

【研究題目】

主題: 日本人の生活遂行能力(生活フィットネス)に関する研究

副題: 日本人の生活フィットネス標準値の作成を目指して

研究代表者: 福永 哲夫

【目 次】

研究題目, 研究者名, 要約	1
I. 研究の背景	2
1. 中高年齢者における筋のトレーナビリティ	2
2. 筋量および筋力に対する高強度レジスタンストレーニングの効果	3
3. 高強度レジスタンストレーニングにおけるプログラムの違いが効果に及ぼす影響	4
4. 身体パフォーマンスに対する高強度レジスタンストレーニングの効果	6
5. 軽負荷あるいは自重負荷によるトレーニングの効果	7
1) ウォーク/ジョギングエクササイズの効果	8
2) 軽負荷/自重負荷エクササイズの効果	8
II. 自重負荷トレーニングにおける歩・走パワーへの効果	10
1. 方法	11
対象者	11
測定方法	11
測定項目	11
統計処理	11
2. 結果	12
歩行能力	12
走行能力	13
3. 考察	14
参考資料	15

【研究題目】

主題: 日本人の生活遂行能力(生活フィットネス)に関する研究

副題: 日本人の生活フィットネス標準値の作成を目指して

研究代表者: 福永 哲夫

研究分担者: 川上 泰雄

金久 博昭

柳谷 登志雄

篠原 稔

竹下(東)香寿美

【要約】

中高年齢者における筋のトレーニングについて、日常生活の基本となる身体運動である歩行、走行(以下、歩・走行)との関連から研究をすすめた。トレーニングには、特別な器具などを用いずに実施でき、怪我や事故のリスクが少なく、かつ手軽にいつでもどこでもできる自重負荷法による筋力トレーニングを採用した。前期高齢者を対象とし、トレーニング(スクワット、ニーエクステンション、ニーアップ、カーフレイズ、腹筋)を3ヶ月間実施させた。そして、歩・走行能力は、自走式エルゴメーター(歩・走エルゴメーター)を用いた歩・走パワーの評価から検討した。その結果、最大歩行時の歩パワー、推進力及びピッチは、トレーニング前後で有意に増加したのに対し、ストライド長は、有意な変化は認められなかった。一方、最大走行時の走パワー、推進力及び走行速度は、0.1%水準で有意な増加を示した。また、走行時のピッチは、 3.8 ± 0.5 歩/秒から 4.0 ± 0.5 歩/秒と増加傾向であったが、その変化に有意差はなかった。ストライド長は増加傾向にあったが、トレーニング前後に有意差はなかった。膝関節伸展トルクと股関節屈曲力のトレーニング前後の変化率が、それぞれ 67.4%, 46.8%であり、このことがピッチの増加をもたらしたと考えられた。また、トレーニング後ではピッチの増加によって速度の増加が起こり、結果として歩パワーが増加した可能性が示唆された。

勤務先 : 早稲田大学スポーツ科学学術院

〒359-1192 埼玉県所沢市三ヶ島 2-579-15

TEL: 04-2947-6783 FAX: 04-2947-7483

I. 研究の背景

1. 中高年齢者における筋のトレーナビリティ

トレーニングに対し筋が示す適応の可能性、すなわち筋の“トレーナビリティ (trainability)”については、古くは Müller および Hettinger が筋力増加の過程から論じている。そのなかで Müller(1970)は、あるトレーニング条件により高めることのできる筋力には上限があり、その限界値を“limiting strength”と呼んだ。一方、Hettinger (1972)は“endkraft”(“最終筋力”あるいは“終末筋力”)の算出は非常に困難であり、多くの場合にそれらは見かけ上のものでしかないと述べている。しかし、トレーニング効果の現われ方における一般的な現象として、筋力増加の程度はトレーニングの継続期間が長くなるにつれ減少する。また長年にわたり高度なトレーニングを実施しているスポーツ選手でさえ、年齢という尺度でみれば、体力および競技力が最も充実する時期が存在する。このような事実は、筋力も含めあらゆる身体能力のトレーナビリティには限界があることを示すものに他ならない。

一方、筋の形態と機能は性によって異なると同時に年齢によっても大きく変化する。それらの要因が筋のトレーナビリティに与える影響を論じたのは、おそらく Hettinger が最初であろう。彼は性ホルモンの分泌量との関連から、性・年齢による筋力のトレーナビリティの違いを考察した。その概念は今日なお根強く影響力を持ち、特に発育期のトレーニングのあり方を考える際の理論的な根拠となっている。しかし、筋力および筋断面積における変化を実際に捉え、トレーナビリティに及ぼす性あるいは年齢の影響を検討した近年の研究結果は、Hettinger の意見を必ずしも支持するものではない。また、特異性の原理に示されるように、トレーニングによって生じる筋機能の変化は、負荷内容を反映した形で現われる。このことは、筋のトレーナビリティとして捉えることのできるその大きさは、トレーニングの実施内容によって異なることを意味する。

いずれにせよ、DeLome(1945)あるいは Hettinger と Müller (1953)以後の研究の流れを概観するに、体育・スポーツの領域における筋のトレーニングの意義は、主に運動能力あるいはスポーツ選手の競技力の向上に求められてきたといえる。それに対し 1970 年代から 1980 年代以降のトレーニングマシーンの開発と普及によるトレーニング環境の変化は、性、年齢を問わず一般人が筋のトレーニングを実施する機会を増した。と同時に、近年における“健康関連体力(health-related fitness)”の概念の台頭は、現代人にとって筋の形態と機能を良い状態に保つことが、健康で生産力豊かな人生を営むうえで不可欠であるとの認識を深めつつある。特に、中高年齢者にとって、運動発現の基盤となる筋機能の保持・増進は、健康という視点からだけではなく、介護の必要性の有無等、日常生活における自活の程度と大きく関わると考えられており、近年、中高年齢者における筋のトレーナビリティについての研究が数多くなされるようになってきている。それら一連の先行研究の結果によると、たとえ後期高齢者であっても、管理されたトレーニング環境下であれば、若年齢者と同様に、筋力および筋量の増加が可能であることが示されている。しかしながら、先行研究において検証されたトレーニングプログラムの内容は、報告間で異なっており、中高年齢者における至適トレーニング条件については、なんら整理されていないのが現状である。

そこで、本章では、中高年齢者における筋のトレーナビリティについて、筋量および筋力に焦点を合わせ、トレーニングの実施内容との関連で先行研究の結果を要約し、中高年齢者における筋のトレーニングの効果および今後の研究課題を概説する。

2. 筋量および筋力に対する高強度レジスタンストレーニングの効果

筋力に対する加齢の影響は、50～60 歳以降に顕著となり、その要因として筋量の低下以外に速筋線維の萎縮、あるいは神経系の機能低下といった点が指摘されている (Bemben et al. 1991; Era et al. 1992; Larsson et al. 1979; Vandervoort and McComas 1986). これらの要因に対するトレーニングの効果として、Moritani and deVries (1980) は筋放電量および形態からの推定筋量に基づき、青年期の者に比較して中高年齢者では、筋肥大より神経性因子の改善が筋力の増大に大きく貢献すると報告している。しかし、随意収縮中に電気刺激を挿入する方法 (interpolated twitch technique あるいは superimposed train technique) を適用した研究結果 (Brown et al. 1990; Kent-Braun and Ng 1999) によると、高齢者であっても随意収縮中に運動単位を十分に動員でき、その程度には若齢者と差がないことが報告されている。また、バイオブシーや MRI, CT を適用した近年の研究は、高齢者であっても、レジスタンストレーニングによって筋力のみならず筋線維あるいは筋の横断面積にも青年期と同程度の増加が可能であること示す具体的な知見を得ている。

高強度のレジスタンストレーニングが筋線維断面積の増加、すなわち筋肥大をもたらすことは、よく知られた事実である。その点をトレーニング実験により確認したのは、おそらく Larsson (1982) が最初であろう。ただし、彼の設定したトレーニングプログラムは軽負荷でのサーキットトレーニング (10 種目、1 種目当たり 20～30 回反復、1 回当たり 2 サークット) であり、通常、高強度レジスタントレーニンングとして分類される場合の負荷強度設定、すなわち最大挙上重量 (1RM) の 70% 以上よりもトレーニング負荷強度そのものは低い。しかし、Larsson (1982) の結果では、15 週間 (週当たり 3 日の頻度) のトレーニング継続は、type I 線維断面積に 38%、type II 線維断面積に 52% の増加が観察されている。同様な報告が男女 (Pyka et al. 1994) あるいは女性 (Charette et al. 1991) を対象に高強度レジスタンストレーニングを適用した研究によってもなされ、中高年齢者であっても性に関係なくレジスタンストレーニングの実施により筋肥大が可能であることが示された。一方、これらの研究結果は、バイオブシー法によって得た筋サンプルの分析結果に基づくものである。それゆえ、トレーニング前後で同一のサンプルが採取されているわけではなく、筋線維断面積の分析の誤差も問題となる。それに対し、近年、筋量の定量方法として、数多くの研究で用いられているものに MRI 法および CT 法がある。特に MRI 法は、非侵襲的にかつ被爆の危険もなく複数の横断面画像の取得が可能であることから、トレーニングによる筋体積あるいは筋量の変化を定量するうえで広く用いられている。そのような画像分析法を用いて、中高年齢層における筋肥大の可能性を検討した初期の研究例として、Frontera et al. (1988), Brown et al. (1990) および Fiatarone et al. (1990) の報告を挙げることができる。そのなかで Frontera et al. (1988) は、60～72 歳男性を対象に、膝関節伸展・屈曲筋群に対するレジスタンストレーニング (80% 1RM 強度) を 12 週間 (週当たり 3 回) 実施し、大腿四頭筋断面積に 9%、大腿部全体の筋断面積に 11% の増加を観察した。また、Fiatarone et al. (1990) は、86～96 歳を対象にしたトレーニング実験の結果において、大腿四頭筋断面積に 14.5% という増加を認め、後期高齢者であっても性に関係なくトレーニングにより筋肥大が可能であることを示した。Fiatarone et al. (1990) 以後も、レジスタンストレーニングにより筋力のみならず筋量あるいは筋線維断面積の増加を認める研究は多く (Campbell et al. 1999; Ivey et al. 2000; Ferri et al. 2003; Grimby et al. 1992; Hakkinen et al. 1996, 1998, 2001a, b, 2002; Keen et al. 1994; Nindl et al. 2000; Roman et al. 1993; Roth et al. 2001; Taaffe et al. 1996; Treuth et al. 1994; Tracy et al.

1999), 現在では, 中高年齢者も若年齢者と同様に, レジスタンストレーニングに対し筋肥大という適応を示すということは定説となっている.

一方, レジスタンストレーニングの効果の現れ方として, 一般によく知られている事実, トレーニング実施の初期段階では, 単位筋量当たりの筋力が増加するという現象がある. このことは中高年齢者を対象にした先行研究においても確認されていることであるが, その解釈に当たっては, 筋力の測定方法によって, トレーニングによる単位筋量当たりの筋力の変化に大きな違いがあることに留意せねばならない. この点は, トレーニング後の筋力の改善に対する筋量増加の貢献の程度を検討する際に問題となり, トレーニングによる筋力増加の要因として, 筋量以外のもの, 例えば筋力発揮中の神経系の働きにおける改善の程度についての考察を異なったものにする. すなわち, トレーニング効果の特異性 (specificity) の原理に示されるように, トレーニング動作と同一の形式により最大筋力 (動的トレーニングであれば 1RM あるいは規定の反復回数での最大挙上重量) が測定された場合, その増加率は他の筋活動様式により測定されたものより高くなりやすい. 例えば, Frontera et al. (1990) の結果によると, 8 週間のトレーニングの効果として, 大腿四頭筋断面積 14.5% の増加に対し, トレーニング動作での膝伸展 1RM は 174% と極めて高い増加率を示している. このような結果に基づく限り, 高齢者におけるトレーニングでの筋力増加は, 筋肥大以外の要因が大きく関与していると解釈されることになる. ただし, 65~75 歳の男女に 9 週間のレジスタンストレーニングを実施した Ivy et al. (2000) の結果によると, トレーニング終了後, 男女とも単位筋量当たりの 1RM は有意に増加するものの, その増加率は, 必ずしも高齢者が若年齢者よりも高いものではなく, 高齢者男女とも若年齢女性に比べて有意に低い. このような結果は, 少なくとも青年期の者に比較して中高年齢者では筋肥大以外の要因が筋力の増大に大きく貢献するということを否定する.

また, 65~75 歳を対象とした Tracy et al. (1999) の実験結果では, トレーニング動作での単位筋体積当たりの 1RM に有意な増加が認められているものの, 単位筋体積当たりの等尺性筋力には有意な変化は生じていない. さらに, Brown et al. (1990) は, 60~70 歳代男性に 12 週間の肘屈筋群に対するウェイトトレーニングを実施した結果, 上腕屈筋群の横断面積が 17% 増加し, トレーニング動作での 1RM は 48% 増加したにも関わらず, 等速性筋力は 8.8% の増加にとどまり, 等尺性筋力には有意な変化は観察されなかったと報告している. すなわち, Brown et al. (1990) の結果は, 単位筋量当たりの筋力におけるトレーニング効果は, 筋力としての測定指標を何にするかによって異なることを意味する. それに対し, 65~81 歳男性に 16 週間のレジスタンストレーニングを実施した Ferri et al. (2003) は, 単位筋断面積当たりの等尺性膝伸展トルクは有意に増加したものの, 等尺性足底屈のそれには有意な変化が観察されなかったと報告している. したがって, 単位筋量当たりの筋力に対する効果は, トレーニング対象となる筋群によっても異なることが予想される.

以上のように, 中高年齢者にとって, レジスタンストレーニングの実施は, 筋量および筋力を増加し, 加齢に伴う筋の形態的, 機能的な退化を緩和する作用をもつと考えられる. しかし, トレーニングに伴う筋量の維持もしくは増加が筋の機能的な面に及ぼす影響については, 筋力の測定方法およびトレーニング効果の筋群差も含め, さらに検討を要する課題といえる.

3. 高強度レジスタンストレーニングにおけるプログラムの違いが効果に及ぼす影響

中高年齢者を対照にしたレジスタンストレーニングの効果に関する先行研究の多くは, 観察期間の初期段

階を被検者がトレーニングに慣れるための準備期間とし、漸増的に負荷強度を上げていくという方法でプログラムを展開しているケースが多い。例えば Hakkinen et al. (1996) は、観察期間 12 週(週当たり 2 日)中、最初の 4 週間を 40~50%1RM x 10 回/セット x 3~4 セット行い、以後、5~8 週を 60~80%1RM x 6~8 回/セット x 3~5 セット、9-12 週を 70~90%1RM x 3~6 回/セット x 4~6 セットとトレーニングの進行に伴い負荷強度を上げていくというプログラムを 40 代から 70 代の男女に適用し、筋力および筋断面積における効果について検討している。その結果によると、大腿四頭筋断面積および筋力ともに有意に増加し、それらの変化には性・年齢による影響は認められなかったといわれている。このようなプログラムの組み方は、安全性という点からみて、中高齢者におけるトレーニング実施上の重要なポイントとなろう。

また角田ら(1987)は 55~63 歳男子を対象に、MVC および 50%MVC の 2 つの強度を設定し、肘屈曲筋群に対するアイソメトリックトレーニング(4 日/週、11 週)を実施した。それによると、両群とも筋断面積は増加傾向にあるものの、その変化は統計的に有意なものではない。しかし、筋力および単位筋断面積当たりの筋力は有意に増加し、しかもそれらの増加率は MVC 群より 50%MVC 群の方が高い。一方、65~79 歳女性を対象に強度別のウェイトトレーニングを実施した Taaffe et al. (1996) は、角田らとは少し異なる結果を報告している。彼らは 80%1RM x 7 回/セット x 3 セットおよび 40%1RM x 14 回/セット x 3 セットという 2 種類のプログラムを設定し、3 日/週の頻度で 52 週間にわたりトレーニングを実施した。その結果、筋力および筋線維断面積における変化率にグループ間で有意差はないものの、それらの平均増加率は 80%1RM 群が筋力 59%、typeI 線維 27%、typeII 線維 22%、40%1RM 群が筋力 41%、typeI 線維 10%、typeII 線維 18%であり、前者が後者より高い。また、骨密度は 80%1RM 群の場合に維持されたが、40%1RM 群では対象群と同様に有意に低下したといわれている。このような結果から判断する限りでは、やはり高強度でのトレーニングが低強度でのそれにくらべ有効であると考えられる。しかし、両報告ともに、最大能力の 40~50%に相当する強度でのトレーニングでさえ筋力に有意な改善が観察されており、中高齢者の場合、比較的低強度のトレーニングであっても高い効果が得られる可能性を示唆している。

上記の研究結果は、主に筋量と筋力に対する効果をみたものであるが、近年では機械的パワーの発揮能力に対する効果をトレーニングプログラムの違いとの関連で検証した例も数を増してきている。例えば、Fielding et al. (2002) は 70 歳代の女性を対象に動作速度の異なるトレーニングを実施し、その効果についてプログラム間で比較している。その結果によると、70%1RM 強度での負荷条件に対し、挙上 1 秒、降下 2 秒で行った場合に、挙上 2 秒、維持 1 秒、降下 2 秒で行うよりもパワーの改善率が高い。また、Earles et al. (2001) も、高速度でのトレーニングは筋力のみならずパワー発揮能力の改善することを報告しており、高齢者にとっては動作スピードの増加も筋機能の改善に有効であると考えられる。Bassey et al. (1992) によれば、高齢者の場合に、筋機能を筋力よりもパワーで評価した方が、筋機能と身体パフォーマンスとの関連を結び付けやすいといわれている。したがって、高齢者のトレーニングを考える際には、単に筋力・筋量の増加ということだけではなく、パワーに対する改善の程度という点においても注意が払われるべきであろう。

ところで、筋力トレーニングに限らず運動処方的なトレーニングでは、一般に週 2~3 回の頻度での実施が推奨されている。ここまでに引用してきた先行研究においても、ほとんどの場合に、週 2~3 回の実施によりトレーニング効果が検証されてきた。それに対し、Traffe et al. (1999) は、高齢者におけるレジスタンストレーニングの効

果に、トレーニング頻度がどのような影響を及ぼすのかについて、週当たり 1 回、2 回および 3 回の各実施頻度での効果を比較している。その結果によると、筋力の増加率に実施頻度による差は認められていない。また Trappe et al. (2002) は、12 週間にわたり週 3 回の頻度でトレーニングを実施した後、全くトレーニングを実施しない場合と、週 1 回トレーニングを実施した場合とで効果の維持にどのような違いが存在するのかを検討している。それによると、脱トレーニングの状態に入ってから 6 ヶ月後の測定結果では、非トレーニング群の場合に筋力、筋断面積とも有意に減少したが、週 1 回のトレーニング実施群では維持されている。このようなトレーニング頻度の影響を観察した研究例は数が限られており、至適なトレーニング頻度を導き出せるほどの情報が蓄積されていない。しかし、上記の研究報告を参考にする限りでは、高齢者の場合に、週 1 回の頻度であっても、レジスタンストレーニングの実施は、筋量および筋力の維持もしくは増進に有効に作用すると考えられる。

4. 身体パフォーマンスに対する高強度レジスタンストレーニングの効果

高齢者にとって、筋力およびパワーの発揮能力は、歩行あるいは階段上り、椅子からの立ち上がりの速度と密接な関係を持つ (Bassey et al. 1992)。したがって、レジスタンストレーニングによる筋力・パワーの増加は、身体パフォーマンスの改善に有効に作用すると容易に予想される。事実、トレーニングの実施に伴い歩行能力の改善を認める研究結果は多い (Fiatarone et al. 1990, 1994; Hakkinen et al. 2000; Hunter et al. 1995; Judge et al. 1993; Schlicht et al. 2001; Sherrington and Load 1997; Sipila et al. 1996)。しかも、中には、膝関節伸展力の増加は、体重が負荷となる運動のパフォーマンスおよび歩行速度の改善に有意に関連付けられるとする報告 (Sherrington and Load 1997) も存在する。また、Hunter et al. (1995) は、16 週間のレジスタンストレーニングの前後に、椅子の座り立ちおよびボックスを運ぶ際の筋放電量を記録し、日常生活動作における作業筋への負担という視点からトレーニング効果を検証している。その結果によると、トレーニング後の筋放電量は両動作とも減少し、Hunter et al. (1995) は、レジスタンストレーニングに伴う筋力の増加が高齢者にとって日常生活動作における筋への負担を軽減すると考察している。しかしながら、複数の運動課題を設定し、それらのパフォーマンスに対しトレーニングの効果を検証した研究結果の中には、たとえ筋力あるいはパワーに有意な増加が得られたとしても、運動課題によっては対照群以上に有意な改善が生じないことを示す例も存在する。例えば 61～87 歳男女を対照にした Schlicht et al. (2001) の結果では、トレーニング後、歩行速度には有意な改善が認められたものの、バランステストおよび椅子の座り立ちの成績には対照群と有意な差が見出されていない。また、パワーの改善を目的としたハイスピードでのトレーニング効果を検証した Earles et al. (2001) の報告によると、パワーおよび筋力には有意に改善されたにもかかわらず、各種のパフォーマンステストに有意な変化は生じなかったといわれている。さらに、70～79 歳男女にレジスタンストレーニングを実施し反応時間および動作スピードにおける効果を検証した Panton et al. (1990) の結果においても、両項目に有意な改善は確認されていない。

以上のように、高齢者における高強度レジスタンストレーニングとして、体重移動を伴う動作、特に歩行能力に対する有意な効果を支持する研究結果は多い。しかし、他の身体動作におけるパフォーマンスに対する効果については検討の余地が残されている。また、トレーニングによって生じた筋力・パワーの改善と身体パフォーマンスとのそれを検証した例も少なく、レジスタンストレーニングによる筋力・パワーの改善が、身体パフォーマンスに対して、どの程度貢献するのかについては不明な部分が多い。さらに、身体パフォーマンスあるいは運動機

能の測定実施の状況として、先行研究によっては「最大努力」を前提とする場合と「被検者の任意（被検者の意識として普段の活動時と同程度の頑張り）」を前提とする場合の 2 つに別れる。一般に、筋力やパワーの測定は「最大努力」を前提として行われるため、筋機能における改善と身体パフォーマンスにおけるそれとの関係を検討する場合には、後者をどのような測定条件により実施するのかという点も問題となろう。それらのいずれにしても今後の検討課題である。

一方、上記のいずれの先行研究においても、身体パフォーマンスは、ある特定の動作における所用時間あるいは反復回数によって計測され評価されてきた。すなわち、動作全体を通しての総合的な測度に基づき、トレーニングの効果が判定されてきたといえる。それに対して、深代ら(1997)は、40～58 歳男女を対象に、レジスタンストレーニングが歩行動作にどのような変容をもたらすのかを検討している。彼らの設定したトレーニングプログラムは、マシンを用いた下肢および体幹部の運動（レッグプレス、レッグカール、レッグエクステンション、アブドミナル、バックエクステンションの 5 種目）をトレーニング（負荷強度～80%1RM、各種目 2～4 セット）を、12 週間（週 2～3 回）実施するというものであった。その結果によると、膝伸展力は平均で 45 kg から 53 kg へ有意に増加（17%）したが、膝屈曲力に有意な変化は観察されていない。また、通常歩行中のストライド、ピッチ、歩行速度にも有意な変化が生じていないものの、歩行動作それ自体をみると、踵接地時とつま先離地時の膝関節角度がトレーニングによって増加傾向にあり、脚筋力の増加と膝関節角度の変化とは有意な相関関係が認められている。このことは、トレーニングでの膝伸展力の増加によって、歩行の脚接地時と踏み出し時の膝関節がより伸展できるようになることを意味する。一方、深代ら(1997)の結果において、両大腿の股関節角度は、逆にトレーニング後に有意に減少している。このような変化を膝角度のそれと対応させて考えると、トレーニング後、歩行動作は股関節をあまり開かず、膝を伸展させる歩行動作へと変容したことになり、それを反映する結果として、大転子の高さは、有意ではないが上昇する傾向が認められている。すなわち、深代ら(1997)の結果は、“下肢のトレーニングにより脚筋力が増加すれば、膝がしっかり伸びる歩行動作が可能になる”ことを示唆している。いずれにしても、高齢者を対象に、レジスタンストレーニングが日常生活動作に対しどのような変容を引き起こすのか、また、それが筋力、パワーの改善とどのように関連付けられるのかを検証した例は、ほとんどないに等しい。身体動作中の総合的な出力として単にパフォーマンスを測定するだけではなく、深代ら(1997)の実施したようなバイオメカニクスの分析も取り入れることにより、新たな視点による高齢者のトレーニング研究の展開が可能になると考えられる。

5. 軽負荷あるいは自重負荷によるトレーニングの効果

筋量あるいは筋力に対するレジスタンストレーニングの効果を検証した先行研究においては、負荷強度として主に最大筋力もしくは最大挙上重量の 50～60%以上に相当するトレーニングプログラムが設定されてきた。しかし、そのようなトレーニングプログラムの実施に当たっては、特別な負荷装置（トレーニング器具）が必要となるだけではなく、トレーニング動作の習得やトレーニング実施中の十分な安全管理を必要とする。また、Pollock et al. (1991)の報告によると、中高年齢者のレジスタンストレーニングでは、負荷を決めるための基準となる最大筋力（1RM）の測定において、障害の発生率が高いといわれている。それゆえ、ウェイトトレーニングのように様々なトレーニング器具を用いるレジスタンストレーニングでは、効果を得るうえで必要な強度の設定やトレーニング

の対象となる筋群の特定が容易であるとはいえ、日常的に簡便に実施することは困難である。それに代わるものとして、自重あるいは低重量の外的負荷によるトレーニングの効果について検討した例も多い。ここでは、それらのトレーニング効果について概説する。

1) ウォーク／ジョグエクササイズの効果

中高年齢層における身体トレーニングとしては、筋力あるいはパワートレーニングよりもむしろ、ウォーキングあるいはジョギングといった持久性のトレーニングの方が普及度の点では高いといえよう。持久性のトレーニングの効果については、多くの場合に最大酸素摂取量が分析の対象とされてきた。しかし、筋量あるいは筋力に対する効果を検証した例もいくつか存在する。それらにおいては主にウォーキング、ジョギングあるいは踏み台を利用したステップエクササイズが運動種目として採用されており、心拍数(HR)を基準にプログラムが処方されているとはいえ、作業筋に対しては自重を負荷したある種のレジスタンストレーニングと解釈することもできる。

ウォーキングあるいはジョギングによるトレーニングが筋力あるいは筋量に及ぼす影響を検討した先行研究の結果は、「効果あり」とするもの(Cogan et al. 1992; Schwartz et al. 1991; Sipila et al. 1996)と「効果なし」とするもの(Pollock et al. 1991; Sipila and Suominen 1995)に別れる。例えばCogan et al. (1992)は60～70歳代男女にウォーク／ジョグエクササイズ(強度、80%HRmax, 日に45分, 週当たり4日間, 9～12ヶ月)を処方し, typeIおよびtypeIIの両筋線維断面積に有意な増加を観察している。また, Schwartz et al. (1991)は, ウォーク／ジョグエクササイズをトレーニング初期では50～60%HRR(HR reserve)で, 後半には85%HRRの強度により27週間実施し, その効果を若齢者と高齢者で比較した結果, 高齢者のみ大腿部筋断面積に有意な増加を示したと報告している。さらに, Sipila et al. (1996)の結果では, 高齢女性における18週間のウォーク／ジョグエクササイズは, 体重当たりの膝伸展トルクに有意な増加が得られている。一方, ウォーク／ジョグエクササイズとレジスタンストレーニングの効果を比較したPollock et al. (1991)の結果では, トレーニング後の筋力の有意な増加は, レジスタンストレーニング群のみに限られる。同様に, ウォーク/ステップエクササイズの効果について, 通常のレジスタンストレーニングのそれと比較したSipila and Suominen (1995)の結果においても, 大腿四頭筋断面積に有意な増加を示したのは, レジスタンストレーニング群のみである。このような報告者間の違いについて, その原因をここで言及することはできない。しかし, ウォーク／ジョグエクササイズでは, ウェイトトレーニングのように器具を用いたレジスタンストレーニングに比較して, 強化の対象となる筋を特定しづらく, また, 実際のトレーニングにおいても動作中に個々の筋に対し, オーバーロードの原理を満たす刺激が加えられているかどうかという点においても不確かである。また, Rooks et al. (1997)の報告によれば, 強度を予め規定するのではなく, 実施者の自由なペースによるウォーキングトレーニングは, 様々な歩行, 階段上り, バランスなどのパフォーマンスを改善し得るものの, 筋力に対しては有意な効果を持たないといわれている。いずれにしても, ウォーク／ジョグエクササイズの効果を検証した研究の多くは, 有酸素性作業能力に有意な改善を認めている。したがって, ウォーク／ジョグエクササイズは全身持久性のトレーニングとして位置づけ, 筋のトレーニングとしては強化の対象となる筋群を特定しやすいエクササイズをプログラムに導入していくことが大切といえよう。

2) 軽負荷／自重負荷エクササイズの効果

鍛えたい筋群を特定しやすく, かつ確実に高いトレーニング効果を得ることが可能という点では, 高強度でのレジスタンストレーニングが最も有効な手段であるといえる。しかし, そのようなトレーニングでは, 先に述べた

ようにトレーニング器具や指導者が整えられた施設に通う必要があり、日常的に簡便に実施することは困難である。一方、高強度ではないとはいえ、トレーニングの対象となる筋群を比較的特定しやすく、日常生活上の平均的な活動水準以上の強度でのトレーニングを可能にするものとして、軽いダンベルやエラスティックバンドあるいは自重によるトレーニングがある。そのような軽負荷／自重負荷エクササイズの効果に関する検討例は高強度レジスタンストレーニングのそれに比較して少ないものの、中高年齢者のトレーニング手段としての有効性を認める報告がいくつか存在する。例えば自重負荷および～1kg の重量物あるいはラバーチューブを利用したトレーニングを 65～86 歳女性に処方した Cress et al. (1991)の結果によれば、等速性筋力および外側広筋 typeII 線維断面積に有意な増加が観察されている。また、Skelton et al. (1995)は、75 歳以上の女性に 12 週間の軽重量負荷あるいはエラスティックバンドによるトレーニングを実施し、膝関節伸展力および膝伸展パワーに有意な増大を観察している。同様な報告が Rooks et al. (1997)や Sherington and Lord (1997)によってもなされており、特に Rooks et al. (1997)の研究デザインにおいて注目すべき点は、トレーニング実施の条件として、「自己ペース」を前提としたということである。すなわち、Rooks et al. (1997)の結果は、軽負荷／自重負荷エクササイズは自己管理が可能なものであり、個人に継続する意志さえあれば筋力のトレーニングとしての効果を発揮することを意味している。また、Pavlou et al. (1985)は、中程度肥満の中年女性に対し、食事療法とウォーク／ジョグおよび自重負荷の各エクササイズのコンビネーションプログラムを処方し、体脂肪量の減少と除脂肪体重の維持、等速性筋力および最大酸素摂取量の増加といった持久性とレジスタンスの両トレーニングの長所が現れた形での効果を得ている。

一方、軽負荷／自重負荷エクササイズが身体パフォーマンスに及ぼす効果について検討した例もいくつか存在するものの、その結果は報告者間で異なる。例えば、Rooks et al. (1997)および Sherington and Load (1997)の報告によると、様々なパフォーマンステストの結果に有意な改善が観察されている。それに対し、Skelton et al. (1995)の結果では、膝関節伸展力および膝伸展パワーに有意な増大がみられたにもかかわらず、運動機能テストにおける有意な改善は、10 種目中、膝挙げの所要時間および踏み台昇降の高さの 2 項目のみであった。軽負荷／自重負荷エクササイズが身体パフォーマンスに及ぼす効果について、先行研究の結果を解釈する際に留意せねばならないことは、エクササイズの運動様式と効果判定のための動作様式との間に類似性はないかどうかという点である。すなわち、軽負荷／自重負荷エクササイズでは、マシンやフリーウェイトを使用したトレーニングと異なり、多関節での全身を利用した動作がトレーニング種目として採用されるケースが多い。仮にトレーニングがスクワットやステップアップといった動作であり、効果判定の動作として、椅子の座り立ちあるいは階段上りが選択された場合に、動作の類似性に基づく特異性の原理が作用し、結果として「有意な改善」がもたらされやすくなる。そのような結果の解釈上の問題点があるとはいえ、高齢者におけるトレーニングの意義は、運動機能を改善し、いかに生活の質を高め得るかということにある。その意味において、軽負荷／自重負荷エクササイズは日常的に容易に実施でき、かつ日常生活活動に結びつけやすい多関節動作での実施が可能であり、中高年齢者におけるトレーニングとしての有用性は高いといえよう。

ところで、上記の先行研究において、筋量における効果をみた例はほとんどなく、Cress et al. (1991)が外側広筋 typeII 線維断面積に関する結果を提示しているにすぎない。それに対し、福永ら(2002)は、中年女性(平均年齢 49 歳)における体重負荷エクササイズの効果について、筋力およびパワー以外に筋厚の測定結果を加

えて検証している。彼らがトレーニングプログラムとして設定した運動種目は、スクワット、背筋運動(上体そらし)、腕立て伏せ、腹筋運動(上体起こし)、カーフレイズ、アームカール(1~2 kg の重りを持って)の 6 種目であり、1 日の種目当たりの実施回数および 1 週間当たりの実施頻度は個人の自由に任せるというものであった。その結果によると、肘屈曲力、膝伸展パワーおよび自走式エルゴメータで測定された歩・走速度に有意な増加が観察されているものの、筋厚に有意な増加が認められたのは上腕後部と腹部のみにすぎない。このような結果から判断するかぎりでは、自重負荷エクササイズは下肢の筋量に対して効果が低いように思われる。若年女性を対象に、日常生活の様々な身体活動における筋放電量を計測した沢井ら(2004)の報告によると、早足での平地歩行、ジョギング、歩行での坂上りおよび下り、階段の昇降といった動作におけるヒラメ筋の平均筋放電量は、最大随意収縮時の相対値として 30%を越える。中高年齢者の場合に、加齢の影響による筋力低下のために、日常生活活動において自重が下肢筋群のもたらす相対的な負荷強度は、若年者に比較して高いと考えられる。事実、椅子からの座り立ちにおける筋放電量は、たとえ最大随意収縮時のそれにより規格化しても、高齢者が若齢者よりも有意に高い(Landers et al.2001)。それゆえ、膝屈伸や踏み台を利用した自重負荷エクササイズは、高齢者にとって高強度レジスタンストレーニングに類する負荷となり得ると予想されるが、この点については、今後、中高年齢層における日常生活の筋の活動状態と自重負荷エクササイズの各トレーニング動作のそれとの計測結果を対応することにより、改めて検討し直してみる必要があろう。

II. 自重負荷トレーニングにおける歩・走パワーへの効果

ヒトにとって歩行、走行(以下、歩・走行)は、日常生活の基本となる身体運動の一つである。つまり、歩・走行能力は、ADL(activities of daily living)と関係し、自立した生活を送る上で極めて重要な能力であると考えられる(田井中ら, 2002)。ヒトの運動能力は加齢に伴って低下し(形本ら, 1998)、歩・走行能力についても同様の傾向が数多く示されている(淵本ら, 2000, Himann et al., 1988, Kaneko et al., 1991, 金ら, 2000, 田井中ら, 2002)。これら一連の先行研究では歩・走行能力の指標として歩・走行速度を測定しており、例えば Himann et al.(1988)は、男性 289 名(19~102 歳)および女性 149 名(22~95 歳)を対象にした研究において、男女とも 62 歳を境に急激な歩行速度の低下がみられると報告している。しかし、歩・走行のように身体移動を伴う運動においては、身体は外部に対し力を発揮しつつ、移動の速度を得ている。したがって、歩・走行能力は身体の移動速度だけでなく、身体が外部に発揮した力(推進力)と身体の移動速度との積であるパワーによって評価することが必要(柳谷, 2003)といえる。

一方、加齢に伴い低下する筋力や運動能力に対する筋力トレーニングの影響を観察した研究は多い(Sipila et al., 1996, Schlicht et al., 2001)が、歩・走行能力に及ぼす効果をパワーで評価した研究は存在しない。また、従来の研究においては、トレーニング負荷を与えるために特殊なトレーニング器材が用いられており、高齢者が日常的に手軽に行える方法ではない。Judge et al.(1993)は、サンドバッグやダンベルを用いたレジスタンストレーニングを採用しているが、負荷強度が 1RM の 75~80%と高く、怪我や事故を招く危険性も考えられる。

そこで本研究では、高齢者が特別な器材を用いずに自宅で簡単に行うことができる自重負荷法による筋力トレーニングを実施することで、歩・走行能力を向上させ得るかどうかを、自走式エルゴメーター(歩・走エルゴメーター)を用いた歩・走パワーの評価から検証することを目的とした。

1. 方法

○対象者

本研究プロジェクトにおけるトレーニング実施群 23 名のうち、トレーニングの前後とも歩パワーの測定に参加した女性 15 名、男性 3 名、および走パワーの測定に参加した女性 14 名、男性 2 名をそれぞれ、分析の対象とした。表 1 に本測定の対象者のトレーニング前後の身体的特徴を示した。

	トレーニング前	トレーニング後
年齢 (歳)	69.1 ± 2.9	69.5 ± 3.1
身長 (cm)	152.3 ± 4.9	152.2 ± 5.0
体重 (kg)	55.7 ± 6.6	55.7 ± 6.2

表 1 本測定に参加した対象者の身体的特徴(平均値±標準偏差)

○測定方法

対象者の歩・走行能力を評価する装置は、モーターのついていない歩・走エルゴメーター (Funato et al., 2001) を用いた。このエルゴメーターには、歩・走行中の水平方向の力を検出するために、2 つのフォーストランスデューサー (TR2001, 共和電業社製, Japan) がハンドル部前方に取り付けられている。一方、移動速度はエルゴメーターのドラム部前端に取り付けられた回転検出用エンコーダーによって測定された。図 1 に歩・走エルゴメーターを用いた歩・走パワーの測定風景を示す。フォーストランスデューサーとエンコーダーのパルス出力器から得られた力と速度の信号は増幅され、A/D 変換器 (PowerLab/16sp, ADInstruments, Australia) を介しデジタル化された後、サンプリング周波数 200Hz でパーソナルコンピュータ (FMV-BIBLO MG70J, Fujitsu, Japan) に転送された。そして、パーソナルコンピュータのソフト (Chart5.2, ADInstruments, Australia) 上で力と速度のデータを積算してパワーを求め、測定中リアルタイムでモニターに表示した。



図 1 歩・走パワー測定風景

○測定項目

対象者には、歩・走エルゴメーター上で最大努力による歩・走行を行わせた。測定の際、「無理のないようにできるだけ速く歩いて(走って)ください」と教示した。最大歩行は 30 秒を、最大走行は 15 秒を目安に各試行とも最短で 10 秒の歩・走行を行わせ、ベルトの最大速度付近の定常 6 歩分を分析区間とした (Yanagiya et al., 2004)。そして、この区間の平均速度、ハンドル部に作用した平均推進力を算出し、そのときの機械的パワーをそれぞれ歩パワー、走パワーと定義した。さらに、この区間から平均ピッチと平均ストライド長もあわせて算出した。対象者には測定の前に十分なウォーミングアップを行わせ、歩・走エルゴメーターに慣れるために 5 分以上の最大下努力での歩・走行を行わせた。

○統計処理

本測定に参加した男性対象者数は少数であったため、女性対象者のみ統計処理を行った。各測定項目について、平均値および標準偏差を算出した。なお、初期値(トレーニング前)と最終値(トレーニング後)の差の検

定は、対応のある t 検定を行った。トレーニング量と各測定項目との対応関係を検討するために、Pearson の相関係数を用いた。有意水準はすべて 5%の危険率とした。

2. 結果

○歩行能力

トレーニング前後の最大歩行時の各項目の個人値と平均値の変化について図 2 に示した。トレーニング前の歩パワーおよび推進力は、それぞれ $52.3 \pm 14.8\text{W}$ および $29.9 \pm 4.8\text{N}$ であった。両変数ともトレーニング後では有意 ($p < 0.001$) に増加し、歩パワーが $72.3 \pm 17.3\text{W}$ 、推進力が $35.8 \pm 5.6\text{N}$ となった。トレーニング前からの変化率は、歩パワーが 41.7% (0.2~100.1%)、推進力が 20.2% (6.7~47.8%) であった。歩行速度は $1.73 \pm 0.35\text{m/秒}$ から $2.00 \pm 0.29\text{m/秒}$ 、ピッチは 2.8 ± 0.5 歩/秒 から 3.1 ± 0.5 歩/秒とそれぞれ 1%水準で有意に増加した。トレーニング前からの変化率は、歩行速度が 17.4% (-10.3~58.0%)、ピッチが 12.4% (-6.2~40.4%) であった。ストライド長は、トレーニング前が $0.63 \pm 0.09\text{m}$ 、トレーニング後が $0.65 \pm 0.09\text{m}$ であり、有意な変化は認められなかった。

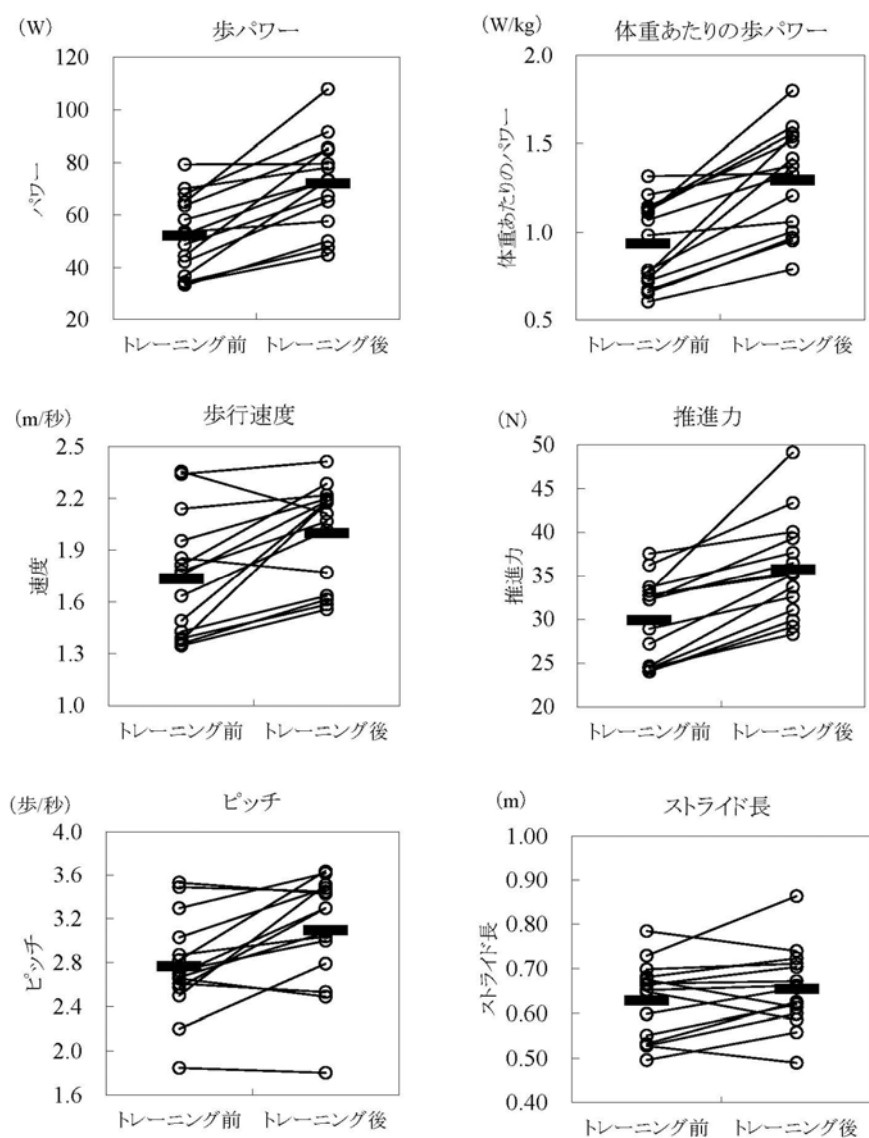


図 2 トレーニング前後の最大歩行時の個人値の比較 (太横線は各項目の平均値を示す)

○走行能力

図3にトレーニング前後の走行能力に関する各項目の個人値と平均値の変化を示した。トレーニング前における走パワーおよび走行速度は、それぞれ $85.3 \pm 28.0\text{W}$ および $2.34 \pm 0.51\text{m/秒}$ であった。トレーニング後では、走パワーおよび走行速度はともに0.1%水準で有意な増加を示し、それぞれ $107.5 \pm 29.6\text{W}$ および $2.62 \pm 0.45\text{m/秒}$ であった。トレーニング前からの変化率は、走パワーが 28.7% (-1.2~55.8%)、走行速度が 13.6% (-2.2~28.4%) であった。推進力は、 $36.1 \pm 6.4\text{N}$ から $40.7 \pm 7.7\text{N}$ と有意 ($p < 0.01$) に増加し、トレーニング前からの変化率は13.3% (-4.8~40.3%) であった。最大歩行時では有意に増加したピッチは、 3.8 ± 0.5 歩/秒から 4.0 ± 0.5 歩/秒と増加傾向であったが、その変化に有意な差はなかった。ストライド長は歩行時と同様で $0.61 \pm 0.11\text{m}$ から $0.66 \pm 0.11\text{m}$ と増加傾向にあったが、トレーニング前とトレーニング後の間に有意な差はみられなかった。

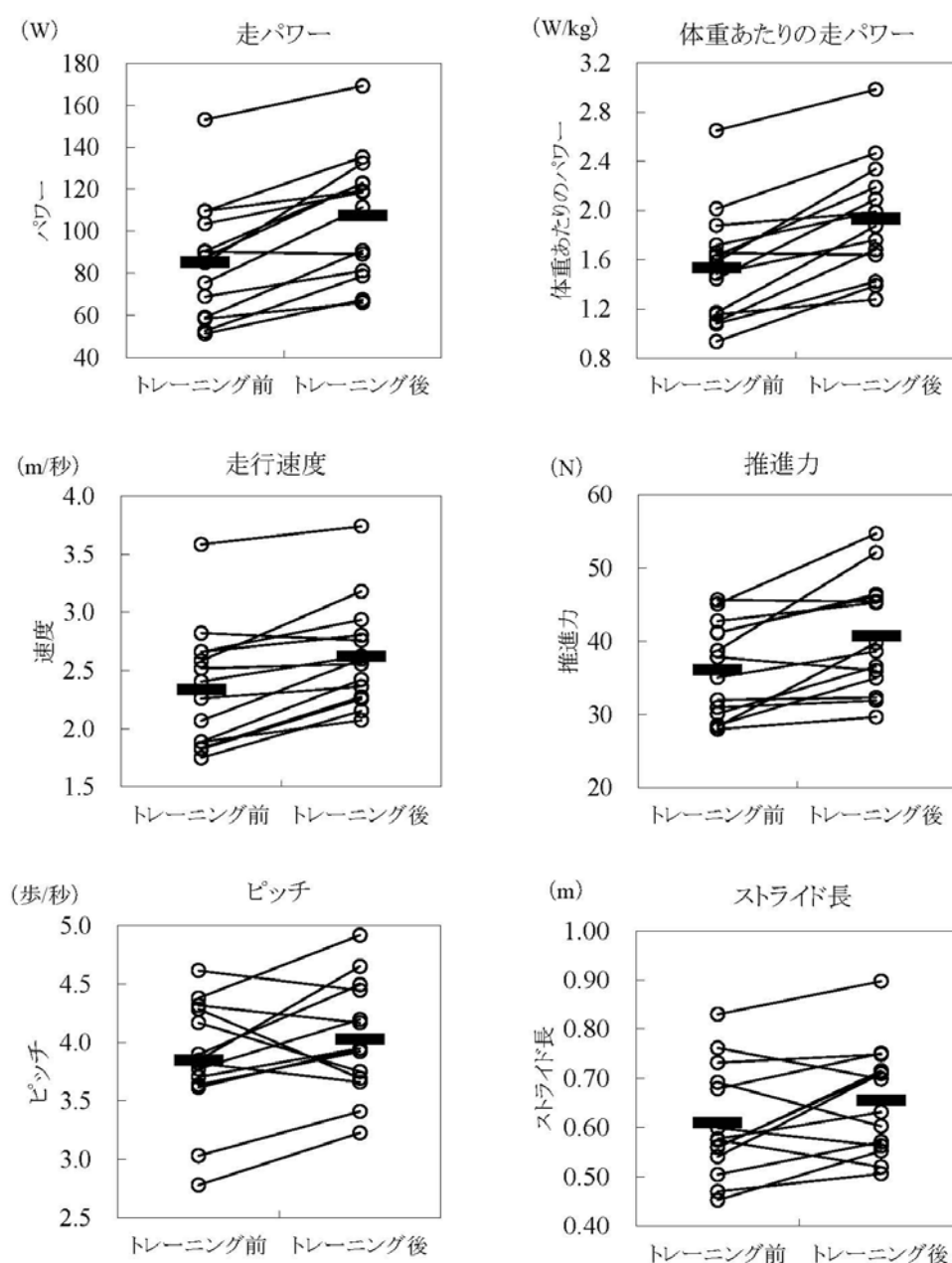


図3 トレーニング前後の最大走行時の個人値の比較（太横線は各項目の平均値を示す）

3. 考察

本研究では歩・走行能力の変数として動作中の機械的パワーを測定し、それにおける3ヵ月間の自重負荷トレーニングの効果について検証した。その結果、歩パワーおよび走パワーともに 0.1%水準で有意な増加を示した。歩・走パワーの加齢変化を横断的に検討した柳谷(2003)の報告によると、両パワーとも加齢に伴い直線的な低下傾向を示す。しかし本研究により、前期高齢女性が自重負荷のトレーニングを実施することによって、歩・走パワーを向上し得ることが確認されたといえる。

歩行速度と走行速度も、それぞれ 1%, 0.1%水準で有意に増加した。Himann et al.(1988)の横断的研究(19～102 歳)の結果によると、歩行速度の年間低下率は、62 歳までは、男性 0.11%/年、女性 0.20%/年であり、62 歳を境に男性で 1.60%/年、女性で 1.24%/年となる。本研究における対象者は、Himann et al.(1988)の報告において高い低下率を示す年齢層に該当する。それにもかかわらず、歩行速度が有意に増加したことは、本研究で実施したトレーニングの有効性を支持するものといえる。一方、淵本ら(2000)は、高齢女性(69～82 歳)の平均 6.5 年(4～11 年)の追跡調査で、最大歩行速度の変化率が -0.008m/秒/年 と有意な変化が見られなかったと報告している。この理由として、これらの対象者は健康や身体活動、体力などに関心が高く、長期間にわたって測定に参加できる健康を維持してきたことや高齢者の中でも比較的体力の優れていた可能性を挙げている。このような報告と本研究の結果を考え合わせると、たとえ自重を負荷とする運動であっても、意欲的に継続することができれば、歩行能力を長期間にわたって維持・増進できるといえよう。

Judge et al.(1993)は、膝関節伸展トルクと歩行速度との関係を探り、 48Nm が歩行速度の急激な低下に対する膝関節伸展トルクの閾値であることを示唆した。本研究におけるトレーニング前の膝関節伸展トルクと歩行速度の関係を表したものが図Ⅲ.6-7 である。1 名の対象者を除いて Judge et al. (1993)の示した閾値を上回る結果であった。対象者が高齢であったにもかかわらず、歩行速度が低下しなかった要因として、歩行速度の急激な低下を来す膝関節伸展トルクの閾値をトレーニング前から下回っていなかったことも関与しているのではないかと考えられる。閾値を下回っていた対象者も、トレーニング後の結果が 67.6Nm であったことから、筋力が小さかったわけではなく、トレーニング前の測定ではうまくトルクを発揮できなかった可能性が考えられる。よって、本研究に参加した対象者は、歩・走行能力の急激な低下がみられる年齢層であったが(Himann et al., 1988)、もともとの筋力レベルが低くはなく、トレーニングによる改善が大きくなされたのではないだろうか。

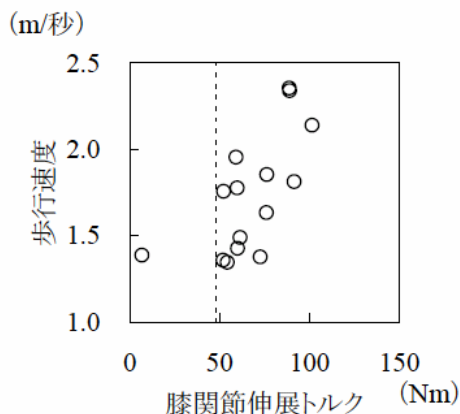


図 4 膝伸展トルクと歩行速度の関係

破線は Judge et al.(1993)が報告している閾値(48Nm)を示す

高いピッチを獲得するためには、膝関節伸展力と股関節屈曲力が高いことが条件である(柳谷, 2003)。本研究で膝関節伸展トルクと股関節屈曲力のトレーニング前後の変化率が、それぞれ 67.4%, 46.8%であり、このことがピッチの増加をもたらしたと考えられる。さらに柳谷(2003)は、膝関節屈曲力と股関節伸展力がより長いストライド長の獲得に貢献すると報告している。本研究でトレーニング前後の膝関節屈曲トルクは 14.4%増加している

が、膝関節伸展トルクほどの増加ではない。よって、各関節トルクまたは力は増加傾向を示したが、膝関節屈曲トルクよりも膝関節伸展トルクと股関節屈曲力の変化率が高かったため、ストライド長よりもピッチの増加が顕著に現れたと示唆される。さらに、歩パワーとピッチ、ストライド長の変化を図 5 に示す。トレーニング後ではピッチの増加によって速度の増加が起こり、結果として歩パワーが増加した可能性が示唆される。

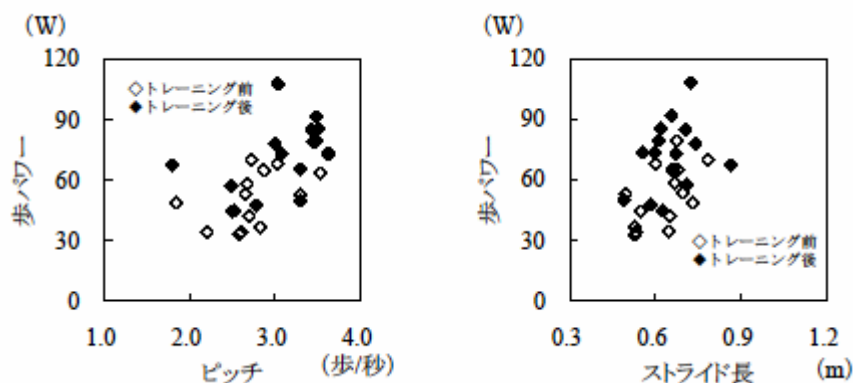


図 5 歩パワーとピッチ(左), ストライドの関係(右)

【参考資料】

- Bassey EJ, Fiatarone MA, O'Neill EFO, Kelly M, Evans WJE, Lipsitz LA (1992) Leg extensor power and functional performance in very old men and women. Clin Sci 82:321-327.
- Bemben MG, Massey BH, Bemben DA, Misner JE, Boileau RA (1991) Isometric muscle force production as a function of age in healthy 20- and 74-yr-old men. Med Sci Sports Exerc 23:1302-1310.
- Brown AB, McCartney N, Sale DG (1990) Positive adaptations to weight-lifting training in the elderly. J Appl Physiol 69:1725-1733.
- Campbell WW, Joseph YJO, Davey SL, Cyr-Campbell D, Anderson RA, Evans WJ (1999) Effects of resistance training and chromium picolinate on body composition and skeletal muscle in polder men. J Appl Physiol 86:29-39.
- Charette SL, McEvoy L, Pyka G, Snow-Harter C, Guide D, Wiswell RA, Marcus R (1991) Muscle hypertrophy response to resistance training in older women. J Appl Physiol 70:1912-1916.
- Cogan AR, Spina RJ, King DS, Rogers MA, Brown M, Nemeth PM, Holloszy JO (1992) Skeletal muscle adaptations to endurance training in 60- to 70-yr-old men and women. J Appl Physiol 72:1780-1786.
- Cress ME, Thomas DP, Johnson J, Kasch FW, Cassens RG, Smith EL, Agre JC (1991) Effects of training on VO_2max , thigh strength, and muscle morphology in septuagenarian women. Med Sci Sports Exerc 23:752-758.

- DeLome CT (1945) Restriction of muscle power by heavy-resistance exercises. *J Bone Joint Surg* 27:645-667.
- Eales DR, Judge JO, Gunnarsson OT (2001) Velocity training induces power-specific adaptations in highly functioning older adults. *Arch Phys Med Rehabil* 82:872-878.
- Erra P, Lyyra A, Viitasalo JT, Heikkinen E (1992) Determinant of isometric strength in men of different ages. *Eur J Appl Physiol* 64:84-91.
- Ferri A, Scaglioni G, Pousson M, P. Capdaglio, Van Hoecke J, Narici MV (2003) Strength and power changes of the human plantar flexors and knee extensors in response to resistance training. *Acta Physiol Scand* 177: 69078.
- Fiaitorone MA, Marks EC, Ryan ND, Meredith CN, Lipsitz LA, Evans WJ (1990) High-intensity strength training in nonagenarians. *JAMA* 263:3029-3034.
- Fiatatone MA, O'Neill EF, Ryan ND, Clements KM, Solares GR, Nelson ME, Roberts SB, Kehayias JJ, Lipsitz LA, Evans WJ (1994) Exercise training and nutritional supplementation for physical frailty in very elderly people. *N Engl J Med* 330:1769-1975.
- Fielding RA, LeBrasseur NK, Cuoco A, Bean J, Mizer K, Singh MAF (2002) High-velocity resistance training increases skeletal muscle peak power in older women. *J Am Geriatr Soc* 50:655-662.
- Frontera WR, Meredith CN, O'reilly KP, Nuttgen HG, Evans WJ (1988) Strength conditioning in older men : skeletal muscle hypertrophy and improved function. *J Appl Physiol* 64:1038-1044.
- Frontera WR, Meredith CN, O'reilly KP, Evans WJ (1990) Strength training and detraining of $\dot{V}O_2$ max in older men. *J Appl Physiol* 68:329-333.
- 淵本隆文, 松岡有希, 金子公宥 (2000) 高齢者の歩行能力に関する体力的・動作学的研究 (第 3 報) — 縦断的分析による歩行能力の加齢変化 —. *体育科学*, 29, 124-132.
- 深代千之, 沢井史穂, 船渡和男, 芝山 明, 若山章信, 福永哲夫 (1997) 中高年齢者のレジスタンストレーニングによる歩行動作の変化. *体育科学* 25:136-140.
- 福永哲夫 (2004) 身体 of 形と力への興味. 壮光舎印刷.
- Funato, K., Yanagiya, T. and Fukunaga, T. (2001) Ergometry for estimation of mechanical power output in sprint running in human using a newly developed self-driven treadmill. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 84, 169-173.
- Grimby G, Aniansson A, Hedberg M, Henning GB, Grangard U, Kvist H (1992) Training can improve muscle

strength and endurance in 78- to 84-yr-old men. *J Appl Physiol* 73:2517-2523.

Hakkinen K, Kallinen M, Linnamo V, Pastinen UM, Newton RU, Kraemer WJ (1996) Neuromuscular adaptations during bilateral versus unilateral strength training in middle-aged and elderly men and women. *Acta Physiol Scand* 158:77-99.

Hakkinen K, Kallinen M, Izquierdo M, Joklaine K, Lassila H, Malkia E, Kraemer W, Newton RU, Alen M (1998) Changes in agonist-antagonist EMG, muscle CSA, and force during strength training in middle-aged and older people. *J Appl Physiol* 84:1341-1349.

Hakkinen K, Alen M, Kallinen M, Newton RU, Kraemer W (2000) Neuromuscular adaptation during prolonged strength training, detraining and re-strength-training in middle-aged and elderly people. *Eur J Appl Physiol* 83:51-62.

Hakkinen K, Kraemer W, Newton RU, Alen M (2001a) Changes in electromyographic activity, muscle fibre and force production characteristics during heavy resistance/power strength training in middle-aged and older men and women. *Acta Physiol Scand* 171:51-62.

Hakkinen K, Pakarainen A, Kraemer WJ, Hakkinen A, Valkeinen and Allen M (2001b) Selective muscle hypertrophy, changes in EMG and force and serum hormones during strength training in older women. *J Appl Physiol* 91: 569-580.

Hakkinen K, Pakarainen A, Hannonen P, Hakkinen A, Airaksinen O, Valkeinen H, Allen M (2002) Effects of strength training on muscle strength, cross-sectional area, maximal electromyographic activity, and serum hormones in premenopausal women with fibromyalgia. *J Rheumatol* 29:1287-1295.

Hettinger Th, Muller EA (1953) Muskelleistung und muskeltraining. *Arbeitsphysiologie* 15:111-126.

Hettinger Th (1972) *アイソメトリックトレーニング*. 第2版(猪飼道夫・松井秀治 訳), 大修館書店.

Himann, J. E., David A. and peter A. (1988) Age-related changes in speed of walking. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 20, 161-166.

Hunter Gr, Treuth MS, Weinsier RL, Kekes-Szabo T, Kell SH, Roth DL, Nicholson C (1995) The effects of strength conditioning on older women's ability to perform daily tasks. *J Am Geriatr Soc* 43:756-760.

Ivey FM, Tracy BL, Lemmer JT, NessAiver M, Metter EJ, Fozard JL, Hurley BF (2000) Effects of strength training and detraining on muscle quality: age and gender comparisons. *J Gerontology: Biol Sci* 55A:B152-B157.

Judge JO, Underwood M, Gennosa T (1993) Exercise to improve gait velocity in older persons. *Arch Phys Med*

Rehabil 74:400-406.

Kaneko, M., Morimoto, Y., Kimura, M., Fuchimoto, K. and Fuchimoto, T. (1991) A kinematic analysis of walking and physical fitness testing in elderly women. *Can. J. Spt. Sci.*, 16, 223-228.

形本静夫, 青木純一郎, 及川勝宏(1998)中高年者における歩行能力と健康関連体力との関係. *体育科学*, 27, 77-82.

Keen DA, Yue GH, Enoka RM (1994) Training-related enhancement in the control of motor output in elderly humans. *J Appl Physiol* 77:2648-2658.

Kent-Braun JA, Ng AV (1999) Specific strength and voluntary muscle activation in young and elderly women and men. *J Appl Physiol* 87:22-29.

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(2000)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.

Landers KA, Hunter GR, Wetzstein CJ, Bamman MM, Weinsier RL (2001) The interrelationship among muscle mass, strength, and the ability to perform physical tasks of daily living in younger and older women. *J Gerontol: Biol Sci* 56A:B443-B448.

Larsson L, Grimby G, Karlsson J (1979) Muscle strength and speed of movement in relation to age and muscle morphology. *J Appl Physiol: Respirat Environ Exercise Physiol* 46:451-456.

Larsson L (1982) Physical training effects on muscle morphology in sedentary males at different ages. *Med Sci Sports Exerc* 14:203-206.

Moritani T, Devries HA (1980) Potential for gross muscle hypertrophy in older men. *J Gerontol* 35:672-682.

Muller EA (1970) Influences of training and inactivity on muscle strength. *Ach Phys Med Rehabil* 51:449-462.

Nindl BC, Harman EA, Mark JO, Mark JO, Gotshalk LA, Frykman PN, Lammi E, Palmer C, Kraemer WJ (2000) Regional body composition changes in women after 6 months of periodized physical training. *J Appl Physiol* 88:2251-2259.

Panton LB, Graves JE, Pollock ML, Hagberg JM, Chen W (1990) Effect of aerobic and resistance training on fractionated reaction time and speed of movement. *J Gerontol: Med Sci* 45:M26-31.

Pavlou KN, Steffee WP, Lerman RH, Burrows BA (1985) Effects of dieting and exercise on lean body mass, oxygen uptake, and strength. *Med Sci Sports Exerc* 17:466-471.

Pollock ML, Carroll JF, Graves JE, Leggett SH, Braith RW, Limacher M, Hagberg JM (1991) Injuries and

- adherence to walk/jog and resistance training programs in the elderly. *Med Sci Sports Exerc* 23:1194-1200.
- Pyka G, Lindenberger E, Charette S, Marcus R (1994) Muscle strength and fiber adaptations to a year-long resistance training program in elderly men and women. *J Gerontology* 49: M22-M27.
- Roman WJ, Fleckenstein J, Stray-Gundersen J, Always SE, Peshock R, Gonya WJ (1993) Adaptations in the elbow flexors of elderly males after heavy-resistance training. *J Appl Physiol* 74:750-754.
- Rooks DS, Kiel DP, Parsons C, Hayes WC (1997) Self-paced resistance training and walking exercise in community-dwelling older adults: effects on neuromotor performance. *J Gerontol: Med Sci* 52A:M161-M168.
- Roth SM, Ivey FM, Martel GF, Lemmer JT, Hurlbut DE, Siegel EL, Metter EJ, Fleg JL, Fozard JL, Kostek MC, Wernick DM, Hurley BF (2001) Muscle size responses to strength training in young and older men and women. *J Am Geriatr Soc* 49:1428-1433.
- 沢井史穂, 実松寛之, 福永哲夫, 金久博昭, 角田直也(2004) 日常生活動作における身体各部位の活動水準の評価—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.
- Schlicht J, Camaione DN, Owen SV (2001) Effect of intense strength training on standing balance, walking speed, and sit-to-stand performance in older adults. *J Gerontol: Med Sci* 56A:M281-M286.
- Schwartz RS, Shuman WP, Larson V, Cain KC, Fellingham GW, Beard JC, Kahn SE, Stratton JR, Cerqueira MD, Abrass IB (1991) The effect of intensive endurance exercise training on body fat distribution in young and older men. *Metabolism* 40:545-551.
- Sherrington C, Lord SR (1997) Home exercise to improve strength and walking velocity after hip fracture: a randomized controlled trial. *Arch Phys Med Rehabil* 78:208-212.
- Sipila S, Suominen H (1995) Effects of strength and endurance training on thigh and leg muscle mass and composition in elderly women. *J Appl Physiol* 78:334-340.
- Sipila S, Multanen J, Kallinen M, Era P, Suominen H (1996) Effects of strength and endurance training on isometric muscle strength and walking speed in elderly women. *Acta Physiol Scand* 156:457-464.
- Skelton DA, Young A, Greig CA, Malbut KE (1995) Effects of resistance training on strength, power, and selected functional abilities of women aged 75 and older. *J Am Geriatr Soc* 43:1081-1087.
- Taaffe DR, Pruitt L, Pyka G, Guido D, Marcus R (1996) Comparative effects of high- and low-intensity resistance training on thigh muscle strength, fiber area, and tissue composition in elderly women. *Clin Physiol* 16:381-392.

Taaffe DR, Duret C, Wheeler S, Marcus R (1996) Once-weekly resistance exercise improves muscle strength and neuromuscular performance in older adults. *J Am Geriatr Soc* 47:1208-1214.

田井中幸司, 青木純一郎 (2002) 高齢女性の歩行速度の低下と体力. *体力科学*, 51, 245-252.

Tracy BL, Ivey FM, Hurlbut D, Martel GF, Lemmer JT, Siegel EL, Metter EJ, Fozard JL, Fleg JL, Hurley BF (1999) Muscle quality. II. Effects of strength training in 65- and 75-yr-old men and women. *J Appl Physiol* 86: 195-201.

Trappe S, Williamson D, Godard M (2002) Maintenance of whole strength and size following resistance training in older men. *J Gerontol: Biol Sci* 57A:B138-B143.

Treuth MS, Ryan AS, Pratley RE, Rubin MA, Miller JP, Nicklas BJ, Sorkin J, Harman SM, Goldberg AP, Hurley BF (1994) Effects of strength training on total and regional body composition in older men. *J Appl Physiol* 77:614-620.

角田直也, 池川繁樹, 奥山秀雄, 金久博昭, 船渡和男, 福永哲夫(1987) 高齢者における異なる強度での筋力トレーニング. 第 42 回日本体力医学会大会抄録, pp 520.

Vandervoort AA and MvComas AJ (1986) Contractile changes in opposing muscles of the human ankle joint with aging. *J Appl Physiol* 61:361-367.

柳谷登志雄 (2003) ヒトの歩・走パワー発揮能力に関する研究. 博士論文

Yanagiya, T., Kanehisa, H., Tachi, M., Kuno, S. and Fukunaga, T. (2004) Mechanical power during maximal treadmill walking and running in young and elderly men. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 92, 33-38.