

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中の下肢関節角速度に及ぼす影響—

菅野 昌明¹、志賀 友紀²、天野 雅斗¹、島 典広¹

¹東海学園大学スポーツ健康科学部スポーツ健康科学科、²東海学園大学人間健康学部人間健康学科

The effects of high-speed combination squat training in elderly. -Changes in mobility and joint angular velocity of the lower extremities during squat-

Masaaki Kanno¹, Yuki Shiga², Masato Amano¹ and Norihiro Shima¹

¹Department of Sport and Health Science, School of Sport and Health Science, Tokai Gakuen University,

²Department of Human Wellness, School of Human Wellness, Tokai Gakuen University

Abstract

The purpose of the present study was to examine changes in mobility and joint angular velocity of the lower extremities after high-speed combination squat training, which is a high-speed chair standing-up training with an additional plantar flexion task. Twelve trained elderly women (age: 67 ± 3.2 years old) performed resistance exercises and high-speed combination squat in which an operating characteristic with regard to moving capability is similar, using their body weight once a week for 16 weeks. After exercise intervention, the subjects were classified into two groups on the basis of the change in walking or stair ascent times (6 high and 6 low improvement groups), respectively. Hip joint angular velocity improved significantly for the group that demonstrated the high improvement in walking time compared with the low improvement group. Knee ($d = 0.87$) and ankle ($d = 0.89$) joints angular velocities increased in the group with the high improvement in the 12 steps stair ascent time compared with the low improvement group. These results suggest that improvement in walking or stair ascent abilities were affected by hip joint angular velocity or knee and ankle joints angular velocities, respectively.

Keywords: high-speed chair standing-up training, walking, stair ascent, exercise intervention

要約

本研究は高齢者の股関節・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・トレーニングによる移動能力と下肢関節角速度の変化を明らかにすることを目的とした。自治体の運動教室に参加する日常的な運動習慣を有する高齢女性12名（年齢： 67 ± 3.2 歳）を対象とした。主観的な最大努力で行う高速コンビネーション・スクワット・トレーニングと自体重負荷を用いた一般的な動作速度で行うレジスタンストレーニングを週1回、16週間実施した。その前後に10m速歩、12階段昇段時間を計測し、高速椅子立ち上がり動作中に、足関節底屈、膝関節伸展、股関節伸展の最大角速度を高速度カメラで撮影し解析した。トレーニング前後の改善率で10m速歩、12階段昇段時間のそれぞれの中央値で上位改善群と下位改善群に分けて、高速コンビネーション・スクワット動作中の最大角速度の差を分析した。その結果、10m速歩の上位改善群で股関節伸展動作の最大角速度が有意に改善され、階段昇段能力の上位改善群は、膝関節伸展動作（ $d = 0.87$ ）、足関節底屈動作（ $d = 0.89$ ）の最大角速度の変化率が下位群よりも顕著に高値であった。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・トレーニングによる歩行能力あるいは階段昇段能力の改善には、それぞれ股関節あるいは膝関節と足関節の角速度の増加が関与していることが示唆された。

キーワード：高速椅子立ち上がりトレーニング、歩行、階段昇段、運動介入

Corresponding Author: Norihiro Shima

Address: 21-233 Nishinohora, Ukigai-cho, Miyoshi, Aichi, 470-0207, Japan
TEL&FAX: +81-561-36-9034

Email: shima@tokaigakuen-u.ac.jp

Received: December 2, 2013/Accepted: November 7, 2014

責任著者：島 典広

住 所：〒470-0207 愛知県みよし市福谷町西ノ洞21-233

TEL&FAX：0561-36-9034

Email：shima@tokaigakuen-u.ac.jp

受付：2013年12月2日／受理：2014年11月7日

I. 緒言

複数の関節活動によって行われる歩行などの身体活動は、ヒトの移動運動の中心であり、歩数で示される身体活動量の増加が心身の健康に有益であることが報告されている^{15, 31)}。また、階段昇降運動は、日常生活動作のなかでも下肢への負担が高い移動運動のひとつであることから²⁷⁾、階段昇降動作が苦痛なく遂行できることは、日常生活においてさまざまな環境に適応できると思われる。したがって、加齢に伴い身体活動能力が低下する高齢者にとって、歩行や階段昇降などの移動能力を維持・改善することは、生活の質を高め健康寿命の延伸に重要な役割を果たすと考えられる。

歩行に代表される移動能力は加齢に伴い低下し¹³⁾、将来の転倒リスクや要介護リスクを増大させることが示され^{12, 29)}、このような歩行能力の低下には下肢の筋量の減少や、筋力、パワーなどの低下が関連していることが報告されている^{1, 12, 26)}。一方、高齢者のレジスタンストレーニングが、筋量の増加や筋力、パワーなどの改善に有効的であり¹⁸⁾、移動能力に対する改善効果も示されている^{8, 27)}。しかし、Latham et al.¹⁶⁾が行ったメタ分析の結果によると、高齢者が一般に行っているレジスタンストレーニングは筋量の増加や筋力に対しては好ましい効果を及ぼすものの、歩行能力などの課題に対してはわずかな効果しかもたらさないことを示している。したがって、歩行能力に代表される移動能力の改善を目的としたレジスタンストレーニングについて具体的に検討する必要があると考えられる。

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²³⁾、階段昇降動作では股関節伸展筋群と膝関節伸展筋群が活動する²¹⁾。また、歩行などの身体活動能力の改善を目的としたレジスタンストレーニングでは、活動筋群と動作様式が類似するトレーニングを行うことの重要性が示唆されている⁵⁾。Bean et al.²⁾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トレーニングによって歩行速度が顕著に向上すると報告している。菅野ら¹¹⁾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がり（以下、高速コンビネーション・スクワット）トレーニングにおける歩行能力や階段昇降能力の改善効果を認めている。しかし、先行研究では^{2, 11)}、移動能力と関連性の高い股関節、膝関節、足関節それぞれの関節角速度などの分析は行われていないため、これらの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トレーニングを提案することができると考えられる。そこで、本研究は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よるスクワット動作中の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±3.2歳、身長：151.6±6.3cm、体重：55.2±4.0kg）で、1回60分間の自体重負荷による低速レジスタンストレーニング教室を6ヶ月間以上実施していた。本研究では自治体所有のトレーニング施設で週1回、1回約60分間のレジスタンストレーニングを16週間実施した。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かった。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、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トレーニング、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トレーニング・プログラムを表1に示した。主に歩行能力と階段昇降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・トレーニングは、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、主観的な最高速度で股関節・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（図表1. レジスタンストレーニングプログラム

No	エクササイズ	強度	回数	セット数	休憩時間
1	高速コンビネーション・スクワット	自体重	3	3	15～30秒
2	片脚チェア・スクワット	自体重	3	3	15～30秒
3	フォワード・ランジ	自体重	10	3	60秒
4	片脚ベントオーバー・ロウ	0.5～2kg	10	3	60秒
5	片脚スティッフレッグ・デッドリフト	自体重	5	3	60秒
6	ショルダープレス&ニーアップ	0.5～2kg	10	3	60秒
7	膝支持位プッシュアップ	自体重	8	3	60秒
8	ツイスティング・トランクカール	自体重	8	3	60秒



図1.高速コンビネーション・スクワット

1). その他のレジスタンストレーニングは、片脚チェア・スクワット、フォワード・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、ツイステイング・トランクカールの7種類を一般的な動作速度で行った。

高速コンビネーション・スクワット・トレーニング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。トレーニング後期(11~16週)には1回の高速コンビネーション・スクワット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、各測定項目の結果に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、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3回連続で行った(図2)。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(a)、大転子(b)、腓骨骨頭上部(c)、外踝(d)、第五中足外踝(e)のそれぞれに反射マーカを貼付し、高速カメラ(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(①~③)を算出し、最大値を後の分析に用いた。なお、その最大値とその次に高い値との変動係数は、股関節、膝関節、および足関節で、それぞれ 0.07 ± 0.08 、 0.04 ± 0.05 、 0.10 ± 0.09 であった。

- ①股関節伸展角速度: 右側の体幹と大腿のなす角度
- ②膝関節伸展角速度: 右側の大股と下腿のなす角度
- ③足関節底屈角速度: 右側の下腿と足部のなす角度

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、最短時間を測定値として採用した。

4) 12階段昇段時間

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段階段を用いて、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、ニシスポーツ社製)を設置し、12段の階段昇段時間を計測した。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回実施し最短時間を測定値として採用した。

4. 統計解析

各測定項目のトレーニング前後の比較は、対応のあるt検定を用いて分析した。また、10m速歩および12階段昇段時間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

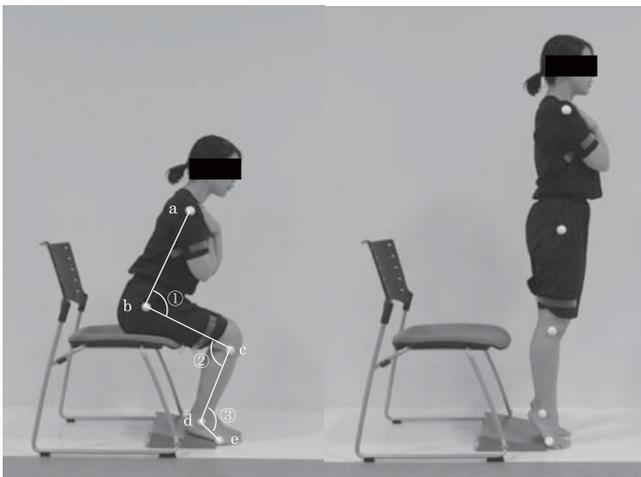


図2. 高速コンビネーション・スクワット動作の測定風景

- ①股関節伸展角速度: 右側の体幹(a-b)と大腿(b-c)のなす角度
 - ②膝関節伸展角速度: 右側の大股(b-c)と下腿(c-d)のなす角度
 - ③足関節底屈角速度: 右側の下腿(c-d)と足部(d-e)のなす角度
- 肩峰(a)、大転子(b)、腓骨骨頭上部(c)、外踝(d)、第五中足外踝(e)

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

各測定項目のトレーニング前後の結果を表2に示す。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 ($d = 0.95$)、12階段昇段時間 ($d = 0.81$)、高速コンビネーション・スクワット動作中の股関節最大角速度 ($d = 1.96$)、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なかった。また、10m速歩および12段階昇段時間のそれぞれの項目の変化率の中央値 (それぞれ、-6.43%、-9.69%) 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3)。一方で、12段階昇段時間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4)。

表2. トレーニング前後の各測定項目の変化

	トレーニング前	トレーニング後	<i>p</i> 値	効果量
体重	55.2 ± 3.95	55.7 ± 4.03	0.13	0.44
BMI (kg/m ²)	24.1 ± 2.81	24.4 ± 2.80	0.14	0.42
10m速歩 (sec.)	4.87 ± 0.46	4.55 ± 0.45	0.01**	0.95
12階段昇段時間 (sec.)	3.89 ± 0.14	3.54 ± 0.25	0.01**	0.81
股関節角速度 (deg/s)	282.4 ± 33.6	381.0 ± 62.7	0.01**	1.96
膝関節角速度 (deg/s)	326.6 ± 40.0	453.1 ± 74.1	0.01**	2.13
足関節角速度 (deg/s)	386.8 ± 73.2	495.8 ± 201.1	0.06	0.72
平均値±標準偏差			** <i>p</i> <0.01	

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トレーニングは、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 Rogers²⁴⁾ 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⁷⁾。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トレーニング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・トレーニングのみである。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し¹³⁾、その原因は加齢に伴う筋量や筋力、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^{1, 13, 26)}。加齢に伴う筋量の減少や筋力の低下は上肢と比べて下肢の方が顕著であり^{20, 30)}、その中で歩行能力の低下に密接に関係しているとされる下肢パワーの低下率は¹⁷⁾、60歳以降から筋力の低下率を上回ると報告されている²⁵⁾。したがって、高齢者の歩行速度の低下には、下肢パワーに関連する素早い力の立ち上がり能力の低下が大きな影響を及ぼしていると考えられる。

一方、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²³⁾。しかし、岡田ら²²⁾ 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、金ら¹⁴⁾ 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・スクワット動作における股関節伸展の最大角速度の顕著な改善が認められたことから (図3)、上位改善群は高速コンビネーション・スクワット・トレーニングなどによって、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速歩の時間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²¹⁾。McFadyen and Winter¹⁹⁾ 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、吉澤ら³²⁾ は、本研究と類似するステップ高で、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報告している。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4)。以上のことから、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・トレーニングなどによって改善され、

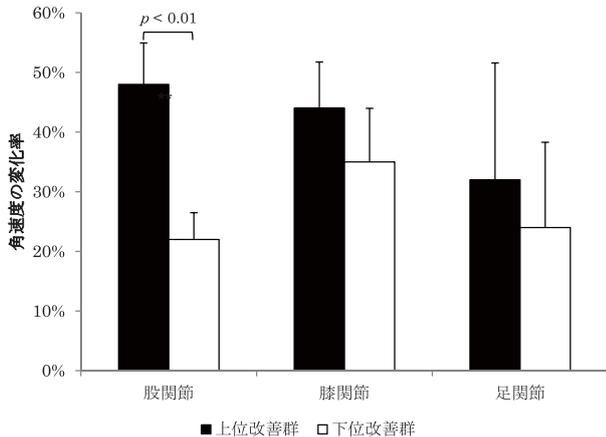


図3.10m速歩の上位改善群と下位改善群における下肢角速度の変化率の比較平均値±標準偏差

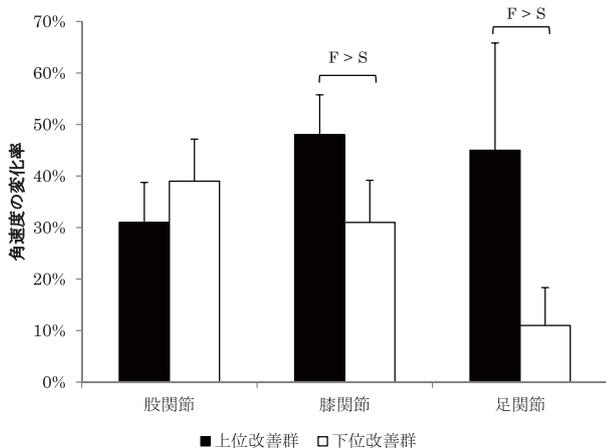


図4.12階段昇段時間の上位改善群と下位改善群における変化率の比較平均値±標準偏差

F > S: 統計的には有意差は認められなかったが、効果量 (Cohen's *d*) は大きな差が認められた。

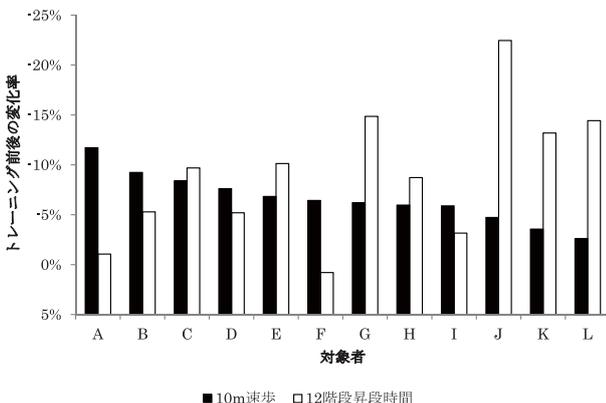


図5. 10m速歩、12階段昇段時間のトレーニング前後の個人の変化率

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12段昇段時間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12段昇段時間では下位改善群へ、12段昇段時間の上位改善群は10m速歩の下位改善群となる傾向が認められた(図5)。菅野ら¹¹⁾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・トレーニング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、12階段昇段時間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・トレーニングを行っていたと推察される。高速コンビネーション・スクワット・トレーニング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^{4, 28)}。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^{3, 6, 7, 24)}。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。

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および低速レジスタンストレーニングを行った。その結果、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よるスクワット動作の改善が、移動能力に影響し、10m速歩は股関節伸展動作の改善が、階段昇段動作は膝関節伸展動作や足関節底屈動作の改善が貢献することが示唆された。これら結果から、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トレーニングが有効であると考えられる。

VI. トレーニング現場への提言

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^{9,10)}。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ベネーション・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、移動能力に關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であると考えられる。

謝辞

本研究のトレーニング指導にご尽力賜りました大口町トレーニングセンターの中村美穂子マネージャーと金沢はる美トレーナー、また、トレーニング効果に関わる測定や分析に、ご協力いただきました東海学園大学人間健康科学部の小澤春菜氏と藤本梨奈子氏に感謝申し上げます。

付記

なお、本研究では菅野昌明、島典広が中心的役割を果たしており、本論文は両名が貢献度等しく作成・執筆したものである。

文献

- 1) Bassey EJ, Fiatarone MA, O'Neil EF, Kelly M, Evans WJ and Lipsitz LA: Leg extensor power and functional performance in very old men and women, *Clin Sci*, 82: 321-327, 1992.
- 2) Bean J, Herman S, Kiely DK, Callahan D, Mizer K, Frontera WR and Fielding RA: Weighted stair climbing in mobility-limited older people: a pilot study, *J Am Geriatr Soc*, 50: 663-670, 2002.
- 3) Dubost V, Beauchet O, Manckoundia P, Herrmann F and Mourey F: Decreased trunk angular displacement during sitting down: an early feature of aging, *Phys Ther*, 85:404-412, 2005.
- 4) Escamilla RF, Fleisig GS, Zheng N, Barrentine SW, Wilk KE and Andrews JR: Biomechanics of the knee during closed kinetic chain and open kinetic chain exercises, *Med Sci Sports Exerc*, 30:556-569, 1998.
- 5) Fleck SJ and Kraemer WJ: Designing resistance training program (3rd ed), *Human Kinetics*, Chicago, Illinois, 13-52, 2004.
- 6) 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, 2010
- 7) 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, *バイオメカニクス学会誌*, 34: 240-247, 2010.
- 8) Galvão DA and 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.
- 9) 長谷川裕, 1章, 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, 日本トレーニング指導者協会編, 大修館書店, 東京, 26-37, 2009.
- 10) 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.
- 11) 菅野昌明, 島典広, 黒須雅弘, 古満伊里, 奥本 正, 江橋 博: 高速コンベネーション・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: 35-41, 2013
- 12) 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.
- 13) 金 俊東, 久野譜也, 相馬りか, 増田和実, 足立和隆, 西嶋高彦, 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.
- 14) 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 -, *バイオメカニクス学会誌*, 25: 29-35, 2001.
- 15) 厚生労働省: 「健康づくりのための身体活動基準2013」及び「健康づくりのための身体活動指針 (アクティブガイド)」: <http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r9852000002xple-att/2r9852000002xppb.pdf>, 2013. (2014年12月7日アクセス可能) 及び <http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r9852000002xple-att/2r9852000002xpr1.pdf>, 2013. (2014年12月7日アクセス可能)
- 16) Latham NK, Bennett DA, Stretton CM and Anderson CS: Systematic review of progressive resistance strength training in older adults, *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 59: 48-61, 2004.
- 17) Macaluso A and DeVito G: Muscle strength, power and adaptations to resistance training in older people, *Eur J Appl Physiol*, 91: 450-472, 2004.
- 18) Mayer F, Scharhag-Rosenberger F, Carlssohn A, Cassel M, Müller S and Scharhag J: The intensity and effects of strength training in the elderly, *Dtsch Arztebl Int*, 108: 359-364, 2011.
- 19) McFadyen BJ and Winter DA: An integrated biomechanical analysis of normal stair ascent and descent, *J Biomech*, 21: 733-744, 1988.
- 20) Miyatani M, Kanehisa H, Azuma K, Kuno S and 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.
- 21) 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.
- 22) 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. 第13回日本バイオメカニクス学会大会論文集 (身体運動のバイオメカニクス): 120-126, 1997.
- 23) Okamoto K and Okamoto T: Electromyographic characteristics at the onset of independent walking in infancy case, *Electromyogr Clin Neurophysiol*, 41: 33-41, 2001.
- 24) Pai YC and Rogers MW: Speed variation and resultant joint torques during sit-to-stand, *Arch Phys Med Rehabil*, 72: 881-885, 1991.
- 25) Petrella JK, Kim JS, Tuggle SC, Hall SR and Bamman MM: Age differences in knee extension power, contractile velocity, and fatigability, *J Appl Physiol*, 98: 211-220, 2005.
- 26) Rantanen T, Guralnik JM, Ferrucci L, Penninx BW, Leveille S, Sipilä S and Fried LP: Coimpairments as predictors of severe walking disability in older women, *J Am Geriatr Soc*, 49: 21-27, 2001.
- 27) Sayers SP: High velocity power training in older adults, *Curr Aging Sci*, 1: 62-67, 2008.
- 28) Stuart MJ, Meglan DA, Lutz GE, Growney ES and An KN: Comparison of intersegmental tibiofemoral joint forces and muscle activity during various closed kinetic chain exercises, *Am J Sports Med*, 24: 792-799, 1996.
- 29) 鈴木隆雄: 転倒予防の重要性と対策, *Medical Practice*, 17: 443-447, 2000.
- 30) Thompson LV: Effects of age and training on skeletal muscle physiology and performance, *Phys Ther*, 74: 71-81, 1994.
- 31) WHO: Global Recommendations on Physical Activity for Health, 15-33, 2010.
- 32) 吉澤正尹, 西島吉典, 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.