

# 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

名古屋大学 北村 伊都子  
(共同研究者) 名古屋市立大学 竹島 伸生  
名古屋大学 押田 芳治  
同 佐藤 祐造

## Effects of Resistance Training on Insulin Action in the Elderly

by

Itsuko Kitamura

*First Division of Health Promotion Science,  
Graduate School of Medicine, Nagoya University*

Nobuo Takeshima

*Institute of Natural Sciences, Nagoya City University*

Yoshiharu Oshida, Yuzo Sato

*Research Center of Health, Physical Fitness and Sports, Nagoya University*

### ABSTRACT

Insulin resistance associated with aging is well known. It is now well established that aerobic exercise training increases the decreased insulin action in the elderly. However, the effect of resistance exercise training on insulin action still remains unclear. The aim of this study was to assess the effect of resistance exercise training on insulin action in the elderly. Twelve healthy aged subjects (age:  $68 \pm 1$ ) were enrolled in the study. The aged subjects were divided into two groups, the resistance training (RT) group and the combination of aerobic and resistance training (CT) group. Subjects participated in each training program three times a week for 12 weeks. Before and after training insulin

action (sensitivity / responsiveness) was determined using the euglycemic clamp technique at insulin infusion rates of 40 (L: physiological hyperinsulinemia; insulin sensitivity) and 400 (H: supraphysiological hyperinsulinemia; insulin responsiveness)  $\text{mU}/\text{m}^2/\text{min}$ . The body composition was measured by dual-energy X-ray absorptiometry (DXA). In the CT group, glucose infusion rate (GIR) increased significantly at both insulin infusion rates (L: from  $6.5 \pm 0.9$  to  $7.5 \pm 1.1$ ,  $p < 0.05$  H: from  $10.5 \pm 0.7$  to  $12.9 \pm 0.9$   $\text{mg}/\text{kg}$  BW/min,  $p < 0.01$ ). In the RT group, GIR at L tended to increase (from  $6.1 \pm 0.6$  to  $6.9 \pm 0.6$   $\text{mg}/\text{kg}$  BW/min), but not statistically significant. GIR at H increased significantly (from  $10.1 \pm 0.7$  to  $11.3 \pm 0.7$   $\text{mg}/\text{kg}$  BW/min,  $p < 0.05$ ). When calculated per muscle mass, GIR increased significantly in the CT group. However, GIR per muscle mass in the RT group didn't change significantly at both insulin infusion rates. In conclusion, the combination of aerobic and resistance training is more effective for the improvement of the decreased insulin action in the elderly than the resistance training alone.

## 要 旨

加齢によりインスリン抵抗性が増大し、有酸素運動トレーニングが低下したインスリン作用を改善することはよく知られている。しかし、レジスタンストレーニングの有用性については、いまだ確立していない。本研究では、レジスタンストレーニングが、インスリン作用に及ぼす影響について検討を加えた。平均年齢68歳の健常男性高齢者12人をレジスタンス運動単独トレーニング群 (RT group) または有酸素運動とレジスタンス運動併用トレーニング群 (CT group) に分け、週3日、12週間のトレーニングを行わせた。トレーニング前後でインスリン注入率  $40\text{mU}/\text{m}^2/\text{min}$  および  $400\text{mU}/\text{m}^2/\text{min}$  の2段階 euglycemic clamp 法を実施し、グルコース注入率 (GIR) をインスリン作用の指標とした。トレーニングにより体重あたりの GIR は、CT group, RT group とともに有意に増大した (RT group では、インスリン注入率  $400 \text{ mU}/\text{m}^2/\text{min}$  においてのみ)。一方、筋重量あたりの GIR は、CT group では有意な増大を示し

たが、RT group では有意な変化を認めなかった。以上の結果は、高齢者がレジスタンス運動トレーニングを実施するにあたっては、レジスタンス運動単独よりも、有酸素運動と併用した方が、インスリン作用の改善に効果的であることを示唆している。

## 緒 言

高齢化社会をむかえ、EBM (evidence based medicine) に基づく高齢者の健康を維持、増進していく対策が必要とされている。

加齢に伴う耐糖能の低下は周知の事実であり、その原因としてインスリン抵抗性の増大が重要視されている<sup>1), 2)</sup>。すでに我々の研究室でも高齢者におけるインスリン作用の低下を報告している<sup>12)</sup>。インスリン抵抗性とは、血中のインスリン濃度に相当したインスリン作用の得られない状態であり、糖尿病、肥満、高血圧症、動脈硬化といった生活習慣病の背景として共通の病態である。

近年における洋式化した食生活と職場、家庭でのオートメ化、コンピューター化に伴う身体運動

量の減少は、過食（高脂肪食）と運動不足をもたらした。こうした病態をますます増加させている。食生活の適正化と身体トレーニングの継続は、個体のインスリン作用を改善し、インスリン抵抗性関連のすべての病態の予防、治療に有用である<sup>9)</sup>。身体トレーニングとインスリン作用の改善に関して、有酸素運動は重要であり、我々の研究室でも有酸素運動の継続によりインスリン作用の改善を認めた成績を報告している<sup>8), 10)</sup>。

近年、レジスタンス運動が高齢者における筋力、筋量の低下を防ぎ、QOLを維持するとして注目されている。しかし、レジスタンス運動については、筋量の増大に関係なくインスリン作用を改善するとの報告<sup>5)</sup>もあるが、その改善は、筋量の増大によるとするもの<sup>9), 13)</sup>もあり、いまだ確立されていない。

そこで、本研究では、健常高齢者を対象に、レジスタンス運動単独トレーニング群と、有酸素運動およびレジスタンス運動併用トレーニング群に分け、それぞれのインスリン作用に及ぼす効果について検討を加えたので報告する。

## 1. 研究方法

### 1. 1 被験者

対象は特別な運動習慣をもたない健常男性高齢者12名である。問診、血液検査、肺機能検査、自転車エルゴメータを用いた運動負荷テストを実施し、特別な疾患（糖尿病、その他の内分泌代謝疾患、高血圧、心血管系疾患、整形外科疾患）のみとめられる者はあらかじめ除外した。

### 1. 2 トレーニング内容

被験者は、無作為抽出でレジスタンス運動単独トレーニング群（RT group:n=6, 平均年齢:68±1歳）と有酸素運動およびレジスタンス運動併用トレーニング群（CT group:n=6, 平均年齢:69±1歳）の2つのトレーニング群に分かれ、週3日、12週

間の各トレーニングを行った。毎回の運動は、主運動（レジスタンス運動トレーニングまたはサーキット式有酸素運動およびレジスタンス運動トレーニング30分）とウォーミングアップとクールダウン（10～15分）として構成した。RT groupでは、8種類（ショルダープレス/プル、チェストプレス/プル、アームカール、バックエクステンション/フレクション、スクワット、ニーエクステンション/フレクション、ヒップアブダクション/アダクション、レッグプレス）の油圧制御による抵抗マシン（Pace, Henley Healthcare Co., TX）を用いて、それぞれ20回の反復最大運動を1セットから始め（はじめの1週間）、その後2セットをおこなうように求めた。抵抗マシンのダイヤルは2（低負荷、高頻度）で実施した。運動の間は、マシンへの移動時間を含め適宜休憩を取り入れた。

CT groupでは、この油圧抵抗マシン運動に加えて主にエアロビクスダンスを取り入れるサーキット型運動を実施した。腰や膝への衝撃を考慮し、エアロボードを置き、この上でダンスをおこなった（運動を実施するマシンやエアロボードをStationと呼ぶ）。いずれのStationにおいても30秒間の運動をおこなわせ、一つのStationが終わると直ちに次のStationへ移動しながら運動を継続するサーキット形式とした。StationからStationへの移動時間を10秒間入れ、移動の早い人はすぐに運動を開始するよう求め、サーキット運動は総運動時間が30分間になるようにした。油圧によるレジスタンス運動ではいずれも30秒間で最大努力で最大速度の運動を行うよう求めた。CT groupでは抵抗マシンのダイヤルは0～4週で2、5～8週で3、9～12週で4として漸増した。

### 1. 3 測定項目

トレーニング前後で以下の項目を測定した。

- 1) 身体組成（% Fat, Lean）

Hologic QDR-1000 (Hologic Waltham, MA) を使用し DXA 法(dual-energy X-ray absorptiometry) により評価した。

2) 最大酸素摂取量

自転車エルゴメータ (Model 81E, Monark, Sweden) による多段階運動負荷テストを実施し、酸素摂取量, 二酸化炭素排出量および換気量は自動呼気ガス分析装置 (AT-1000A, アニマ社, 東京) を用いて測定した。

3) インスリン作用

DeFronzo<sup>3)</sup> らの原法にしたがい euglycemic clamp 法によって, 早朝空腹時, レギュラーインスリンを 10 分間プライミング注入後, インスリン注入率 40mU/m<sup>2</sup>/min で 80 分間持続注入し生理的高濃度に維持し, その後同様に 10 分間プライミング注入後 80 分間インスリン注入率 400mU/m<sup>2</sup>/min で薬理的高濃度に維持した。インスリン注入 4 分後より 20% グルコースの注入も開始し, 5 分ごとに血糖値を測定した。グルコースの注入量を調節することにより血糖値を空腹時レベルに維持した。各インスリン注入率の最後の 20 分間の平均グルコース注入率 glucose infusion rate (GIR) を, インスリン作用 (インスリン注入率 40mU/m<sup>2</sup>/min : インスリン感受性, 400mU/m<sup>2</sup>/min : インスリン反応性) の指標とした。

4) 血清脂質

早朝空腹時採血にて, 酵素法で血清総コレステロール, 中性脂肪を, 直接測定法で血清 HDL-コレステロールを測定した。

5) 筋力

油圧制御による抵抗マシン (OmniTron, Henley Healthcare Co., TX) を用い, ショルダープレス, バックエクステンション, ニーエクステンションの筋力を測定した。油圧抵抗 Dial 2 で 10RM (日常生活レベルの筋力) を, Dial 11 で 1RM (最大筋力) を測定した。

1. 4 統計処理

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

2. 研究結果

CT group のトレーニング中の HR モニターによる平均心拍数は 115 前後であった。CT group, RT group とともに, 油圧抵抗マシンでの発揮筋力はイニシャルレベルで得られた最大筋力 (OmniTron での Dial 11 での測定) の 30~60% であったが, 筋力水準は RT group の方が小さかった。しかし, 1 回あたりの反復回数は RT group の方が CT group の 1 回あたりの平均反復回数 10~15 回程度に比べ多かった。

1) 身体組成, 最大酸素摂取量

トレーニング前後の身体組成, 最大酸素摂取量 ( $\dot{V}O_{2max}$ ) を表 1 に示した。体重, BMI (body mass index), 筋量 (Lean) はトレーニング前後で有意差はなかった。% Fat は CT group, RT group とともに有意に低下した。 $\dot{V}O_{2max}$  は RT group では有意な変化は認められなかったが, CT group では有意に増大した。

2) インスリン作用

表 2 にグルコースクランプ中の血糖値およびインスリン濃度を示した。血糖値はインスリン注入率 40mU/m<sup>2</sup>/min, 400mU/m<sup>2</sup>/min とともに空腹時レベルに維持された。インスリン濃度はインスリン注入率 40mU/m<sup>2</sup>/min で生理的高インスリン濃度

表 1 トレーニング前後における身体特性の変化

	Weight, kg	BMI, kg/m <sup>2</sup>	% Fat, %	Lean, kg	$\dot{V}O_{2max}$ , ml/kg/min
CT group					
Before	62.2 ± 3.7	24.0 ± 1.3	18.2 ± 2.3	47.9 ± 2.4	24.6 ± 1.6
After	61.9 ± 4.0	23.8 ± 1.5	16.9 ± 2.4**	47.9 ± 2.1	29.7 ± 2.1*
RT group					
Before	60.1 ± 4.1	23.1 ± 1.3	17.4 ± 2.0	47.9 ± 2.1	27.3 ± 2.2
After	60.9 ± 4.1	23.4 ± 1.3	16.4 ± 1.9**	49.0 ± 2.2	28.0 ± 1.7

Values are means ± SE. BMI, body mass index

\*\* p < 0.01, \* p < 0.05 vs. before training.

表2 グルコースクランプ中の血糖値およびインスリン濃度

	Glucose (mg/dl)			Insulin ( $\mu$ U/ml)		
	Basal	Steady state		Basal	Steady state	
		Insulin infusion rate			Insulin infusion rate	
		40mU/m <sup>2</sup> /min	400mU/m <sup>2</sup> /min		40mU/m <sup>2</sup> /min	400mU/m <sup>2</sup> /min
CT group						
Before	96 ± 4	88 ± 3	91 ± 3	4.5 ± 1.0	105.7 ± 9.7	1345.8 ± 270.1
After	102 ± 5	97 ± 5	94 ± 6	6.1 ± 1.8	112.7 ± 8.8	1855.9 ± 158.8
RT group						
Before	87 ± 2	96 ± 2	96 ± 3	6.8 ± 1.1	58.6 ± 4.2	1081.2 ± 62.4
After	88 ± 3	88 ± 4	89 ± 3	7.0 ± 0.8	60.7 ± 5.5	1242.2 ± 96.2

Values are means ± SE

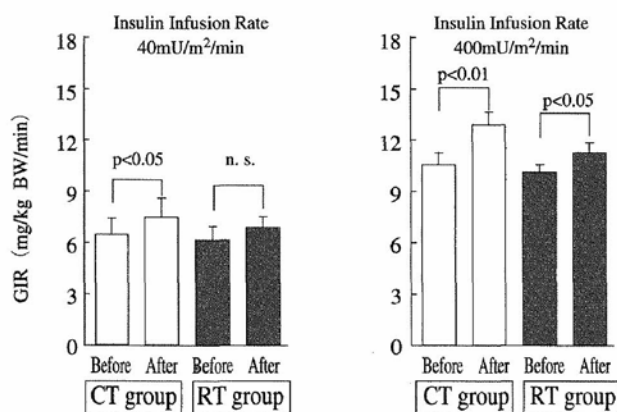


図1 トレーニング前後における  
体重あたりのグルコース注入率

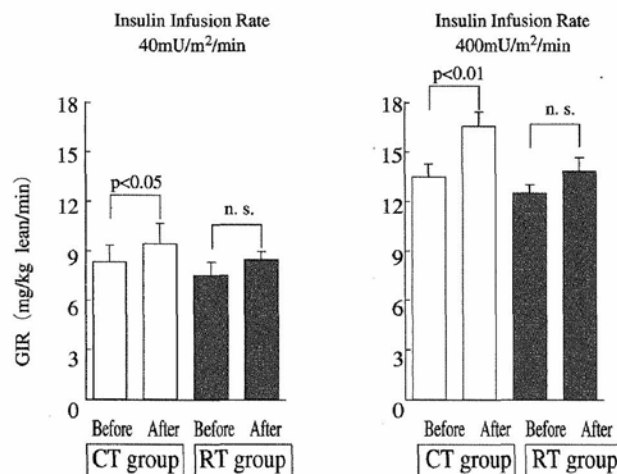


図2 トレーニング前後における  
筋重量あたりのグルコース注入率

に、400mU/m<sup>2</sup>/minでは薬理学的高濃度すなわち最大インスリン作用が発揮される濃度に達した。

体重あたりのGIR (図1)は、CT groupではインスリン注入率40mU/m<sup>2</sup>/minで6.5 ± 0.9から7.5 ± 1.1mg/kg/minへと、400mU/m<sup>2</sup>/minで

10.5 ± 0.7から12.9 ± 0.9mg/kg/minへと、ともに有意な増加を示した。RT groupではインスリン注入率40mU/m<sup>2</sup>/minで6.1 ± 0.9から6.9 ± 0.6mg/kg/minへと増加傾向を示したが有意差はなく、インスリン注入率400mU/m<sup>2</sup>/minで10.1 ± 0.7から11.3 ± 1.0mg/kg/minへと、有意な増加を示した。一方、筋量あたりのGIR (図2)はCT groupではインスリン注入率40mU/m<sup>2</sup>/min、インスリン注入率400mU/m<sup>2</sup>/minともに有意に増大したが、RT groupではインスリン注入率40mU/m<sup>2</sup>/min、インスリン注入率400mU/m<sup>2</sup>/minともに有意差は認められなかった。

### 3) 血清脂質

表3に示すとおりトレーニング前後における血清脂質の変化は、総コレステロール、中性脂肪については、CT group, RT groupとも有意な変化はなかった。HDL-コレステロールは、両groupともに有意に上昇した。

### 4) 筋力

トレーニング前後でCT groupの筋力は、油圧

表3 トレーニング前後における血清脂質の変化

	Total cholesterol mg/dl	HDL-cholesterol mg/dl	Triglyceride mg/dl
CT group			
Before	220 ± 16	57 ± 6	146 ± 22
After	208 ± 12	73 ± 10*	115 ± 16
RT group			
Before	213 ± 16	56 ± 6	131 ± 23
After	224 ± 12	64 ± 8*	103 ± 13

Values are means ± SE. \* p<0.05 vs. before training.

抵抗 Dial 2, 11 ともに各部位で有意に増大した (表 4). RT group では, Dial 11 で有意差が認められないが増加傾向を示し, Dial 2 では各部位で有意な増大が認められた (表 5).

表 4 CT group のトレーニング前後における筋力の変化

		Shoulder Press (N)	Back Extension (N)	Knee Extension (N·m)
Dial 2 (10RM)	Before	31 ± 5	39 ± 6	8 ± 1
	After	41 ± 5*	63 ± 7*	12 ± 1*
Dial 11 (1RM)	Before	216 ± 35	209 ± 39	81 ± 7
	After	271 ± 37*	371 ± 36**	89 ± 6

Values are means ± SE. 1RM, 1 repetition maximum

\*\* p<0.01, \* p<0.05 before training vs. after training.

表 5 RT group のトレーニング前後における筋力の変化

		Shoulder Press (N)	Back Extension (N)	Knee Extension (N·m)
Dial 2 (10RM)	Before	37 ± 3	47 ± 3	10 ± 1
	After	43 ± 4*	67 ± 6*	11 ± 1*
Dial 11 (1RM)	Before	216 ± 26	297 ± 31	83 ± 7
	After	262 ± 23	317 ± 24	86 ± 7

Values are means ± SE. 1RM, 1 repetition maximum

\*\* p<0.01, \* p<0.05 before training vs. after training.

### 3. 考 察

euglycemic clamp 法は, 個体のインスリン作用を評価する標準的な方法で, インスリン注入率 40mU/m<sup>2</sup>/min (インスリン感受性) では主にインスリン受容体レベルの機構を, インスリン注入率 400mU/m<sup>2</sup>/min (インスリン反応性) ではインスリン受容体以降のインスリンシグナル伝達機構を表わすとされている.

12 週間のトレーニングにより体重あたりの GIR は, CT group ではインスリン注入率 40 および 400 mU/ m<sup>2</sup>/min ともに有意に増大し, RT group ではインスリン注入率 40mU/m<sup>2</sup>/min にお

いて有意な変化を認めなかったが, 400mU/ m<sup>2</sup> /min においては有意に増大した (図 1). 一方, 筋重量あたりの GIR は, CT group では体重あたりの GIR と同様に有意な増大を示したが, RT group ではいずれのインスリン注入率でも有意な変化を認めなかった (図 2).

有酸素運動トレーニングがインスリン作用を改善することは, よく知られている. 加齢によるインスリン抵抗性改善のメカニズムについて, 我々の研究室においても Nakai ら<sup>7)</sup> が筋細胞膜における GLUT4 の増加を, Nagasaki ら<sup>6)</sup> が IRS-1 の遺伝子発現の上昇と蛋白量の維持, PI3-k の蛋白量の維持を報告しており細胞内におけるインスリンの情報伝達経路を改善することが判明している. また, 脂肪組織からも分泌されインスリン抵抗性を引き起こす tumor necrosis factor-alpha (TNF-α) も関与していると考えられている.

レジスタンス運動トレーニングについては, 近年様々な報告がなされている. Miller ら<sup>5)</sup> 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<sup>4)</sup> も糖尿病患者において実施し,  $\dot{V}O_{2max}$  が増大していないにもかかわらず, インスリン作用が改善した成績を発表している.

しかしながら, Yki-Järvinen ら<sup>13)</sup> は, 長距離走者, ウェイトリフター (重量挙げ選手), コントロールの 3 群のインスリン作用を比較し, 全身のインスリン作用は筋量と相関し, 脂肪量に反比例すると報告し, また Poehlman ら<sup>9)</sup> 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それぞれ実施し, 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ると, 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の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おり, 本研究でも同様の結果が得られた.

以上のように、レジスタンス運動トレーニングのインスリン作用の改善についてはいまだ確立した見解がない。In vitroの研究でも様々な報告がある。このような違いは、レジスタンス運動トレーニングの負荷抵抗強度、実施期間、頻度などの条件設定の相違が関連していると考えられ、今後こうした条件の違いについて検討する必要があると思われる。

今回、高齢者に低負荷のレジスタンス運動トレーニングを実施し、筋量あたりのインスリン作用は改善しなかった。CT groupとRT groupの間では、運動量、負荷抵抗の違いがあり、単純に比較することはできないが、インスリン作用の観点からいえば、インスリン抵抗性の増大した高齢者がレジスタンス運動トレーニングを実施するにあたっては、レジスタンス運動単独で行うのではなく、有酸素運動とレジスタンス運動を併用する方法が、より有用であることを示唆している。また、今回のようなサーキット形式による併用運動は音楽に併せて集団でおこなう方法であり、楽しく、かつ呼吸循環機能、筋力に向上が認められ、高齢者における有効な運動方法であると思われる。

トレーニング実施により筋力は、CT groupでは抵抗Dial 2, 11ともに有意に増大したが、RT groupではDial 2のみで有意な変化が認められた。Dial 2 (10RM) では、日常生活における活動レベルの筋力が評価され、Dial 11 (1RM) では、最大筋力を表わす。CT groupでの運動は30秒以内という時間的制約があるために頻度が設定できにくいためレジスタンス運動の油圧ダイヤル抵抗をあげるにより有効な強度、運動量を確保するように試みたのに対し、RT groupでは安全性の観点から低負荷を採用し、運動頻度を20回と増やすことで運動量を設定した。両group間の筋力の変化の相違は、こうしたことが影響していると思われる。こうしたレジスタンス運動の負荷の相違による改善率や効果については今後の

課題と考える。また、筋量は、CT groupでは、ほとんど変化がなかった。RT groupでも有意差はなかったが、増加傾向を示した。この点についても両groupの運動量や負荷抵抗の違いが考えられるが、トレーニング期間が12週間と短期間であり、このまま継続すれば、両groupともに有意な筋量の増大が認められるものと推測される。

#### 4. まとめ

健常高齢者を対象に、12週間のレジスタンス運動単独トレーニングまたは有酸素運動およびレジスタンス運動併用トレーニングを実施したところ、インスリン作用は体重あたりのGIRでみると、両トレーニングにおいて有意に増大(RT groupではインスリン注入率400 mU/m<sup>2</sup>/minにおいてのみ)したが、筋重量あたりのGIRでは、併用トレーニング群では有意な増大を示した。しかし、レジスタンス運動単独トレーニング群では有意な変化を認めなかった。これは、レジスタンス運動トレーニングのインスリン作用の改善は筋量の増大によるもので有酸素運動によってもたらされる質的改善ではないことを示していると考えられる。

以上の事実は、インスリン抵抗性の増大した高齢者においてレジスタンス運動トレーニングを実施するにあたっては、レジスタンス運動単独で行うのではなく、有酸素運動とレジスタンス運動を併用する方法が、より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謝致します。また、本研究に御協力いただきました名古屋市立大学竹島研究室の皆様および愛知医大第一内科山之内国男助教授をはじめ糖尿病研究室の諸先生、被験者の方々に厚く御礼申しあげます。

文 献

- 1) Davidson, M. B.; The effect of aging on carbohydrate metabolism: a review of the English literature and a practical approach to the diagnosis of diabetes mellitus in the elderly, *Metabolism*, 28: 688-705 (1979)
- 2) DeFronzo, R. A.; Glucose intolerance and aging, *Diabetes Care*, 4: 493-501 (1981)
- 3) DeFronzo, R. A., J. D. Tobin, and R. Andres ; Glucose clamp technique: a method for quantifying insulin secretion and resistance, *Am. J. Physiol.*, 237: E214-23 (1979)
- 4) Ishii, T., T. Yamakita, T. Sato, S. Tanaka, and S. Fujii.; Resistance training improves insulin sensitivity in NIDDM subjects without altering maximal oxygen uptake, *Diabetes Care*, 21: 1353-5 (1998)
- 5) Miller, J. P., R. E. Pratley, A. P. Goldberg, P. Gordon, M. Rubin, M. S. Treuth, A. S. Ryan, and B. F. Hurley.; Strength training increases insulin action in healthy 50- to 65-yr-old men, *J. Appl. Physiol.*, 77: 1122-7 (1994)
- 6) Nagasaki, M., N. Nakai, Y. Oshida, Z. Li, M. Xu, M. Obayashi, T. Murakami, A. Yoshimura, N. Fujitsuka, Y. Shimomura, and Y. Sato ; Exercise training prevents maturation-induced decreases in insulin receptor substrate-1 and phosphatidylinositol 3-kinase in rat skeletal muscle, *Metabolism*, 49: 954-9 (2000)
- 7) Nakai, N., Y. Shimomura, N. Ohsaki, J. Sato, Y. Oshida, I. Ohsawa, N. Fujitsuka, and Y. Sato ; Exercise training prevents maturation-induced decrease in insulin sensitivity, *J. Appl. Physiol.*, 80: 1963-7 (1996)
- 8) Oshida, Y., K. Yamanouchi, S. Hayamizu, and Y. Sato ; Long-term mild jogging increases insulin action despite no influence on body mass index or  $\dot{V}O_2\text{max}$ , *J. Appl. Physiol.*, 66: 2206-10 (1989)
- 9) Poehlman, E. T., R. V. Dvorak, W. F. DeNino, M. Brochu, and P. A. Ades ; Effects of resistance training and endurance training on insulin sensitivity in nonobese, young women: a controlled randomized trial, *J. Clin. Endocrinol Metab.*, 85: 2463-8 (2000)
- 10) 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)
- 11) 佐藤祐造; 運動療法の正しい指導法. 日本医師会雑誌, 123, 341-345 (2000)
- 12) Yamanouchi, K., H. Nakajima, T. Shinozaki, K. Chikada, K. Kato, Y. Oshida, I. Ohsawa, J. Sato, Y. Sato, M. Higuchi, and S. Kobayashi ; Effects of daily physical activity on insulin action in the elderly, *J. Appl. Physiol.*, 73: 2241-5 (1992)
- 13) Yki-Järvinen, H., and V. A. Koivisto ; Effects of body composition on insulin sensitivity, *Diabetes*, 32: 965-9 (1983)