

原 著

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

菅野昌明^{*1}, 島 典広^{*1}, 長谷川 裕^{*2}, 江橋 博^{*3}

*1: 東海学園大学 人間健康学部

*2: 龍谷大学スポーツサイエンスコース

*3: 東亜大学 人間科学部スポーツ健康学科

The effect of body weight-bearing high-velocity resistance exercise on motor ability in older women

Masaaki KANNO^{*1}, Norihiro SHIMA^{*1}, Hiroshi HASEGAWA^{*2} and Hiroshi EBSHI^{*3}

*1: *Department of Human Wellness Tokai Gakuen University*

*2: *Laboratory of Sports Science Ryukoku University*

*3: *Department of Sports and Health Sciences Faculty of Human Sciences University of East Asia*

ABSTRACT

It is well known that resistance exercise is effective to prevent loss of muscle function and age-related decline in muscle mass. However, it is unclear whether resistance exercise is effective for elderly to improve or maintain capacity in daily life physical activity such as walking, stair climbing, and so on. Resistance exercises mostly used in previous studies for elderly have been carried out with low-load and in low-velocity to secure safety. Few studies examine the effect of high-velocity with low-load resistance training. Thus, to examine the effects of body weight-bearing high-velocity exercise on motor ability, 30 community-living elderly women (66.5 ± 3.64 years) carried out high and low-velocity resistance exercise (H/S group) or low-velocity resistance exercise (S group) for 14 weeks. Walking speed (5m, 10m), Timed Up & Go Test (TUG), lower limb muscle strength (CS-30), leg muscle power (VCS-30), stepping, and grip strength showed significant time main effects, but not group main effect. However, 10m walking speed and TUG were timed by group interaction. The H/S group showed a more significant increase than the S group. 5m and 10m walking speeds were significantly ($p < 0.01$) correlated with TUG and VCS-30. TUG showed significant ($p < 0.01$) correlation with VCS-30. These results suggest that body weight-bearing high-velocity exercise is effective in improving walking speed and functional ability for elderly women. Walking speed and functional ability are more closely associated with lower limb muscle power than with muscle strength. Low-velocity resistance movement might interfere with the ability to improve muscle power and physical activity. In the elderly, it is necessary to consider resistance exercise based on their physical activity, force-velocity relationships, and specific muscle contractile characteristics.

Key words : weight-bearing exercise (自体重運動), muscle power (筋パワー), gait speed (歩行能力),
resistance training (筋力トレーニング)

I. 緒言

超高齢者化社会を迎える日本において、高齢者が自立した生活や健康で活動的な生活をおくるためには歩行動作、起居動作、階段昇降動作など身体活動能力を維持・改善することが必要である。しかし、身体活動能力は加齢と共に徐々に低下することが知られ、そのなかで歩行能力は60歳以降から顕著に低下し¹⁾、最大努力による歩行速度は、20歳を100%とした場合60歳で約60%、70歳で約54%にまで低下することや、歩行速度の低下が将来引きこもり老人になりやすいことが報告されている^{2,3)}。加齢に伴う身体活動能力の低下には複数の要因が影響しているが歩行能力、起居能力、階段昇降能力は下肢筋量や下肢筋力との間に有意な相関関係を示すことから⁴⁾、身体活動能力の維持・改善には加齢に伴う筋量の減少や筋力の低下を予防することが必要であると考えられている。

加齢に伴う筋量の減少、すなわちサルコペニア (Sarcopenia) は30歳代から確認することができ50歳代から低下の割合が一層高くなる⁵⁾。また、筋量の減少は筋力や筋パワーなどの筋機能の低下を引き起こす原因のひとつである。筋力は50歳までは維持されるが60歳を過ぎると著しい低下が確認されている^{6,7)}。一方、筋パワーは40歳代から50歳代で低下し始め、60歳代を過ぎると筋パワーの低下率は筋力の低下率を上回り⁷⁾、筋パワーや筋パワーに関連する運動能力の低下率は筋量や筋力よりも顕著であるという興味深い知見が報告されている⁸⁾。

こうした加齢に伴う筋量の減少や筋機能の低下を予防するためには、筋に対して過負荷となる抵抗負荷を与えるレジスタンス運動が有効的であるとされている^{9,10)}。レジスタンス運動は、筋組成や筋機能の改善に有効であることに加え、身体活動能力の改善、転倒予防やバランス能力の改善¹¹⁾、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多岐に示されている^{12,13)}が、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¹⁴⁾。

この原因として、これらの身体活動能力には筋量や筋力以外に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が考えられ^{15,16)}、用いられる運動プログラムの内容によって、筋パワーの改善の度合いが異なることが考えられる。筋パワーの改善には一般的な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が有効であり^{9,17)}、バーベルやマシンなどによって中等度以上の抵抗負荷を加えた高速レジスタンス運動によって高齢者の身体活動能力が改善されることが認められている^{18,19)}。

しかし、運動習慣のない高齢者には中等度以上の抵抗負荷を加えた高速レジスタンス運動よりも、自体重や軽

負荷抵抗を用いた高速レジスタンス運動の方が安全性は高いと考えられる。Hruda et al.²⁰⁾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、非運動群と比較して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。しかし一方で、従来から行われている高齢者のレジスタンス運動は、参加者への安全性に配慮して、低負荷・低速で実施されることが一般的である。こうした低負荷・低速でのレジスタンス運動は、筋量の増加、筋力などの体力要素の改善に対しては有効であると考えられるが、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、筋パワーや身体活動能力の改善にはマイナスに作用する可能性がある²¹⁾。

また、Hruda et al.²⁰⁾の研究では非運動群を比較対照としているため、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。そのために、自体重負荷を用いた高速レジスタンス運動の効果を検討するには、低速レジスタンス運動を行う群を比較対照群とする必要がある。

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身体活動能力にどのような影響を及ぼすかについて検討し、より効果的なトレーニング方法を考案するために身体活動能力と体力要素との関係について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、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) に分け、H/S群は16名 (年齢:66.3 ± 3.26歳、身長:149.6 ± 5.20cm、体重:57.8 ± 9.48kg)、S群は14名 (年齢:66.7 ± 4.14歳、身長:151.6 ± 5.37cm、体重:60.5 ± 8.89kg) とした。

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

Table 1. Resistance Exercise Program during Conditioning Training Phase

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

Table 2. Resistance Exercise Program during Fundamental Training Phase

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

Wb:Weight-bearing

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Table 1～3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（Table 1）。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

縮性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²³⁾。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種類のエクササイズを実施した（Table 2）。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

Table 3. Resistance Exercise Program during Functional Training Phase

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

Wb:Weight-bearing

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

を実施した (Table 3)。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 (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足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足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、左右のラインに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。

Table 4. Changes in physical fitness and performance before and after 12 weeks intervention

	H/S Group		S Group		Main Effect		Interaction T × G
	Pre	Post	Pre	Post	Time	Group	
Weight (kg)	57.8 ± 9.43	57.5 ± 9.03	60.5 ± 8.89	60.1 ± 8.72	0.218	0.432	0.798
BMI (kg/m ²)	25.9 ± 4.28	25.8 ± 4.07	26.3 ± 3.36	26.1 ± 3.19	0.225	0.777	0.755
5m Walking Velocity (m/s)	1.79 ± 0.27	1.90 ± 0.20	1.95 ± 0.41	2.01 ± 0.37	0.010	0.352	0.344
10m Walking Velocity (m/s)	1.79 ± 0.21	1.93 ± 0.18	1.94 ± 0.35	1.96 ± 0.31	0.002	0.449	0.039 *
TUG (sec)	6.06 ± 0.72	5.15 ± 0.51	5.62 ± 0.88	5.51 ± 0.92	0.000	0.879	0.001 **
CS-30 (#/30s)	21.5 ± 2.53	30.0 ± 6.02	20.1 ± 4.29	26.5 ± 5.43	0.000	0.124	0.204
VCS-30 (m/s)	0.44 ± 0.08	0.52 ± 0.09	0.40 ± 0.08	0.47 ± 0.08	0.000	0.158	0.445
Stepping (#/20s)	31.9 ± 5.52	35.6 ± 4.38	32.9 ± 3.48	35.0 ± 3.16	0.000	0.907	0.089
Grip Strength (kg)	25.5 ± 4.62	27.4 ± 3.23	24.1 ± 3.89	25.4 ± 3.58	0.013	0.193	0.665

Means ± SD *p < 0.05 **p < 0.01

Table 5. Relationship between the measurement items

	Weight	BMI	W5m	W10m	TUG	CS-30	VCS-30	Step	GS
Weight	1								
BMI	.879(**)	1							
W5m	0.111	0.249	1						
W10m	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		
STP	-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

2) 身体活動能力

(1) 5m, 10m 速歩 (W5m, W10m)

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 地点の通過タイムを測定した。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

各項目の測定結果は本文中および図表においては, 平均値 ± 標準偏差で示した。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变化について, 時間および群を要因とする反復測定による二元配置の分散分析により交互作用の有意性を検討した。また, 各測定項目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。すべての統計解析の統計的有意水準は 5% に設定した。

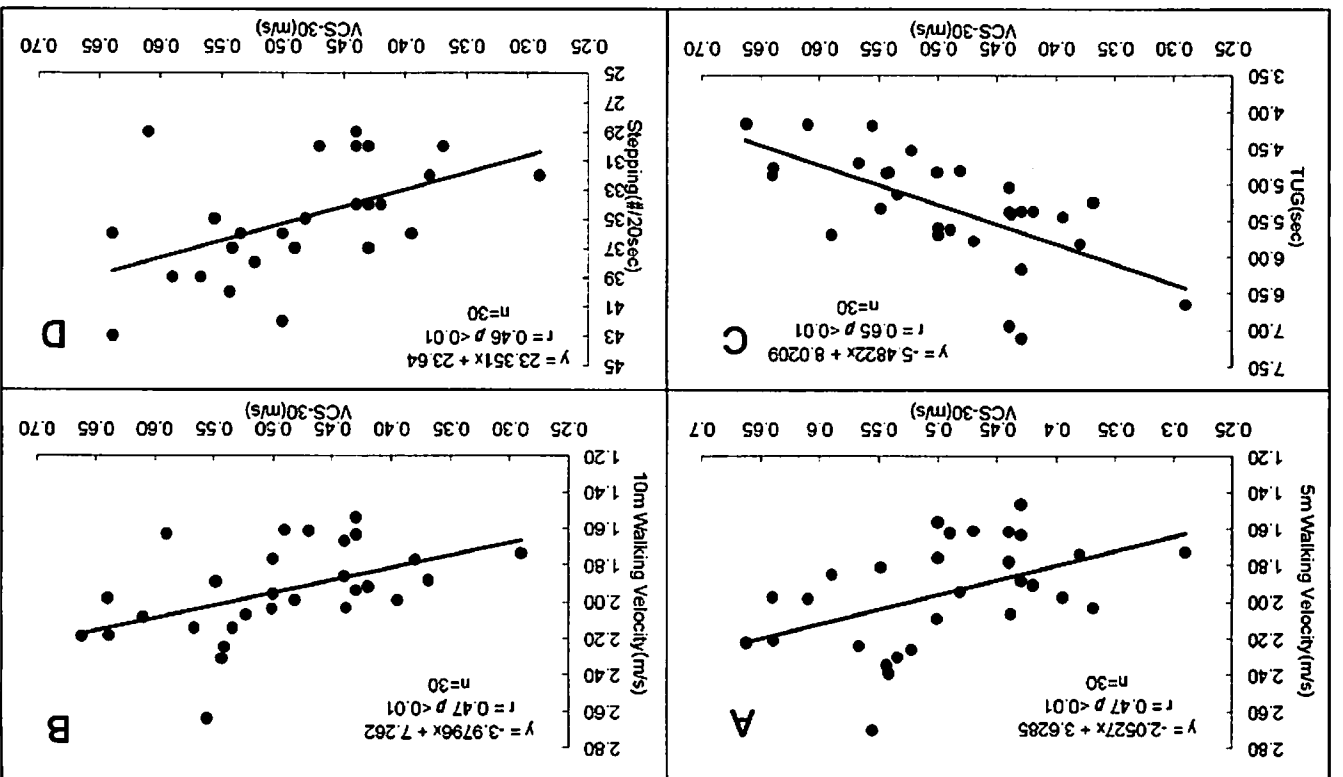


Figure 1. Relationship between VCS-30 and fast walking velocity of 5m (A) and 10m (B), TUG (C), and Stepping (D).

III. 結果

Table 4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ものの、5m 速歩、10m 速歩、TUG、VCS-30、VCS-30、スプリント、握力において、時間に有意な主効果が認められた(いずれも、 $p < 0.05$)。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(それぞれ、 $p < 0.05$, $p < 0.01$)。スプリントについて(それぞれ、 $p < 0.05$, $p < 0.01$)。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、Table 5 および Figure 1 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($p < 0.01$)、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($p < 0.01$)。また、CS-30はVCS-30との間に、スプリントはVCS-30との間に有意な相関関係を認めた($p < 0.01$)。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. 身体活動能力の変化
身体活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、身体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(23)。歩行動作の活動筋群は、遊脚期には股関節屈筋群や足関節背屈筋群が、立脚期では股関節伸筋群や足関節底屈筋群が貢献し(25)、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筋群、股関節伸筋群が関与していることが報告されている(26,27)。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電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(29,30)。これらの活動筋群(クル)であると考えられている(29,30)。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-が必要であるため(8,15)、一般的に低負荷・高速で示される筋パワ-が重要であると考えられている(31)。そして、低負荷・高速の筋パワ-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(32,33)。これらを踏まえて本研究では、身体活動の中から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³⁵⁾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.³⁶⁾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切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.²¹⁾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 Carson³⁷⁾は、高齢者では共同筋と拮抗筋の共縮が増加するため主働筋と拮抗筋間のコーディネーションが低下し、主働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³⁸⁾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、主働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(Table 4)。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. 身体活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との間に中等度の有意な相関関係を示したが、Jones et al.³⁹⁾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(Table 5)。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¹⁶⁾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.¹⁵⁾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(Table 5, Figure 1-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²⁵⁾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³⁵⁾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との間に有意な相関関係が認められた(Table 5)。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⁴⁰⁾。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^{41,42)}、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⁴³⁾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^{24,25)}、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。

引用文献

- 1) 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
- 2) 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
 - 3) 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
 - 4) 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
 - 5) Janssen 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
 - 6) Thompson LV: Effect of age and training on skeletal muscle physiology and performance. *Phys Ther*, **74**, 71-81, 1994
 - 7) 立正伸, 牛山潤一, 宮谷昌枝, 久野譜也, 金久博昭, 福永哲夫: 膝関節伸張トルクおよび膝伸張パワーにおける年齢差および性差. 体力科学, **52**, 141-148, 2003
 - 8) 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
 - 9) Fleck SJ, Kraemer WJ: *Designing Resistance Training Program (3rd Ed)*. p.13-52, Human Kinetics, Chicago, Illinois, 2004
 - 10) 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
 - 11) 竹島伸生: 地域型ヘルスマーシヨンの実際. 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
 - 12) 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
 - 13) 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
 - 14) 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. レーニング科学, **19**, 173-191, 2007
 - 15) Bassey EJ, Fiatarone MA, O'Neil 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
 - 16) 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
 - 17) American College of Sports Medicine: Position stand progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc*, **34**, 364-380, 2002
 - 18) 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
 - 19) 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
 - 20) Hrada KV, Hicks AL, McCartney N: Training for muscle power in older adults: Effects on functional abilities. *Can J Appl Physiol*, **28**, 178-189, 2003
 - 21) 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
 - 22) 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
 - 23) 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
 - 24) Okamoto K, Okamoto T: Electromyographic characteristics at the onset of independent walking in infancy case. *Electromyogr Clin Neurophysiol*, **41**, 33-41, 2001
 - 25) Gottschall JS, Kram R: Energy cost and muscular activity required for propulsion during walking. *J Appl Physiol*, **94**, 1766-1772, 2003
 - 26) 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
 - 27) Flanagan S, Salem GJ, Wang MY: Squatting exercises in older adults: Kinematic and kinetic comparisons. *Med Sci Sports Exerc*, **35**, 635-643, 2003
 - 28) Lieber RL: Hypothesis: biarticular muscles transfer moments between joints. *Dev Child Neurol*, **32**, 456-458, 1990
 - 29) Fukunaga T, Kubo K, Kawakami Y, Fukushima S, Kanehisa H, Maganaris CN: In vivo behavior of human muscle tendon during walking. *Proc R Soc Lond B Biol Sci*, **268**, 229-233, 2001

- 30) Lee CR, Farley CT : Determinants of the center of mass trajectory in human walking and running. *J Exp Biol*, **201**, 2935-2944, 1998
- 31) 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, 1985
- 32) 金子公有, 淵本隆文, 田路秀樹, 未井健作: 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
- 33) 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
- 34) 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, 1985
- 35) 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
- 36) 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 Geriatr Soc*, **50**, 663-670, 2004
- 37) 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
- 38) 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
- 39) 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
- 40) 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
- 41) 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
- 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) 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