

要介護高齢者における長期下肢筋力トレーニングが 歩行能力改善に及ぼす影響

若吉浩二¹⁾ 川邊千洋²⁾

Improvement of walking performance in leg training program for long term according in elderly people with low physical fitness

Kohji WAKAYOSHI Chihiro KAWANABE

Abstract

The purpose of this study was to investigate whether elderly women and men with low physical fitness who had participated in training program for improvement of walking performance for the long term showed an improvement in their leg extension power, walking motion and physical fitness. A total of ten elderly women and four elderly men (from 72 to 93 years old, 82 ± 8.8 yrs.) who had needed nursing participated in the training program held for approximately 20 minutes a time and twice a week for 20 weeks. The subject executed 20 times by three sets of each leg extension and leg flexion a day by using the simply and handy leg extension and flexion machine. Walking motions were filmed from a lateral angle using digital video camera and analyzed before and after training. Ability for balance with the standing position posture was investigated before and after training. After training, the leg extension power was significantly increased and its relative increase rate was approximately 100%. Nine elderly people improved their walking speed by extending the stride length and increasing the height of tiptoe in one cycle. The movement of hip, knee and ankle joints during the walking had remarkably increased compared with before training. Moreover, there was a tendency that ability for balance with the standing position posture was improved with many subjects, and blood sugar level and bone density were improved in some subjects. Therefore, it is thought that the leg extension and flexion training using the simply and handy leg extension and flexion machine is effective to the improvement of leg extension power, walking performance and ability for balance for elderly people with low physical strength who had needed nursing.

Key words : elderly person, walking motion, leg extension and flexion, training

キーワード : 高齢者, 歩行動作, 下肢伸展・屈曲運動, トレーニング

I. 緒言

高齢者が健康的な日常生活を送るためには、基本的な移動動作である歩行を維持・改善することが重要な課題である。また、歩行能力を維持・改善することは、単に歩行能力の向上だけでなく、身体活動能力や自立動作といった日常生活動作（ADL）の維持向上や疾病予防及び転倒予防にもつながり、生活の質（QOL）をより向上させると考えられている^{1, 2, 11, 19, 21}。

しかし、起居・歩行動作と密接な関連があるとされる下肢筋力は、70歳代では20歳代と比べて30%の低下、筋断面積においては40%の低下が生じると報告されており²、一般的に加齢に伴い、筋力は低下するといわれている²³。また、高齢者の歩行機能低下の要因として、下肢筋力（足底屈・足背屈筋力の低下）、バランス機能、股関節や膝関節及び足関節などの関節可動域の低下などがあげられている^{27, 28}。つまり、これらが複合的に作用し合うことによって歩行機能は衰えてくると考えられている。

高齢者の運動処方として一般的に行われているウォーキングなどは、低強度の有酸素運動であるため、加齢による筋力や筋量の低下を抑制するという点で不十分である¹¹。また、近年では高齢者においても筋力のトレーナビリティが確認されており¹²、高齢であっても筋力強化訓練を行えば筋力が改善し、トレーニングを長期間行うことによって、その能力を維持できる可能性が示されている^{2, 11, 13}。さらに、歩行機能衰退の原因の一つとされるバランス能力の向上を図ることは、移動動作や転倒防止にも有効に作用するため⁹、ADLの維持・向上に好影響を与えると考えられる。したがって、ある一定強度以上の筋力トレーニングを行うことにより下肢筋力を強化させ、同時にバランス機能や関節可動域を高めていくことが、歩行機能の維持・改善に必要不可欠と考えられる。

ところが、実際に、低体力高齢者が下肢筋力トレーニングを行う場合、立位・歩行等の直立姿勢や体幹が安定しない状態での運動になりやすく、転倒や圧迫による骨折などの二次障害を引き起こす危険性が出てくる。加えて、下肢筋群の強化を目的としたトレーニング機器は数多く存在するが、そのほとんどが高価なものであり、自治体や介護施設では金銭面や設備等の問題によって、高齢者の筋力トレーニングが実現困難となっていることが多い。また、多関節を同時に効率よく伸展・屈曲運動させることが可能で、運動やトレーニングに不慣れな高齢者が安全かつ簡便に取り組めるようなトレーニング機器はあまり存在しない。

そこで、先行研究²⁴により下肢関節の伸展・屈曲筋群動作の強化に有効と考えられる体重負荷式脚伸展・屈曲トレーニング機器（以下、「健歩くん」。竹井機器工業社製）が考案され、低体力高齢者の歩行能力改善に好影響を与えることが示唆されている。しかし、先行研究ではトレーニング期間が短期間であったことに加え、歩行能力低下の原因の一つとされるバランス能力の検証がなされていないため、健歩くんを用いた下肢筋力トレーニングの効果が明確に示されたとは言えない。

そこで、本研究では先行研究²²で試作された「健歩くん」を用いて、20週間の長期下肢筋力トレーニングを行うことで、介護認定を受けている高齢者の歩行能力に与える効果を明確にするとともに、バランス能力にも焦点をあて、歩行能力改善に与える影響を検証することを目的とする。

II. 研究方法

1. 被検者

被検者は、2ヶ所の通所介護施設を利用している64歳～93歳の介護認定を受けている健康な高齢者とした。このうち、トレーニング実施が可能と思われる14名（年齢 82.0 ± 8.8 歳）

を対象とした。その内3名は自力歩行が不可能なため、4点歩行器や手押し車、補助等を用いて実施した。各被検者には、あらかじめ研究目的、方法、手順、実施期間及びそれに伴う危険性について説明し、実験参加の承諾を得た。各被検者の身体的特性及び介護度は表1に示した通りである。

表1 各被検者の身体的特性及び介護度

| 被検者 | 性別 | 年齢(歳) | 体重(kg) | 介護度 |
|------|----|-------|--------|-----|
| A | 男 | 91 | 49 | 要1 |
| B | 男 | 86 | 52 | 要4 |
| C | 男 | 76 | 56 | 要3 |
| D | 男 | 64 | 66 | 要2 |
| E | 女 | 93 | 38 | 要1 |
| F | 女 | 88 | 35 | 要2 |
| G | 女 | 88 | 30 | 要2 |
| H | 女 | 87 | 45 | 要1 |
| I | 女 | 87 | 40 | 要1 |
| J | 女 | 86 | 43 | 要1 |
| K | 女 | 85 | 38 | 要2 |
| L | 女 | 73 | 64 | 要3 |
| M | 女 | 72 | 54 | 要3 |
| N | 女 | 72 | 55 | 要2 |
| mean | | 82 | 47.5 | |
| SD | | 8.8 | 10.8 | |

被検者C、L及びMは自力歩行不可能

2. 実施期間及び方法

2-1. 実施期間

実施期間は、練習期間を週2回2週間で4回、トレーニング期間を週2回20週間で40回とし、計22週間(44回)とした。また測定を、練習期間に1回、トレーニング期間中は4週間毎に1回、計6回実施した(図1)。トレーニング及び測定の前後には、簡単な口頭質



図1 トレーニング期間・方法

20回の伸展運動と屈曲運動を休息を挟みながら3セット実施

問及びアンケートを行い、各被検者の体調等の状態把握を行った。

2-2. トレーニング方法

「健歩くん」を用いて、20回の伸展運動と屈曲運動を休息を挟みながら3セット実施した(図2)。負荷設定は被検者と相談し、トレーニングを行いながら様子を見た結果、伸展運動では健歩くんの最大の高さ(傾斜角度 18.11° , $\sin 31.08$)に設定し、屈曲運動では体重の0~20%の負荷がかかるように設定し、その負荷を調整しながら実験を行った。

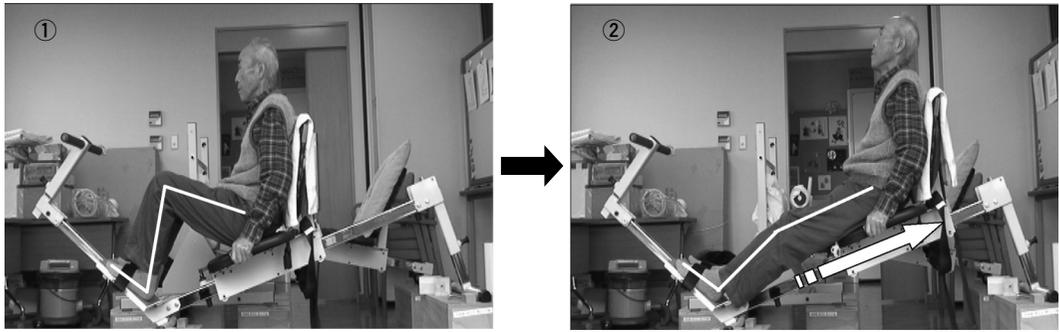
3. 測定項目及び方法

3-1. 5m自由歩行動作の撮影・動作解析

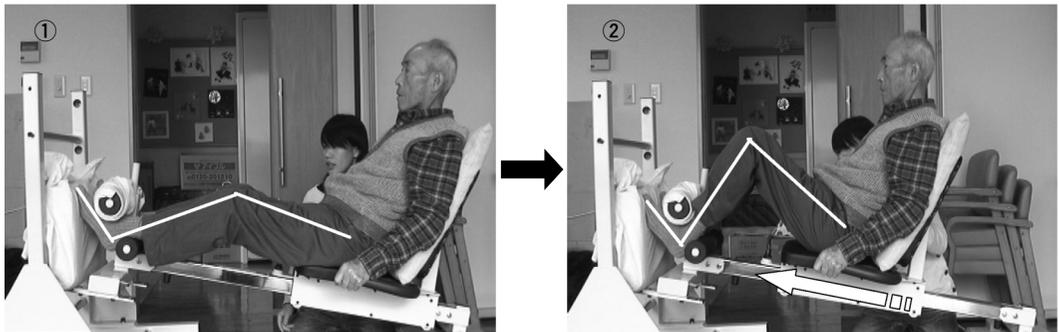
通常通りの自由歩行動作を側方よりハイビジョンデジタルカメラ(DCR-HC61, sony社製)を用いて、40fpsで撮影した(図3)。撮影されたビデオ画像をwindowsムービーメーカー(マイクロソフト社製)で、パーソナルコンピュータに取り込み、ファイル化したものをビデオ動作解析システム(Frame-DIAS II, ディケイエイチ社製)で動作解析を行った。ビデオ画像データより、歩行速度、重複歩(m/歩)、歩行率(歩/s)、爪先・踵最大挙上距離、片脚支持時間、踵接地時と踵離地時の足関節・膝関節及び股関節の屈曲及び伸展の角度・角速度を算出した。関節角度については、図4のように定義した。また、5m自由歩行内に、歩行速度計測マットを置き、5m歩行のタイムも計測した。その際、自力歩行が不可能な3名は、4点歩行器や手押し車、補助を用いて実施した。

3-2. 脚伸展筋力(最大発揮パワー)

脚伸展筋力測定器(竹井機器工業社製)を用いて、「健歩くん」(伸展時)の脚伸展筋力(最大発揮パワー)を測定した。十分な練習の後、できる限りの速さで伸展するように指示し、伸展運動時のパワーを各日3回計測し、その平均値を算出した。



伸屈運動用



伸屈運動用

図2 健歩くん（上 伸展運動用・下 屈曲運動用）

3-3. 座位爪先ステッピング

膝関節が直角になるよう椅子に腰かけ、踵は床に着けた状態で、爪先をできるだけ早く上下に動かし、10秒間で繰り返し動かした回数の計測を行った。その際、座位爪先ステッピング（竹井機器工業社製）を用い、調整器のブザー音を合図にフットスイッチ上でステッピングを実施した。

3-4. 立位時の足底重心動揺

マットスキャン（重心動揺検査システム

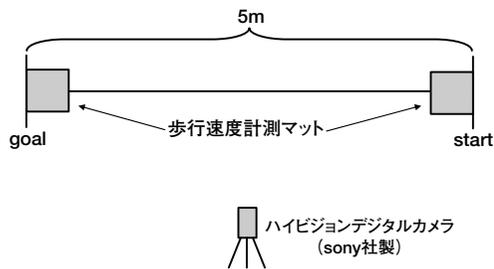


図3 5m歩行タイム測定のための機材配置

ニッタ社製)を用い、立位姿勢時の足底重心動揺を両側にて測定した(図5)。本測定は、自力での立位姿勢を保持できる被検者を対象とした。被検者に圧力板の上で立位姿勢をとらせ、30秒間姿勢保持を行うように指示した。その際、視線を安定させるために、目線の高

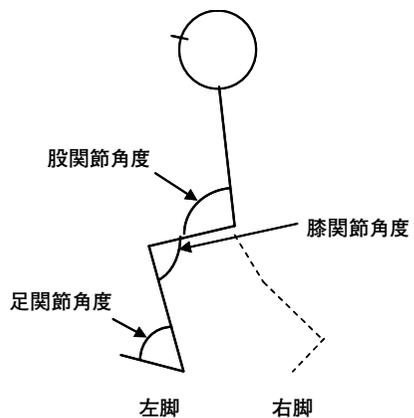


図4 歩行中のフォームから計算された股関節、膝関節及び足関節角度



図5 マットスキャン

さに視点誘導物を置いた。また、測定は裸足で行った。

3-5. 歩行時の足底重心移動軌跡

マットスキャン（重心動揺検査システムニッタ社製）を用い、歩行時の足底重心移動軌跡を測定した。本測定は、自力での歩行をできる被検者を対象とした。被検者には普段と同様の歩き方をするよう指示し、片足ずつ測定を行った。また、測定は裸足で行った。

3-6. 骨密度測定（NTX検査）

病院側・被検者と相談の上、可能な被検者（4名）のみ行った。

3-7. 口頭質問・要介護度の変化

毎月口頭質問を行い、被検者の意識の変化や主観的評価などの精神的な状態把握を行った。また、介護度や血糖値の変化などを見た。

4. 統計処理

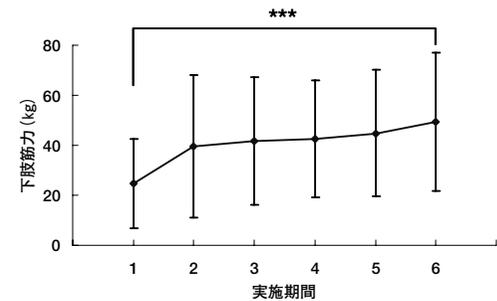
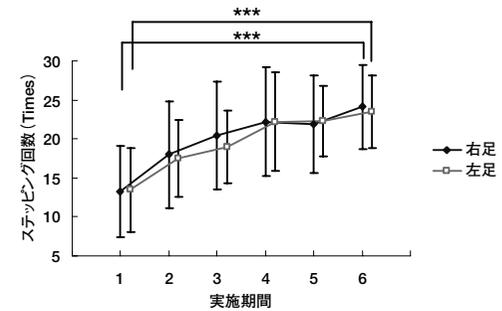
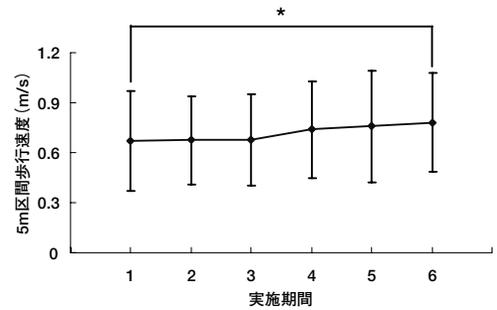
測定値は、平均値±標準偏差で示した。各測定項目において、トレーニング開始前とトレーニング開始5ヵ月後を比較するため、対応のあるt検定（paired t-test）を採用し、有意水準は5%未満とした。

Ⅲ. 結果

1. トレーニングによる各測定項目の変化

5m区間歩行速度、座位爪先ステップング

（右足・左足）、下肢筋力の各6回の平均値とその相対値を表2に示した。トレーニング開始前から5ヶ月後の測定結果を比較したところ、全ての測定項目において有意な向上が見られた。特に座位爪先ステップング回数と下肢筋力は、トレーニング開始前から5ヶ月後の測定結果において被検者全員に顕著な向上が見られ、それぞれトレーニング開始前よりも0.1%水準で有意に向上した。また、座位爪先ステップング回数では14名中7名に、下肢筋力においても14名中9名に2倍以上の向上が見られた。5m区間歩行速度においても、



* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

図6 トレーニング経過に伴う各測定項目の変化絶対値（11名）

表2. トレーニング経過に伴う各測定項目の平均値 (SD)

| 絶対値 | | 1回目 | 2回目 | 3回目 | 4回目 | 5回目 | 6回目 | |
|----------------|-----|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------------|---------------|
| 5m区間歩行速度 (m/s) | 11名 | 0.67±0.30 | 0.67±0.27 | 0.68±0.28 | 0.74±0.29 | 0.76±0.34 | 0.78±0.29* | |
| | 14名 | (0.61±0.31) | (0.60±0.29) | (0.59±0.31) | (0.64±0.33) | (0.66±0.36) | (0.68±0.34) | |
| ステッピング (times) | 右足 | 11名 | 13.3±5.9 | 18.0±6.8 | 20.5±6.9 | 22.2±7.0 | 21.9±6.2 | 24.1±5.4*** |
| | | 14名 | (12.6±5.5) | (17.6±6.4) | (19.8±6.5) | (21.4±6.4) | (21.2±5.7) | (23.2±5.5***) |
| | 左足 | 11名 | 13.6±5.4 | 17.5±4.9 | 19.0±4.6 | 22.2±6.3 | 22.3±4.5 | 23.5±4.7*** |
| | | 14名 | (12.7±5.3) | (17.0±5.1) | (18.6±4.5) | (21.6±5.7) | (21.8±4.2) | (23.4±4.3***) |
| 下肢筋力 (kg) | 11名 | 24.8±17.8 | 39.6±28.7 | 41.7±25.6 | 42.4±23.4 | 44.8±25.4 | 49.4±27.7*** | |
| | 14名 | (23.1±16.0) | (36.9±26.4) | (40.0±24.3) | (41.0±22.3) | (42.6±24.7) | (47.8±26.5***) | |

| 相対値 | | 1回目 | 2回目 | 3回目 | 4回目 | 5回目 | 6回目 | |
|----------------|-----|---------|--------------|--------------|---------------|---------------|-----------------|-----------------|
| 5m区間歩行速度 (m/s) | 11名 | 100±0 | 106.1±25.9 | 105.8±23.8 | 116.8±33.9 | 117.6±29.5 | 125.0±34.8* | |
| | 14名 | (100±0) | (102.1±24.4) | (99.2±25.5) | (110.4±33.9) | (110.4±30.7) | (118.3±34.3) | |
| ステッピング (times) | 右足 | 11名 | 100±0 | 146.1±50.2 | 185.3±109.7 | 214.8±168.8 | 202.1±113.6 | 234.6±161.9* |
| | | 14名 | (100±0) | (149.0±44.5) | (185.1±101.0) | (210.0±148.6) | (200.3±100.6) | (227.8±143.0**) |
| | 左足 | 11名 | 100±0 | 140.5±42.6 | 154.5±45.5 | 187.3±84.3 | 191.8±96.5 | 204.0±94.6** |
| | | 14名 | (100±0) | (143.0±38.1) | (149.9±40.9) | (180.7±75.9) | (199.7±95.8) | (215.2±94.1***) |
| 下肢筋力 (kg) | 11名 | 100±0 | 174.1±68.4 | 199.5±80.7 | 222.5±118.0 | 221.1±81.8 | 244.4±101.6*** | |
| | 14名 | (100±0) | (169.7±64.8) | (197.3±79.5) | (217.7±109.0) | (214.1±84.5) | (242.2±98.1***) | |

11名は自力歩行可能な者

1回目：6回目 paired-t-test；*p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001
mean±SD

自力歩行可能な11名では5%水準で有意に向上し、14名中10名に速度向上が見られた。図6は、自力歩行が可能な11名の平均値 (SD) の変化を表したグラフである。

2. トレーニングに伴う歩行動作の変化

図7は、身体各部の9点 (頭頂点, 肩, 肘, 手首, 大転子点, 膝, 踝, 踵, 爪先) を直線で結び、左脚の踵が地面に接してから次に接地するまでの一歩 (重複歩) の歩行動作を、コンピュータを介して連続的に描いたスティックピクチャーである。特に変化が見られた2名のデータを示す。スティックピクチャーから、踵着地時の足関節背屈角度と膝関節伸展角度及び遊脚期における膝関節屈曲角度に向上傾向が見られた。また、トレーニング後は、背中の湾曲が改善され、視線を落とさず真っすぐ前を向き、正しい姿勢で歩行していることが確認できた。

2-1. 歩行速度, 重複歩, 歩行率, 爪先最大挙上距離, 踵最大挙上距離の変化

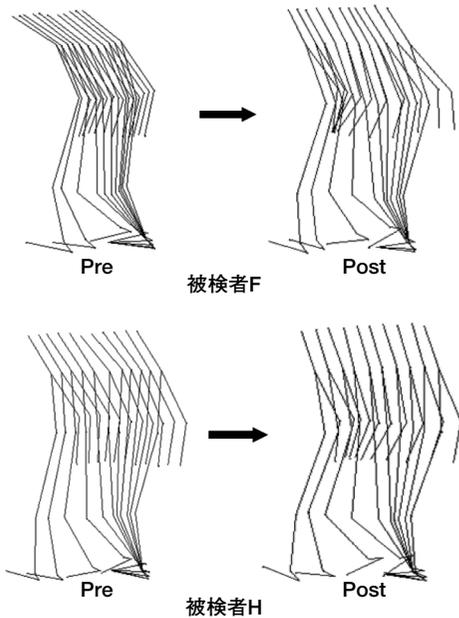


図7 被検者F・Hの歩行動作のスティックピクチャー

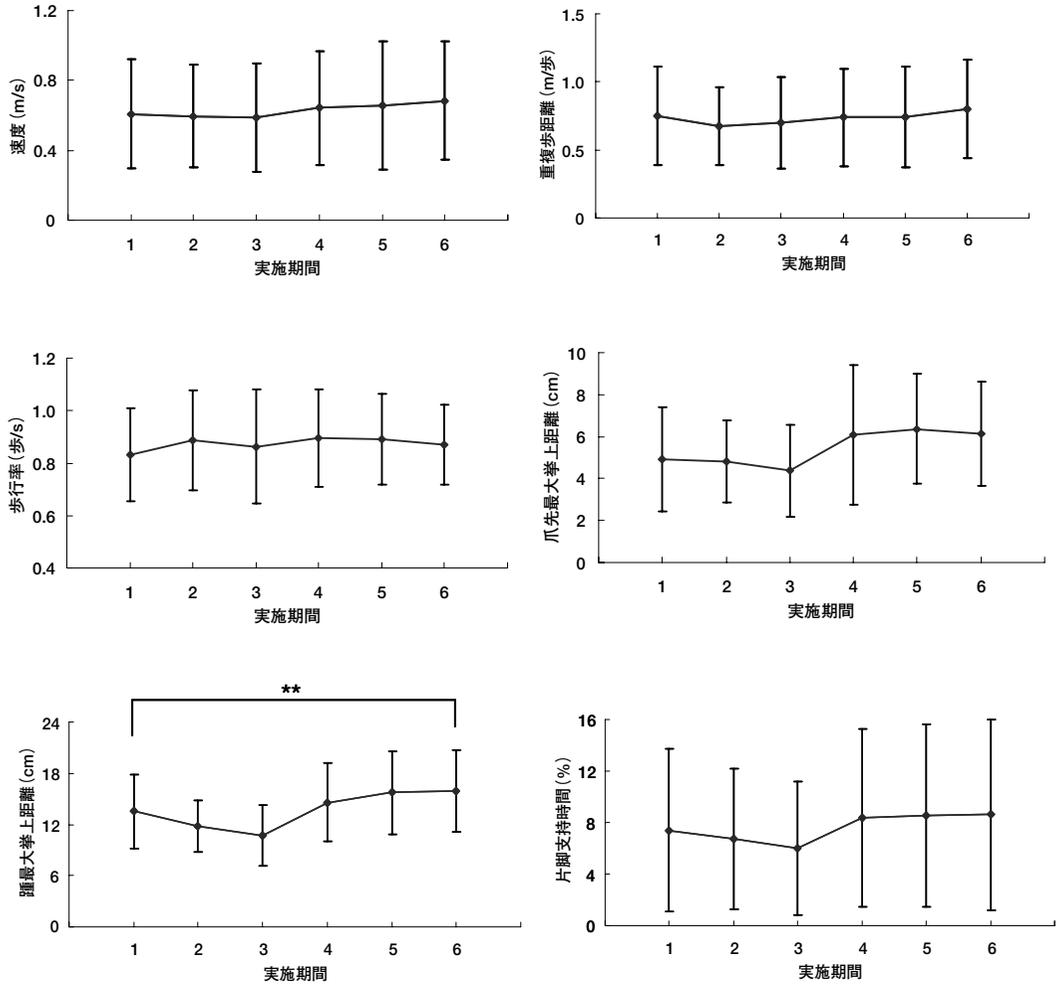


図8 トレーニングに伴う歩行動作の変化

*p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001

表3 トレーニングに伴う歩行動作の変化

| | | 1回目 | 2回目 | 3回目 | 4回目 | 5回目 | 6回目 |
|-------------|-----|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| 速度(m/s) | 11名 | 0.67±0.30 | 0.67±0.27 | 0.68±0.28 | 0.74±0.29 | 0.76±0.34 | 0.78±0.29* |
| | 14名 | (0.61±0.31) | (0.60±0.29) | (0.59±0.31) | (0.64±0.33) | (0.66±0.36) | (0.68±0.34) |
| 重複歩(m/歩) | 11名 | 0.81±0.36 | 0.74±0.26 | 0.77±0.30 | 0.83±0.31 | 0.84±0.33 | 0.90±0.31 |
| | 14名 | (0.73±0.38) | (0.67±0.28) | (0.68±0.34) | (0.72±0.36) | (0.74±0.37) | (0.79±0.36) |
| 歩行率(歩/s) | 11名 | 0.83±0.18 | 0.92±0.16 | 0.88±0.19 | 0.89±0.16 | 0.90±0.13 | 0.87±0.09 |
| | 14名 | (0.83±0.18) | (0.89±0.19) | (0.86±0.22) | (0.89±0.19) | (0.89±0.17) | (0.87±0.15) |
| 爪先最大上距離(cm) | 11名 | 5.4±2.2 | 5.4±1.8 | 5.0±1.9 | 7.0±3.1 | 7.0±2.2 | 6.6±2.2 |
| | 14名 | (4.9±2.5) | (4.8±2.0) | (4.4±2.2) | (6.1±3.3) | (6.4±2.6) | (6.1±2.5) |
| 踵最大上距離(cm) | 11名 | 14.5±3.8 | 12.6±2.5 | 11.9±2.4 | 16.1±3.7 | 17.3±3.6 | 17.3±3.7** |
| | 14名 | (13.5±4.3) | (11.8±3.0) | (10.7±3.5) | (14.6±4.6) | (15.7±4.9) | (15.9±4.7**) |
| 片脚支持時間(%) | 11名 | 31.6±5.7 | 31.7±6.9 | 32.0±5.1 | 31.6±6.8 | 34.1±4.7 | 32.2±6.5 |
| | 14名 | (28.7±8.6) | (29.4±8.7) | (29.3±8.1) | (35.9±20.4) | (31.8±7.3) | (30.4±7.9) |

11名は自力歩行可能な者

1回目：6回目 paired-t-test；*p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001
mean±SD

表3に歩行速度、重複歩、歩行率、爪先最大挙上距離、踵最大挙上距離、片脚支持時間の各6回の測定結果をそれぞれ平均値で示した。また、図8は被検者全員の平均値の変化を表したグラフである。各測定結果をPreとPostで比較したところ、自力歩行可能な11名では、速度 ($p<0.05$) と踵最大挙上距離 ($p<0.01$) において有意な向上が見られた。また、被検者全員の平均においても、踵最大挙上距離では高い有意差を示した ($p<0.01$)。重複歩距離・歩行率及び爪先最大挙上距離は、有意な差は見られなかったものの、PreとPost間において向上傾向が見られた。

2-2. 各関節角度の変動

表4に各ポイントにおける、足関節や膝関節及び股関節角度の変動をそれぞれ平均値で示した。PreとPostで比較したところ、踵着地時における膝関節伸展角度で高い有意差を示し ($p<0.001$)、足関節背屈角度では有意差は示さなかったものの、向上傾向が見られた

表4 トレーニングに伴う各関節角度の変動

| 足関節角度 | | 1回目 | 2回目 | 3回目 | 4回目 | 5回目 | 6回目 |
|-------|-----|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------------|
| 踵接地時 | 11名 | 94.5±8.8 | 102.8±11.3 | 102.6±9.1 | 97.4±5.6 | 95.3±5.9 | 97.1±6.6 |
| | 14名 | (93.0±9.3) | (102.1±11.6) | (103.1±9.7) | (99.2±6.4) | (97.4±7.9) | (98.7±7.2) |
| 踵離地時 | 11名 | 68.1±7.2 | 74.4±7.0 | 74.7±6.8 | 83.8±6.8 | 82.2±8.2 | 84.8±6.5*** |
| | 14名 | (68.3±6.4) | (76.0±7.1) | (77.3±9.0) | (87.3±9.9) | (85.3±10.1) | (87.9±9.0***) |
| 膝関節角度 | | 1回目 | 2回目 | 3回目 | 4回目 | 5回目 | 6回目 |
| 踵接地時 | 11名 | 161.8±5.9 | 170.1±15.8 | 167.2±8.4 | 169.0±8.6 | 168.6±5.6 | 170.1±5.2*** |
| | 14名 | (160.7±7.4) | (170.1±14.8) | (167.6±9.3) | (168.8±8.6) | (170.1±7.0) | (171.1±7.4***) |
| 踵離地時 | 11名 | 146.4±10.9 | 155.1±11.3 | 154.9±7.2 | 159.8±8.5 | 157.7±8.1 | 160.6±6.4*** |
| | 14名 | (146.7±10.0) | (156.0±10.4) | (156.2±10.7) | (161.4±8.9) | (159.9±8.9) | (162.7±9.7***) |
| 股関節角度 | | 1回目 | 2回目 | 3回目 | 4回目 | 5回目 | 6回目 |
| 踵接地時 | 11名 | 154.7±9.6 | 148.3±14.0 | 147.7±13.1 | 153.0±9.7 | 152.0±7.5 | 151.6±10.5 |
| | 14名 | (152.9±10.3) | (150.4±13.7) | (148.9±13.2) | (153.9±9.3) | (153.9±9.3) | (152.8±11.3) |
| 踵離地時 | 11名 | 173.0±13.9 | 171.0±16.5 | 168.9±15.3 | 170.6±11.2 | 168.2±9.0 | 170.1±13.0 |
| | 14名 | (169.9±15.5) | (171.0±15.3) | (168.4±15.8) | (169.9±10.4) | (168.7±10.0) | (169.2±13.3) |

11名は自力歩行可能な者

($p=0.055$)。また、踵離地時では足関節底屈角度、膝関節伸展角度において0.1%水準で有意に向上した。

2-3. 各関節角速度の変動

図9-1, 9-2は同被検者2名の歩行周期中の足関節、膝関節及び股関節角速度の変動をトレーニング前後で比較したものである。全ての角速度に大きな変動が見られ、特に踵離地時の足関節底屈と遊脚期の膝関節伸展に大きな変動が見られることから、力強い蹴り出しが体幹の前進速度を高めていることがわかる。また、トレーニング開始前よりも明らかにダイナミックで力強い歩行動作が可能になったと言える。

3. トレーニングに伴う足底重心動揺・足底重心移動軌跡の変化

3-1. 足底重心動揺

図10は、被検者3名の足底重心動揺の変化や足圧分布を示した。測定が可能であった何

1回目：6回目 paired-t-test；* $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$
mean ± SD

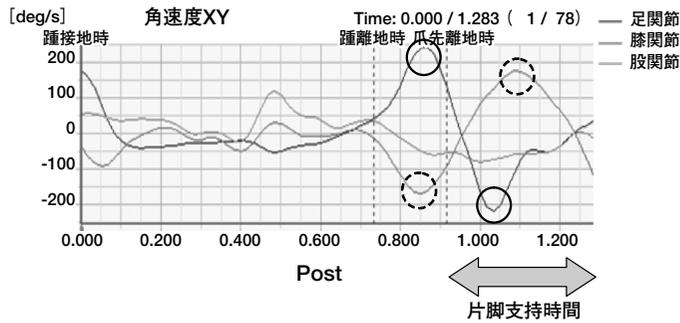
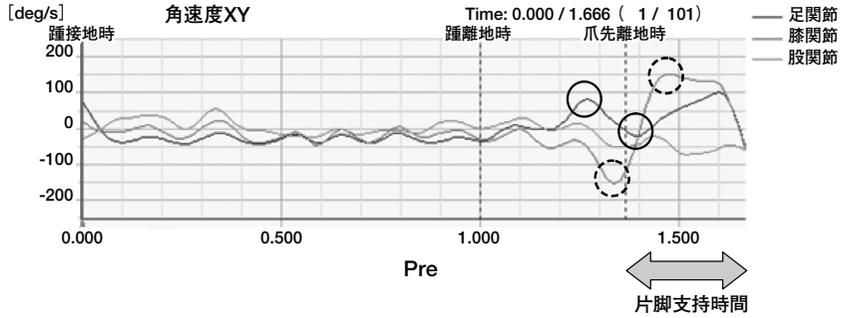


図9-1 被検者Fの一歩行周期中の各関節角度 (上pre,下post)

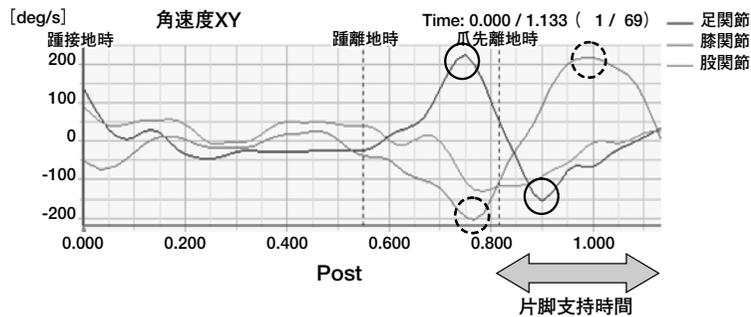
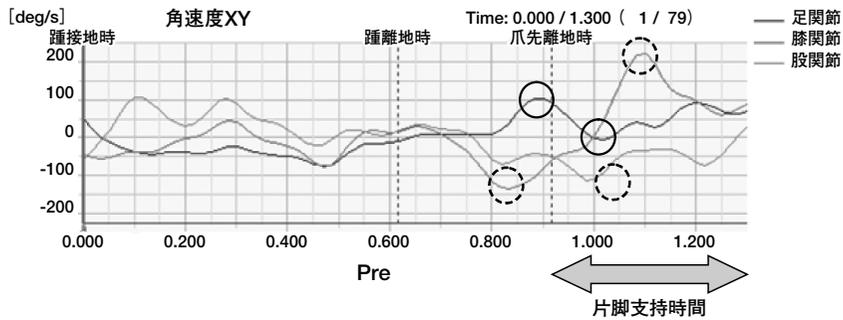


図9-2 被検者Hの一歩行周期中の各関節角速度 (上pre,下post)

表5 総軌跡長の変化 (SD)

| 総軌跡長 (cm) | | 1回目 | 2回目 | 3回目 | 4回目 | 5回目 | 6回目 |
|-----------|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 右足 | 10名 | 18.6±5.4 | 17.4±6.4 | 17.0±6.3 | 19.2±8.1 | 16.6±6.3 | 19.6±4.4 |
| 左足 | 8名 | 14.9±5.2 | 16.1±2.6 | 15.4±2.4 | 14.3±5.0 | 15.1±7.9 | 15.2±2.7 |

1回目：6回目 paired-t-test；*p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001 mean±SD

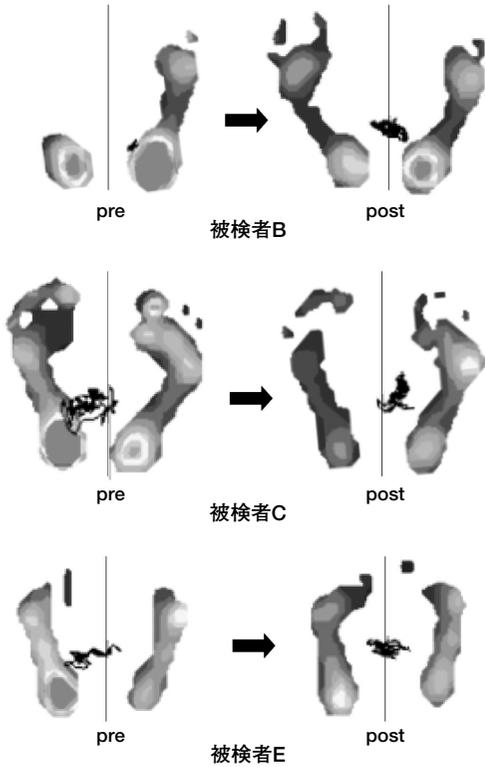


図10 被検者B・C・Eの足圧分布と重心動揺

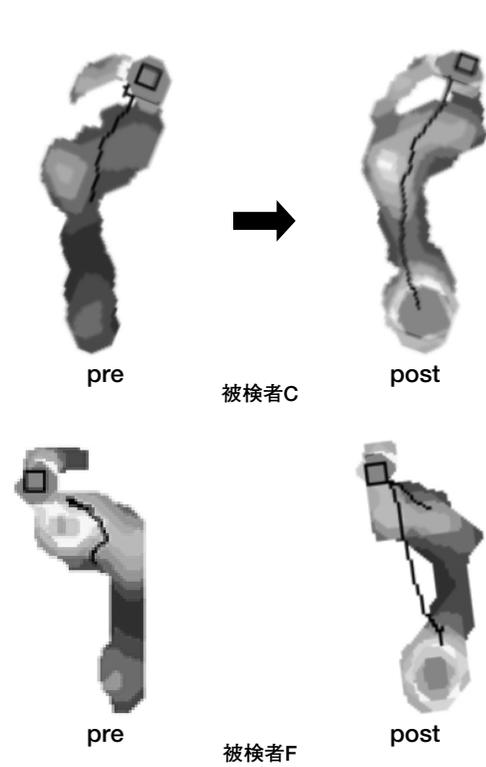


図11 被検者C・Fの総軌跡長の変化

れの被検者もトレーニング前では、踵にばかり体重がのってしまふ傾向が強かったが、トレーニング後では足底面全体に均等に体重がのるようになったことがわかる。また、足底重心位置がより中心に、やや前方に移動し、足底重心動揺が軽減されたことがうかがえる。

3-2. 足底重心移動軌跡

踵が接地してから爪先で蹴り出すまでの総軌跡長の変化を表5に示した。総軌跡長をトレーニング前後で比較したところ有意な差は示さなかったが、トレーニング開始前よりも

左右共に若干長くなった。図11には、被検者2名の歩行時の足圧分布と総軌跡長を示した。被検者の多くは、踵から着床し、足圧中心を通った後に母指から抜けていく正常歩行に近づいており、足底面の重心移動軌跡に改善傾向が見られた。

4. 骨密度の変化 (NTX検査)

表6には、トレーニング前後における被検者4名の骨密度の変化を示した。PreとPostで比較したところ、濃度・クレアチニン換算値ともに低下傾向が見られ、筋量と骨密度増大が認められた。

表6 骨密度の変化

| 被検者 | | Pre | Post |
|-----|-----------|-------|------|
| A | 濃度 | 970 | 529 |
| | クレアチニン換算値 | 94.5 | 61.6 |
| B | 濃度 | 219 | 296 |
| | クレアチニン換算値 | 82.5 | 58.7 |
| G | 濃度 | 319 | 403 |
| | クレアチニン換算値 | 44.5 | 74.7 |
| I | 濃度 | 2240 | 2080 |
| | クレアチニン換算値 | 162.3 | 161 |

5. 口頭質問・要介護度の変化

表7には、トレーニング前後の口頭質問の変化を示した。全ての項目において改善傾向が見られ、立位時や歩行時における精神的不安が解消され、主観的評価が上がったことがうかがえた。特に項目⑤、⑥、⑦、⑧で顕著な改善が見られ、項目⑤ではトレーニング前に全体の35.7%が「できる」と回答したのに対して、トレーニング後には92.9%が「できる」と回答した。また、要介護度においても、14名中5名に変化が見られ、その内4名に要介護度の改善が見られた。さらに、糖尿病を患っていた被検者2名の血糖値が改善されたこともわかった。

IV. 考察

歩行の特徴を見るため、5m歩行時の歩行動作を動作解析し、5ヶ月間のトレーニング

経過に伴う歩行特徴の変化を検討した。外部に対して力の発揮が開始される踵接地時と力の発揮が終了する踵離地時に、特に高齢者の歩行機能の特徴が現れるとされる²⁸⁾ため、本研究では、踵接地時と踵離地時に焦点をおいて測定を行った。

まず、踵接地時における膝関節伸展角度に高い有意差が見られたことは、秋山ら¹⁾が示すように常に膝が屈曲状態であるため、躓きを誘発するとされる高齢者特有の歩行形態を改善したと考えられる。また、膝関節伸展角度向上のため、踵接地時における足関節背屈角度には向上が見られなかったが、爪先最大挙上距離に顕著な向上が見られたことから、爪先や足底前面で着床していた不安定歩行が、踵から着床し、爪先がより上がるように改善されたことが示唆された。加えて、足底面の重心移動軌跡で改善傾向が見られた。このことから、踵から着床することで足底面のローリングがスムーズに行え^{19, 20)}、足全体で床面を捉えることができるようになったため、安定した早い歩行が可能になったと考えられる。踵接地時に爪先を上げる働きをしている前脛骨筋は、躓きを回避するだけでなく、歩行能力改善に重要である姿勢制御反応にも影響を与えるとされている^{4, 18)}。そのため、前脛骨筋が深く関与している座位爪先ステップングにおいて、被検者全員に有意な向上が

表7 口頭質問の変化

| | Pre %(n'/n) | Post %(n'/n) |
|-------------------------------------|----------------|-----------------|
| ①自分の意思でふらつきや不安なく椅子に座ることができる | 57.1(8/14) | 85.7(12/14) |
| ②椅子に座ったまま、腿上げをすることができる | 85.7(12/14) | 100(14/14) |
| ③自分の意思でふらつきや不安なく椅子から立ち上がることができる | 57.1(8/14) | 92.9(13/14) |
| ④杖などの支持物がなくても椅子から立ち上がることができる | 28.6(4/14) | 50(7/14) |
| ⑤歩き出す際、初めの一步をスムーズに前に踏み出すことができる | 35.7(5/14) | 92.9(13/14) |
| ⑥歩行中は踵から着地し、足の裏全面を使い歩行することができる | 28.6(4/14) | 85.7(12/14) |
| ⑦歩行中、躓きそうになったときには自分でバランスを立て直すことができる | 35.7(5/14) | 78.6(11/14) |
| ⑧歩行中は、ふらつくことなく真っ直ぐ前を見て歩くことができる | 50(7/14) | 92.9(13/14) |
| ⑨歩行の際、手すりや支持物(杖)など持たなくても歩くことができる | 28.6(4/14) | 64.3(9/14) |
| ⑩階段を降りる際、手すりや壁を持たずに登ることができる | 14.3(2/14) | 42.9(6/14) |

n' = 「できる」と回答した人数, n = 全被検者

見られたことから、健歩くんを用いた下肢筋力トレーニングが、躓き防止だけでなく、姿勢制御反応の改善に好影響を与えることが示唆された。

次に、踵離地時において、足関節底屈角度と膝関節伸展角度で高い有意差を示した。これにより、踵離地時に踵が上がり、膝関節と股関節伸展が起こることによって、足底前面での蹴り出しがより力強くなったと考えられる。また、図10に示した角速度の変動グラフにおいても、踵離地時の足関節底屈と遊脚期の膝関節伸展に大きな変動が見られることから、力強い蹴り出しが体幹の前進速度を高めていることがよくわかる。蹴り出し期における足関節底屈筋力と膝関節伸展筋力は、高齢者の歩行速度に大きな影響を与える要因とされており、特に足関節底屈の筋活動が高齢者の力強い歩行の原動力と考えられている²¹⁾。そのため、長期下肢筋力トレーニングが、足関節底屈筋力と膝関節伸展筋力及び各関節可動域に貢献したことにより、トレーニング開始前よりも明らかにダイナミックで力強い歩行動作を可能にしたと推察できる。

股関節角度に関しては、踵接地時、踵離地時ともに大きな変化は見られなかった。しかし、千葉⁴⁾は、股関節伸展筋力は歩行速度と深く関係していると報告しており、本研究においても歩行速度や歩幅の増大が見られたため、股関節伸展・屈曲が歩行能力改善に好影響を与えたと考えられる。また、伸展運動時では膝関節伸展に作用する大腿直筋、外側広筋、内側広筋の活動が重要となる。そのため、伸展時の下肢筋力において被検者全員に顕著な向上が見られたことは、「健歩くん」を用いた下肢筋力トレーニングが膝関節伸展筋力向上に高いトレーニング効果を示す可能性を示唆している。

一歩行周期中の膝関節伸展筋力や足関節背屈・底屈筋力は、起居・歩行動作能力に重要な役割を有する筋群であり、特に歩幅と密接な関係があることが多くの先行研究により示

されている^{2, 6, 16, 21, 22, 26)}。そのため、踵接地時における膝関節伸展角度と踵離地時における足関節底屈角度や膝関節伸展角度に高い有意差が見られたことは、重複歩に好影響を与えたと言える。また、踵最大挙上距離で高い有意差を示したことから、遊脚期における膝関節屈曲角度と踵の引き上げ力が向上し、高齢者特有の低い足運びから起こる躓きを解消させることに加え、歩行率改善に貢献することが示唆された¹⁰⁾。

さらに、図8のスティックピクチャーから、歩行姿勢改善が確認できたため、脚の振り出しや振り戻しにかかる負担の軽減により、歩幅や歩行率（ピッチ）改善に有効に作用したことが考えられる¹⁷⁾。また、歩幅の増大により、年齢とともに短縮する片脚支持時間の延長が見られたため、下肢筋力の向上が重心動揺の軽減に作用し⁵⁾、歩行中のバランス能力改善に好影響を与えることが示唆された。伊東⁷⁾は、下肢筋力向上が歩幅拡大に、身体重心動揺軽減が歩行率増大に関与していると報告していることから、下肢筋力やバランス能力及び関節可動域向上などの相乗効果によって、歩行能力改善に貢献したと言えよう。さらに、本研究では、14名中4名に要介護度の改善が見られ、要介護度が下がってしまった1名においても、全ての測定結果で改善傾向が見られた。そのため、歩行能力改善がADLやQOLの維持・向上につながったものと考えられる。また、要介護度が下がってしまった原因としては、以前骨折した左大腿骨転子部が完治していないことが影響したと考えられる。以上のことから、健歩くんを用いた長期下肢筋力トレーニングが高齢者の歩行能力維持・改善につながり、ADLやQOLに寄与したことが明らかとなった。

骨密度測定においては、4名のみ結果であるが、トレーニング前後で筋量と骨密度に増大が認められた。西端¹⁵⁾は筋力が高いほど骨密度も高い可能性があることを示唆している。そのため、今回、被検者全員に下肢筋

力の顕著な向上が見られたことから、測定を行えなかった被検者に対しても、長期下肢筋力トレーニングが筋量や骨密度に有意に作用した可能性があると思われる。今後は、被検者をさらに増やした上で、「健歩くん」を用いた長期トレーニングが骨密度に与える影響を慎重に検討する必要があると考える。

中村¹⁴⁾は高齢者が運動効果を上げ、継続して行うためには、1) 運動効果を信じている、2) 快感をもって行える、3) 評価してくれる人がいる、4) 負担感が少ない、5) 意欲が高い、6) 継続に自己効力感があることを挙げている。また、山崎²⁶⁾は高齢者にとって心理的な問題は身体機能に対する自信を喪失し、転倒や骨折及び痴呆などを招き、結果的に生活の質(QOL)の低下につながる可能性があることを示している。以上のことから本研究では、トレーニング及び測定の前後には、必ず各被検者の体調等の状態把握を行い、負担感がなく継続して行えるように、負荷設定を相談した上でトレーニングを行った。また、トレーニングを長期間行ったことで、被検者とコミュニケーションをとる機会を多く持つことができたので、処方する側と処方される側の精神的なつながりや信頼関係から、トレーニングに対する意欲や安心感を与えることができたと考える。これは、毎月行っていた口頭質問において、立位時や歩行時における精神的不安の解消や主観的評価の改善が見られたことからもうかがい知ることができる。

また、スポーツに見られる様々な動作は一側の伸展パターンと他側の屈曲パターンの組み合わせであり、姿勢反射の連続で無意識かつ瞬間的にその姿勢を形作っていると言われて¹³⁾。これは、日常動作でも同様であるため、多関節を同時に効率よく伸展・屈曲運動することが可能である「健歩くん」のような脚伸展・屈曲トレーニング機器の今後の活躍が大いに期待される。また、本研究では、自力歩行不可能な者に加え、現在または過去

に変形性膝関節症やパーキンソン病、あるいは半身軽度麻痺、糖尿病などを患っている被検者も含まれており、様々な被検者の歩行能力改善に良い影響を与えることができた。また、糖尿病を患う被検者2名の血糖値が改善された。そのため、筋力や関節可動域向上だけでなく、内科疾患の改善に役立つ運動としても有効に作用することが考えられる。

加えて、超高齢化社会に向けて、要介護度を悪化させないことだけでなく、高齢者予備群とされる中高齢者が要介護状態にならないような介護予防の取り組みも重要であると考ええる。そのため、トレーニング中の指導によっても歩幅の改善は可能であることから²⁴⁾、下肢筋力トレーニングに歩行トレーニングプログラムを加えるなど、個々や目的に合わせた運動プログラムの充実を図り、幅広い年代が無理なく継続して行えるような、より一層簡便で安全なトレーニング処方確立させていく必要がある。

V. 摘要

本研究では先行研究²²⁾で試作された下肢筋群伸展・屈曲動作の強化に有効と考えられる体重負荷式脚伸展・屈曲トレーニング機器「健歩くん」を用いて、20週間に渡る長期間の下肢筋力トレーニングを行った結果、以下の結論を得た。

1. 踵接地時における膝関節伸展角度と踵離地時における足関節底屈角度や膝関節伸展角度で高い有意差が見られ、角速度においても有意な向上が得られた。このことから、躓き防止だけでなく、姿勢制御反応の改善に好影響を与えたことが示唆された。また、足底前面での力強い蹴り出しが、体幹の前進速度を高めることにより、トレーニング開始前よりも明らかにダイナミックで力強い歩行動作を可能になったことが判明した。
2. 歩行中の各関節可動域や角速度の改善が、重複歩や歩行率及び歩行速度に有効

に作用したことが示唆された。また、下肢筋力や関節可動域にも顕著な向上が見られ、加えて一部にバランス能力の改善も見られたことから、それぞれの相乗効果によって、歩行能力改善に好影響を与えたことが示唆された。

3. 要介護度及び主観的評価の改善または骨密度や血糖値の改善など、精神面や様々な内科的疾患に対しても好影響を与える可能性があると考えられる。

以上のことから、「健歩くん」を用いた下肢筋力トレーニングが、介護予防対策の運動処方の一つに有効と考えられた。

参考文献

- 1) 秋山由里, 植屋清見, 竹内哲雄 (2003) 高齢者の歩行動作に関する体力科学及びバイオメカニクス～バイオメカニクス観点より～. 体力科学52(6). 802
- 2) 浅川康吉, 池添冬芽, 羽崎完, 黒木裕士, 高野一郎, 神先秀人 (1997) 高齢者における下肢筋力と起居・移動動作能力の関連性. 理学療法学24(4). 248-253
- 3) 分木ひとみ (2004) 高齢者の転倒不安とその要因. 体力科学53(6). 769
- 4) 千葉一雄, 平木治朗, 橋口伸, 安井平吉, 矢田定明, 井上裕美子 (2000) 高齢者の大腿骨頸部骨折に対する理学療法の再考—早期に独歩を獲得するためには—. 理学療法学27(6). 192-198
- 5) 藤原勝夫, 池上晴夫 (1981) 足圧中心位置と立位姿勢の安定性との関係について. 体育学研究26(2). 137-147
- 6) 古名丈人, 宮川知夏, 今泉寛, 西沢哲, 杉浦美穂, 青柳幸利, 奥住秀之, 関屋昇, 大淵修一 (2000) 筋力とバランスが中・高齢者の歩幅と歩行率に及ぼす影響について. 理学療法学27. 58
- 7) 伊東元, 長崎浩, 丸山仁司, 橋詰謙, 中村隆一 (1990) 健常老年者における最大歩行速度低下の決定因—重心動揺と歩行率の関連—. 理学療法学17(2). 123-125
- 8) James B., and Parker A.W. (1989) Active and passive mobility of lower limb joints in elderly men and women. *Can. J. Sports Sci.*, 16(3). 223-228
- 9) 金子公宥, 淵本隆文, 山本明美, 田中ひかる (1998) 高齢者の歩行運動に及ぼす意識的歩幅変化の影響. 体育科学26. 124-132
- 10) 衣笠隆, 芳賀脩光, 江崎和希, 笹原美智子, 勝村俊仁, 人見嘉哲, 木崎節子, 大野秀樹 (2004) 高齢者の筋力づくり運動が筋力および歩行速度, 歩幅, 歩行率に及ぼす影響. 体力科学53(6). 785
- 11) 久野譜也, 坂戸洋子 (2004) 高齢者になぜ筋力トレーニングが必要か. 体育の科学54(9). 712-719
- 12) 黒田善雄 (2001) 高齢者の体力と健康, その将来展望. 保健の科学43(6). 420-423
- 13) 南谷和利 (2003) 中高年者の健康のための運動, その条件. 保健の科学45(11). 788-792
- 14) 中村一平, 奥田昌之, 鹿毛治子, 國次一郎, 杉山真一, 藤井昭宏, 松原麻子, 丹伸介, 芳原達也 (2004) 高齢者に対する筋力増強訓練が身体能力に及ぼす効果に関するクロスオーバー研究, 山口医学53(6). 279-289
- 15) 西端泉, 島田広美, 田嶋美代子, 彦井浩孝 (2004) 高齢者の骨密度に及ぼす要因の検討—特に体格, 運動量および筋力の影響について—. 川崎市立看護短期大学紀要9(1). 9-17
- 16) 西澤哲, 古名丈人, 杉浦美穂, 奥住秀之, 長崎浩, 伊藤元, 藤田祐樹, 荻上真理, 上田裕 (2000) 高齢者歩行の決定要因. バイオメカニズム15. 131-140
- 17) 岡田英孝 (2000) 高齢者の歩行とランニング. 体育の科学50(1). 6-12
- 18) 酒井美園, 大淵修一, 柴喜嵩, 佐藤春彦, 二見俊郎 (2004) 加齢が歩行時外乱刺激に対する姿勢制御反応に及ぼす影響—地域在住高齢者と若年者の比較—. 理学療法学 31. 521
- 19) 鴛田聡, 青柳幸利 (2004) 足底の接地面積に着目した高齢者の歩行能力の定量評価. 電子情報通信学会論文誌87(7). 796-799
- 20) 数藤恭子, 鴛田聡, 飯田行恭, 大塚作一 (2000) 足圧の時空間特徴による歩行分析. 電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集. 257

- 21) 植松光俊, 金子公宥 (1997) 高齢女性の自由歩行における下肢関節モーメント. 理学療法学24(7). 369-376
- 22) 植松光俊, 矢部京之助 (1998) 高齢女性の自由歩行と速歩における下肢関節モーメント・ピーク出現時点の分析. 理学療法学25. 149
- 23) Vendervoot A. (1991) Aging of the human neuromuscular system. Muscle Nerve 25. 17-25
- 24) 若吉浩二, 和田洋明 (2006) 要介護高齢者を対象とした下肢伸展・屈曲筋力トレーニングに伴う歩行能力への影響. 奈良教育大学紀要55(2). 29-36
- 25) 渡部和彦 (1993) 高齢者歩行時の障害物への対応. 保健の科学第35(2). 93-97
- 26) 山崎裕司, 横山仁志, 青木詩子, 黒澤保壽, 山田純生, 青木治人, 田辺一彦, 長田尚彦 (1997) 高齢患者の膝伸展筋力と歩行スピード, 歩行自立度の関連. 理学療法学24. 45
- 27) 柳川和優, 磨井祥夫, 安部大治郎, 渡部和彦 (1998) 青年と高齢者における歩行動作の比較—足部の運動特性に着目して—. 体力科学47(1). 131-141
- 28) 柳川和優, 磨井祥夫, 山口立雄, 渡部和彦 (2002) 筋放電パターンから見た高齢者における歩行動作の特徴. 日本運動生理学雑誌9(1). 33-45

