

原 著

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 —

菅野 昌明^{*1}, 島 典広^{*1}, 黒須 雅弘^{*1}, 古満 伊里^{*2}, 奥本 正^{*3}, 江橋 博^{*3}

*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: 東亜大学 人間科学部心理臨床・子ども学科

*3: 東亜大学 人間科学部スポーツ健康学科

The effect of high-speed combination squat training on walking and stair ascent abilities in trained elderly women : An analysis of different groups in lower extremity muscular strength

Masaaki KANNO^{*1}, Norihiro SHIMA^{*1}, Masahiro KUROSU^{*1}, Isato FURUMITSU^{*2},
Tadashi OKUMOTO^{*3} and Hiroshi EBASHI^{*3}

*1: Department of Sport and Health Science, School of Sport and Health Science, TokaiGakuen University,

*2: Department of Humanities and Social Sciences, Faculty of Human Sciences, University of East Asia,

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

Abstract

The purpose of the present study was to examine the effect of high-speed chair stand-up training coupled with a planter flexion task (high-speed combination squat) on walking and stair ascent abilities for different lower extremity strength groups. Twenty one trained elderly women (age: 67.9 ± 4.18 years old) performed resistance exercises and high-speed combination squats, which had operating characteristic with similar move capabilities, using their body weight for 16 weeks. Participants were distributed into two groups (10 in the high muscular strength: HS group and 11 in the low muscular strength: LS group) based on the value of the leg muscular strength before exercise intervention. Both HS and LS groups significantly improved walking speed and 12 steps of stair ascent time after intervention. These results suggest that the high-speed combination squat in accordance with their lower extremity muscle strength, the similarity to active muscle group, muscle action specificity, and force-velocity relationship is effective for the improvement of walking and stair ascent abilities.

Key words: high-velocity resistance exercise (高速レジスタンス運動), weight-bearing exercise (自体重負荷), gait speed (歩行能力), stair ascent (階段昇段能力), exercise intervention (運動介入)

I. 緒 言

速歩などの一定の強度以上で行われる身体活動の増加が、健康に有益であることは多くの研究やレビューによって明らかになっている^{1,2)}。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、身体活動習慣が4～6METs以上の中・高強度と死亡率との間には有意な負の相関関係があるものの、身体活動習慣が

4METs以下の低強度と死亡率との関連性は認められていない³⁾。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1METs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⁴⁾。また、歩行数が多い高齢者や歩行速度が速い高齢者は骨密度が高く^{5,6)}、佐藤ほか⁷⁾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と報告して

いる。したがって、メタボリックシンドロームやロコモティブシンドロームを予防し健康的な生活をおくるためには、通常の歩行に速歩や階段昇段動作などのやや強度の高い身体活動を加えることが有効であると考えられる。しかし、加齢に伴う筋量の減少や筋機能の低下が歩行などの移動能力低下に影響を及ぼしていることから⁸⁻¹⁰⁾、筋量や筋機能の維持・改善に加えて移動能力を効率的に改善するレジスタンス運動の方法を検討することが必要である。

これまでの高齢者を対象としたレジスタンス運動の介入研究は、筋量の増加や筋機能の改善といった生理学的機能に着目した研究が中心であったが¹¹⁾、近年では歩行能力や階段昇降能力などの身体活動能力の改善に関する研究も行われている¹²⁻¹⁴⁾。また、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実施する重要性が示唆されている¹⁵⁾。歩行動作と階段昇段動作の活動筋群は主に股関節伸展筋群、膝関節伸展筋群、足関節底屈筋群であり^{16,17)}、筋活動様式は Stretch-Shortening Cycle (SSC) であると考えられている¹⁸⁾。さらに、高齢者の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が示唆されている¹⁹⁾。Krebs et al¹²⁾ は、高齢者に対してエラストックバンドを用いた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、筋力の増加率に両群間の差は認められなかったものの、歩行速度は両群で共に増加し、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 al¹³⁾ も身体活動との類似性の高いレジスタンス運動群が高齢女性の歩行速度の向上に有効であることを示している。また、菅野ほか¹⁴⁾ は、股関節・膝関節伸展動作の椅子立ち上がりトレーニングを主観的最高速度で行う高速群と低速でこのエクササイズを行う低速群とを比較したところ、運動介入後に高速群の方が有意に歩行速度や機能的移動能力が改善したことを報告している。

表1 レジスタンス運動プログラム

No	エクササイズ	負荷	回数	セット数	休息时间
1	高速チェア・スクワット	自体重	3	2～3	15～30秒
2	チェア・片足スクワット	自体重	3	2～3	15～30秒
3	フォワードランジ	自体重	10	2～3	60秒
4	片足ベントオーバーロウ	0.5～2kg	10	2～3	60秒
5	片足スティッフレッグデッドリフト	自体重	5	2～3	60秒
6	ショルダープレス&ニーアップ	0.5～2kg	10	2～3	60秒
7	膝支持位プッシュアップ	自体重	8	2～3	60秒
8	ツイスティング・トランクカール	自体重	8	2～3	60秒

しかし、これまでの先行研究は運動習慣を有しない高齢者が対象で、体力水準に差がない者を比較対照としているため、体力水準が異なる対象に対する適切なレジスタンス運動方法の知見は十分に得られていない。そこで、本研究は下肢筋力水準が異なる対象者に対しても、歩行能力と階段昇段能力の改善には、身体活動との複数の特性が類似する股関節・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トレーニング（以下「高速コンビネーション・スクワット」とする）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運動教室に参加している高齢女性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)²⁰⁾ の介入前の値から、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 1 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。歩行能力と階段昇段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 1)。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作を連続的に 3 回行った(図 2)。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、休息時間、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、休息時間、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、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介入研究を行った。



図 1 高速コンビネーション・スクワット



図 2 高筋力群が介入後期(11～16 週目)行った高速コンビネーション・スクワットからの跳躍動作

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

表2 介入前後の各測定項目の結果

	高筋力群		低筋力群		群	主効果			交互作用		
	介入前	介入後	介入前	介入後		偏 η^2	時期	偏 η^2	群×時期	偏 η^2	
体重 (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	0.02	
BMI(kg/m2)	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	0.02	
5m 速歩 (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	0.15	
10m 速歩 (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 *	0.25	
5-10m 速歩 (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 *	0.18	
ステップ (#/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	0.03	
ストライド長 (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	0.04	
階段昇段時間 (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	0.03	
平均値±標準偏差								** $p<0.01$ * $p \leq 0.05$			

BMI: body mass index, 体格指数

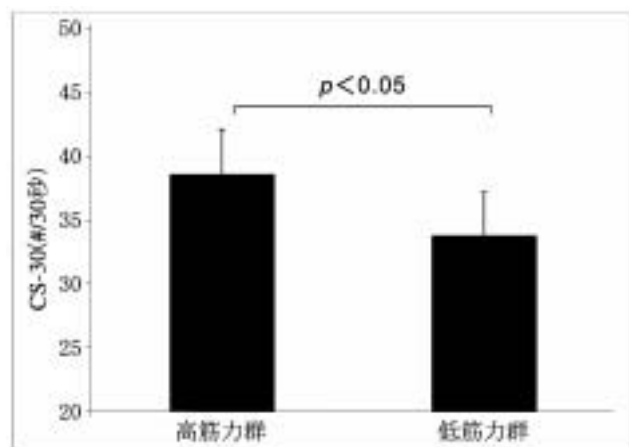


図3 下肢筋力 (CS-30 test) の介入前の比較

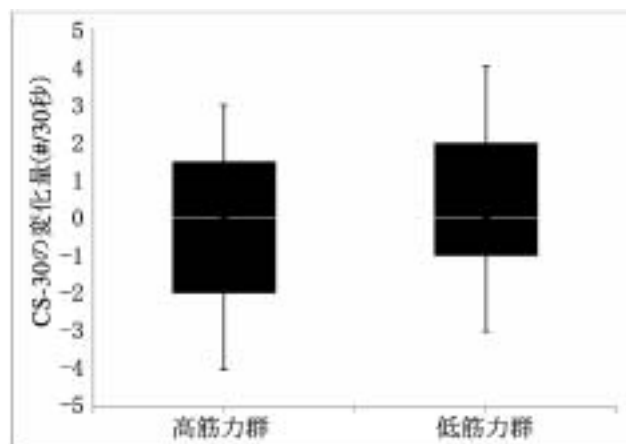


図4 下肢筋力 (CS-30 test) の介入前後の変化量の比較

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 ニシスポーツ社製) 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 階段を昇段し所要時間 (秒) を測定した。階段昇段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 (偏 η^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 2 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 3)、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、偏 $\eta^2 = 0.20 - 0.27$ 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、偏 $\eta^2 = 0.48 - 0.91$ 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した。これらの項目における効果量は、偏 $\eta^2 = 0.18 - 0.25$ 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 4)。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²¹⁾、ストライド長の減少には下肢の筋力や筋パワー^{9,10)}、SSC 筋活動能力の低下²²⁾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²³⁾、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。一方で、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¹⁶⁾、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²⁴⁾。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¹²⁻¹⁴⁾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^{25,26)}、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跳躍動作も足関節底屈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 Anderson²⁷⁾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 al²⁸⁾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¹⁷⁾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²⁹⁾。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¹⁷⁾、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³⁰⁾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示唆していることから、階段昇段動作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³¹⁾の報告と比較すると、両群とも非常に優れていた。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群では負荷強度がやや不足していたと考えられる。さらに、介入後のCS-30は有意な変化を示さなかったことから、負荷強度を漸増させたトレーニングによって下肢筋力が向上すれば、さらに階段昇段時間が変化する可能性があると考えられる。

3. 実践現場への提案

本研究は、運動習慣を有する下肢筋力水準が異なる高齢女性に対して、歩行動作や階段昇段動作の活動筋群、筋活動様式、力-速度関係の特性に類似した高速コンビネーション・スクワットを両群の筋力水準に応じて段階的に行った。その結果、歩行速度と階段昇段時間は両群で介入後に顕著に変化し、歩行速度はHS群がLS群よりも有意に高い変化を示したが、階段昇段時間には両群間の差は認められなかった。この結果から、自体重負荷を用いて主観的最大速度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確認された。また、下肢筋力評価の指標であるCS-30は両群で介入後に有意な変化を示さなかったことは、本研究の対象者が運動習慣を有するため自体重負荷で行ったレジスタンス運動では、筋力改善に必要な強度が不足していた可能性がある。しかし、下肢筋力が増加しなくても歩行速度や階段昇段時間が大きく変化したことは、筋量や筋力の向上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³²⁾や下肢筋力と身体活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¹⁴⁾を支持するものである。つまり、一定水準の筋力が獲得できれば、その後には筋力以外の筋機能の改善や身体活動の特性を考慮したレジスタンス運動が有効であると考えられる。一方で、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示唆された。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。

また、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、負荷強度を漸増させながら素早い動作速度を強調したレジスタンス運動を行う必要があると考えられる。

引用文献

- 1) 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
- 2) WHO: Global Recommendations on Physical Activity for Health. 15-33, 2010
- 3) 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
- 4) 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
- 5) 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
- 6) 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
- 7) 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
- 8) 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
- 9) 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
- 10) 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
- 11) Hunter GR, McCarthy JP and Bamman MM: Effects of resistance training on older adults. *Sports Med*, **34**, 329-348, 2004
- 12) Krebs DE, Scarborough DM and McGibbon CA: Functional vs. strength training in disabled elderly outpatients. *Am J Phys Med Rehabil*, **86**, 93-103, 2007
- 13) 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, 2002
- 14) 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
- 15) Fleck SJ, Kraemer WJ: Designing Resistance Training Program (3rd ed). p.13-52, Human Kinetics, Chicago, Illinois, 2004
 - 16) Gottschall JS, Kram R: Energy cost and muscular activity required for propulsion during walking. *J Appl Physiol*, **94**, 1766-1772, 2003
 - 17) 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
 - 18) Fukunaga T, Kubo K, Kawakami Y, Fukushima S, Kanehisa H and Maganaris CN: In vivo behavior of human muscle tendon during walking. *Proc Biol Sci*, **268**, 229-233, 2001
 - 19) Sayers SP: High velocity power training in older adults. *Curr Aging Sci*, **1**, 62-67, 2008
 - 20) 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
 - 21) Himann JE, Cunningham DA, Rechnitzer PA, and Paterson DH: Age-related changes in speed of walking. *Med Sports Exerc*, **20**, 161-166, 1988
 - 22) 三井 孝, 図子浩二: 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
 - 23) 湯 海鵬, 豊島進太郎, 岡本 敦, 川端昭夫, 星川保: 8年間にわたる高齢者の歩行動作の変化. *バイオメカニクス学会誌*, **31**, 51-55, 2007
 - 24) 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. *身体運動のバイオメカニクス*, 456-460, 1997
 - 25) 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
 - 26) 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
 - 27) Behm DG, Anderson KG: The role of instability with resistance training. *J Strength Cond Res*, **20**, 716-722, 2006
 - 28) 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
 - 29) 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
 - 30) 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
 - 31) 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
 - 32) 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