

## 中程度の強度の運動と運動後の食事が心拍数 および代謝産物レベルに与える影響について

中安紀美子, 北岡久美, 的場秀樹, 小原繁, 荒木秀夫  
佐藤充宏, 中村久子, 三浦武, 黒田浩, 生田豊

### INFLUENCES OF MODERATE INTENSITY EXERCISE AND A MEAL POSTEXERCISE ON HEART RATE AND METABOLIC SUBSTRATES LEVEL

Kimiko NAKAYASU, Kumi KITAOKA, Hideki MATOBA, Sigeru OBARA  
Hideo ARAKI, Mitsuhiro SATO, Hisako NAKAMURA, Takesi MIURA  
Hirosi KURODA and Yutaka IKUTA

*Department of Sport Sciences, Faculty of Integrated Arts and Sciences,  
The University of Tokushima*

#### SUMMARY

The influences of moderate intensity exercise and a meal postexercise on heart rate and metabolic substrates were studied. Eight college students, who had not been engaged in regular endurance training, participated in this study. They exercised on a bicycle ergometer for 30 min at 60% of their maximum  $VO_2$ . They were given a meal(500 kcal) and water 3 hours after cessation of the exercise. The heart rate was monitored continuously. Blood level of glucose and lactate and serum level of glycerol and non esterified fatty acid(NEFA) were measured before, during and following the exercise at selected time points.

Heart rate was elevated during the exercise from preexercise control value. It remained elevated as compared with the control value in postexercise period of 6 hours long. The meal postexercise caused the elevation of heart rate. The lactate increased during the exercise and returned to the control value by 3 hours postexercise. The glucose was not affected by the exercise but was elevated by the meal, the elevation lasting for 2 hours. The NEFA increased during the exercise and it was kept elevated during the postexercise period until the meal was taken. The exercise induced an increase in glycerol. The glycerol level returned to the control value by the time point for the meal.

The results suggest that the exercise with the intensity of 60%  $\text{VO}_2$  max. enhances overall postexercise metabolism for at least 6 hours. The results also suggest that the meal switches postexercise metabolism toward predominance of carbohydrate metabolism.

Key words : postexercise metabolism, heart rate, metabolic substrate

## I. はじめに

近年、運動後の代謝亢進に関する研究が進められ、そのメカニズムが少しずつ解明されている(長野 1993)。ただし、これまでの研究の多くは、運動強度が高く、持続時間も長い場合について検討されたものであり、一般の人が健康づくりのために行うような中程度の運動については、運動後長時間にわたって代謝亢進があるのか、また、あるとすればどのようなメカニズムによるのかなど、不明な点が多く残されている(長野 1993)。

そこで本研究では、一般のトレーニングでよく採用される最大酸素摂取量の60%強度、30分間の運動が、代謝にどのような影響を与えるのかを検討した。加えて運動からの回復期に摂取した食物の代謝に及ぼす影響についても調べた。

## II. 方 法

### A. 被験者

持久的トレーニングを行っていない健康な成人8名(男性4名, 女性4名)を対象とした。被験者には、本研究の目的、内容を十分に説明し、実験参加への同意を得た。被験者の身体特性の平均値および標準偏差は、年齢  $25.3 \pm 7.1$ (歳)、身長  $164.2 \pm 7.7$ (cm)、体重  $56.1 \pm 8.7$ (kg)、体脂肪率  $16.9 \pm 4.7$ (%)であった。

### B. 実験の手順

まず、漸増的多段階負荷実験により各被験者の最大酸素摂取量( $\text{VO}_2\text{max}$ )の60%強度にあたる負荷を決定した。その後、30分間固定負荷運動及び運動後6時間の回復過程を調べた。

#### 1. 漸増的多段階負荷実験

##### 1) 運動負荷

各被験者の $\text{VO}_2\text{max}$ を測定するために、自転車エルゴメーター(株式会社コンビ製 ERGOMETER 232 C)を用いた漸増的多段階負荷実験を行った。負荷は10Wから開始し、4分毎に男性は30Wずつ、女性は20Wずつ増加させ、心拍数が160拍程度に上がるまで運動を続けさせた。

漸増的多段階負荷実験で得られたデータから、次の方法により各被験者の60% $\text{VO}_2\text{max}$ 強度の負荷を決定した。

- (1) 各被験者の心拍数と $\text{VO}_2\text{max}$ の関係をグラフに示し、回帰曲線を求める。
- (2)  $\text{HRmax} = (215 - \text{年齢})$ より、最高心拍数(HRmax)を予測する(小原 1994)。
- (3) 最高心拍数に対応する $\text{VO}_2$ をもって $\text{VO}_2\text{max}$ とし、更に、60% $\text{VO}_2\text{max}$ を算出

する。

(4) 各被験者の負荷と $\text{VO}_2\text{max}$ の関係をグラフに示し、回帰曲線を求める。

(5) 60% $\text{VO}_2\text{max}$ に対応する負荷の値を求める。

## 2) 測定項目及び分析法

(1) 心拍数：心拍数は、心拍計（㈱日本光電製 POLYGRAPH SYSTEM）を使用して測定した。電極を心尖部（陰極）、胸骨上縁部（陽極）、心尖部と前正中線に関して対称な点（アース）の計3カ所に貼付し、双極胸部誘導の心電図を記録した。各負荷段階の終了前1分間の心拍数を各段階の値とした。

(2) 呼気ガス諸量：酸素摂取量を調べるため、呼吸代謝モニタ（㈱ミナト医科学製 エアロモニタ AE-10）を用いて、呼気ガス中の酸素、二酸化炭素の濃度を分析した。

(3) 乳酸濃度：ラクテート測定機（㈱日科機製 YSI model 23 L）を用いて、固定化酵素膜電極法により測定した 血液中乳酸濃度を測定するため、各負荷段階終了直前に採血を行った。採血は、採血針で左手第Ⅱ指の指先より、約30 $\mu\text{l}$ ずつ動脈血を採取した。採取後直ちに全血サンプルを用いて、血液中乳酸濃度を測定した。

## 2. 30分間固定負荷運動及び運動終了後6時間の回復過程を調べる実験

### 1) 運動負荷

漸増的多段階負荷実験において決定した各被験者の60% $\text{VO}_2\text{max}$ 強度の負荷で、30分間の自転車エルゴメーター駆動を行った。

### 2) 前日及び当日のコントロール

被験者には、翌日の実験への影響を避けるため、実験前日の飲酒喫煙を禁止した。さらに、夜8時以降に飲食物の摂取を行わないよう指示した。ただし、エネルギー源となる栄養素及びカフェインを含まない飲料水についてはこの限りではなかった。

実験当日、被験者には空腹のまま、なるべく運動量の少ない手段を用いて実験室へ来るよう指示した。被験者は入室後、心拍数測定のための電極を装着し、椅子にて30分間座位安静を保った。その後、前述の負荷で自転車エルゴメーター駆動を行い、運動終了後は再び椅子に戻って6時間座位安静を保ち続けた。この間の睡眠は禁止した。眠気防止のため被験者には音楽鑑賞、読書を許可した。

### 3) 測定項目及び分析法

(1) 心拍数：測定は、漸増的多段階負荷実験と同様の方法で行った。運動開始5分前から、終了5分後まで継続して測定を行った。運動終了後は30分に1回の頻度で、5分間ずつ測定した。それぞれ5分間の測定値の平均を各時点の値とした。

(2) 体温：運動開始前の安静時と運動終了後の回復過程での腋窩温を測定した。回復過程での測定は、心拍数測定と同様のプロトコルで行った。測定には水銀体温計を用い、腋窩に6分間挟んだ後の値をその時点での値とした。

(3) 自覚的運動強度：運動開始5分後と終了5分前に、ボルグの自覚的運動強度判定表を用いて自覚的運動強度を調べた。

(4) 乳酸濃度：測定は、漸増的多段階負荷実験と同様の方法で行った。

(5) グルコース濃度：血糖測定機器（㈱小野薬品工業製 タイド）を用いて、光電反射法により測定した。採血後直ちに、全血を試験紙に点着して測定を行った。

(6) 遊離脂肪酸濃度：酵素法に基づいた遊離脂肪酸測定用キット（㈱和光純薬工業製

NEFA C-テスト)を用いて測定した。

(7) 血液中グリセロール濃度：紫外吸光度測定法の原理に則ったグリセロール測定用キット(㈱ペーリンガー・マンハイム山之内製 F-キットグリセロール)により測定を行った。

#### 4) 採血及び検体処理

採血は、運動前の安静時、運動終了直後、運動終了3時間後、5時間後及び6時間後に行った。採血時には、注射器で肘正中皮静脈より約3mlの静脈血を採取した。血液中遊離脂肪酸濃度及び血液中グリセロール濃度を測定するための静脈血は、必要量を採血した後直ちに注射針を外し、試験管内に注入した。そして、約30分間室温にて静置した後遠心機(㈱トミー精工製 IC-15 AR)を用いて2,700回転で10分間遠心分離した。得られた血清を別の清浄な試験管に分取し、-20℃以下の冷凍庫で凍結保存した。

#### 5) 食事

回復時における食事の影響をみるために、運動終了3時間後に固形の栄養食(㈱大塚製薬製 カロリーメイト; 600Kcal)と水(㈱カルピス食品工業製 エビアンナチュラルウォーター; 368±125ml)を与えた。

#### 6) データの分析

データの値は、平均値±標準偏差で表示した。また、本実験で得られたデータの平均値の差の検定はt検定にて行った。

#### 7) プロトコール

実験の概要を図1に示した。

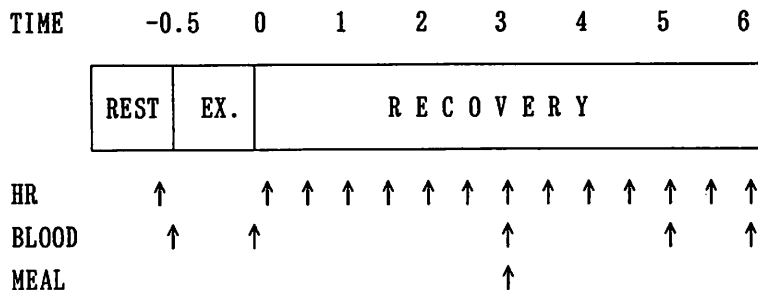


図1 Experimental protocol

### III. 結果

#### A. 漸増的多段階負荷実験

漸増的多段階負荷実験により測定したVO<sub>2</sub>maxは、38.1±6.4ml/kg/minであった。得られたデータより、60%VO<sub>2</sub>max強度の負荷は94±24Wと算出された。

B. 30分間の固定負荷運動及び運動終了後6時間の回復過程を調べる実験

1. 各パラメーターの経時的変化

1) 心拍数

心拍数の経時的変化を図2に示した。安静時は $62 \pm 9$ 拍/分で、運動中の平均は、 $141 \pm 15$ 拍/分であった。心拍数は運動の開始に伴って急激に上昇し、その後も緩やかな上昇を続け、運動終了時には $150 \pm 15$ 拍/分と、安静時に比べ有意な増加を示した ( $p < 0.01$ )。運動が終了すると心拍数は急激に減少したが、運動終了後3時間を経過しても $65 \pm 9$ 拍/分と、運動前よりも有意に高いままであった ( $p < 0.05$ )。さらに、心拍数は食事によって上昇した。摂取後1時間で食事前よりも有意に高い値を示し、その後、徐々に減少した。運動開始から、運動終了後6時間が経過するまでに、心拍数はほぼ全ての点において、運動前の値よりも有意に高かった ( $p < 0.01$ ,  $p < 0.05$ )

2) 体温

図3は、体温の経時的変化を示したものである。安静時の体温は、 $36.1 \pm 0.4^\circ\text{C}$ であった。

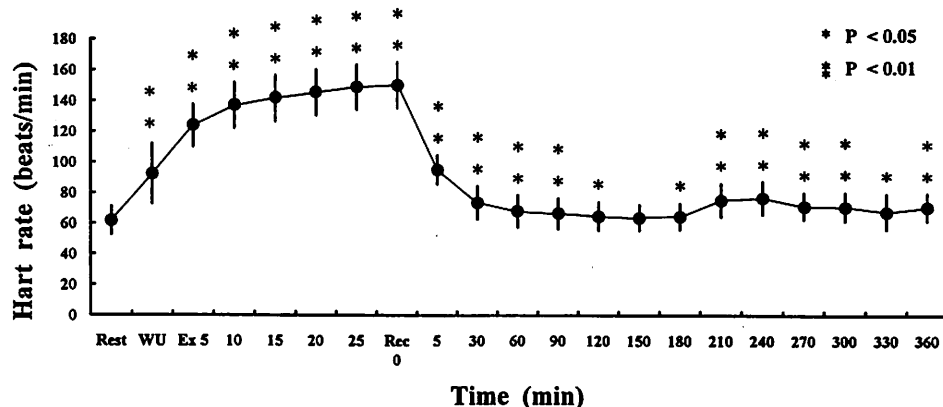


図2 心拍数の変化

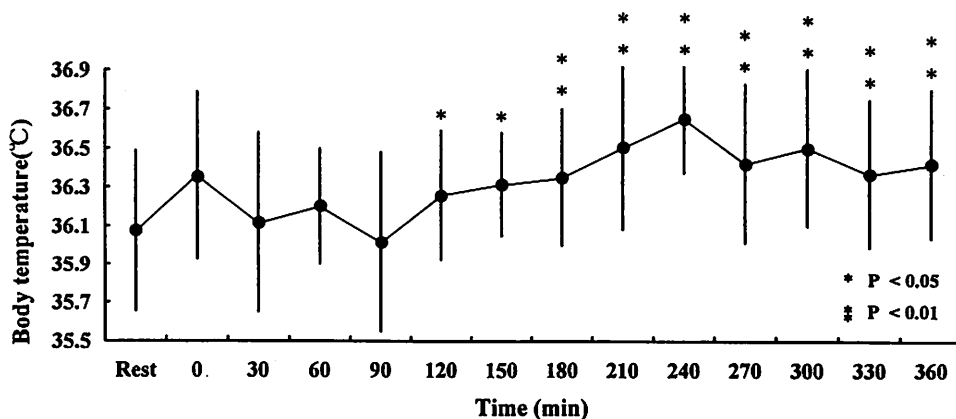


図3 体温の変化

運動終了直後には、安静時との有意な差は認められなかった。しかし、運動終了後1時間半を過ぎる頃から体温は徐々に上昇し、終了後2時間以降、安静時の値に比べ有意な高値を保った ( $p < 0.01$ ,  $p < 0.05$ )

### 3) 乳酸濃度

血液中乳酸濃度の経時的变化を図4に示した。安静時には、 $0.4 \pm 0.1 \text{ mmol/l}$ であった血液中乳酸濃度は、運動終了直後には $1.7 \pm 0.6 \text{ mmol/l}$ と有意な増加を示した ( $p < 0.01$ )。その後は減少し、運動終了後3時間目の値と運動開始前の値との間に有意差は認められなかった。また、食事による影響もみられなかった。

### 4) グルコース濃度

図5に血液中グルコース濃度の経時的变化を示した。安静時の値は、 $71.9 \pm 7.1 \text{ mg/dl}$ であった。運動の影響はみられず、食物を摂取するまで値に有意な変化は認められなかった。食物を摂取すると血液中グルコース濃度は有意に増加し、摂取2時間後の値は $91.4 \pm 9.8 \text{ mg/dl}$ であった ( $p < 0.01$ )。その後は減少し摂取後3時間の値は、安静時の値との有意差は認められなかった。

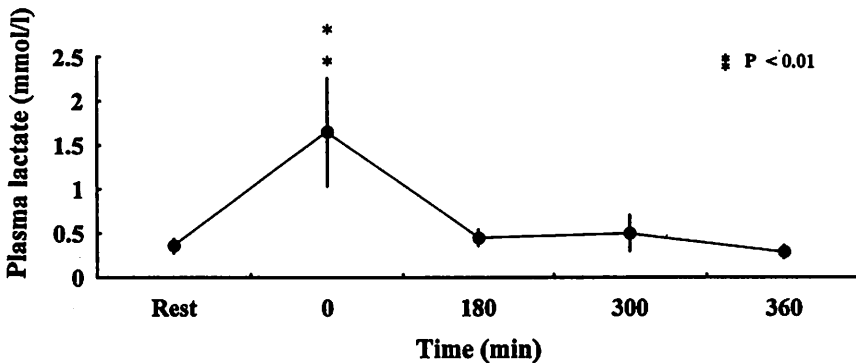


図4 血液中の乳酸濃度の変化

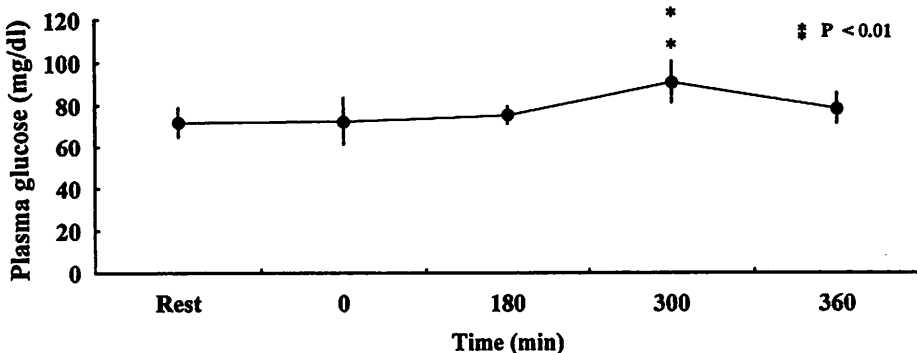


図5 血液中グルコース濃度の変化

### 5) 遊離脂肪酸濃度

図6に血清中遊離脂肪酸濃度の経時的变化を示した。血清中遊離脂肪酸濃度は、運動開始前には $0.306 \pm 0.17 \text{ mEq/l}$ であった。運動によって増加し、運動終了後3時間が経過するまで有意な高値が保たれた(終了3時間目で $0.807 \pm 0.279 \text{ mEq/dl}$ ,  $p < 0.01$ )。しかし、食事により減少し、摂取後2時間が経過した時点では、運動開始前の値との有意差はなくなった。

### 6) グリセロール濃度

図7に血清中グリセロール濃度の経時的变化を示した。安静時 $0.092 \pm 0.021 \text{ mmol/l}$ であったグリセロール濃度は、運動終了直後 $0.133 \pm 0.051 \text{ mmol/l}$ と、運動により有意な増加を示した。運動終了後は減少し、終了後3時間で安静時の値との有意差はなくなり、それ以降有意な変化は認められなかった。

### 2. 遊離脂肪酸濃度とグルコース濃度の関連

グルコース濃度は運動の影響をほとんど受けず、食物摂取直前まで一定の値を保った。一方、遊離脂肪酸濃度は運動終了後増加し、食物摂取直前までその高値を保った。しかし、食物摂取によりグルコース濃度が高まると、遊離脂肪酸濃度は急激に減少した。

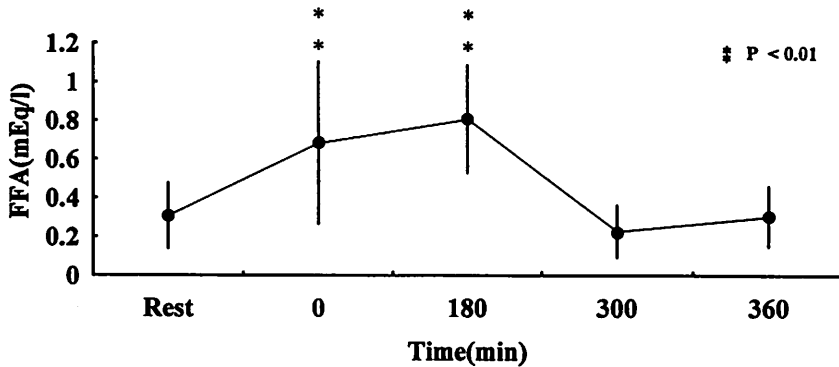


図6 血清中遊離脂肪酸の変化

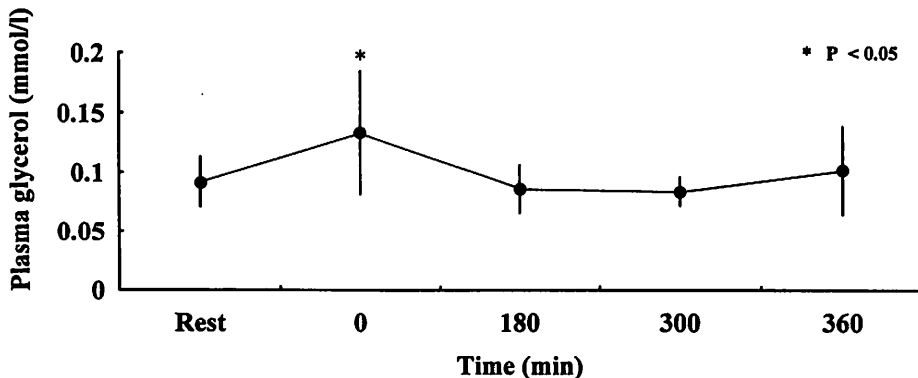


図7 血清中グリセロール濃度の変化

### 3. 自覚的運動強度と心拍数の関係

運動開始5分後に調べた自覚的運動強度の得点は $13 \pm 1$ で、この時点における心拍数は、 $124 \pm 14$ 拍/分であった。また、運動終了5分前に行った測定では、自覚的運動強度得点が $14 \pm 1$ 、心拍数が $149 \pm 15$ 拍/分であった。

## IV. 考 察

### A. 心拍数について

図2からも明らかなように、心拍数は運動の影響を受け急激に増加した。各被験者の60%  $\text{VO}_2\text{max}$ 強度で行った運動中の平均心拍数は、 $141 \pm 15$ 拍/分であった。これは、漸増的多段階負荷実験で得られたデータから推定した、同負荷に相当する心拍数の平均値よりも、10拍程高い値である。鈴木らの推測によれば、同じエネルギー需要量の運動でもエネルギー不足状態による絶食時では、その需要に応じるため交感神経系や下垂体系内分泌機能がより亢進し、それが間接的に運動時心拍数を上昇させるという(1993)。本実験における被験者は、前日コントロールにより実験前夜8時以降絶食していたため、エネルギー不足状態になっていた可能性もある。しかし、今回の実験で運動時心拍数が予測値を10拍も上回ったのは、漸進的多段階負荷実験において、各負荷段階の運動時間が4分間であったのに対し、運動持続時間が30分間と長かったために、ドリフト現象が起きた結果であると考えるのが妥当である。

運動時の心拍数を自覚的運動強度との関係からみると、運動開始5分後では、心拍数が $124 \pm 14$ 拍/分、自覚的運動強度の得点が $13 \pm 1$ であった。運動終了5分前では、心拍数が $149 \pm 15$ 拍/分、得点が $14 \pm 1$ であった。自覚的運動強度の得点は、その時点での心拍数の約10分の1に相当するので、それぞれ $130 \pm 10$ 拍/分、 $140 \pm 10$ 拍/分となる。実際のデータと比較すると、ほぼ一致している。

また近年、運動後の余剰酸素摂取量(Excess Postexercise  $\text{O}_2$  Consumption : EPOC)に関する報告がいくつかある(Maehlumら1986, Bahrら1987)。約58%  $\text{VO}_2\text{max}$ の運動強度で1時間の運動を行った後、12時間が経過しても運動により高まった代謝が安静時レベルには戻らなかったと言う報告もある(長野ら1992)。本実験においても、運動により高まった心拍数は、運動後6時間を経過しても安静時の値よりも有意な高値を保ったままであった。運動後に摂取した食物の影響によるとも考えられるが、運動後に食物を摂取した場合と摂取しなかった場合のEPOCに差が認められなかったと言う報告もある(Bahr 1991)。このことから、今回得られた結果が食事だけに起因するとは考えにくい。いずれにしても、心拍数と酸素摂取量はよく対応する事から、本実験における運動条件、すなわち60%  $\text{VO}_2\text{max}$ の強度で30分間の運動でも、少なくとも運動後6時間まではEPOCが認められる可能性が高いと思われる。

### B. 乳酸、グルコース、遊離脂肪酸及びグリセロール濃度について

得られた結果を総合的に考察するため作成した模式図を図8に示した。この図に示したように、60%強度の運動を30分間行った場合、少なくとも運動後6時間が経過するまでは、運動により高まった代謝が安静時レベルには戻らないものと考えられる。



中程度の強度の運動と運動後の食事が心拍数および代謝産物レベルに与える影響について

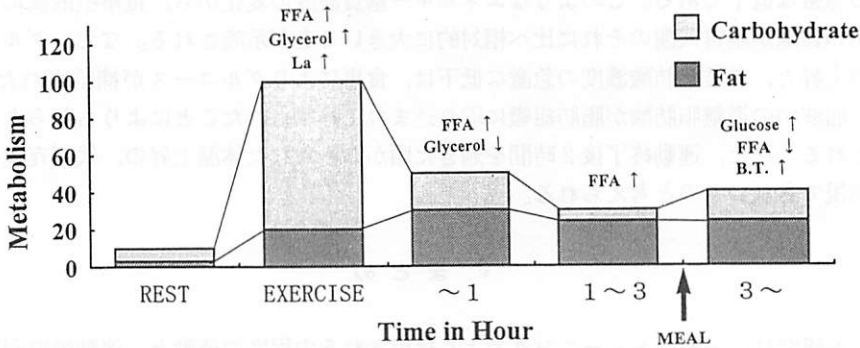


図8 運動および食事と血液性状の変化についての模式図

まず、60%  $V_{O_2max}$  強度の運動時には、少なくとも代謝が安静時の約10倍にまで高まる（長野ら1992）。この運動による代謝の増加に対しては、糖質代謝と脂質代謝の両者が共に亢進することにより対応すると推察される。本研究において、運動により血清中の遊離脂肪酸とグリセロールの濃度が高まるとの結果が得られた。この結果は、脂質代謝が亢進したとする推察を指示するものである。糖質代謝の亢進に関して明らかなことは言えないが、血液中乳酸濃度が運動により安静時の約4倍にまで高まったことから、運動中に筋グリコーゲンの分解が進んだことが考えられる。また、先行研究において、60%  $V_{O_2max}$  強度の運動を1時間行っても、呼吸交換比に有意な変化がないことが示されている（長野ら1992）。したがって、運動の持続時間が30分とより短い本実験においては、呼吸交換比は若干上がるか、あるいは、少なくとも維持はされたものと思われる。このことから、糖質代謝も脂質代謝と同程度、あるいはそれ以上に亢進したと推察される。しかし、糖質代謝と脂質代謝のどちらの亢進が著しかったのかは、本実験の結果からは明確なことは言えない。

運動により亢進した代謝は運動直後に急激に、さらに、その後徐々に低下する。しかし、心拍数から推察されたように、おそらく少なくとも数時間は、運動前の値にまで復さない。そこでまず、食物摂取までの回復期の代謝に対して、糖質代謝と脂質代謝の相対的貢献度を考えてみると、この時期には、脂質代謝が糖質代謝に比べ著しく優勢になっていると考えられる。血液中遊離脂肪酸濃度が運動後さらに高まっていることは、この推論を裏付ける。また、一晩の絶食とその後の運動により、筋や肝臓のグリコーゲン貯蔵量が平時よりも著しく低下しているのに対して、利用可能な遊離脂肪酸が増加していることによりもたらされたものと考えられる。（長野ら1992）は、呼吸交換比が運動終了後急激に下降すると報告しているが、この結果も脂質代謝の亢進を支持する。一方、脂質の代謝産物であるグリセロール濃度は、運動終了後に安静時レベルにまで減少している。これは、運動後急激に脂質動員が低下したために引き起こされた可能性もある。しかし、この時期に遊離脂肪酸は増加しているので、脂肪の分解により生じたグリセロールが肝に取り込まれて糖に転換された結果生じた可能性の方が高いと考えられる。

食事摂取後、心拍数の上昇がみられることから、運動後であってもいわゆる食事誘発性体熱産生（Diet Induced Thermogenesis : DIT）があり、これが EPOC の発現に関与していたと推察される。この時期における特徴は、血液中のグルコース濃度の上昇と、遊離脂肪酸

濃度の急激な低下である。このようなエネルギー基質濃度の変化から、食事摂取後には、糖質代謝の貢献が脂質代謝のそれに比べ相対的に大きいことが示唆される。なお、グルコース濃度の上昇と、遊離脂肪酸濃度の急激な低下は、食事によりグルコースが補給されたこと、及び、血液中の遊離脂肪酸が脂肪組織に取り込まれて貯蔵されたことによりもたらされたと推察される。また、運動終了後2時間を過ぎた頃からみられた体温上昇の、代謝亢進への寄与も無視できないものと考えられる。

## V. ま と め

1. 本研究は、一般のトレーニングでよく採用される中程度の運動と、運動後の回復期に摂取する食物が代謝に及ぼす影響を検討することを目的とした。

2. 被験者は、持久的トレーニングを行っていない健康な成人8名であった。各被験者の最大酸素摂取量の60%強度の負荷で30分間の自転車エルゴメーター駆動を行い、運動終了後6時間の回復過程を調べた。測定は、心拍数、体温、自覚的運動強度、及び血液中の乳酸、グルコース、遊離脂肪酸、グリセロール濃度の7項目について行った。

3. 心拍数は、運動開始により有意に上昇し ( $p < 0.01$ )、終了とともに急激に減少したが、終了後3時間を経過しても安静時よりも有意に高いままであった ( $p < 0.05$ )。更に、食事によって上昇し、食後1時間目に食事前よりも有意に高い値を示した ( $p < 0.05$ )。その後徐々に減少を示した。運動開始から運動終了後6時間を経過するまで、心拍数はほぼ全ての点において安静時の値よりも有意に高かった ( $p < 0.01$ ,  $p < 0.05$ )。

4. 体温は、運動終了後2時間が経過する頃より上昇し、安静時より有意な高値を保った ( $p < 0.01$ ,  $p < 0.05$ )。

5. 乳酸濃度は、運動により有意な増加を示した ( $p < 0.01$ )。運動終了後は減少し、終了後3時間を経過すると、安静時との有意差は認められなかった。

6. グルコース濃度は、運動による影響はみられなかった。しかし、食物を摂取すると有意に増加した ( $p < 0.01$ )。摂取後2時間で高値を示した後減少し、摂取後3時間には有意差はなくなった。

7. 遊離脂肪酸濃度は運動により増加し、運動終了後3時間を経過するまで有意な高値が保たれた (終了3時間後:  $p < 0.01$ )。

8. グリセロール濃度は、運動の影響を受け有意に増加した ( $p < 0.1$ )。しかし、運動終了後3時間目までには安静時レベルにまで戻り、有意差はなくなった。

9. 以上の結果から、一般のトレーニングでよく採用される最大酸素摂取量の60%強度、30分間の運動は、運動中のみならず運動終了後少なくとも6時間が経過するまでは、代謝を安静時レベル以上に保ち、さらに脂質代謝の亢進をもたらすと考えられる。従って、この運動は肥満解消の対策としても有効であると思われる。

VI. 文 献

- 1) Bahr, R., Inghes, I., Vaage, O., Sejersted, O. M., and Newsholme, E. A. : Effect of exercise on excess postexercise O<sub>2</sub> consumption, *J. Appl. Physion.* 62, 485-490, 1987
- 2) Bahr, R., Sejersted, O. M. : Effect of feeding and fasting on excess postexercise oxygen consumption, *J. Appl. Physiol.* 71(6), 2088-2093, 1991
- 3) Maehrum, S., Grandmontagne, M., Newsholme, E. A., and Sejersted, O. M. : Magnitude and Duration of Excess Postexercise Oxygen Consumption in Healthy Young Subjects, *Metabolism*, 35, No5, 425-429, 1986
- 4) 長野真弓 : 有酸素性運動後の余剰酸素消費量, *体育の科学*, 43, 361-364, 1993
- 5) 長野真弓, 白山正人, 平野裕一, 宮下充正 : 換気性閾値強度の運動が運動後過剰酸素消費量の量・持続時間に及ぼす影響, *体力科学*, 41, 436-446, 1992
- 6) 小原繁 : 未発表資料
- 7) 鈴木政登, 塩田正俊, 杉浦崇夫, 松原茂, 中川種栄, 町田勝彦 : 33時間絶食時運動負荷後の血漿ホルモン, 血糖, 乳酸, 遊離脂肪酸およびグリセロール濃度の消長, *体力科学*, 42, 429-445, 1993

