

高齢者を中心とした身体能力の向上

愛知学院大学 佐藤 祐造
(共同研究者) 同 長崎 大
名古屋大学 島岡 清
同 徳留 みずほ

How to Improve Physical Capacities in The Elderly

by

Yuzo Sato, Masaru Nagasaki

Department of Health Science,

Faculty of Psychological and Physical Science, Aichi Gakuin University

Kiyoshi Shimaoka, Mizuho Tokudome

Research Center of Health, Physical Fitness and Sports,

Nagoya University

ABSTRACT

It has been well-known that decreased physical capacities, decreased physical fitness and metabolic disturbances such as glucose intolerance, hyperlipidemia and insulin resistance are induced by aging. The aim of this study was to investigate the effects of home-based resistance training on the decreased physical and metabolic conditions in the elderly and to establish the exercise prescription for the improvement of physical activities in the elderly. Following studies were performed.

Two hundred eleven healthy aged subjects participated in home-based resistance training programs for 3 months. Before and after the training program physical fitness and blood glucose and lipid metabolism were estimated. Another 24 aged diabetic patients received physical exercise training course consisting of 3 times physical education.

Before and after each training program blood glucose was determined and before and after

the training course physical and blood chemical examinations were carried out. Paper questionnaires were also performed after the training course.

Results obtained were as follows;

1) Among 136 healthy aged subjects after resistance training, total cholesterol levels didn't changed ($226 \pm 32 \rightarrow 224 \pm 32 \text{mg/dl}$), HDL-cholesterol concentrations significantly increased ($60 \pm 14 \rightarrow 62 \pm 15 \text{mg/dl}$, $p < 0.001$) and triglyceride levels significantly decreased ($125 \pm 70 \rightarrow 111 \pm 55 \text{mg/dl}$, $p < 0.05$). In 75 hypercholesterolemic ($\geq 220 \text{mg/dl}$) patients, total cholesterol levels significantly decreased ($248 \pm 21 \rightarrow 239 \pm 29 \text{mg/dl}$, $p < 0.05$) after resistance training. However no significant changes were observed in fasting plasma glucose, insulin concentrations and HOMA-IR after resistance training.

In order to estimate insulin sensitivity, euglycemic clamp studies were performed in 3 subjects. Glucose infusion rate (GIR) increased from 5.7 ± 7.7 to $7.7 \pm 3.2 \text{mg/kg/min}$ after resistance training.

2) Among 75 aged healthy subjects, flexibilities of extremities and physical balance maintaining capacities were improved after home-based resistance training.

3) Among 24 aged diabetic patients, blood glucose concentrations decreased immediately after physical exercise. However no significant changes were observed in physical examinations and blood chemical data after 6 months of training course. It is remarkable that 90% of the patients continued physical exercise after 6 months of training course.

In conclusion, home-based resistance training programs were effective for the improvement of physical capacities in the elderly people and have beneficial effects for the prevention and the treatment of lifestyle related diseases such as diabetes, hyperlipidemia and atherosclerosis.

要 旨

高齢者では身体能力が低下し、糖・脂質代謝異常やインスリン抵抗性がみられることは周知の事実である。本研究の目的は、高齢者が自宅で実施可能なレジスタンストレーニングが高齢者の身体能力に及ぼす影響を追及することと、高齢者の身体能力を向上させうる運動処方の開発である。

211名の健康高齢者が研究に参加し、3カ月間のレジスタンストレーニング前後で、体力測定や糖・脂質代謝変動につき検討を加えた。他の24名の高齢糖尿病患者が3回で1クールとなる運動教室を受講し、各運動プログラム前後に血糖測定

を行ない、教室終了6カ月後に諸検査を実施するとともに、文書によるアンケート調査を行なった。以下の結果が得られた。

①136名の健康な高齢者での検討ではレジスタンストレーニング後、HDL-コレステロールが有意に上昇し ($60 \pm 14 \rightarrow 62 \pm 15 \text{mg/dl}$, $p < 0.001$), 中性脂肪が有意に低下した ($125 \pm 70 \rightarrow 111 \pm 55 \text{mg/dl}$, $P < 0.05$)。また、総コレステロール 220mg/dl 以上の高脂血症患者では、総コレステロールも有意に低下した ($248 \pm 21 \rightarrow 239 \pm 29 \text{mg/dl}$, $p < 0.05$)。また、正常血糖クランプによりインスリン感受性も改善した。

②75名の高齢者での検討により、レジスタンス

ストレッチングの実施は、長座位体前屈、最大1歩幅、身体反応時間およびバランス保持機能など高齢者の生活活動能力の維持、向上に有用であることが判明した。

③24名の糖尿病患者に軽運動を実施させた運動教室は、高齢糖尿病患者の運動後の血糖値を低下させ、また、運動習慣の定着に有用であることが示唆された。以上の事実は、home-basedのレジスタンストレーニングの実施は、高齢者、高齢糖尿病患者の身体能力の維持、向上に有用であることを示唆している。

緒言

現在わが国は世界一の長寿国となり、高齢社会となった。すなわち、平成13年の総人口構成は、年少人口(0～14歳)14.4%、生産年齢人口(15～64歳)67.7%、老年人口(65歳以上)18.0%となっている。平成15年の総務省発表によれば19.0%となっており、2年間で1.0%増加と人口の高齢化が急速に進行している。国立社会保障・人口問題研究所の推計では、老年人口は平成25(2015)年には26.0%と総人口の4人に1人を占め、平成62(2050)年には35.7%に達すると見込まれている¹⁾。したがって、医学・医療面をはじめとする高齢者対策は今後なお一層必要性が増大することは改めて述べるまでもない。

一方、加齢に伴い、瞬発力、敏捷性、脚筋力、柔軟性、全身持久力(最大酸素摂取量)などの体力、生理的予備力が低下することは周知の事実である。また、加齢に随伴し、インスリン作用が低下し(インスリン抵抗性)、糖尿病、高血圧症、高脂血症および動脈硬化性疾患など「生活習慣病」に罹患する頻度も増加する²⁾。

食生活の是正と身体トレーニングの実施は、体力を回復させるだけでなく、個体のインスリン抵抗性を改善させ、糖・脂質代謝も改善、糖尿病、高血圧症、高脂血症や動脈硬化性疾患の予防・治

療に役立つことが報告されている³⁾。

すでに、私どもの共同研究者北村(現在国立長寿医療研究センター疫学研究部)^{4,5)}は、油圧抵抗マシン(Pace, Henley Health Care Co.TX, USA)を用いたレジスタンス(筋力)トレーニングと有酸素運動の併用トレーニングが、高齢者に認められるインスリン抵抗性を改善させる事実を報告している。しかしながら、本機器は高価であり、保健センターなど健康増進施設における普及率は低い。

本研究の主な目的は、高齢者の糖尿病、高血圧症、高脂血症および動脈硬化性疾患など「生活習慣病」の予防、治療およびQOLの維持・向上が可能で、高齢者自身が日常生活の中で自主的にトレーニング実施可能な運動処方の開発である。具体的には、高齢者に数カ月間身体トレーニングを実施、体力、運動能力の推移について検索し、糖・脂質代謝面にも種々検討を加えたので報告する。

1. 研究方法

1.1 被験者

対象はメディカルチェックにてレジスタンス運動が実施可能と判定された愛知県在住の高齢者211名(男性15名、女性196名)および高齢糖尿病患者24名(男性4名、女性20名)の合計235名である。また、被験者は、健康な日常生活を営む無償ボランティアである。さらに、本研究は、名古屋大学総合保健体育科学センター倫理委員会の承認のもとに行なわれ、ヘルシンキ宣言の主旨に従い、被験者に対しては、研究内容、方法、起こりうる危険性等につき医師より十分な説明を行ない、文書による同意を得て実施した。

- a. 糖・脂質代謝観察群136名(男性15名、女性121名、年齢:68±5歳)
- b. 生活活動能力観察群75名(女性のみ、67±4歳)
- c. 高齢糖尿病患者群24名(男性4名、女性20名、

年齢:67±4歳)

の3群に分け検討を加えた。

1. 2 トレーニング方法

a. 糖・脂質代謝観察群

身体トレーニングは、被験者本人の体重やゴムチューブ（レップバンド[®]， Magister Co.TN, USA）を利用した比較的強度の運動を指導した。道具を使わない種目（図1）を6種類，チューブを用いた種目（図2）を5種類，合計11種類の運動をそれぞれ10回ずつ反復して行なうよう指導した。レジスタンス運動は愛知県健康づくりリーダーズ協議会所属の健康運動指導士が愛知県内の高齢者福祉サービス施設にて2週に1回指導を行ない，他は自宅で週3日以上実施するよう指示した。また，歩数計を被験者に配布し，1日1万歩以上の歩行も行なうことが望ましいことを説明し，配布した記録ノートに運動の実施状況を記入させ，12週間のトレーニング期間後回収した。

b. 生活活動能力観察群

トレーニングはa群と同様の道具を使わないトレーニング6種類（図1）とゴムチューブやボールを用いた運動6種類（図2）の実施を指導した。運動指導は名古屋大学総合保健体育科学センターの体育教官が総合指導を行ない，同大大幸医療センタートレーニング室および半田市保健センターにて健康運動指導士が直接指導を行なった。トレーニングは10回を1セットとし，どちらか一方の運動処方を週3日以上実施するよう指導し，a群と同様，運動ノートを12週間のトレーニング後に回収した。

トレーニング効果を比較検討の目的で名古屋市在住者34名（年齢65±5歳）には，トレーニング開始前3カ月間をコントロール期間とした。コントロール期間には，トレーニングを実施せず，各自の従来 of 生活習慣を3カ月間続けさせた。被験者の身体特性を表1に示す。

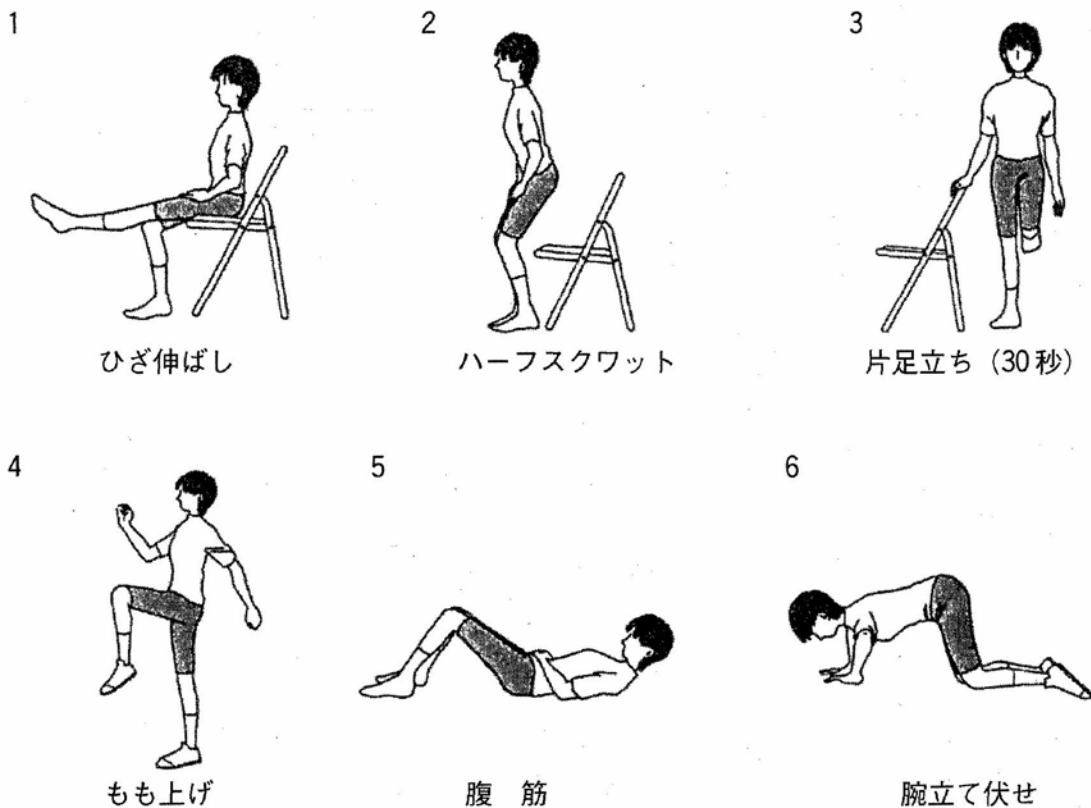


図1 道具を用いないレジスタンストレーニング

表1 被験者（生活活動能力観察群）の身体特性

	n	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)	BMI
コントロール群	34	65.2 ±4.6	150.9 ±3.6	49.4 ±5.2	21.7 ±2.4
トレーニング群	75	66.5 ±4.3	150.1 ±4.3	50.1 ±6.3	22.3 ±3.0

c. 高齢糖尿病患者群

対象は愛知県半田市S医院通院中の糖尿病患者で、医師の指示により、健康運動指導士が運動指導を実施した患者である。

3回1クールの教室（表2）を開催、看護師の管理のもとに実施した。1回の指導時間は60分であった。

表2 糖尿病患者の指導内容

第1回	第2回	第3回
・過去の運動歴等 ・呼吸について ・呼吸法の実技 ・座位による体操	・復習 ・座位による ストレッチング ・軽い筋力 トレーニング	・復習 ・歩き方 ・生活基本動作 ・今後について

1. 3 測定項目

a. 糖・脂質代謝観察群

1) 身体計測

身長、体重、体脂肪量（インピーダンス法、(株)タニタ）を測定した。

早朝空腹時、肘静脈より採血し、以下の項目の測定を行なった。

2) 糖代謝

血糖（グルコースオキシダーゼ法）、HbA1c（ラテックス凝集法）、インスリン（二抗体法）を測定した。

3) HOMA-IR（ホマー指数）

インスリン抵抗性の指標として、空腹時血糖値（mg/dl）×血中インスリン（ μ U/ml）/405の計算式でHOMAR-IRを算出した。

4) グルコース注入率（GIR）

3名の健常高齢者（70±7歳）にインスリン注

1



両ひざではさむ

2



ひざの裏側ではさむ

3



両ひざを開く

4



ローイング

5



もも上げ

6



レッグプレス

4～6は山本利春「チューブ体操健康法より」

図2 ボールやチューブを用いたレジスタンストレーニング

入率 $40\text{mU}/\text{m}^2/\text{分}$ の正常血糖クランプ (euglycemic clamp) 法を実施した。グルコース注入率 (glucose infusion rate; GIR) をインスリン作用の指標とした。

5) 血清脂質

血清総コレステロール (酵素法), HDL-コレステロール (酵素法), 中性脂肪 (酵素法) を測定した。

b. 生活活動強度観察群

1) 身体計測

身長, 体重, 体脂肪率 (インピーダンス法, (株) タニタ) を測定した。

2) 長座体前屈

長座体前屈器 (マルチボックス, (株) 竹井機器) を用い, 座位姿勢からどれだけ上体を前屈できるか測定した。

3) 最大1歩幅

大腿で10歩歩行させ, 平均値を算出した。

4) 反応時間

反応時間測定器 (全身反応時間測定器, (株) 竹井機器) を用いた。

(1) 単純反応時間: 赤色の光刺戟に対する手指での反応時間。

(2) 全身反応時間: 赤色の光刺戟に対し, ジャンプし, マットから両足が離れる時間。

いずれも数回の練習後, 連続5回測定, 中間値3つの平均値。

5) バランス保持機能

重心動揺測定装置 (アクティブバランス, (株) 酒井医療) を用い, 30秒間の開眼両足および片足立位時の重心動揺軌跡長を測定した。

6) 握力

デジタル握力計 ((株) 竹井機器) を用いて左右の握力を測定した。

7) 最大ペタリングトルク

機器の関係もあり, 名古屋市在住者のみを対象に, 脚力の指標としてストレングスエルゴ ((株)

三菱電機) を用いて両足の最大ペタリングトルクを測定した。

座位姿勢から最大努力でペダルをこがせ, 最大トルクを測定した。回転速度は50回転/分とした。

c. 高齢者糖尿病患者群

毎回指導開始前に看護師の問診, 血圧測定, 指導前後に血糖値を測定した。

教室開催6カ月後にアンケート調査を行なった。また, 教室参加前後に採血を行ない, 糖・脂質代謝の変動を観察した。

1. 4 統計学的解析

測定値は, 平均値±標準偏差で示した。各群のトレーニング前後での比較には paired t test 用い, $p < 0.05$ をもって有意水準とした。

2. 研究結果

a. 糖・脂質代謝観察群

1) 体重, 体脂肪率

トレーニング前の体重は $51.4 \pm 6.5\text{kg}$, BMI は 22.5 ± 6.5 , 体脂肪率は $26.1 \pm 0.6\%$ であった。トレーニング後にはそれぞれ $51.4 \pm 6.6\text{kg}$, 22.6 ± 2.7 , $26.2 \pm 6.3\%$ といずれも有意の変動はなかった。

2) 糖代謝 (図3)

トレーニング前の空腹時血糖は $96 \pm 13\text{mg}/\text{dl}$, 血中インスリンは $6.3 \pm 2.1 \mu\text{U}/\text{ml}$, HbA_{1c} は $5.2 \pm 0.5\%$ であった。トレーニング後もそれぞれ $97 \pm 15\text{mg}/\text{dl}$, $6.3 \pm 2.3 \mu\text{U}/\text{ml}$, $5.2 \pm 0.6\%$ とトレーニング前後で有意差はなかった。

3) HOMA-IR (図3)

トレーニング前 1.5 ± 0.6 はトレーニング後も 1.5 ± 0.7 とトレーニング前後で有意の変動を認めなかった。

4) グルコース注入率 (GIR)

トレーニング前の $\text{GIR} 5.7 \pm 7.7\text{mg}/\text{kg}/\text{分}$ はトレーニング後 $7.7 \pm 3.2\text{mg}/\text{kg}/\text{分}$ とトレーニング前に

比して35%増大した。

5) 血清脂質

トレーニング前の総コレステロールは226 ± 32mg/dl, HDL-コレステロールは60 ± 14mg/dl, 中性脂肪は125 ± 70mg/dlであった。トレーニング後はそれぞれ224 ± 32mg/dl, 62 ± 15mg/dl, 111 ± 55mg/dlと, HDL-コレステロールは有意に (p<0.001) 上昇し, 中性脂肪は有意に (p<0.05) 低下した (図4)。

被験者の中で総コレステロールが220mg/dl 以上を示した高脂血症患者75名について検討を加えた。

その結果, トレーニング前後で総コレステロールが248 ± 21 → 239 ± 29mg/dl と有意に (p<0.05) 低下, HDL-コレステロールは61 ± 15 → 63 ± 16mg/dl と有意に (p<0.001) 上昇, 中性脂肪は132 ± 78 → 113 ± 59mg/dl と有意に (p<0.05) 低下した (図5)。

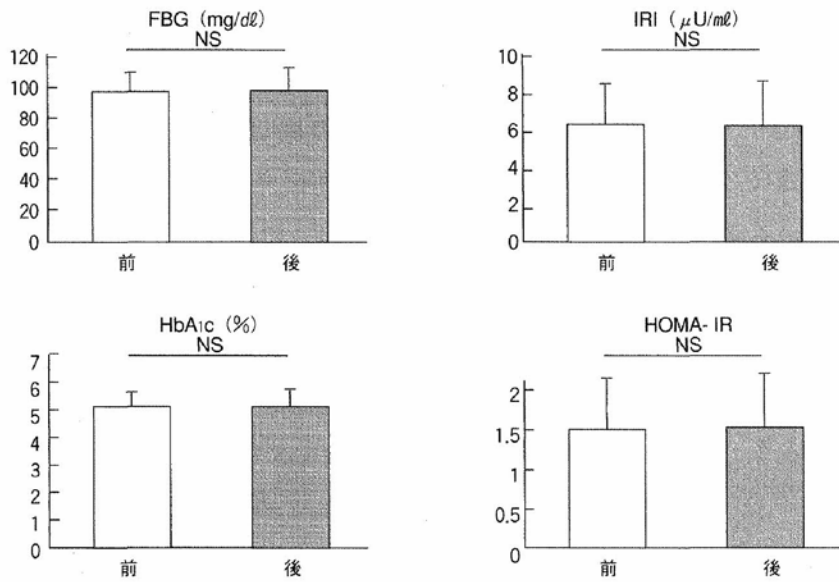


図3 糖代謝の変化 (N = 136)

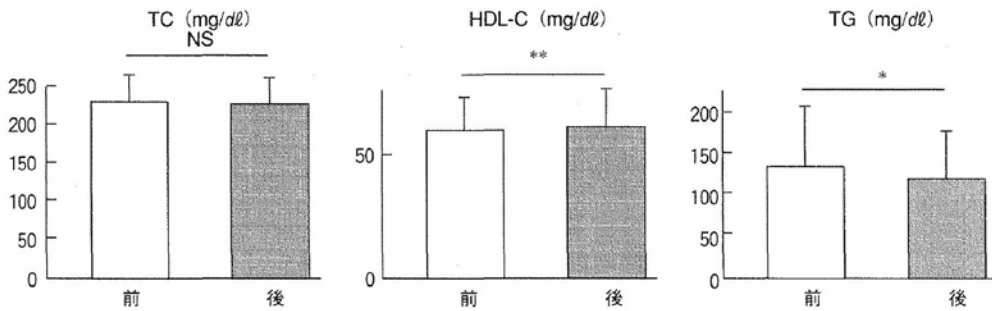


図4 脂質代謝の変化 (N = 136) * : p<0.05, ** : p<0.001

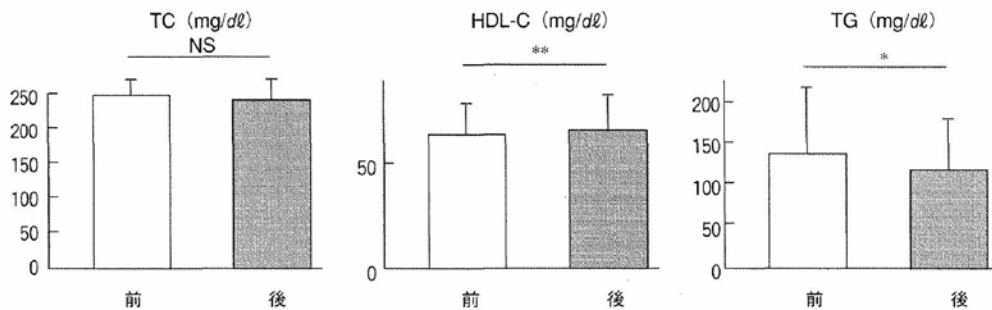


図5 高脂血症患者の脂質代謝の変化 (N = 75) * : p<0.05, ** : p<0.001

b. 生活活動強度観察群

1) トレーニング実施状況

ウォーキングは平均3.5回/週，ストレッチング4.4回/週，レジスタンストレーニングは3.5回/週実施していた。

トレーニング期間中の平均身体活動量は7,847 ± 2,400歩/日であった。

2) 体重，体脂肪率

体重はコントロール群で49.4 ± 5.2 → 49.7 ± 5.1kgとわずかではあるが有意に (p<0.05) 増加した。一方，トレーニング群では50.1 ± 6.3 → 49.3 ± 6.2と有意に (p<0.05) 減少した。BMIはコントロール群では21.7 ± 2.4 → 21.8 ± 2.3と変化しなかったが，トレーニング群では22.3 ± 3.0 → 21.9 ± 2.8と有意に (p<0.05) 減少した。しか

し，体脂肪率はコントロール群27.1 ± 4.9 → 26.9 ± 4.6%，トレーニング群27.7 ± 6.4%と両群ともトレーニング前後で有意の変化を認めなかった。

3) 長座体前屈 (図6)

コントロール群では有意な変化はなかったが，トレーニング群では有意に (p<0.001) 増加した。

4) 最大1歩幅 (図7)

コントロール群では有意な変化はなかったが，トレーニング群では有意に (p<0.001) 増加した。

5) 反応時間

全身反応時間 (図8)，単純反応時間 (図9) 両者とも，コントロール群では有意な変化はなかったが，トレーニング群ではいずれも有意に (p<0.001) 減少した。

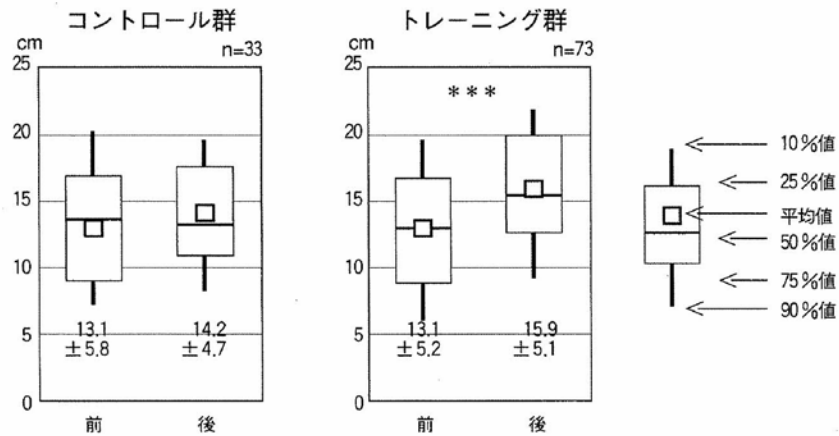


図6 長座体前屈の変化 *** : p<0.001

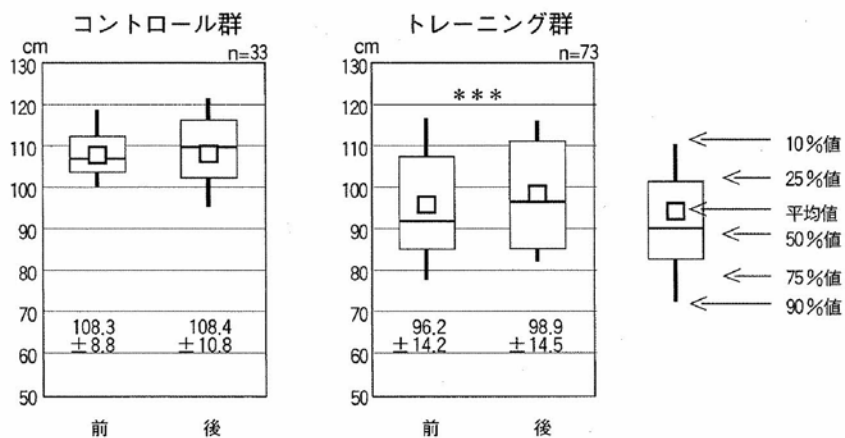


図7 最大1歩幅の変化 *** : p<0.001

6) バランス保持機能

両足立位時 (図10) および片足立位時 (図11) の重心動揺軌跡長は、両者ともコントロール群では有意な変化はなかったが、トレーニング群ではいずれも有意に (前者が $p<0.001$, 後者は $p<0.05$)

減少した。

7) 握力

コントロール群では $23.9 \pm 3.3 \rightarrow 23.7 \pm 4.1\text{kg}$, トレーニング群では $24.4 \pm 3.8 \rightarrow 24.3 \pm 4.5\text{kg}$ と両群ともトレーニング前後で有意の変化を認めな

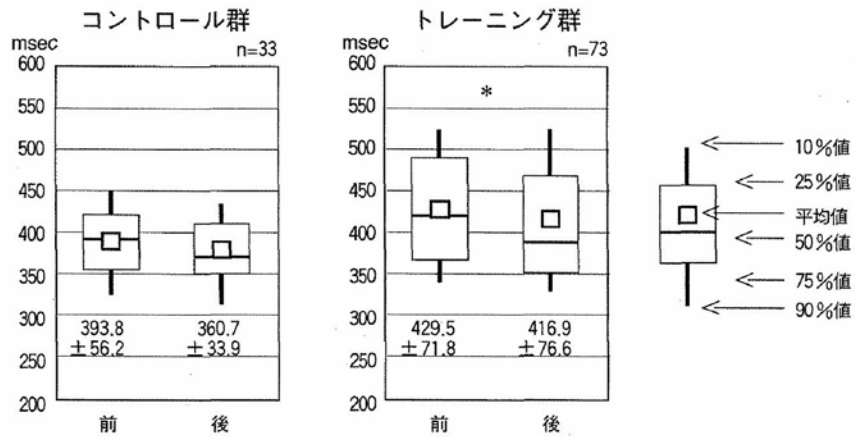


図8 全身反応時間の変化 * : $p<0.05$

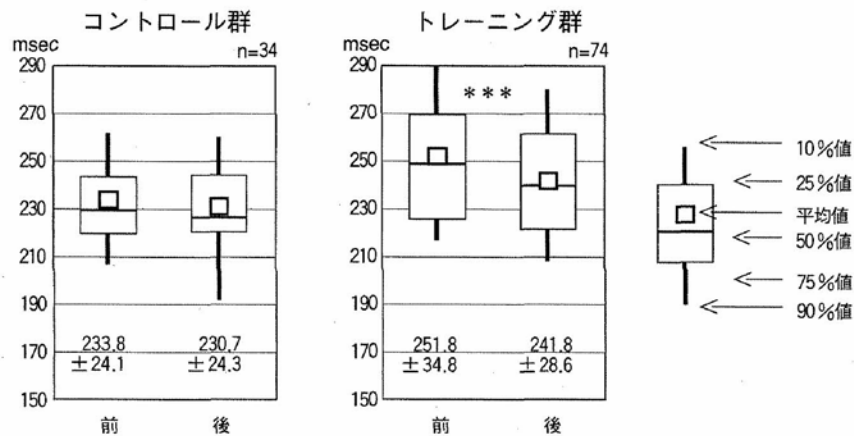


図9 単純反応時間の変化 *** : $p<0.001$

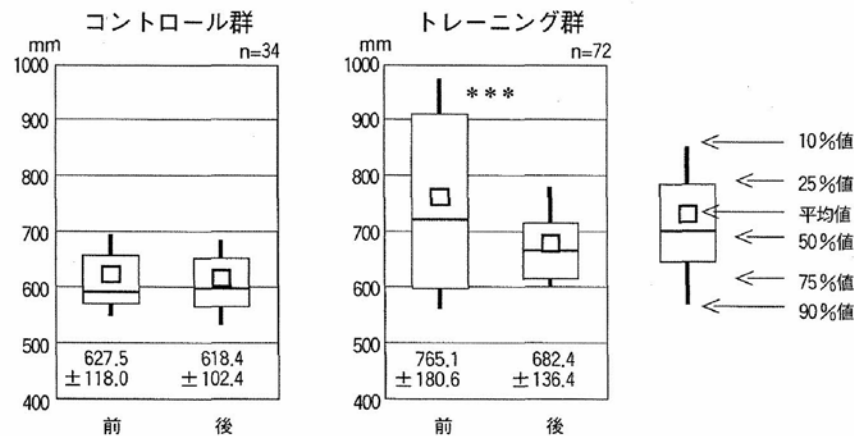


図10 両足立位・重心動揺軌跡長の変化 *** : $p<0.001$

かった。

8) 最大ペタリングトルク (図12)

両足の平均値で、コントロール群では有意に ($p < 0.001$) 増加したが、トレーニング群では有意差はなかった。

トレーニング前後における生活活動強度を総括すれば表3のごとくとなる。

c. 高齢糖尿病患者群

1) 血糖値

毎回の運動指導前後の血糖値を図13に示す。

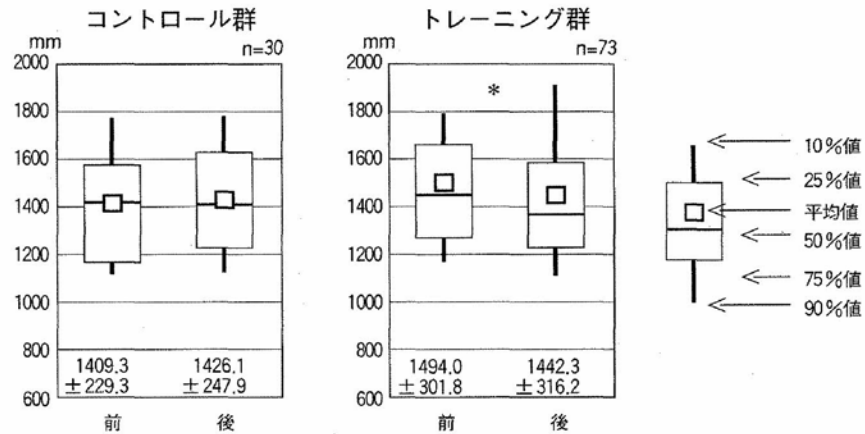


図11 片足立位・重心動揺軌跡長の変化 * : $p < 0.05$

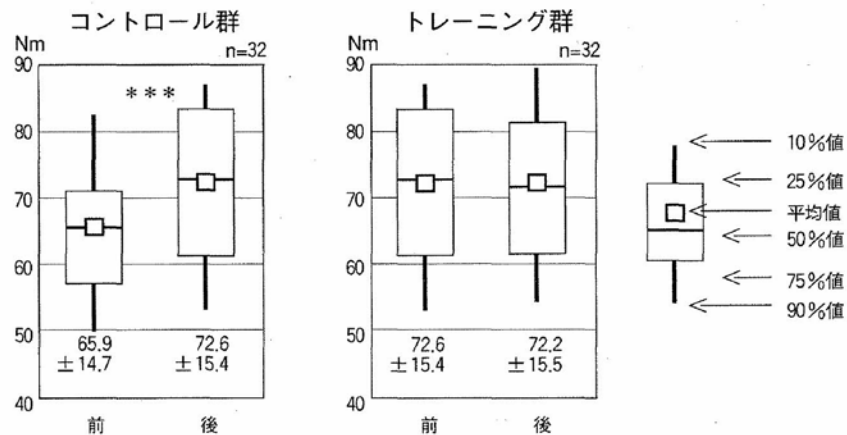


図12 最大ペダリングトルクの変化 *** : $p < 0.001$

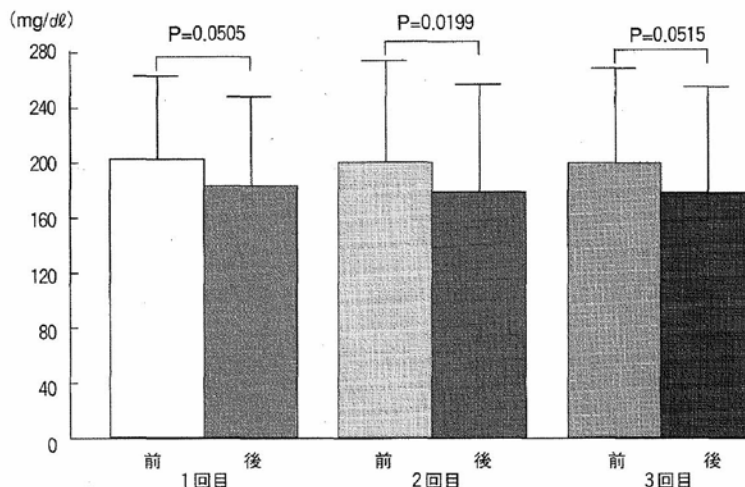


図13 高齢糖尿病患者運動前後の血糖値 Values are means \pm S. D.

第1回の運動指導では、 $203 \pm 60 \rightarrow 184 \pm 64$ と運動後に平均 19mg/dl 低下した ($p=0.0505$)。第2回では $201 \pm 73 \rightarrow 180 \pm 77$ と運動後には平均 22mg/dl と有意に ($p=0.011$) 低下した。第3回には $200 \pm 68 \rightarrow 179 \pm 76$ と平均 21mg/dl 低下した ($p=0.0515$)。

2) 運動教室前後の検査成績の比較 (表4)

運動教室1クール3回終了前後で、体重、血圧、HbA1c、総コレステロール、中性脂肪に有意の変動はなかった。空腹時血糖値は平均 29mg/dl 低下したが、有意差はなかった。

3) アンケート調査成績 (表5)

運動教室終了6カ月後にも、運動を実行しているとの解答が90%を占めたのは注目すべき結果と思われる。実行している運動は、ウォーキング、腹式呼吸、腕振りが多かった。

表3 生活活動強度の変動 (総括)

	コントロール群	トレーニング群
身体活動量 (歩数)	—	—
体重	↑ *	↓ *
体脂肪率	—	—
長座体前屈	—	↑ ***
最大1歩幅	—	↑ ***
前身反応時間	—	↓ *
単純反応時間	—	↓ ***
重心動揺軌跡長 (両足)	—	↓ ***
重心動揺軌跡長 (片足)	—	↓ *
握力	—	—
最大バダリングトルク	↑ ***	—

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

3. 考 察

高齢社会を迎え、EBM (evidence based medicine) に基づく高齢者の健康を維持、増進させる施策が必要とされている。

すでに、私どもの研究室北村^{4,5)}は、油圧抵抗マシンを用いたレジスタンストレーニングが高齢者のインスリン作用に及ぼす影響について検討を加えている。すなわち、健常男性高齢者12名 (平均68歳) を、レジスタンス運動単独トレーニング (RT) 群と有酸素運動とレジスタンス運動併用トレーニング (CT) 群に分け、週3日、12週間トレーニングを実施した。トレーニング前後で、インスリン注入率 $40\text{mU/m}^2/\text{分}$ および $400\text{mU/m}^2/\text{分}$ の2段階正常血糖クランプ法を実施し、前者のGIRをインスリン感受性、後者をインスリン反応性の指標とした。トレーニングにより

表4 教室前後の検査成績の比較

項目	例数(n)	前	後	有意差(P=)
体重 (kg)	20	60.7 ± 11	60.7 ± 11	0.9568
血圧 (mmHg)				
最高	21	136 ± 18	138 ± 18	0.5843
最低	21	67 ± 8	72 ± 10	0.0644
血糖値 (mg/dl)				
空腹	9	191 ± 88	162 ± 69	0.3911
随時	14	212 ± 90	203 ± 97	0.687
HbA1C	22	8.4 ± 1.5	8.2 ± 1.4	0.4036
総コレステロール(mg/dl)	22	218 ± 38	225 ± 66	0.6082
中性脂肪(mg/dl)	22	184 ± 111	201 ± 128	0.5338

Values are mean \pm S.D.

表5 糖尿病患者アンケート調査結果

(アンケート回収率 83%・20人)

1, 今回の運動教室参加は	初めて70%・2回目以上30%
2, 運動教室の指導内容を	よく覚えている75%・覚えていない25%
3, 今回の教室で初めて知ったことが	あった65%・なかった35%
4, 実行している人はどんなことを	していますか。(実行している人18人・複数回答)
	ウォーキング(10人)・腹式呼吸(10人)・腕振り(10人)・体操(6人)・片足立ち(5人)・イスで立ったり座ったり(4人)・その場駆け足(4人)・ころころする(2人)など
5, 運動した後の気分は	よい72%・ふつう11%・わからない17%
6, 生活の中でなるべく体を動かすように	している88%・していない12%
7, 教室の頃と比べて体調が	よくなった56%・かわらない44%
8, 実行していない人は、運動できない理由がありますか	運動すると体がえらいから・何をしたらよいか分からない・運動は苦手だから
9, 今回の運動教室に参加してから、運動についての考えが	かわった75%・かわらない25%

体重あたりのGIRは、RT、CT両群ともいずれも有意に増大した（RT群ではインスリン注入率40mU/m²/分のみ）。一方、筋重量あたりのGIRは、CT群では有意に増大したが、RT群では有意な変動を示さなかった。

以上の結果を踏まえ、北村^{4,5)}は高齢者の運動療法実施に際しては、レジスタンス運動単独より、有酸素運動に加えて、レジスタンス運動を併用すべきであると述べている。

今回私どもは、特別な装置、機器を必要とせず、高齢者が自宅等にて手軽に実施できるレジスタンストレーニングの有用性に関して、次の3つのアプローチから検討を加えた。

- ①糖・脂質代謝観察群、②生活活動能力観察群、③高齢糖尿病患者群

加齢に伴い、インスリン作用が低下することはよく知られている¹⁾。私ども⁶⁾も加齢と体の非活動性がインスリン作用に及ぼす影響について検討を加えた。その結果、加齢にいわゆる「寝たきり」のような身体的不活動性が加われば、糖処理能力の低下がより一層顕著となるが、インスリン作用低下（インスリン抵抗性）も身体トレーニングの実施により防止可能であることを明らかにしている。

また、インスリン抵抗性改善のメカニズムについて、私どもの研究室のNakaiら⁷⁾は、トレーニングラット骨格筋細胞膜分のGLUT4蛋白量の増加を、Nagasakiら⁸⁾は骨格筋IRS-1遺伝子発現の上昇と蛋白量の維持、PI3-kinaseの蛋白量の維持を報告しており、骨格筋細胞内のインスリンシグナル伝達経路の関与が示唆された。

一方、レジスタンストレーニングに関しては、必ずしも一致した見解となっていない。

すなわち、Millerら⁹⁾は、高齢者にレジスタンス運動トレーニングを実施し、筋量の増大に関係なく、インスリン作用が改善したと報告している。Ishiiら¹⁰⁾も、糖尿病患者にレジスタンストレーニングを実施し、 $\dot{V}O_{2max}$ が増大していないにも

関わらず、インスリン作用が改善したと述べている。

しかしながら、Poehlman¹¹⁾は若年女性に有酸素運動トレーニングとレジスタンス運動トレーニングを実施し、両群でインスリン作用は増大したが、除脂肪体重あたりのインスリン作用に換算すれば、レジスタンス運動群では有意差を認めなかったとしており、レジスタンス運動トレーニングによるインスリン作用の改善は、筋量の増大によることを示唆している成績である。

私ども¹²⁾は長距離走選手、重量挙げ選手に正常血糖クランプ法を実施し、対照群と比較した。その結果、ジョギングで代表される有酸素運動は、重量挙げのような無酸素運動（レジスタンストレーニング）より個体のインスリン作用改善に有用であることを明らかにしている。

今回の私どもの検討成績では、軽度のレジスタンストレーニング実施3カ月後、HDL-コレステロールが有意に上昇、中性脂肪が有意に低下した。また、総コレステロール220mg/dl以上の者75名では総コレステロールも低下するなど脂質代謝面で明らかな改善を認め、レジスタンストレーニングがanti-atherogenicに作用することが示唆された。一方、空腹時血糖、インスリンはトレーニング前後で有意の変動は認めず、両者から算出したHOMA-IRも変化しなかった。しかし、HOMA-IRは肝におけるインスリン感受性も反映しているとされており¹³⁾、今後筋のインスリン感受性を評価するgold standardとされている正常血糖クランプ法（インスリン注入率40mU/m²/分¹⁴⁾を用いて検討を加えることとした。高齢者3名に予備的に実施したところ、トレーニング前後で $5.7 \pm 2.5 \rightarrow 7.7 \pm 3.2$ mg/kg/分とグルコース注入率が明らかに増大した成績を得ている。

以上、自己の体重、タイヤチューブなど高齢者が自宅で実施しうるレジスタンストレーニングが高齢者の糖・脂質代謝面の改善作用を有すること

が示唆された。

次に生活活動強度観察群に関して、トレーニング期間中は平均7,847歩/日であった。この歩数は名古屋市の「市民健康づくり教室」に参加した中高年者のうち、週3日程度運動を実施していた者に相当する身体活動量であった¹⁵⁾。トレーニング期間中歩数の変化はなかったため、今回の調査成績にはウォーキングの影響はほとんどなかったとしてよいものと思われる。

トレーニングメニューは、道具を使わないものとボールやゴムチューブを用いた運動処方を用意した。用具を渡すことにより動機付けを高めるとともに、2種類のメニューを提供することで被験者に飽きが来ないようにすることを目的とした。

トレーニング後、トレーニング群では体重が減少したが、体脂肪量は変化しなかった。このことは、除脂肪体重が減少したことを示唆している。しかし、レジスタンストレーニングにより除脂肪体重が減少したとは考えにくく、インピーダンス法による体脂肪量の測定法自体に問題が残されているものと思われる。

柔軟性の測定法として以前は、立位体前屈法で行なっていたが、腰痛を招く可能性があり、高齢者では転倒などの危険性もあった¹⁶⁾。そこで、本研究では、長座位体前屈法を用いた。柔軟性は有意に増加したが、主として準備運動として行なったストレッチングの効果と考えられ、レジスタンストレーニングの影響は必ずしも大きくないものと推定される。

最大1歩幅も、トレーニング後有意に改善した。大幅で歩くためには、股関節の柔軟性と下肢筋力が必要である。しかし、最大ペダリングトルクには変化がなく、下肢筋力改善の関与は少なく、今回の1歩幅の改善には前者が大きな要因となっていると推測される。

刺戟に対する反応時間は、加齢に伴い、遅延することが知られている¹⁷⁾。本研究では、全身反

応時間、単純反応時間両者とも有意な改善を認めしたが、レジスタンストレーニングにより、筋収縮過程および知覚系の認知過程両者が改善した可能性が推測される。

被験者のバランス保持機能を示す指標として、本研究では開眼両足および片足立位時の重心動揺軌跡長を測定した。日本平衡神経学会の基準では、両足を接して60秒間直立姿勢を維持することを基本としている¹⁸⁾。今回は短時間で多くの被験者の測定を行なう必要があり、要介護者との比較検討のため資料を得ることも目的の一つとしており、両足の間隔を1~2cm平行に開き、30秒間の立位姿勢で測定した。トレーニング群ではバランス保持機能の改善を認めたが、コントロール群では変化しなかった。

握力も測定したが、トレーニング前後で有意な改善がみられなかった。しかし、今回のトレーニングメニューには握力に関するものはなく、当然の現象と思われる。

最大ペダリングトルクは、コントロール群で増加し、トレーニング群では変化を認めないという矛盾した結果となった。今回の研究において、トレーニング期間中、被験者は3.5回/週トレーニングを実施しており、下肢筋力の改善を見込みうる条件と考えられるが¹⁹⁾、変化はなかった。これには、トレーニング期間が短いなどの可能性が推察される。しかし、コントロール群ではトレーニングを実施していないにも関わらず、下肢筋力が改善されるという結果が得られており、いずれにしても測定方法等を含め、再検討を要するものと思われる。

高齢者の転倒予防には、下肢筋力、保持機能および反応時間が主な要因となっている。また、柔軟性も重要である²⁰⁾。今回の検討成績から、家庭でも実施しうる運動強度の低いレジスタンストレーニングによって、長座位前屈、最大1歩幅、反応時間、バランス保持機能いずれも有意な改善

を認めた。

以上の研究成績は簡単なトレーニングメニューに基づく家庭での自主的レジスタンストレーニングの実施は、高齢者の転倒防止に有用であることを示唆している。

最後に、高齢糖尿病患者に対し、小規模ではあるが、医師の指示に基づき、看護師の管理のもとに、健康運動指導士が運動指導を行なった結果について考察する。

指導内容は1回60分、3回を1クールとしてウォーキング、軽いレジスタンストレーニングを実施した。その結果、運動後血糖値は15~20mg/dl低下し、第2回目の教室後は有意の低下であった。しかし、6カ月後の経過観察では、体重、血圧、血糖、HbA1c、脂質代謝等に有意差はなかった。

身体運動が糖尿病(2型)の予防、治療に有用であることは周知の事実である³⁾。

最近ランダム化された(randomized controlled trial; RCT)大規模臨床成績(mega-trial)も数多く報告されている。

すなわち、フィンランド糖尿病予防研究によれば、肥満耐糖能障害(impaired glucose tolerance; IGT)患者に対し、食事・運動など生活習慣介入を行なったところ、糖尿病発症率は58%低下した²¹⁾。また、米国の糖尿病予防研究によれば、生活習慣改善群(低エネルギー、低脂肪食、毎週150分中等度強度運動実施による7%体重減少)では58%糖尿病発症率が低下し、薬物(メトホルミン)群の31%より減少率が大きかった²²⁾。Edege²³⁾は生活習慣の変換(lifestyle modification)が糖尿病患者の高血圧を改善したと報告している。Hamdyら²⁴⁾によれば、lifestyle modificationがインスリン抵抗性症候群を合併している肥満者の動脈内皮細胞機能を改善したと述べている。最近、Sawadaら²⁵⁾も心肺機能の高い人では2型糖尿病の発症率が低いことを報告している。

さらに、レジスタンストレーニングが高齢者2

型糖尿病の血糖コントロール状態を改善させることがRCTで証明されている²⁶⁾。

今回私どもの糖尿病患者に対する運動指導成績の長期経過観察では残念ながら著明な改善はなかった。これには、運動指導回数が3回に過ぎず、指導内容が徹底されなかった可能性がある。また、運動指導のみで栄養指導が行なわなかったことも一因をなしていると思われる。しかしながら、6カ月後のアンケート調査にて90%の患者が運動を継続していると返答しており、運動嫌いな糖尿病患者へ運動習慣を導入した意義は少なくないものと考えられる。

以上まとめれば、私どもは、高齢者の身体能力の向上に関して、一般の高齢者に関して①糖・脂質代謝面から、②生活活動能力の面から、home-basedの運動指導を行ない種々検討を加えた。また、高齢者糖尿病患者に対しても実践指導を行なった。

その結果

- ①ゴムチューブ(レップバンド)や自己の体重を利用したレジスタンストレーニングは糖・脂質改善に有用である。
- ②自己の体重など道具を使わないトレーニングやゴムチューブやボールを用いた運動の実施は、柔軟性や反応時間など生活活動能力を改善させる。
- ③糖尿病患者に対する運動教室の実施は、運動習慣定着に有用である。

という高齢者の健康管理、健康増進の観点から、また、糖尿病臨床上極めて重要な知見を得ることができた。

Huら²⁷⁾は余暇における身体活動(leisure-time physical activity)だけでなく、労働(仕事)や通勤に伴う身体運動も中高年者の糖尿病発症予防効果があると報告している。今回の私どもの研究成績は軽・中等度の低・中等度強度の有酸素運動、レジスタンストレーニングを日常生活の中に取り入れ実施することが中高年者の生活の質の向上、

糖尿病をはじめとする生活習慣病の予防、治療に有用であることを示唆している。

4. まとめ

自宅で行ないうる自己の体重やボール、チューブなどを用いたレジスタンストレーニングの有用性を検討するのを目的に、軽・中等度の身体トレーニングを健常な高齢者や高齢糖尿病患者に実施した。

その結果

- ①レジスタンストレーニングの実施は高齢者の糖・脂質代謝を改善させ、anti-atherogenicな作用を有することが示唆された。
- ②レジスタンストレーニングの実施は、長座位体前屈、最大1歩幅、身体反応時間およびバランス保持機能など高齢者の生活活動能力の維持、増進に有用であることが判明した。
- ③軽運動を実施させた運動教室は、高齢糖尿病患者の運動後の血糖値を低下させ、また、運動習慣の定着に有用であることが示唆された。

という結果が得られた。

以上の事実は、home-basedのレジスタンストレーニングの実施が、高齢者、高齢糖尿病患者の身体能力の維持、向上に有用であることを示唆している。

謝 辞

本研究に対し助成を賜りました財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団に深甚の謝意を表します。また、厚生労働省長寿科学総合研究(H13-長寿-009)の研究助成に対してもあわせて心より謝意を申し上げます。さらに、愛知県健康づくりリーダーズ協議会(会長:佐藤久子氏)を中心とした運動指導スタッフおよび運動指導教室にご参加いただいた被験者の皆様に心より感謝申し上げます。

文 献

- 1) 内閣府少子・高齢化対策：平成15年度版高齢化社会白書(概要)、高齢化の状況および高齢社会対策の実施状況に関する年次報告
- 2) 佐藤祐造：中高年者の糖代謝機能に及ぼす運動の効果、*栄養学雑誌*, 53(4) 239-246 (1995)
- 3) Sato Y., Physical exercise for diabetes mellitus : The effective programs for treatment. *JMAJ*, 40, 314-797 (2003)
- 4) 北村伊都子, 竹島伸生, 押田芳治, 佐藤祐造：高齢者におけるレジスタンストレーニングのインスリン作用に及ぼす影響, *デサントスポーツ科学* 22, 23-30 (2001)
- 5) Kitamura I., Takeshima N., Tokudome M., Yamanouchi K., Oshida Y., and Sato Y., Effects of aerobic and resistance exercise training on insulin action in the elderly. *Geriatrics and Gerontology International*, 3, 50-55 (2003)
- 6) Yamanouchi K., Nakajima H., Shinozaki T., Chikada K., Kato K., Oshida Y., Osawa I., Sato J., Sato Y., Higuchi M., and Kobayashi S., Effects of daily physical activity on insulin action in the elderly. *J. Appl. Physiol.*, 73, 2241-2245 (1992)
- 7) Nakai N., Shimomura Y., Ohsaki N., Sato J., Oshida Y., Ohsawa I., Fujitsuka N., and Sato Y., Exercise training prevents maturation-induced decrease in insulin sensitivity. *J. Appl. Physiol.*, 80, 1963-1967 (1996)
- 8) Nagasaki M., Nakai N., Oshida Y., Li Z., Xu M., Obayashi M., Murakami T., Yoshimura A., Fujitsuka N., Shimomura Y., and Sato Y., Exercise training prevents maturation-induced decreases in insulin receptor substrate-1 and phosphatidylinositol 3-kinase in rat skeletal muscle. *Metabolism*, 49, 954-959 (2000)
- 9) Miller J.P., Pratley R.E., Goldberg A.P., Gordon P., Rubin M., Treuth M.S., Ryan A.S., and Hurley B.F., Strength training increases insulin action in healthy 50- to 65-yr-old men. *J. Appl. Physiol.*, 77, 1122-1127 (1994)
- 10) Ishii T., Yamakita T., Sato T., Tanaka S., and Fujii S., Resistance training improves insulin sensitivity in NIDDM subjects without altering maximal oxygen uptake. *Diabetes Care*, 21, 1353-1355 (1998)
- 11) Poehlman E.T., Dvorak R.V., DeNino W.F., Brochu M., and Ades P.A., Effects of resistance training and

- endurance training on insulin sensitivity in nonobese, young women: a controlled randomized trial. *J. Clin. Endocrinol Metab.*, 85, 2463-2468 (2000)
- 12) 押田芳治, 大澤功, 佐藤祐造, 佐藤寿一, 木村靖夫, 樋口満, 小林修平: 身体トレーニングの相違が末梢組織における insulin action におよぼす影響について— euglycemic clamp 法を用いての検討—, *体力科学* 40, 315-320 (1991)
 - 13) Bonora E., Targher G., Albericche M., Bonadonna R.C., Saggiani F., Zenere M.B., Monauni T., and Muggeo M., Homeostasis model assessment closely mirrors the glucose clamp technique in the assessment of insulin sensitivity: studies in subjects with various degrees of glucose tolerance and insulin sensitivity. *Diabetes Care*, 23, 57-63 (2000)
 - 14) DeFronzo R.A., Tobin J.D., and Andres R., Glucose clamp technique: a method for quantifying insulin secretion and resistance. *Am. J. Physiol.*, 237, E214-223 (1979)
 - 15) 島岡清: 健康診断受診者にみる運動実施状況, *健康医学*, 13 (3) 229-232 (2002)
 - 16) 諸橋勇: 高齢者の柔軟性と理学療法, *理学療法*, 16 (9) 718-724 (1999)
 - 17) Warabi T., Noda H., and Kato T., Effect of aging on sensorimotor functions of eye and hand movements. *Exp. Neurol*, 92, 686-697 (1986)
 - 18) 内山靖, 白田滋, 山端るり子, 榎本香織: 理学療法における標準 (値) ・6, 平衡機能, *理学療法ジャーナル*, 32 (12) 949-959 (1998)
 - 19) American College of Sports Medicine. American College of Sports Medicine Position Stand. The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 30, 975-991 (1998)
 - 20) Mayo N.E., Korner-Bitensky N., and Kaizer F., Relationship between response time and falls among stroke patients undergoing physical rehabilitation. *Int. J. Rehabil Res.*, 13, 47-55 (1990)
 - 21) Tuomilehto J., Lindstrom J., Eriksson J.G., Valle T.T., Hamalainen H., Ilanne-Parikka P., Keinanen-Kiukaanniemi S., Laakso M., Louheranta A., Rastas M., Salminen V., and Uusitupa M., Prevention of type 2 diabetes mellitus by changes in lifestyle among subjects with impaired glucose tolerance. *N. Engl. J. Med.*, 344, 1343-1350 (2001)
 - 22) Knowler W.C., Barrett-Connor E., Fowler S.E., Hamman R.F., Lachin J.M., Walker E.A., and Nathan DM., Reduction in the incidence of type 2 diabetes with lifestyle intervention or metformin. *N. Engl. J. Med.*, 346, 393-403 (2002)
 - 23) Egede L.E., Lifestyle modification to improve blood pressure control in individuals with diabetes: is physician advice effective? *Diabetes Care*, 26, 602-607 (2003)
 - 24) Hamdy O., Ledbury S., Mullooly C., Jarema C., Porter S., Ovalle K., Moussa A., Caselli A., Caballero A.E., Economides P.A., Veves A., and Horton E.S., Lifestyle modification improves endothelial function in obese subjects with the insulin resistance syndrome. *Diabetes Care*, 26, 2119-2125 (2003)
 - 25) Sawada S.S., Lee I.M., Muto T., Matuszaki K., and Blair S.N., Cardiorespiratory fitness and the incidence of type 2 diabetes: prospective study of Japanese men. *Diabetes Care*, 26, 2918-2922 (2003)
 - 26) Castaneda C, Layne JE, Munoz-Orians L, Gordon PL, Walsmith J, Foldvari M, Roubenoff R, Tucker KL, and Nelson ME. A randomized controlled trial of resistance exercise training to improve glycemic control in older adults with type 2 diabetes. *Diabetes Care*, 25, 2335-2341 (2002)
 - 27) Hu G, Qiao Q, Silventoinen K, Eriksson JG, Jousilahti P, Lindstrom J, Valle TT, Nissinen A, and Tuomilehto J. Occupational, commuting, and leisure-time physical activity in relation to risk for Type 2 diabetes in middle-aged Finnish men and women. *Diabetologia*, 46, 322-329 (2003)