Tschopp M, Sattelmayer MK, Hilfiker R : Is power training or conventional resistance training better for function in elderly persons? A meta-analysis. *Age Ageing*, 40, 549-556, 2011
- 170) 津山 薫, 千場明日美, 中嶋寛之 : 動的バランス能力の加齢変化と等尺性膝伸展筋力との関係 - 定期的に体操教室に通っている 20~85 才の女性を対象として -. *体力科学*, 61, 131-137, 2012
- 171) 堤 博美, 岡本 勉, 岡本香代子, 後藤幸弘 : 筋の作用機序からみた椅子の起立・着座動作の検討. 第 13 回バイオメカニクス学会大会編集委員会 : 身体運動のバイオメカニクス, 456-460, 1997
- 172) 運動所要量・運動指針の策定検討会 : 健康づくりのための運動基準 2006 - 身体活動・運動・体力 - 報告書, 1-26, 2006
- 173) 内山 靖 : 高齢者の平衡機能と転倒. *理学療法*, 18, 858-864, 2001
- 174) WHO : Global Recommendations on Physical Activity for Health, 15-33, 2010
- 175) 吳 婷琦, 渡部和彦 : 高齢女性における強調歩行が歩行動作に及ぼす影響 : 歩行速度, 足底圧力, 足部動作の変化に着目して. *体育学研究*, 50, 651-661, 2005
- 176) Yasunaga A, Togo F, Watanabe E, Park H, Shephard RJ, Aoyagi Y : Yearlong physical

- activity and health-related quality of life in older Japanese adults: the Nakanojo Study. *J Aging Phys Act*, 14, 288-301, 2006
- 177) 山本直史, 萩裕美子, 吉武 裕 : 中年女性における冠危険因子に対する 1 日 1 万歩歩行の有効性. *体力科学*, 56, 257-268, 2007
- 178) Yoshiuchi K, Nakahara R, Kumano H, Kuboki T, Togo F, Watanabe E, Yasunaga A, Park H, Shephard RJ, Aoyagi Y : Yearlong physical activity and depressive symptoms in older Japanese adults: cross-sectional data from the Nakanojo study. *Am J Geriatr Psychiatry*. 14, 621-624, 2006
- 179) 吉澤正尹, 西島古典, 加藤達雄, 薄雲裕介, 宮下充正 : 階段昇行動作に必要な筋活動 - ステップ高ならびに靴底着床部位による差異について - . *Walking Research*, 8, 93-98, 2004
- 180) 吉澤裕世, 横山典子, 金 正訓, 菅 洋子, 久野譜也 : 都市圏規模の大小及び通勤手段の相違が保健指導に参加した勤労者の身体活動量に及ぼす影響. *体力科学*, 61, 383-392, 2012
- 181) Zatsiorsky VM, Kraemer WJ : Science and practice of strength training. *Human Kinetics*, Chicago, Illinois, 2004
- 182) Zheng H, Orsini N, Amin J, Wolk A, Nguyen VT, Ehrlich F : Quantifying the dose-response of walking in reducing coronary heart disease risk: meta-analysis. *Eur J Epidemiol*, 24, 181-192, 2009