

成人病の予防・改善のための運動処方

(糖・脂質・尿酸代謝の日内リズム
に及ぼす全身運動の影響)

筑波大学 伊藤 朗

同 角田 聡

国立栄養研究所 山田 哲雄

兵庫教育大学 藤田 定彦

The exercise prescription for prevention and improvement of adult diseases

**(The effect of the whole body exercise
on diurnal rhythms of carbohydrate,
fat and uric acid metabolism)**

by

Akira Ito, Satoshi Sumida

The University of Tsukuba

Tetsuo Yamada

National Institute of Nutrition

Sadahiko Fujita

The Hyogo University of Education

ABSTRACT

We already published the exercise prescription that prevent and improve one's carbohydrate, fat and uric acid unusual metabolism on adult diseases.

We investigated that the exercise prescription was effective or not in one's daily work.

Experiment 1. The effect of the whole body exercise on a diurnal rhythm of carbohydrate metabolism. (60% $\dot{V}O_2$ max. 20min. 3 sets)

Experiment 2. The effect of the whole body exercise on a diurnal rhythm of fat metabolism. (60% $\dot{V}O_2$ max. 20 min. 3 sets)

Experiment 3. The effect of the whole body exercise on a diurnal rhythm of uric acid metabolism. (40% $\dot{V}O_2$ max. 20 min.)

The results were as follows:

The results of Experiment 1.

- 1) Diurnal rhythms of blood sugar, serum insulin and serum C-peptide on exercised day maintained low levels.
- 2) The excretion volume of urinary C-peptide on exercised day was low level.
- 3) Diurnal rhythm of plasma Cyclic-AMP on exercised day maintained high levels.

The results of Experiment 2.

- 1) Diurnal rhythm of serum TG. exercised day maintained low level but FFA was high level.
- 2) Diurnal rhythm of serum total cholesterol and HDL-cholesterol on exercised day almost unchanged.

The results of Experiment 3.

- 1) Diurnal rhythm of serum uric acid on exercised day maintained low level but uric acid clearance and CPK activity were high levels.

The results of Experiment 1. 2. 3. suggest that the exercise prescriptions experimented by Ito, et al in experimental room were effective.

要 旨

成人病のなかでも、糖・脂質・尿酸代謝の異常を予防・改善するための運動処方について、すでに発表した。この運動処方が日常生活において有効であるか否かについて検討した。

実験1, 糖代謝の日内リズムに及ぼす全身運動の影響 (60% $\dot{V}O_2$ max 20分間3セット)

実験2, 脂質代謝の日内リズムに及ぼす全身運動 (60% $\dot{V}O_2$ max 20分間3セット) の影響

実験3; 尿酸代謝の日内リズムに及ぼす全身運動 (40% $\dot{V}O_2$ max 20分間) の影響

その結果は、次のように要約される。

実験1の結果

- 1) 運動負荷日の血糖およびインスリン, C-ペプチドの日内リズムは、低値であった。

- 2) 運動負荷日の尿中 C-ペプチドの排泄量は低値であった。

- 3) 運動負荷日の血漿 Cyclic-AMP の日内リズムは高値であった。

実験2の結果

- 1) 運動負荷日の血清中性脂肪の日内リズムは低値であった。しかし、FFA の日内リズムは高値であった。

- 2) 運動負荷日の血清総コレステロール, HDL-コレステロールの日内リズムは、安静日と同じであった。

実験3の結果

- 1) 運動負荷日の血清尿酸の日内リズムは低値であった。しかし、尿酸クリアランス, CPK 活性の日内リズムは高値であった。

3つの実験の結果は、伊藤らの実験室的運動処

方が、日常生活において有効であることを示している。

緒 言

成人病のうち、糖尿病の占める割合は非常に大きく、1978年には¹⁾人口千人当り2.5件の有病率、高脂血症は、脳血管や心臓などの動脈硬化性疾患の誘因の1つであるといわれ、前者が2.9、後者が4.1の有病率となった。

これらの疾患に対する運動療法の有効性は古くから認められているが、至適運動処方に関する研究は、他の療法に比して遅れている。

当該研究は至適運動処方確立するため、糖・脂質・尿酸代謝に及ぼす運動特性について検討することを目的とした。

伊藤らは²⁾、糖代謝異常者に各種強度の全身運動を負荷し、60% $\dot{V}O_2 \max$ 強度で20分間の運動を3セット実施させる処方が至適であると報告している。さらにこの処方は、高カイロミクロン血症者に対しても有効であるとしている^{2,13,14)}。また、高尿酸血症者に対しては、30~40% $\dot{V}O_2 \max$ 強度で20分間実施させることが至適であると報告している¹⁶⁾。

当該研究は、上記処方が通常の食生活における糖・脂質・尿酸の日内リズムに及ぼす影響について検討したものである。

研究 方法

実験 1：糖代謝の日内リズムに及ぼす60% $\dot{V}O_2 \max$ 20分間3セットの全身運動の影響

被検者は、糖代謝異常男性4名(42~52歳)とした。

対照実験は、6時起床、6時30分~7時朝食(糖質120g、タンパク質30g、脂質25gで約860Cal)、12時~12時30分昼食(糖質120g、タンパク質16g、脂質2g約600Cal)、その他は飲食させず、17時30分まで臥位安静を保持させた。

運動負荷実験は、日を改めて対照実験と同様の条件で、通常勤務(座業)につかせ、8時と13時30分の2回、上記の運動を負荷(自動車エルゴメータ)した。

採血は11回、採尿は午前午後にかけてプールした。

測定項目および方法は、血糖(酵素法)、インスリン(酵素法)、C-ペプチド(radioimmunoassay法)、Cyclic-AMP(radioimmunoassay法)である。

実験 2：脂質代謝の日内リズムに及ぼす60% $\dot{V}O_2 \max$ 20分間3セットの全身運動の影響

被検者は、高脂血症男性5名(27~49歳)とした。

対照実験は、6時起床、6時30分~7時朝食(脂質53g、糖質59g、タンパク質6g)、12時30分~13時昼食(脂質14g、糖質115g、タンパク質27g)、19時30分~20時夕食(脂質131g、糖質104g、タンパク質68g)とし、被検者N.H.については脂質を増やし朝食(脂質78g、糖質59g、タンパク質6g)、昼食(脂質132g、糖質137g、タンパク質29g)、夕食(脂質131g、糖質104g、タンパク質68g)とし、その他は飲食させず、臥位安静を保持させた。

運動負荷実験は、日を改めて対照実験と同様の条件で、通常勤務(座業)につかせ、10時と16時30分の2回、上記の運動を負荷(自転車エルゴメータ)した。

採血は、翌朝6時までに9~10回行った。

測定項目および方法は、血清中性脂肪、総コレステロール、血糖(いずれも酵素法)、HDL-コレステロール(リン・タンMg沈でん法)、遊離脂肪酸(ローレルTAC法)、総タンパク(屈折法)である。

実験 3：尿酸代謝の日内リズムに及ぼす40% $\dot{V}O_2 \max$ 20分間の全身運動の影響

被検者は、高尿酸血症男性3名（大学教官38～46歳）とした。

対照実験は、7時起床、7時10分朝食（糖質41g、脂質54g、タンパク質22g）、13時昼食（糖質69g、脂質2g、タンパク質11g）、19時夕食（糖質145g、脂質70g、タンパク質44g、1日2,465 Cal）、その他は飲食させず、翌朝7時まで臥位安静を保持させた。

運動負荷実験は、日を改めて対照実験と同様の条件で、通常勤務（座業）につかせ、9時10分と15時10分の2回、上記の運動を負荷（自転車エルゴメータ）した。

採血・尿は各10回とした。

測定項目および方法は、尿酸（酵素法）、クレアチニン（Folin-Wu法）、CPK（Rosalki変法）、総タンパク（尿析法）、尿pH（試験紙法）などである。

結 果

実験1の結果

血糖の日内リズムは（図1）、対照に比して午前前の前記運動で低値を示し、その影響は、昼食後の値にまで及んだ（ $p < 0.001$ ）。午後の前記運動では更に低値を示した（ $p < 0.001$ ）。

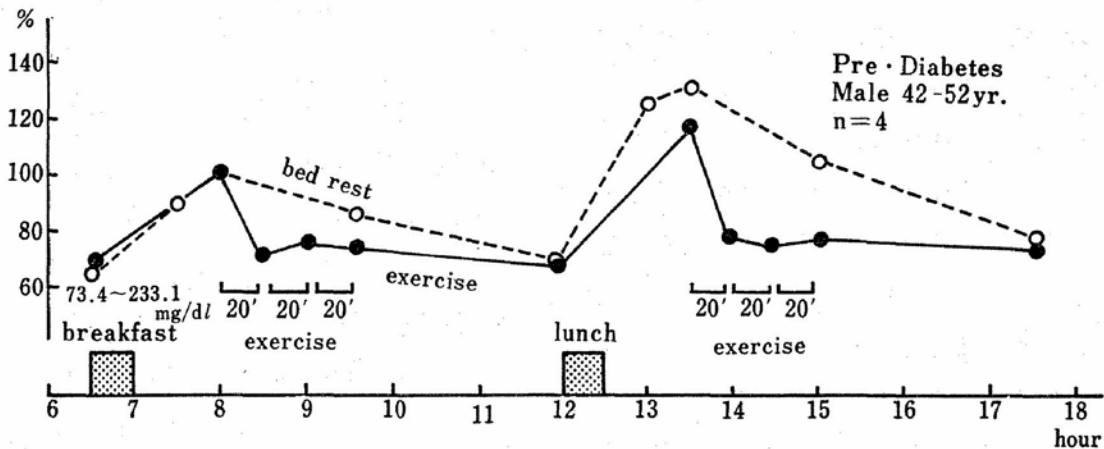


図1 Diurnal variation of changing ratio in Blood Sugar on bedrest, daily work and about 60% $\dot{V}O_2$ max. exercise (20 min.—3 sets). Percentage for value of before exercise in the morning

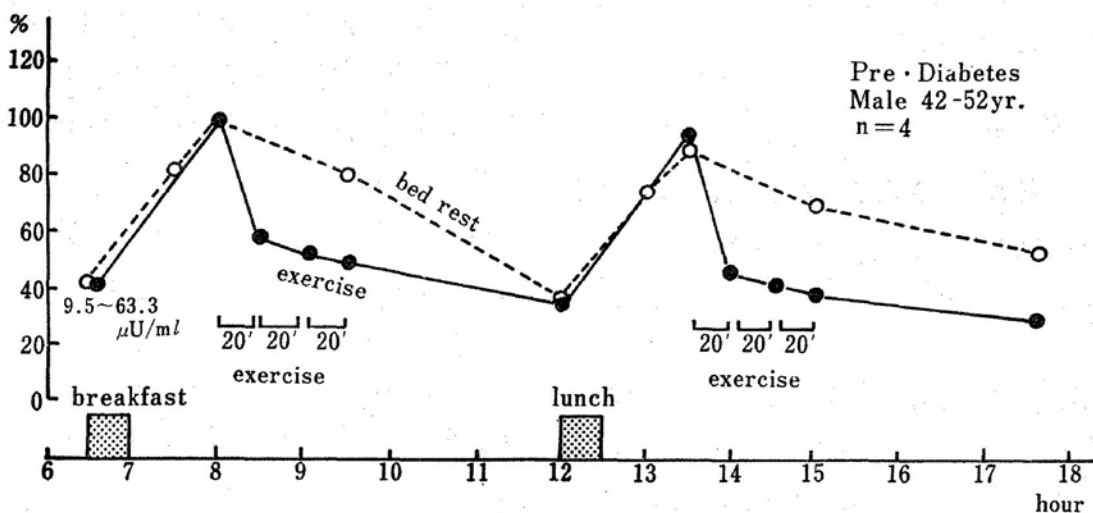


図2 Diurnal variation of changing ratio in Serum Insulin on bedrest, daily work and about 60% $\dot{V}O_2$ max. exercise (20 min.—3 sets). Percentage for value of before exercise in the morning

血清インスリン (図2), C-ペプチド (図3) の日内リズムに及ぼす前記運動の影響は, 血糖の場合よりも大きく, 著しい低値 ($p < 0.001$) を示し, 同者は同様の動態を示した.

尿中C-ペプチド排泄量は (図4), 午前, 午後とも, 運動負荷日の方が少量 ($p < 0.001$) であった.

血漿 Cyclic-AMP の日内リズムに及ぼす前記運動の影響は (図5), 安静日 (対照実験) では朝食後より減少し, 更に昼食後減少するが, その後徐々に上昇, 午前の運動で上昇し, 昼食後まで高値を示し, その後の運動で再び上昇し, 17時30分においても高値のままであった.

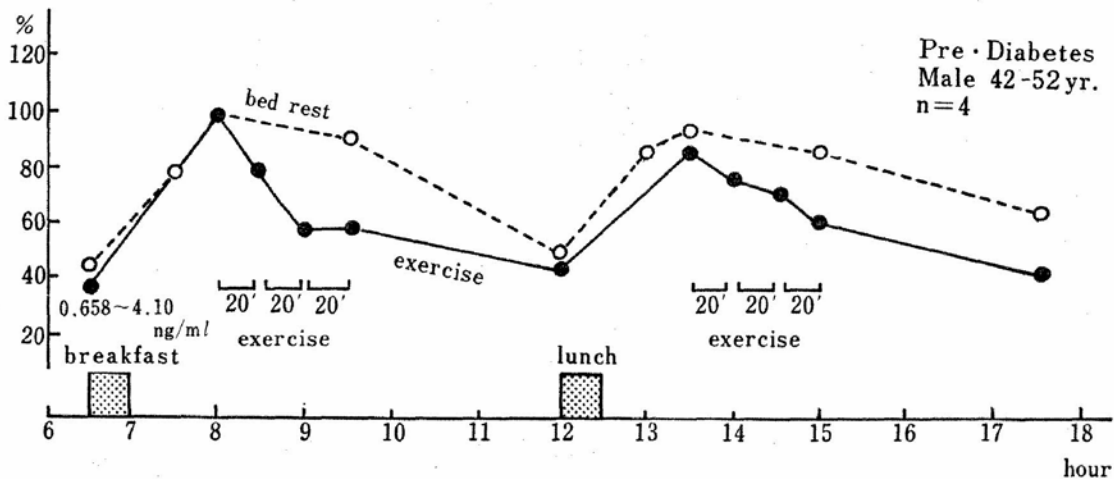


図3 Diurnal variation of changing ratio in Serum CPR on bedrest, daily work and about 60% $\dot{V}O_2$ max. exercise (20 min.—3 sets). Percentage for value of before exercise in the morning

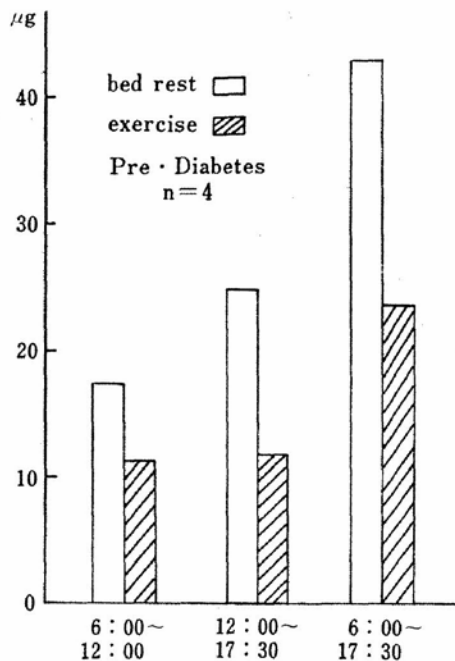


図4 Mean value of 6:00~12:00, 12:00~17:30 and 6:00~17:30 total excretion volume of Urinary CPR

実験2の結果

対照実験における血清中性脂肪の日内リズムは, 個人差が著しいため, 個別的に結果を示した.

Sh. K. は (図6), 食事の影響が少ないタイプであるが, 運動負荷日は著しい低値を示したが, 夜間・翌朝にかけて大差がなかった.

M.K. は (図7), 食事の影響が非常にゆっくりと現われるタイプであるが, 運動負荷日では, 午前の運動の影響が遅れて現われ, 午後の運動の影響は翌日まで持続している.

K.O. (図8-1), Se. K. (図8-2) は, 食事3時間でピーク値を示し, その後約6時間で前値に回復するタイプであるが, 運動負荷日では低値を示したものの, 前2者に比して影響が少なかった.

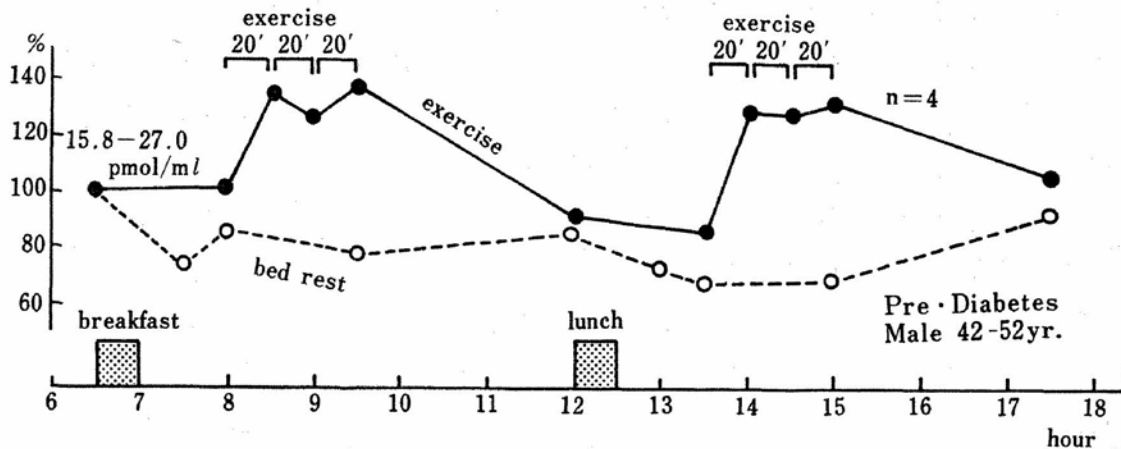


図5 Diurnal variation of changing ratio in Cyclic-AMP on bedrest, daily work and about 60% $\dot{V}O_2$ max. exercise (20 min.—3 sets). Percentage for value of before exercise in the morning

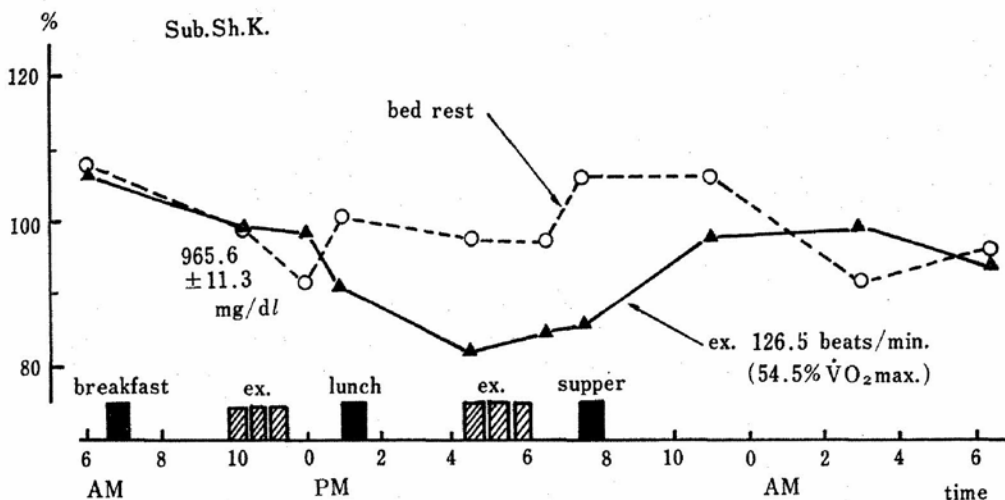


図6 Diurnal variation of Serum Triglyceride

上記4名の昼食の脂質摂取量が少なかったため、N.H.には、朝食+25g、昼食+118gとし、その結果を検討した(図9)。

安静日は朝食後上昇し、その後の回復も前者に類似しているが、昼食で再び上昇、回復もよいが翌朝も高値であるのに比して、運動負荷日では、午後の低下が著しく、翌朝にも影響が及んだ。

血清遊離脂肪酸、総コレステロール、HDL-コレステロール、血糖の結果、血清遊離脂肪酸は、全般的に運動負荷後高値傾向を示したが、総・HDL-コレステロールは、食事による影響はみられず、運動負荷日では若干濃縮の影響がみられた

に過ぎなかった。しかし、血糖の日内リズムに及ぼす運動の影響は認められ、運動負荷日は低値であった。

実験3の結果

血清尿酸、尿酸・クレアチニンクリアランス、尿量、尿pHの日内リズムに及ぼす前記運動の影響を図10、図11、図12に示した。

血清尿酸について、S.O.は運動負荷日の午前が著しい低値を示し、午後には差が少なくなった。Y.F.では午後から翌朝にかけて著しい低値を示し、K.I.では午前から午後にかけて著しい低値を示した。

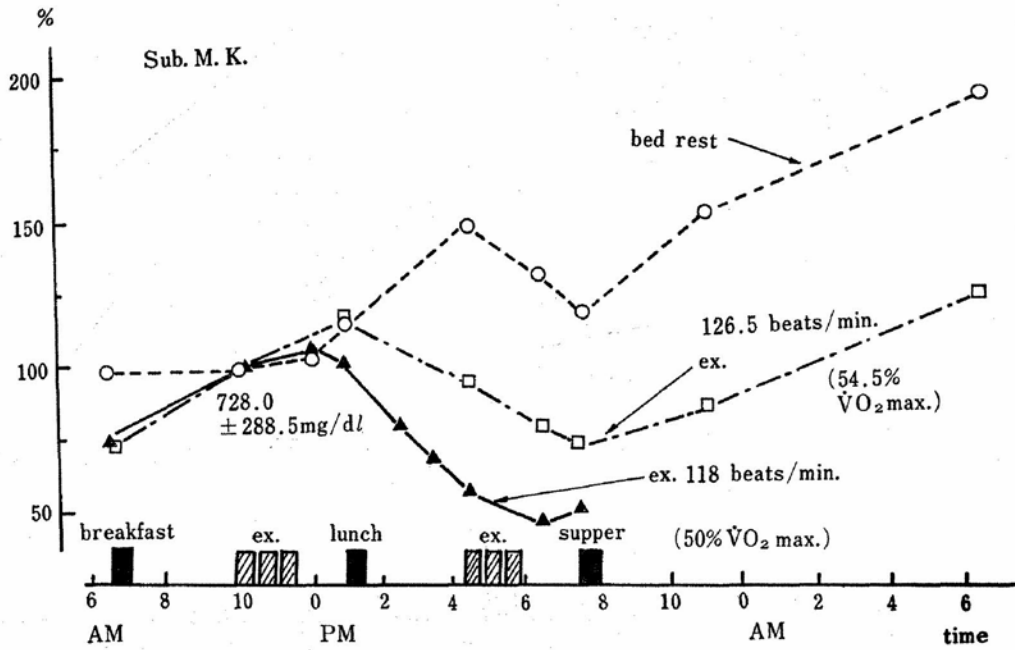


図7 Diurnal variation of Serum Triglyceride

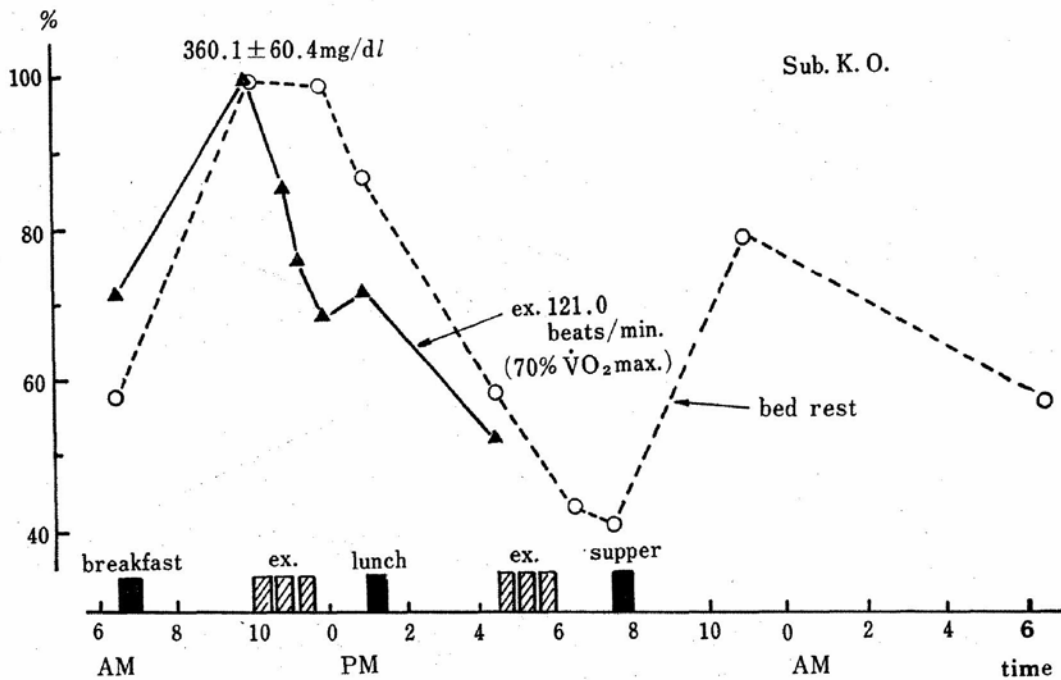


図8-1 Diurnal variation of Serum Triglyceride

クレアチニンクリアランスは、血清尿酸と対応した動態を示した。

また、血清 CPK 活性の日内リズムに及ぼす前記運動の影響については(図13)、運動負荷日には日中高値を示し、夕刻から翌朝にかけて低下

し、Y.F. では差がなくなった。

考 察

糖代謝異常の予防・改善のための運動療法の意義は、「運動によって筋活動を盛んにし、筋肉内

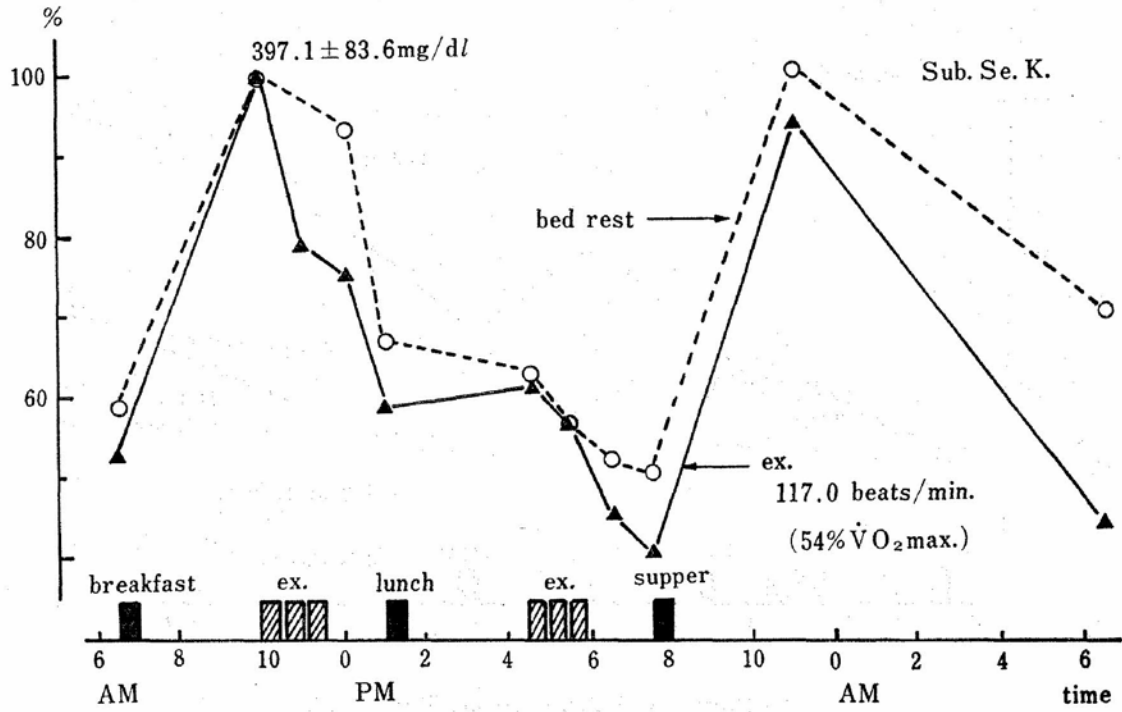


図 8-2 Diurnal variation of Serum Triglyceride

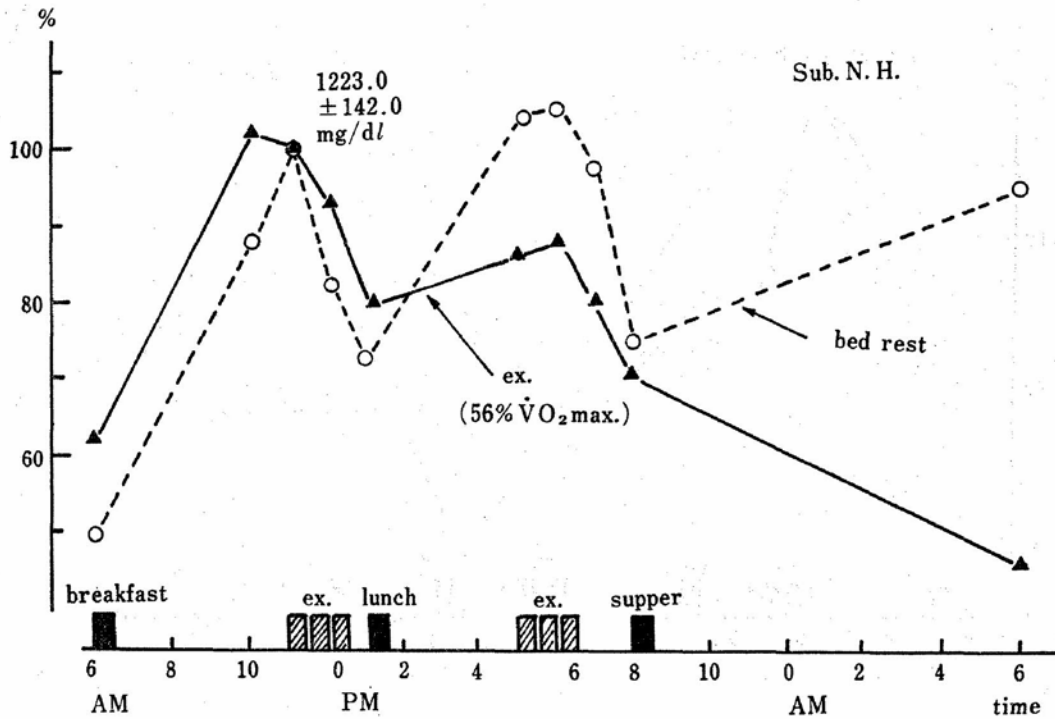


図 9 Diurnal variation of Serum Triglyceride

に含まれている糖質をエネルギー源として利用することにより、体内での糖代謝が活発化され、末梢での糖の取り込みを高進し、インスリンの感受性が高進されて、少量で血糖の降下が得られる」といわれている³⁾。

インスリンの日内リズムは、摂食によって上昇するが、運動負荷日に、これが減少していることは、当該処方インスリンの感受性を高進し、少量で血糖を降下させているものと考えられる。

C-ペプチドは膵β細胞より等モル分泌され

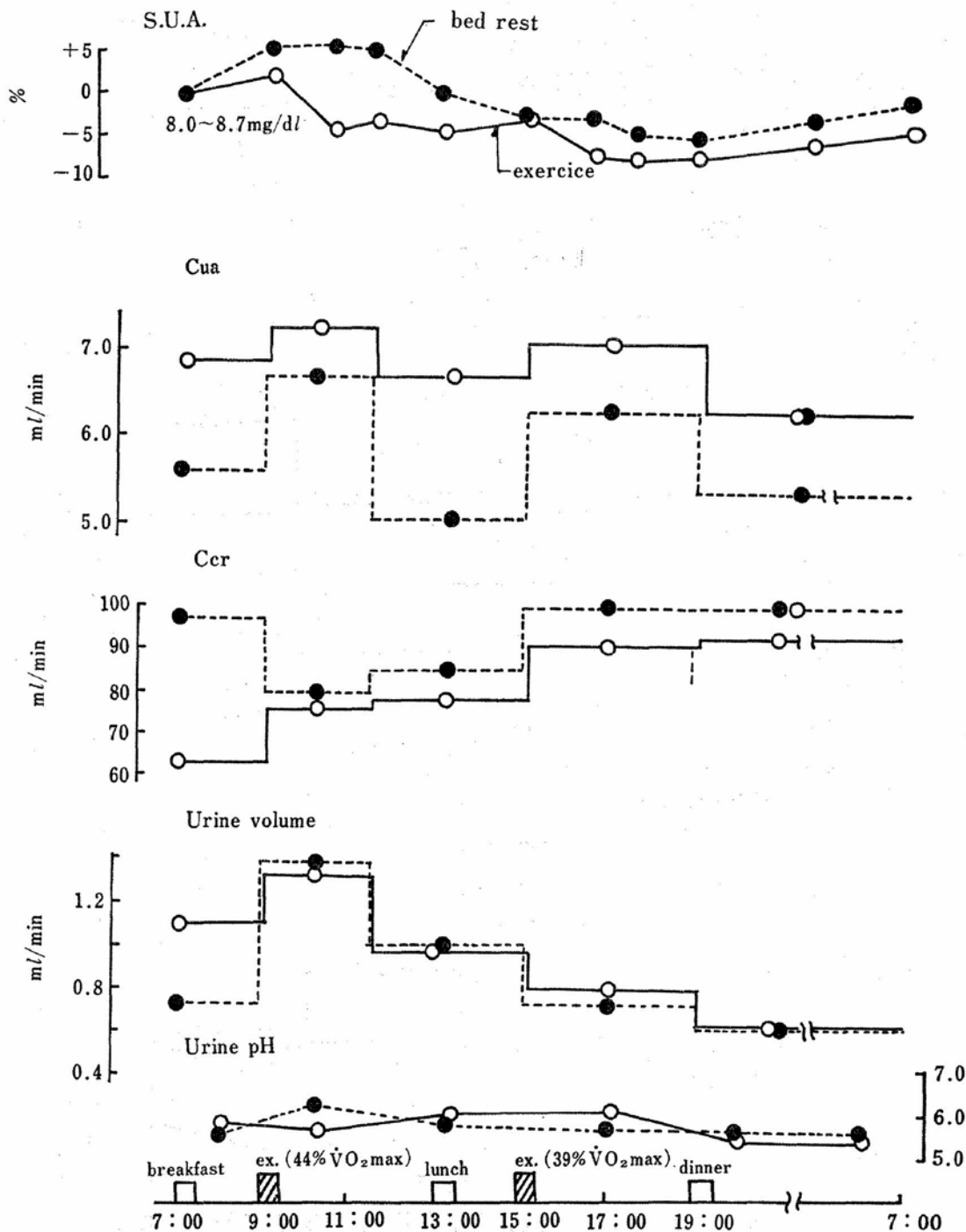


図10 Changes in serum uric acid, uric acid clearance, creatinine clearance, urine volume and urine pH. (Sub. S.O.)

る。また C-ペプチドは、肝臓ではほとんど取り込まれず、腎臓で分解されるか尿中に排泄されるといわれている⁴⁾。したがって、本結果は、インスリンの分泌量の減少を二重に裏付けしている。

Cyclic-AMP は、カテコールアミンのセカンドメッセンジャーとして作用している。

Naveri ら⁵⁾ は、運動による上昇を認めているが、伊藤⁶⁾ も運動強度と比例的に上昇することを認めている。

本研究の結果は、運動負荷日には、肝臓からの内因性の糖の動員を意味している。このことは、運動負荷日の血糖は食事性の糖に加えて、内因性

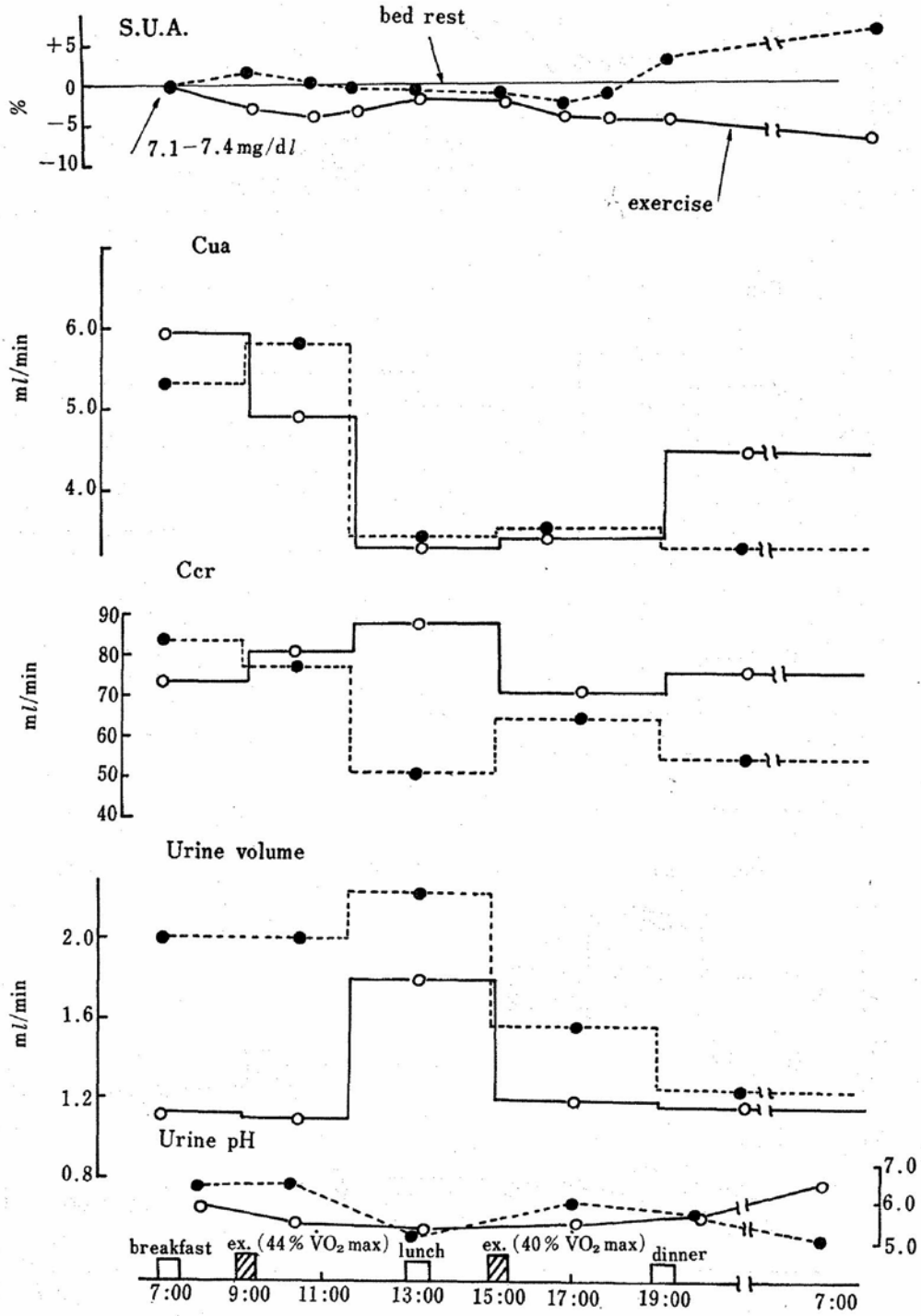


図11 Changes in serum uric acid; uric acid clearance, creatinine clearance, urine volume and urine pH. (Sub. Y.F.)

の糖をも低下していることを意味している。

Carlson ら⁷⁾は、運動による血清中性脂肪の低下は、肝細胞への遊離脂肪酸の供給低下および肝血流量低下による肝でのプールの低下、末梢組織への血中からの流入の増加に起因するとしている。

運動が脂質代謝に与える効果の残存時間については、Holloszy ら⁸⁾が44時間、Oskai ら⁹⁾ Carlson ら¹⁰⁾は数日間であるとしている。

また、Gyntelberg ら¹¹⁾は、血清中性脂肪の低下がカロリー消費によるものではないことを示している。

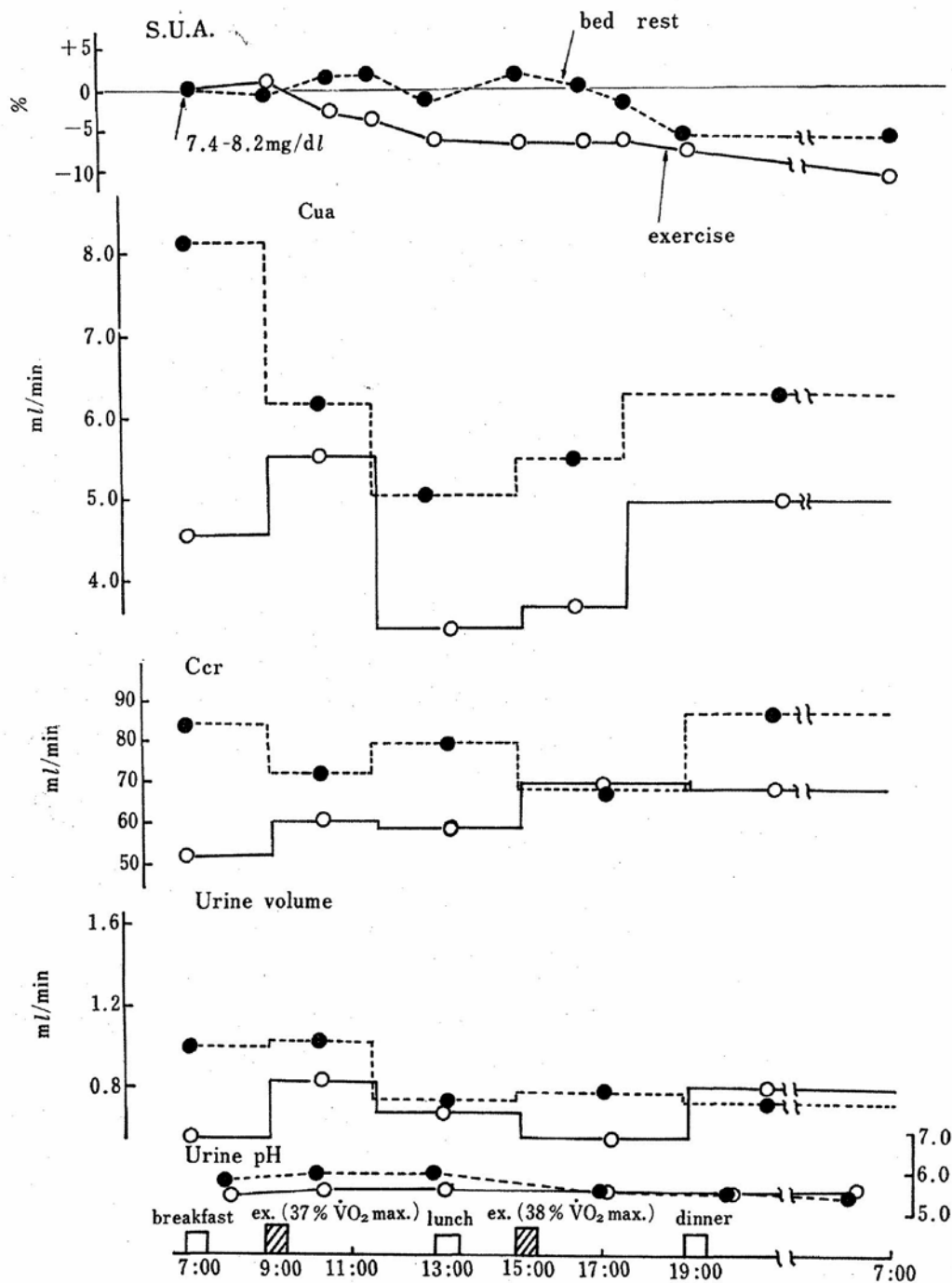


図12 Changes in serum uric acid, uric acid clearance, creatinine clearance, urine volume and urine pH. (Sub. K.I.)

本実験では、運動負荷日の血清遊離脂肪酸の上昇を認めており、運動後の脂質代謝の高進も影響しているものと考えられる。

血清総コレステロール値は、長期間のトレーニングによって低下し、HDL-コレステロールは上昇することが知られている¹²⁾。しかし、一過性の運動においては、濃縮による変動が認められる程

度であり¹⁵⁾、本研究においても同様の結果であった。

血清尿酸の上昇は、尿酸産生の高進と排泄の阻害に起因している。運動による排泄阻害因子として、Nicholsら¹⁷⁾は、過剰産生された乳酸による遠位尿細管での尿酸分泌の抑制を指摘している。また、腎の酸素供給不足に伴う腎血流量の低下に

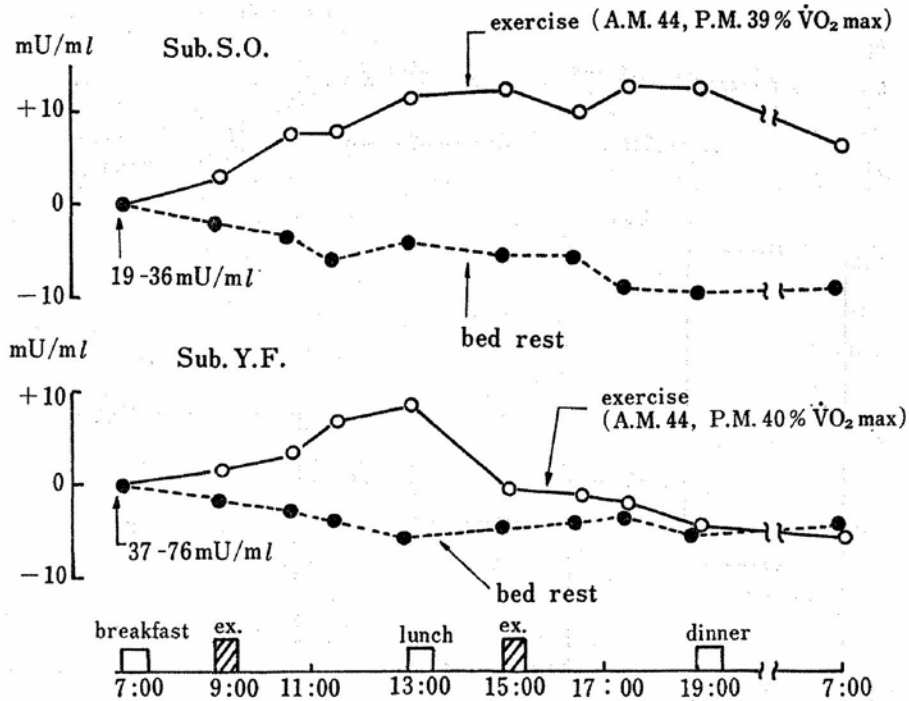


図13 Changes in total C.P.K. activities on each experiment.

起因している。40% $\dot{V}O_2$ max. の全身運動は、血中乳酸値を低下せしめ、かつ酸素摂取効率も高いことが知られている。

CPK 活性値の上昇は、細胞の損傷・壊死を反映していると考えられている。尿酸の前駆物質としてのプリン体の供給源である核タンパクの崩壊という観点から、尿酸産生状況を推察し得る。40% $\dot{V}O_2$ max. 程度でも CPK 活性の上昇が認められ、尿酸産生の抑制はできていないが、クリアランスの高進が血清尿酸値の低下をもたらすしているものとする。

以上、3種の実験は、伊藤らが主張している実験室的至適運動処方が、通常の食事での実生活においても十分に適用できるものとする。

総括

成人病のうち、糖・脂質・尿酸代謝異常の予防と改善のための至適運動処方について、すでに発表している実験的処方を、通常の食事での実生活においても適用できるか否かについて、臥位安静

時の日内リズムを対照に検討した。

実験1は、糖代謝の日内リズムに及ぼす60% $\dot{V}O_2$ max. 20分間3セットの全身運動の影響。

実験2は、脂質代謝の日内リズムに及ぼす60% $\dot{V}O_2$ max. 20分間3セットの全身運動の影響。

実験3は、尿酸代謝の日内リズムに及ぼす40% $\dot{V}O_2$ max. 20分間の全身運動の影響である。

その結果は、次のように要約される。

実験1の結果

- 1) 運動負荷日の血糖、インスリンの日内リズムは低値を示した。
- 2) 血中C-ペプチドの日内リズムは、運動負荷日に低値を示し、尿中排泄量も低値を示した。
- 3) 運動負荷日の血漿Cyclic-AMPの日内リズムは高値を示した。

実験2の結果

- 1) 運動負荷日の血清中性脂肪の日内リズムは低値を示した。
- 2) 血清遊離脂肪酸の日内リズムは、運動負荷

日に高値を示した。

- 3) 運動負荷日の血清総コレステロール, HDL-コレステロールの日内リズムは, 安静日と同様の動態を示した。

実験3の結果

- 1) 運動負荷日の血清尿酸の日内リズムは低値を示した。
- 2) 尿酸クリアランスの日内リズムは, 運動負荷日に高値傾向を示した。
- 3) 運動負荷日の血清CPK活性の日内リズムは高値を示した。

以上, 3種の実験結果は, 伊藤らの実験室的運動処方が, 通常の食事での実生活においても十分適用できることが示唆された。

文 献

- 1) 厚生統計協会, 国民衛生の動向, 厚生指標, 第27巻, 第9号 (1980)
- 2) 伊藤朗: 成人病の運動処方における諸問題 (糖尿病および高脂血症を中心として) 体力科学, Vol. 28, No. 2: 184—187 (1979)
- 3) 阿部正和他編: 運動療法, 朝倉書店, 東京 (1979)
- 4) Katz, A.I. et al.: *Clin. Invest.*, **52**: 1113—1121 (1973)
- 5) Naveri, H. et al.: *Scand. J. Clin. Lab. Invest.*, **38**: 323—336 (1978)
- 6) 伊藤朗他: 運動時のCyclic-AMPと糖代謝, 第28回日本体育学会大会号: 211 (1977)
- 7) Carlson, L.A. et al.: *Acta. Physiol. Scand.*, **62**: 51—59 (1964)
- 8) Holloszy, J.O. et al.: *Am. J. Cardiol.*, **14**: 753—760 (1964)
- 9) Oskai, L.B. et al.: *Am. J. Cardiol.*, **30**: 775—780 (1972)
- 10) Carlson, L.A. et al.: *Metabolism*, **16**: 624—637 (1967)
- 11) Gyntelberg, F. et al.: *Am. J. Clin. Nutr.*, **30**: 716—720 (1977)
- 12) Lehtenen, A. et al.: *Acta. Med. Scand.*, **204**: 111 (1978)
- 13) 伊藤朗他: 中高年者の60% $\dot{V}O_2$ max. トレーニングの生化学的研究, 体育科学, **3**: 96—111 (1975)
- 14) 伊藤朗他: 60% $\dot{V}O_2$ max. (20分3セット) トレーニングと食事療法が高脂血症および作業能力に及ぼす影響, 体育科学, **4**: 35—51 (1976)
- 15) 伊藤朗他: 運動の諸測定値におよぼす影響, 臨床病理, **22** (臨時号): 81—101 (1974)
- 16) Ito, A., etc.: Uric acid metabolism at exercise in Hyperuricemia men. *J. Physiol. Soc. Japan*, **42**: 364 (1980)
- 17) Nichals, J. et al.: *J. Appl. Physiol.*, **3**: 501—507 (1951)