

運動療法としての原口式体操の導入と その代謝内分泌的効果

大阪市立大学 西 沢 良 記
(共同研究者) 同 絵 本 正 憲
舞子台病院 深 水 真知子

Clinical Significance of Haraguchi-typed Gymnastic Program as Exercise Therapy for its Metabolic and Hormonal Effects

by

Yoshiki Nishizawa, Masanori Emoto
*Second Department of Internal Medicine
Osaka City University Medical School*

Machiko Fukamizu
*Division of Internal Medicine
Maikodai Hospital*

ABSTRACT

Haraguchi-typed gymnastic exercise program have been performed in obese and diabetic patients. The purpose of this study was to investigate acute metabolic and hormonal effects of this program of gymnastic exercise in eight healthy subjects. Blood glucose, free fatty acid, ketone bodies, insulin, glucagon, and catecholamines were measured just before, at the end of, and 30 minutes after the cessation of the exercise. Walking exercise was performed by treadmill in the same subjects as control exercise program.

The decrement of insulin, and the increments of free fatty acid, keton bodies, catecholamines in gymnastic exercise were less than those in walking exercise.

These results suggest that the activation of adrenergic nervous system by Haraguchi-typed gymnastic exercise may differ from the

activation of that by walking exercise. It is concluded that Haraguchi-typed gymnastic exercise may be useful even in aged people or diabetic patients with various complications.

要 旨

われわれは長期運動療法の一環として、肥満症、糖尿病を対象として原口式体操およびリズム体操を組み合わせた運動療法を行ってきた。今回、この体操プログラムについて代謝内分泌環境を中心に急性運動効果を検討した。健常者8名を対象に40分間、平均総運動消費エネルギー154.3 kcalの体操プログラムの負荷前、終了直後、終了後安静30分後において、血糖値、遊離脂肪酸、ケトン体、血中インスリン、血中グルカゴン、血中カテコラミンを測定した。対照運動プログラムは同一対象、同一運動消費エネルギーのトレッドミルによる歩行運動とした。

体操負荷ではトレッドミルによる歩行運動に比して血中インスリン低下、遊離脂肪酸増加、ケトン体増加はより軽度であり、血中カテコラミンの反応も低値を示した。これらの結果より、原口式体操はトレッドミル歩行運動に比して、交感神経系の関与による代謝内分泌反応が異なると推察され、従来の運動療法の適応外と思われる種々の合併症を有する高齢者や糖尿病患者においても有用な運動療法となりえるのではないかと考えられた。

緒 言

運動療法は、肥満者、糖尿病患者の治療のひとつとして、食事療法とともに重要な位置を占めている¹⁻³⁾。われわれは、長期運動療法の一環として、肥満症、糖尿病を対象として、昭和48年より原口式体操、および一定の音楽に合わせたリズム体操を組み合わせた運動療法を行ってきた。

原口式体操は他の運動療法や体操に比較して身体の変位が少なく、筋肉トレーニングというよりは心身の集中とリズムカルな呼吸法とともに身体各部の運動を行うことを目的としている。この理由から、身体の変位が少なく、従来の運動療法の適応外と思われる種々の合併症をもつ患者においてもこの体操による運動療法の可能性が十分に考えられる。

第8回肥満学会(昭和62年度)において、肥満型糖尿病患者において、原口式体操およびリズム体操を取り入れた長期運動療法により肥満度の改善、血糖コントロール、血中脂質の改善が良好に得られ有効であることを報告した⁴⁾。

今回、われわれは、この原口式体操の運動生理学的特徴、および運動療法としての有用性をさらに検討するために健常者を対象として、代謝、内分泌環境を中心に急性運動効果について検討を加えた。対照として、同一運動消費エネルギーを有するトレッドミルによる歩行運動を同一運動時間、同一対象に対して行なった。

方 法

1) 対象

健常者8名(男4名、女4名)、年齢、身長、体重、Body Mass Index (BMI) は、表1に示す。

2) 運動負荷プロトコール

運動負荷は前日夕食後絶食とし運動負荷実施日には同一カロリーの朝食1時間後に開始し、後述の原口式体操、リズム体操を取り入れた体操プログラムあるいはトレッドミルによる歩行運動を行った。採血は末梢静脈より運動負荷直前、運動負荷終了直後、および運動負荷終了30分安静後

表1 Physical characteristics and exercise expenditure energy of subjects

Subjects	Sex (Male or Female)	Age (years)	Height (cm)	Weight (kg)	BMI (kg/m ²)	Energy (kcal)
1	M	52	162	62	23.6	160
2	M	61	175	65	21.2	160
3	M	67	170	53	18.3	156
4	M	59	168	52	18.4	160
5	F	48	155	57	23.7	156
6	F	71	163	56	21.1	164
7	F	60	154	52	21.9	142
8	F	65	150	50	22.2	137
Mean		60.3	162.1	55.9	21.3	154.4
SD		2.5	2.9	1.7	0.7	3.2

BMI, Body mass index; Energy, Total exercise expenditure energy for gymnastic program measured by Douglass bag method.

表2 Haraguchi-typed gymnastic exercise program

原口式体操プログラム	時間 (分)
1. 準備体操	3.0
2. リズム体操	7.5
3. 原口式体操	
1) 坐位での首の屈曲・回転運動	5.0
2) 坐位での体幹部(上半身)屈曲・回転運動	7.0
3) 仰臥位での体幹部屈曲・伸展・ねじり運動	8.0
4) 立位での体幹部屈曲・伸展・回転運動	7.0
5) 腹式呼吸・整理運動	3.0
	40.5

に行った。

同一対象に対して、おのおの別の日に、同一プロトコルで、体操プログラムとトレッドミルによる歩行運動を行った。

2) 運動プログラム

a. 原口式体操およびリズム体操による体操プログラムを表2に示す。

b. トレッドミルによる歩行運動は、同一対象に対して、原口式体操プログラムの運動消費エネルギー実測値と同一となるように、40分間の歩行速度を決定した。

3) 運動消費エネルギー測定

異なった種類の運動負荷量を定量し同一とするために、ダグラスバッグを用い、運動負荷中の呼

気を収集し、呼気中のCO₂濃度およびO₂濃度より運動消費エネルギーを算出し、測定した⁵⁻⁶⁾。各対象の原口式体操プログラムにおける実測値を表1に示す。

4) 検討項目

血糖値は酵素法、血中インスリンは免疫抗体法、血中グルカゴンは2抗体免疫抗体法、遊離脂肪酸は酵素法、ノルエピネフリン、エピネフリンは高速液体クロマトグラフ法、ケトン体はWilliamson法にて測定した。

5) 統計学的検定は、Student's paired t-testで検討した。

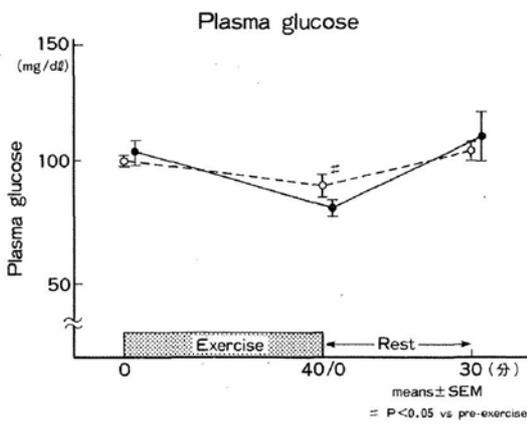
結 果

1) 運動消費エネルギーの実測値

運動消費エネルギーの実測値の平均は、154.4 ± 3.2 kcalであり、おのおの実測値は表1に示す。

2) 血糖値の変動 (図1)

体操負荷においては有意の血糖値の変動を認めなかったが、トレッドミル負荷においては負荷終了直後に有意の血糖値の低下を認め、30分後には前値に回復していた。

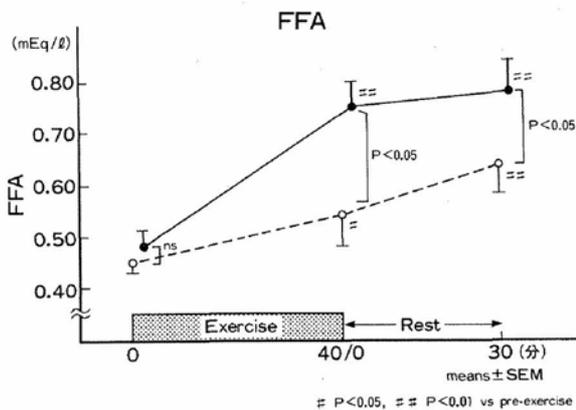


(○-○) 原口式体操プログラム
(●-●) トレッドミルによる歩行運動

図1 血糖値の変動

3) 遊離脂肪酸の変動 (図2)

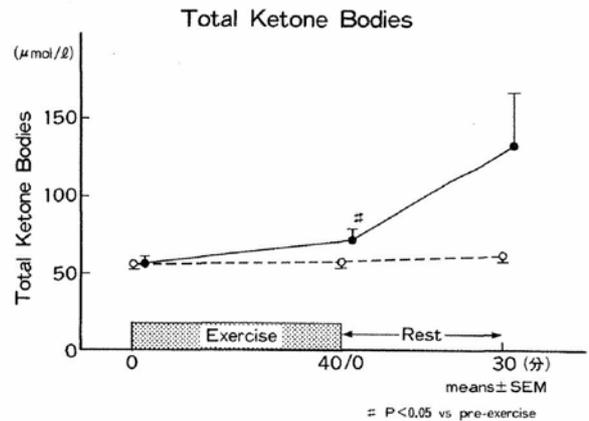
体操およびトレッドミル負荷において、負荷終了直後、30分後に有意の上昇を認め、トレッドミル負荷において顕著に高値を示した。



(○-○) 原口式体操プログラム
(●-●) トレッドミルによる歩行運動

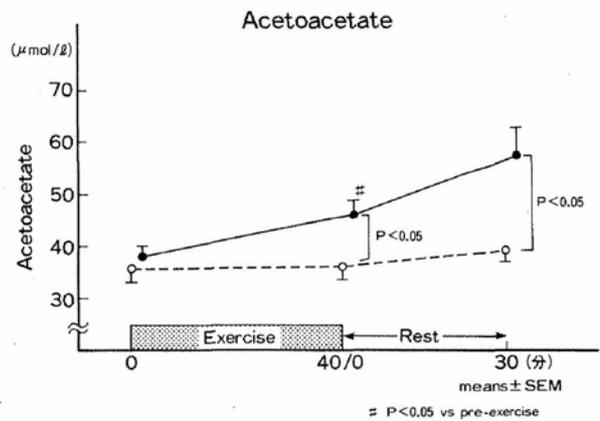
図2 血中遊離脂肪酸の変動

4) 総ケトン体, アセト酢酸, 3-ヒドロキシ酪酸の変動 (図3, 4, 5)



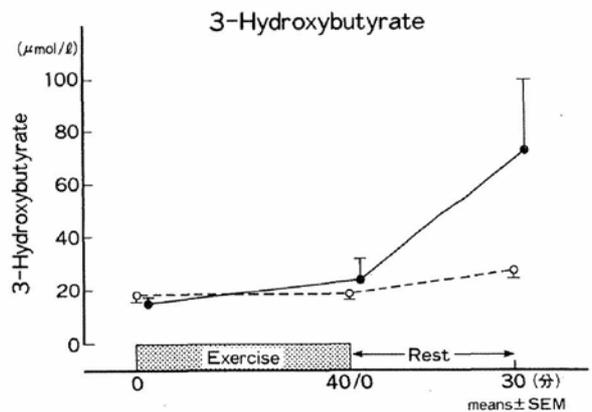
(○-○) 原口式体操プログラム
(●-●) トレッドミルによる歩行運動

図3 血中総ケトン体の変動



(○-○) 原口式体操プログラム
(●-●) トレッドミルによる歩行運動

図4 血中アセト酢酸の変動



(○-○) 原口式体操プログラム
(●-●) トレッドミルによる歩行運動

図5 血中3-ヒドロキシ酪酸の変動

体操負荷において総ケトン体、アセト酢酸、3-ヒドロキシ酪酸の有意な変動を認めなかったが、トレッドミル負荷においては、負荷終了直後に総ケトン体、アセト酢酸の増加を認め、さらに30分後においてもアセト酢酸の高値は持続した。総ケトン体、3-ヒドロキシ酪酸は増加傾向を認めたが、統計学的有意差を認めなかった。

5) 血中インスリン、血中グルカゴンの変動 (図6, 7)

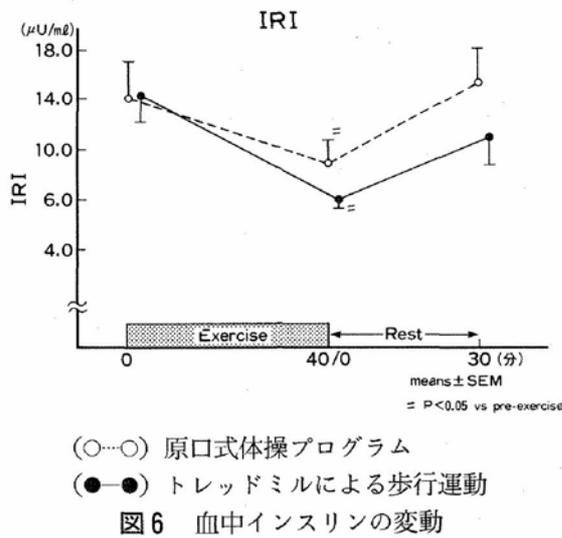


図6 血中インスリンの変動

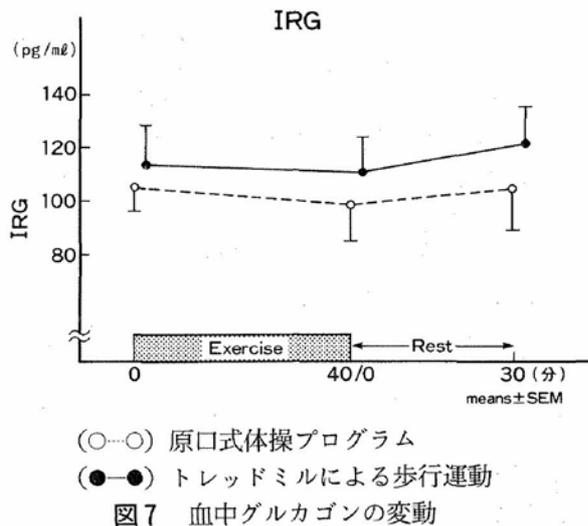


図7 血中グルカゴンの変動

体操およびトレッドミル負荷において負荷終了直後に血中インスリンの低下を認めたが、30分後には前値に回復していた。血中グルカゴンの変動は認めなかった。

6) ノルエピネフリン、エピネフリンの変動 (図8, 9)

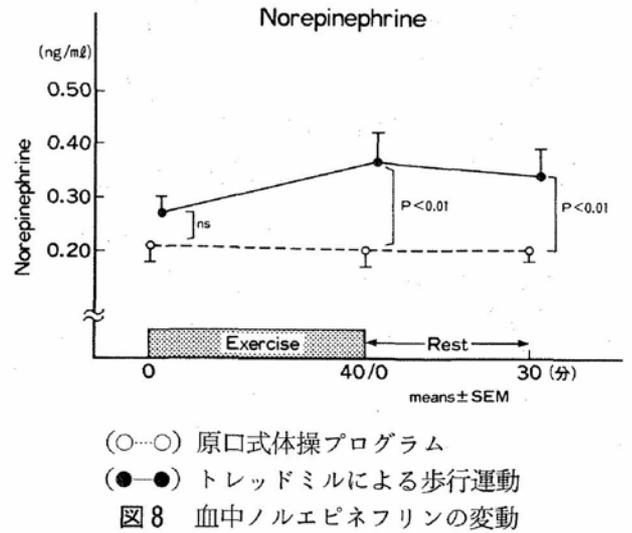


図8 血中ノルエピネフリンの変動

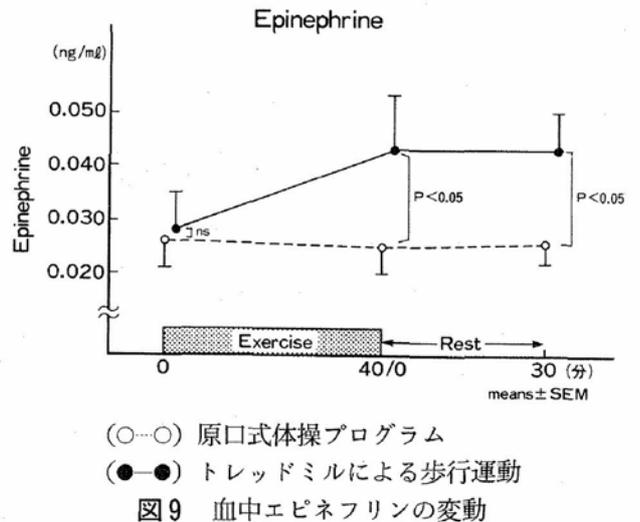


図9 血中エピネフリンの変動

体操負荷およびトレッドミル負荷において負荷前後の有意の変動を認めなかった。負荷終了直後および30分後においてトレッドミル負荷は体操負荷に比して高値を示した。

考 察

今回、われわれは健常者に対する2つの異なる運動の急性効果を代謝内分泌反応を中心に検討した。ひとつは従来のトレッドミルによる歩行運動であり、他方は原口式体操にリズム体操をとり入れた独自の体操プログラムである。これらの2つ

の異なる種類の運動負荷量を決定するためにダグラスバッグを用い運動中の呼気ガス分析より実際の運動消費エネルギーを実測した^{5,6)}。原口式体操プログラムにおいては40分間の総運動消費エネルギーは154.4 kcalと中等度の運動負荷量であった⁷⁾。各対象に対して原口式体操プログラムの運動消費エネルギー実測値と同一となるように40分間のトレッドミルによる歩行運動速度を設定して行ったことより、両者の運動プログラムにおいて運動負荷時間、総運動消費エネルギーおよび運動強度もほぼ同一と考えられた。

健常者の運動負荷による代謝、内分泌反応は交感神経系の亢進による fight and flight の反応と考えられている^{2,3)}。運動負荷中の血糖の維持、インスリンの低下、インスリン拮抗ホルモン、遊離脂肪酸、ケトン体の増加となってあらわれる。

健常者の軽度から中等度の運動負荷においては、血糖は一定に保持されることは、よく知られている^{2,3,9)}。これはエネルギー源としての運動筋での糖利用速度と肝よりの糖放出を主とした糖産生速度が正確に一致し、需要と供給の平衡が保たれていることによる^{2,3,9,10)}。肝糖放出量はインスリンおよびその拮抗ホルモンであるグルカゴン、カテコラミンにより調節されているが、中枢神経系の血糖値に対する直接的な negative feedback 機構も示されている^{11,12)}。また、肝は交感神経支配の豊富な臓器であり^{13,14)}、肝糖原分解も α -adrenoceptor を介して交感神経系の活性化によって増加することも知られている¹⁵⁾。

運動負荷による血中インスリンの低下は主として α -adrenoceptor を介する交感神経系による膵 β 細胞からのインスリン分泌抑制による¹⁶⁾。血中グルカゴンの変動は高度の運動負荷の場合分泌増加を認めるが、軽度から中等度の運動負荷の場合には変動を認めない²⁾。これらのホルモンによって、血糖について、重要なエネルギー源である遊離脂肪酸は主として脂肪組織からの脂肪分解の亢進の

結果、血中レベルは増加を認め、肝および筋に供給されると思われる。脂肪分解の亢進には低インスリン血症や高グルカゴン血症に加えて脂肪組織局所での β -adrenoceptor を介する交感神経系の活動が重要な役割を演じていると考えられる^{17~19)}。

血中遊離脂肪酸は運動負荷開始直後は一過性に低下し、その後運動負荷とともに上昇し、運動負荷終了後より回復期において筋での利用が減少することにより著明に増加することが知られている。さらに、運動負荷による血中ケトン体の上昇はインスリン低下、カテコラミン上昇および遊離脂肪酸の肝への供給増加により惹起されると考えられている²⁰⁾。

今回、われわれの検討においてトレッドミルによる歩行運動によってみられた血中インスリン、遊離脂肪酸、血糖、血中グルカゴンの変動は従来報告されているように中等度の運動負荷における代謝、内分泌反応と一致しており、前述のようにこれは交感神経系の亢進による結果と考えられる。

一方、原口式体操プログラムによる運動負荷において、血中インスリンの低下と遊離脂肪酸の増加はトレッドミルによる歩行運動と同様に認められたが、その程度は特に遊離脂肪酸においてより軽度であった。血中カテコラミンはトレッドミルによる歩行運動および体操プログラムの両者において運動負荷前後での血中レベルの有意の上昇を認めなかったが、前者は後者に比して低値を示しており、交感神経系亢進の反応がより小さいことが推察された。

原口式体操はその運動中において腹式呼吸をリズムカルに行いつつ、身体各部の運動を行うものであり、また、リズム体操は一定の音楽リズムにあわせて全身筋肉、関節の warming up をはかるものである。今回、対象、総運動消費エネルギー、運動負荷時間を同一としたトレッドミルに

よる歩行運動に比較して原口式体操プログラムは、運動負荷による血中インスリン、遊離脂肪酸、ケトン体の変動が少ないことが示された。これらは前述のように、運動負荷による交感神経系の亢進に基づくものと考えられることより、このトレッドミルによる歩行運動と体操プログラムによる体操運動においては交感神経系を介する代謝、内分泌反応に相違があると推察された。

結 論

われわれは肥満者、糖尿病患者に原口式体操とリズム体操を組み合わせた体操プログラムを長期運動療法の一環として行ってきた。今回、原口式体操プログラムの急性運動効果について、代謝、内分泌反応を中心にトレッドミルによる歩行運動を対照として健常者での比較検討を行った。

1) トレッドミルによる歩行運動において、従来から報告されているように、血中インスリン低下、遊離脂肪酸、ケトン体の増加がみられ、交感神経系の亢進による代謝内分泌反応の結果と考えられた。

2) 原口式体操プログラムにおいて運動負荷による血中インスリンの低下、血中遊離脂肪酸の増加をみたが、トレッドミルによる歩行運動に比してより軽度であった。血中カテコラミンレベルもトレッドミルによる歩行運動に比して低値を示した。これらのことより同一の運動消費エネルギーおよび運動時間のトレッドミルによる歩行運動と比して、交感神経系の関与による代謝内分泌反応が異なると推察された。

3) 以上のことより、原口式体操プログラムは身体の移動が少ない点も考慮すると従来の運動療法の適応外と考えられる種々の疾病を有する高齢者や、合併症をもつ糖尿病患者などにおいても有用な運動療法となり得るのではないかと考えられる。

謝 辞

稿を終えるにあたって、大阪市立大学第二内科森井浩世教授の御校閲に深謝致します。

文 献

- 1) Alexander M., Krall L. P., and Bradley R. F., et al.; Joslin's Diabetes Mellitus, 12 ed. Lea & Febiger, Philadelphia (1985)
- 2) Vranic M., Berger M.; Exercise and diabetes mellitus. *Diabetes*, **28**, 147-163 (1979)
- 3) Wahren J., Hagenfeldt L.; Physical exercise and fuel homeostasis in diabetes mellitus. *Diabetologia*, **14**, 213-222 (1978)
- 4) 深水真知子, 西沢良記, 他; 肥満型糖尿病における運動療法の臨床的検討 第8回日本肥満学会記録, 181-183 (1988)
- 5) Astrand P. O., Rodahl K.; Textbook of work physiology, 3rd ed. McGraw-Hill book company (1986)
- 6) Skinner J. S.; Exercise testing and exercise prescription for special cases. Lea & Febiger, Philadelphia (1987)
- 7) Hartley L. H., Mason J. W., Hogan L. G., et al.; Multiple hormonal responses to graded exercise in relation to physical training. *J. Appl. Physiol.*, **33**, 602-606 (1972)
- 8) 高山弘平, 皆川 彰, 他; 糖尿病運動療法の基礎的研究, 日本内科学会誌, 第70巻, 第3号, 19-27 (1981)
- 9) Wahren J.; Glucose turnover during exercise in healthy man and in patients with diabetes mellitus. *Diabetes*, **28**, 82-88 (1979)
- 10) Jenkins A. B., Chisholm D. J., James D. E., et al.; Role of changes in insulin and glucagon in glucose homeostasis in exercise. *J. Clin. Invest.*, **77**, 900-907 (1986)
- 11) Hoeltzer D. R., Dalsky G. P., Clutter W. E., et al.; Glucoregulation during exercise, Hypoglycemia is prevented by redundant glucoregulatory systems, sympathochromaffin activation and changes in islet hormone secretion. *J. Clin. Invest.*, **77**, 212-221 (1986)
- 12) Smythe G. A., Grunstein H. S., Bradshaw J. E., et al.; Relationships between brain noradrenergic activity and blood glucose, *Nature*, **308**, 65-67 (1984)
- 13) Frede K. A., Sandler L. S., and Zieve F. J.;

- Electrical stimulation of the liver cell, activation of glycogenolysis, *Am. J. Physiol.*, **240** (Endocrino. Metab. 3), E 226–232 (1981)
- 14) Shimazu T. and Amakawa A.; Regulation of glycogen metabolism in liver by the autonomic nervous system, IV Possible mechanism of phosphorylase activation by the splanchnic nerve. *Biochim. Biophys. Acta.*, **385**, 242–256 (1975)
 - 15) Garceau D., N. Yamaguchi, et al.; Correlation between endogenous noradrenaline and glucose released from the liver upon hepatic sympathetic nerve stimulation in anesthetized dogs. *Can. J. Physiol. Pharmacol.*, **62**, 1086–1091 (1984)
 - 16) Minuk H. L., Vranic M., Marliss E. B., et al.; Glucoregulatory and metabolic responses to exercise in obese noninsulin-dependent diabetes. *Am. J. Physiol.*, **40**, E 458–464 (1981)
 - 17) Young D. R., Pelligra R., and Adachi R.; Serum glucose and free fatty acids in man during prolonged exercise. *J. Appl. Physiol.*, **21**, 1047 (1966)
 - 18) Sheurink A. J. W., Steffens A. B., and Ben-them L.; Central and peripheral adrenoceptors affect glucose, free fatty acids, and insulin in exercising rats. *Am. J. Physiol.*, **255**, R 547–556 (1988)
 - 19) Smith U.; Adrenergic control of lipid metabolism. *Acta. Med., Scand. Suppl.*, **672**, 41–47 (1983)
 - 20) 佐藤祐造, 坂本信夫, 他; 糖尿病の運動療法に関する研究 (第5報), *糖尿病*, **26** (2); 127–134 (1983)