

各種スポーツ実施者の摂取栄養の 質的・量的バランスの検討 (Ⅱ)

青年女子の有酸素運動時の糖質・
脂質代謝に及ぼす食事時間の影響

女子栄養大学	万木良平
(共同研究者) 同	小池五郎
同	石川和子
防衛医科大学校	坂口栄一
同	山崎省一
同	近藤陽一

Studies on the Energetic and Dietetic Balances in Athletes (Ⅱ)

Effect of Meal Time on Carbohydrate and Lipid
Metabolism of Aerobic Exercise in Adult Women

by

Ryohei Yurugi, Goro Koike and Kazuko Ishikawa
Kagawa Nutrition College

Eikazu Sakaguchi, Shoichi Yamazaki and Yoichi Kondo
National Defense Medical College

ABSTRACT

The purpose of this study is to observe the effects of meal time on the carbohydrate and lipid metabolism during aerobic exercise. Four healthy female college student (21 to 22 years of age) were given steady state aerobic exercise of the moderate intensity by bicycle ergometer for 30 minutes. With regard to timing of meal and exercise, they were loaded with two types of exercise, (1) before-meal-exercise, which was practiced just before taking their lunch on a nearly

empty stomach. (2) after-meal-exercise, which was practiced just after taking breakfast or lunch on a nearly full stomach. Venous blood was sampled immediately before starting exercise, immediately after and 60 min. after exercise, and blood glucose, lactate, triglycerides (TG), free fatty acids (NEFA) and proteins in the plasma were measured as well as the gas metabolism during the exercise.

Main results obtained were as follows:

1) Blood glucose levels just before the exercise of both types were within normal range, and decreased significantly just after the exercise, then recovered to pre-exercise level at 60 min. after the exercise. Blood lactate levels were not in excess of anaerobic threshold of 4mM/l in any type of exercise.

2) Pre-exercise level of plasma NEFA, which was maintained at higher level within the normal range, decreased significantly just after the exercise in case of before-meal-exercise. Then, after taking lunch, it was maintained rather at the lower level. In case of after-meal-exercise, pre-exercise level of plasma NEFA, which was at lower level, tended to decrease still more. Plasma TG did not show any significant change between the values of pre- and post-exercise in both types of exercise.

3) Hemoglobin content and plasma proteins showed no significant change between the values of pre- and post-exercise in both types of exercise.

4) Oxidation ratio of carbohydrate and lipid, calculated from RQ in the gas metabolism during exercise, was approximately fifty-fifty in case of before-meal-exercise. Ratio of fat oxidation in case of after-meal-exercise showed no significant change comparing with that in case of before-meal-exercise, but it was inferred the tendency of slight decrease in their mean values.

5) From the above mentioned results, it was suggested that the efficient (highly fat oxidative) exercise program, containing intensity, duration as well as timing of meal and exercise, is not easy to prescribe for the purpose of reducing the body fat and moreover improving the health.

1. ま え が き

健康の維持・増進，肥満の予防あるいは体脂肪減量法として，摂取栄養量の調節と並行して，日常生活のなかに有酸素運動を取り入れることが推奨されている．しかし，減量のために極端な食事制限や過度の運動によって，かえって健康を阻害する事例も往々にして見受けられる．健康を維持しつつ効率よく目的を達成するためには，消費エネルギーに見合った栄養摂取と適切な運動処方を示す必要がある．本研究は，体内に蓄積された中性脂肪 (TG) を効率よく燃焼させるためには，有酸素運動を食事時間と関連させて，どのような時間帯に設定したらよいかを検討することを目的として計画した．

運動のエネルギー源となる体内の糖質と脂質，とくにその血中濃度は食事摂取により変動する．通常，健康人では，血中グルコース濃度(血糖値)は食後60分目頃まで上昇して，心理的な満腹感をもたらす，以後減少して2時間目頃には食前の空腹時のレベルにもどる．これはインシュリンの分泌による調節が行われているためであって，食事ごとに増減を繰り返すという日内変動を示すことはよく知られている．また，脂質のうち直接エネルギー源となる遊離脂肪酸 (NEFA) の血中レベルは，血糖レベルの変動とは逆に，食後時間の経過につれて上昇し，同時に空腹感を覚えるようになることも周知の事実である．Issekutz ら¹⁾は，空腹時の運動では，NEFAが筋のエネルギー代謝の主要物質であって，運動中の NEFA の turnover または酸化が増大することを明らかにしている．さらに，血中 NEFA レベルと NEFA 酸化量との関係については，Armstrong ら²⁾，Paul ら^{3,4)}によって，貯蔵脂肪から血中に放出されて運動筋で酸化利用される NEFA 量は，その血中レベルに比例して増大することが示されている．一方，堤ら^{5~8)}は，空腹状態の男子被検者に30分間の運動

を負荷し，運動中および運動後の血漿 NEFA，血糖，血中乳酸の変動をみる一連の研究を行っている．これによると，運動中は血漿 NEFA 濃度は低下するが，運動回復期10分目には運動前値に比し著しく増大することを認め，この負荷後の血漿 NEFA 増加は，運動中の血流中への NEFA の動員と運動筋による NEFA の取り込み，酸化の指標になると指摘している．さらに，運動回復期10分目の血漿 NEFA 濃度が最大となる負荷強度は，運動時心拍数が120拍/分であることを認め，運動強度がこれより大きい場合には，血漿 NEFA の増加の低減と同時に血中乳酸量が増加し，これが運動中 NEFA 動員の抑制因子であろうとしている．

以上のことから，貯蔵脂肪を効率よく燃焼させるためには，運動の無酸素過程を極力避け，比較的軽度の有酸素運動を，食後ある程度時間が経過し，血糖値の低下と血中 NEFA レベルの上昇した時期に実施するのがよいのではないかと推察される．しかし，食後の時間経過と関連した運動負荷による脂質の酸化を系統的にしらべた研究，とくに無理な減量法に陥り易い青年女子を対象とした研究は比較的少ない．

今回は，上記の推察が正しいかどうかを検討するため，健康な女子大学生4名を被検者とし，5日間一定の食事を与え，食事前と食事後に一定の運動負荷を行い，負荷中のガス代謝から脂質と糖質の燃焼比を推定するとともに，負荷の直前，直後および回復1時間後の血糖値，乳酸量，血漿 NEFA，TG 等の変動をしらべ，脂質代謝との関係を追究した．

2. 実験方法

(1) 被検者

年齢 21~22歳の健康な女子大学生を選んだ．実験期間5日間とし，その間被検者全員を学内実験宿泊施設内で起居させ，第1日目に基礎代謝測

定, 身体計測等の測定を実施, 2~5日目に運動負荷実験を実施した. 表1に被検者の身体的特性を示した.

(2) 摂取栄養

被検者は全員実験期間中所定の献立による食事を, 朝食7:30, 昼食12:00, 夕食17:00に摂取した. 1日の栄養摂取量は第三次改訂日本人栄養所要量⁹⁾の生活活動強度IIに該当する20歳台の女子の所要量をやや下回るエネルギー所要量を基準とし, 主として市販のバランス混合食に野菜や鶏卵等を加えた献立を作成して, 朝・昼・夕食の摂取エネルギー比を1:2:2になるように分割摂取した. 実際に摂取した栄養素成分は表2に示す通りであった. なお, 飲料水は適宜自由摂取とし, 茶, コーヒー, 等張性スポーツドリンク, 食物繊維飲料等を与えた.

(3) 運動負荷とガス代謝

自転車エルゴメータ(モナーク社製)を用い, ペダリングの負荷強度を450kpm/min, 50rpmで30分間負荷した. 運動負荷中はダグラスバッグに呼気を採取してガス代謝量を測定するとともに, 胸骨誘導による心電図を連続記録して心拍数を求

めた. 心拍数は運動中の生体負担度の指標として用い, steady stateの有無の監視に役立たせた. また, ガス代謝測定には湿式精密ガスメータ(品川製作所製), 呼気ガスモニターIH 26型(日本電気三栄製)を用いた. いずれも本実験を実施するまえに予備実験を行った結果, steady stateが成立することが観察された. 若干の個人差が認められたが, steady stateにおける心拍数は平均およそ110~160拍/minの範囲内, ガス代謝測定の結果, 30分間の運動負荷によるエネルギー消費量は140~160kcalの範囲内であった.

また, ガス代謝から非蛋白性呼吸比(RQ)を算出して, 糖質・脂質の燃焼比を求め, 各被検者の30分間の運動中における脂質の燃焼量を計算した. なお, この運動強度は有酸素運動のsteady stateが成立するものとして設定したが, 運動に無酸素性乳酸過程の混入の程度を確認するため, 後述する方法で血中乳酸量を測定した.

運動負荷実験の実施時刻は, 朝食後3.5時間経過した11:30分より30分間(食前負荷実験)と, 朝食または昼食直後より30分間(食後負荷実験)とし, 各被検者それぞれの別の日に実施した.

表1 被検者の身体的特性

被検者	年齢	身長 (m)	体重 (kg)	基礎代謝 (kcal/day)	皮脂厚* (mm)	体脂肪量** (%)
A	22	153	47.0	1,038	23	17.4
B	22	163	60.4	1,111	38	24.4
C	22	165	55.1	1,021	24	17.6
D	21	159	51.6	1,032	28	20.2
平均	22	160	53.5	1,050	28.3	19.9
SD		± 4.6	± 4.9	± 35.5	± 5.9	± 2.8

注: * 上腕部+肩甲骨下部, ** 長嶺の式による

表2 被検者の1日当たりの摂取栄養量

栄養素	蛋白質	脂質	糖質	合計
摂取量(g)	60.8	39.6	280.0	386.4
エネルギー(kcal)	249	368	1,173	1,790
エネルギー比(%)	14	21	65	100

(4) 血液検査

それぞれの負荷実験の運動開始直前、運動終了直後および運動終了後 60分目に、肘静脈より毎回約 5ml を採血し、所定の前処置をした後以下の項目の検査を分光光度計（日立製作所製 U-1100 形）を用いて吸光度測定により実施した。

① 血糖：全血中の血糖を 5% トリクロロ酢酸で除蛋白した後、オトルイジン・ホウ酸法によりグルコーステスト試薬（和光純薬）を用いて測定した。

② 遊離脂肪酸：血漿中の NEFA を Duncombe 変法により NEFA テスト試薬（和光純薬）を用いて測定した。

③ 中性脂肪：血漿中の TG を GPO-*p*-クロロフェノール発色法によりトリグリセライド G-テスト試薬（和光純薬）を用いて測定した。

④ 乳酸：全血中の乳酸量を 60% 過塩素酸で除蛋白した後、ラクトート-UV-テスト試薬（ベーリンガーマンハイム山之内）を用いて測定した。

⑤ ヘモグロビン (Hb)：シアンメトヘモグロビン法によりヘモグロビンテスト試薬（和光純薬）を用いて測定した。

⑥ 血漿蛋白：血漿中の総蛋白量およびアルブミン量を A/G テスト試薬（和光純薬）を用いて測定した。

3. 実験結果

(1) 運動負荷前後の血糖値の変動

30分間の運動負荷開始の直前、直後、負荷終了後 60分目の血糖（平均値±SD）の変動を食前負荷と食後負荷に分けて図 1 に示した。食前負荷の場合、運動直前の血糖レベルは $100.0 \pm 6.7 \text{mg/dl}$ で、運動直後の値は約 29mg/dl の有意の ($p < 0.005$) 低下を示して $72.5 \pm 7.8 \text{mg/dl}$ となった。直ちに約 720kcal の食事を摂取して、運動負荷終了後 60分目には $95.8 \pm 15.1 \text{mg/dl}$ に回復した。

一方、食後負荷の場合、運動直前のレベルは $91 \pm 16 \text{mg/dl}$ で、運動直後の値は食前負荷の場合と同様約 31mg/dl 有意の ($p < 0.025$) 低下を示して $60.0 \pm 4.5 \text{mg/dl}$ となり、さらに 60分後には上昇して $81.5 \pm 22.6 \text{mg/dl}$ となった。食後負荷の運動直前値が食事摂取直後にもかかわらず比較的低いのは、摂食後の時間経過が短いため、十分に血糖値が上昇していなかったためと考えられる。いずれにせよ、運動負荷直前の血糖レベルの如何にかかわらず、30分間の運動負荷によって血糖値は低下し、負荷後徐々に負荷前値に回復した。

(2) 血漿脂質成分の変動

30分間の運動負荷開始の直前、直後、負荷終了後 60分目の血漿 TG 濃度（平均値±SD）の変動を食前負荷と食後負荷に分けて図 2 に示した。また、血漿遊離脂肪酸 (NEFA) の同様の変動を図 3 に示した。

血漿 TG については、食前負荷の場合、運動直前値は $50.3 \pm 8.5 \text{mg/dl}$ で、運動直後の値は約 16mg/dl 上昇して $66.8 \pm 15.2 \text{mg/dl}$ となった。直ちに食事を摂取し、運動負荷終了後 60分目には $75.0 \pm 17.7 \text{mg/dl}$ に上昇した。一方、食後負荷の場合、運動負荷直前は $46.5 \pm 13.5 \text{mg/dl}$ 、運動負荷直後は $52.5 \pm 12.5 \text{mg/dl}$ とやや上昇の傾向が見られ、運動終了後 60分目には低下して、ほぼ運動負荷前値の $47.3 \pm 12.3 \text{mg/dl}$ にもどった。しかし、運動の直前値に対する直後値は、食前負荷の場合も食後負荷の場合も上昇する傾向が見られるものの、推計学的には有意差は認められなかった。

血漿 NEFA については、食前負荷の場合、運動直前値は $0.32 \pm 0.025 \text{mEq/l}$ で、運動直後の値は $0.21 \pm 0.029 \text{mEq/l}$ と約 0.11mEq/l の有意の ($p < 0.005$) の低下を示した。直ちに食事を摂取し、運動負荷終了後 60分目にもほぼこの低下した状態が続いた。一方、食後負荷の場合、運動負荷直前、すなわち食事摂取直後の値は約 0.20

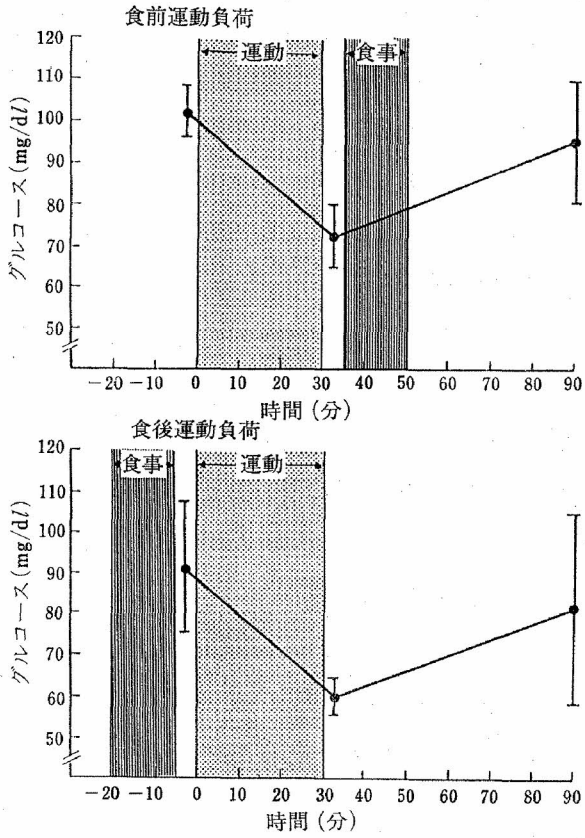


図1 食前および食後の運動負荷による血中グルコースの変動

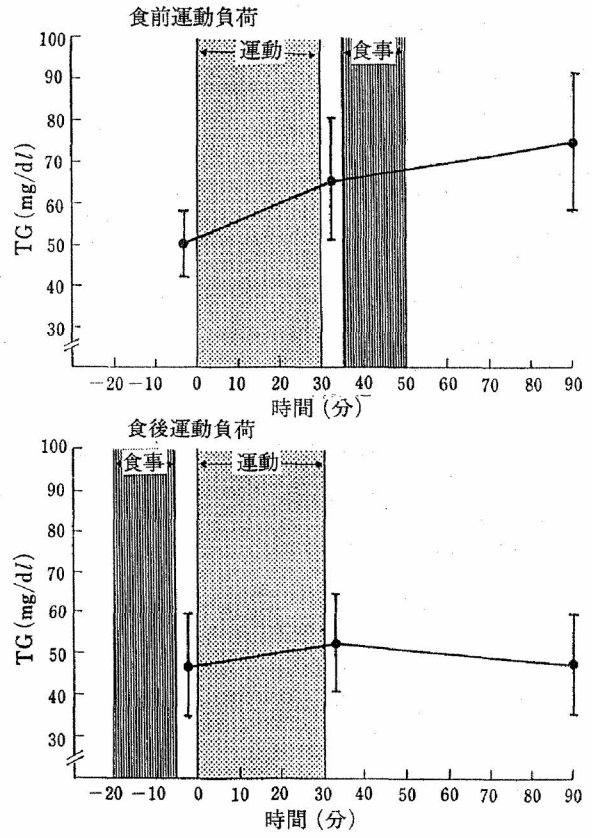


図2 食前および食後の運動負荷による血漿トリグリセライドの変動

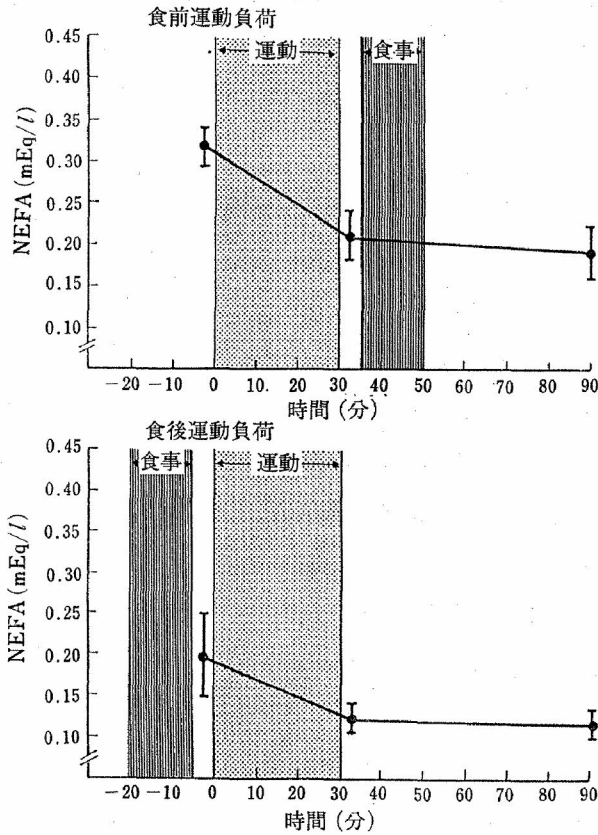


図3 食前および食後の運動負荷による血漿遊離脂肪酸の変動

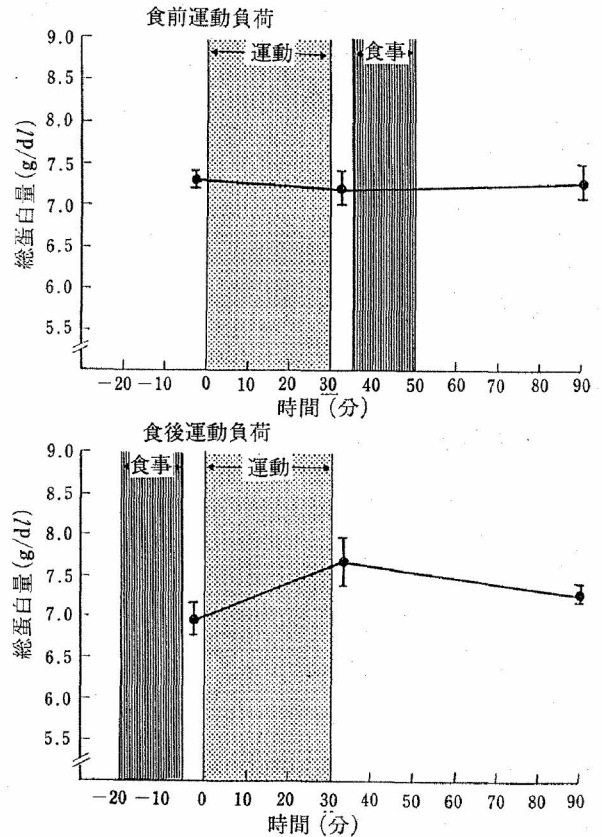


図4 食前および食後の運動負荷による血漿総蛋白量の変動

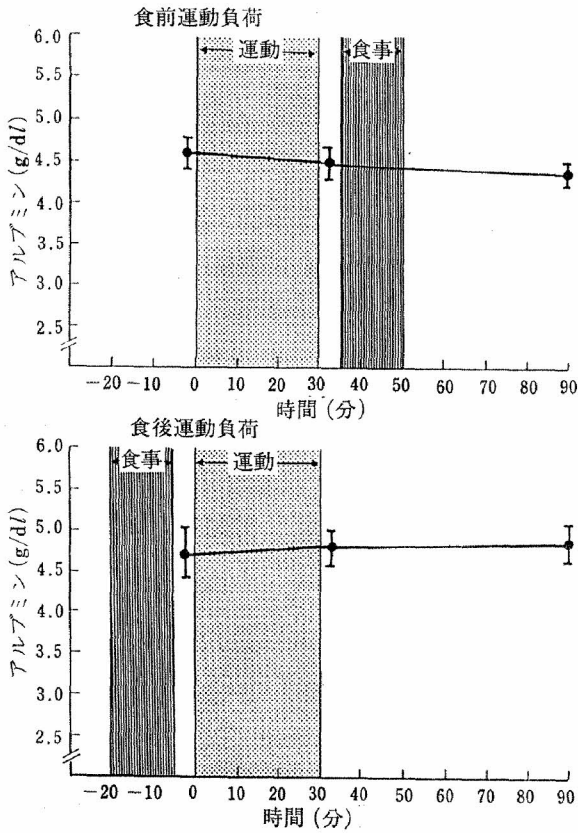


図5 食前および食後の運動負荷による血漿アルブミンの変動

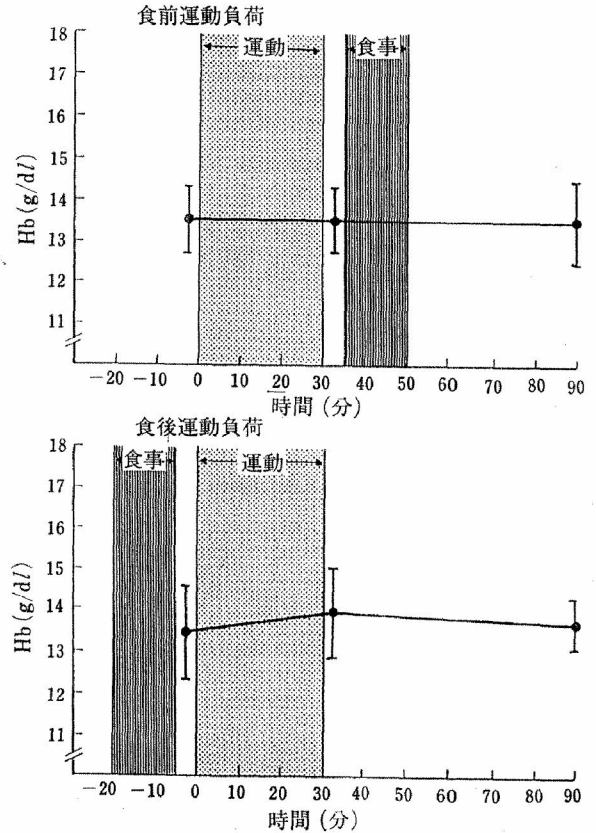


図6 食前および食後の運動負荷による血中ヘモグロビン量の変動

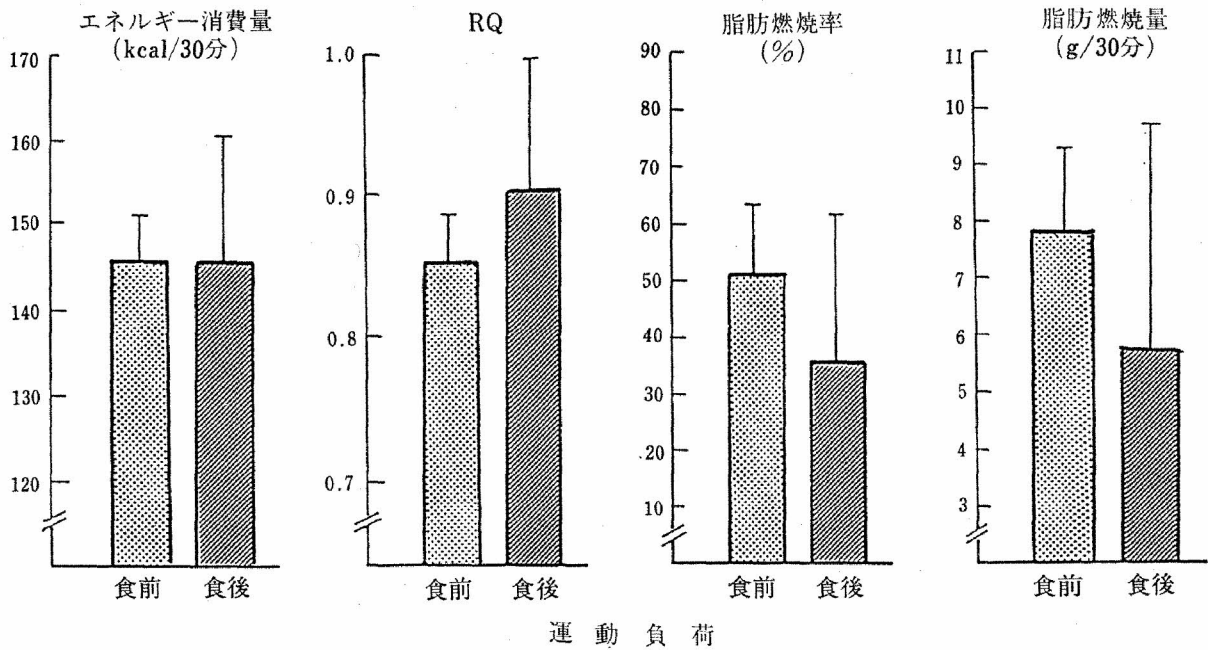


図7 運動負荷によるエネルギー消費量, RQ, 脂肪燃焼率, 脂肪燃焼量の食前負荷と食後負荷の比較

±53.1mEq/l と, 食前負荷の場合に比しかなり低値で, 運動終了直後にはさらに低下して 0.13 ±0.016mEq/l となり (p<0.25), 運動終了 60分目にもほぼこのレベルを維持した。

(3) 血漿蛋白量・Hb 等の変動

血漿総蛋白質量は図4に示した通りで, 食前負荷の場合, 運動開始直前, 直後, 60分後の間に有意の差は認められなかった。食後負荷の場合, 運

動直後にやや上昇する傾向がうかがえるが、その変動は有意ではなかった。

アルブミンについては、図5に示すようにいずれの場合も有意の変動は認められなかった。また、図6に示すように、Hb はいずれの場合も運動前後を通じて有意の増減は認められなかった。

(4) 呼吸比 (RQ) と脂肪燃焼量

運動のエネルギー消費量, RQ, 脂肪燃焼比率およびこれらから算出した30分間の運動によって燃焼した脂肪重量を、食前運動負荷の場合と食後運動負荷の場合とを比較して示したのが図7である。

30分間の運動のエネルギー消費量は、若干の個人差はあるが、平均値は147 kcal/30 minで、食前と食後負荷の間には差はなかった。運動直後の血中乳酸量を測定した結果では、食前負荷の場合 2.83 ± 0.96 mM/l, 食後負荷の場合 2.98 ± 1.16 mM/l であって、いずれも無酸素性作業閾値といわれる4 mM/l を下回る値であり、有酸素的に運動を継続できる強度であると考えられる。また注意深く実施したガス代謝測定の結果得られたRQ値は、食前負荷の場合 0.846 ± 0.035 , 食後負荷の場合 0.903 ± 0.095 で、食後負荷の場合の方がやや高い値であるが、有意差は認められなかった。したがって、脂肪燃焼比率(%)も顕著な有意差は無いが食前負荷の場合に高い傾向がうかがわれた。また、運動30分間に燃焼した脂肪の重量の計算値は、食前負荷の場合 7.7 ± 1.7 g, 食後負荷の場合 5.7 ± 4.1 g と、有意差はないが食前負荷の場合の方が高い値を示す傾向が見られた。これらのことから、ほぼ同一のエネルギー消費量に対して、脂肪燃焼量は、血漿 NEFA 濃度が比較的高く、軽い空腹を感じる食前運動の方が、食事を摂取して血漿 NEFA 濃度が低下し、ほぼ満腹を感じる食後運動の場合より多量燃焼する傾向を有することが示唆された。

4. 考 察

有酸素運動による血糖値の変動について、今回の青年女子被検者を対象とした自転車エルゴメータによる運動負荷時の血糖値レベルは、食前・食後負荷のいずれの場合も、負荷直前値に比し、30分間の運動負荷(運動強度 147 kcal/30 min)の直後には、 -29 mg/dl と、かなり大幅の有意の低下が認められた。喜多ら⁸⁾は男子被検者に対し、空腹状態ではほぼこれと同程度の強度(心拍数約130拍/min)の自転車運動を30分間負荷した直後の血糖値は12.6 mg/dl 低下し、その後徐々に回復する傾向を示すと報告している。この両者の量的相違の理由は不明であるが、男女差による運動時の糖利用の相違によるのかもしれない。運動時の血糖レベルは、運動筋による糖の取り込み量と肝臓から血中への放出量のバランスによると考えると^{10,11)}、今回の実験の結果は、運動筋による糖の取り込みが肝臓からの放出量を上回っているということになる。そして、この傾向は食前の軽い空腹状態であっても、運動開始直前に食事(約720 kcal)を与えたほぼ満腹状態であっても、運動開始時の血糖レベルが正常値の範囲を維持している限り変わらないと考えることができる。一方、血糖調節に与るインシュリンについては、運動中に血中濃度は低下するが、筋への糖の取り込みには関与しないといわれており^{12,13)}、また、運動中には運動筋のインシュリン感受性が亢進し、血糖の取り込みに関与しているともいわれている¹⁴⁾。恐らく、運動の強度と持続時間の相違がインシュリン分泌に影響しているのではないかと考えられる。

運動による脂質代謝の変動については、従来かなり多くの研究が行われている。空腹時には貯蔵脂肪からNEFAが動員されて血中濃度が上昇し、この状態における運動では、血中濃度の上昇に比例してNEFAの代謝が主役を演じ、運動筋にお

ける turnover rate が亢進するといわれている¹⁾。そして、運動中の NEFA の酸化の増大と運動後の一過性の血中濃度の上昇は中等度の運動強度 (70~75% $\dot{V}O_{2max}$) で最も著しく、運動強度がこれより強くなると、かえって抑制されるといわれている^{5,14~16)}。また、この NEFA 動員の抑制因子として、運動中の乳酸と血糖の増加が考えられるとされている^{6,15)}。また、運動中の RQ が 0.75 で、主として脂質燃焼によるエネルギー補給が行われているときに、NEFA の酸化による呼吸中の CO_2 は 50% 以下であることが報告され¹⁷⁾、運動中に血中 TG の酸化と血中濃度の上昇が認められることが報告されている^{16,18,19)}。以上の諸報告は、おおむね空腹状態で実施した実験にもとづくものが多く、運動負荷と食事時間とを関連させた研究は少ない。

今回のわれわれの実験の成績では、軽度の空腹状態と考えられる食前運動負荷の場合、運動開始直前の血漿 NEFA 値は正常範囲 (0.131~0.455 mEq/l) のやや高いレベルに位置し、30分間の運動負荷直後には有意に低下した。次いで、運動直後に食事を摂取させ、60分後の NEFA レベルは上昇せず、むしろ低下する傾向がみられた。また、食事摂取直後のやや満腹状態での運動負荷の場合、運動開始直前の血漿 NEFA レベルは低く、30分間の運動により、さらに低下する傾向を示したが、その程度は食前運動負荷の場合に比し軽微であった。運動筋における NEFA の酸化の程度は turnover rate から判定すべきであって、血漿中の濃度のみから判定することには無理があるが、採血を運動直後 (1~2分以内) に実施していることも考慮に入れると、これらの実験成績は、食事直後に運動を負荷するよりも食事摂取後 3~4 時間経過した軽度の空腹状態で実施する方が NEFA によるエネルギー利用度が若干高いと考えるのが妥当ではなかろうかと考えられる。

一方、血漿 TG については、食前・食後いずれの負荷の場合も、運動開始直前値は低く、30分間の運動によりやや増加する傾向がうかがえるが、有意差は認められなかった。運動開始前の血漿 TG レベルが低かったのは与えた食事の栄養素組成中の脂肪のエネルギー比率を比較的強く抑えたためではなかろうかと考えられる。いずれにせよ、この結果からは中性脂肪またはエステル化された脂肪酸の形で直接エネルギー源として大量に用いられているとは考え難い。

RQ から算出した糖質：脂質の燃焼比率は、食前運動負荷の場合でも平均約 50：50 で、脂肪の燃焼比率は決して高くなく、食後負荷の場合は脂肪代謝の比率は若干低下する傾向がうかがわれた。ガス代謝による解析結果からのみでなく、血糖と血漿 NEFA 濃度の変動からも、このことが首肯される。

厚生省⁹⁾では、近年国民の日常生活における身体活動が軽減しているのに対し、エネルギー摂取量が所要量を平均 10% 上回っていることから、肥満を防止し、健康を維持するためには、付加運動によるエネルギー消費を図ることが望ましいとし、その目安として生活活動強度 I~II の人に対しては、女性の場合 1 日当たり 100~200kcal の付加運動を推奨している。本研究の負荷運動の強度と持続時間の実験条件は、ほぼこの線に沿って設定したものであるが、被検者の体脂肪量は平均 20% で、肥満体ではなく、また摂取した栄養量も過剰ではないので、ことさら脂肪燃焼を促進させる必要性を認めなかった。しかし、肥満者がその対策のための減量を目的として実施する運動について、その強度と持続時間を、実施時刻と食事時刻との関連から、極めて効率がよく (脂肪燃焼比が極めて高く)、しかも健康増進に役立つ形で運動処方を作成することは困難であることが示唆された。

5. 要 約

運動時の糖・脂質代謝に及ぼす食事の影響を検討するために、健康な女子大学生(21~22歳)を被検者とし、自転車エルゴメータにより steady state の成立する中等強度(5kcal/min)の有酸素運動を食事前の軽度の空腹状態と、食事直後のやや満腹状態において、30分間負荷し、運動開始直前、直後および60分後に静脈血を採取して、血糖、血中乳酸量、血漿中の中性脂肪(TG)、遊離脂肪酸(NEFA)、蛋白質等を測定し、併せて運動中の呼気を採取してガス代謝をしらべた。主な結果は次のとおりである。

1) 血糖値は食前負荷・食後負荷のいずれの場合も、運動開始直前値は正常範囲にあり、運動直後は有意の低下を示した。運動終了後60分にはほぼ負荷前値に回復した。運動直後の血中乳酸は無酸素閾値(4mM/l)を超えることはなかった。

2) 血漿 NEFA 値は、食前運動負荷の場合、運動開始直前の値は正常範囲のやや高いレベルにあり、運動直後には有意に低下した。次いで食事を摂取させ、60分後のレベルは上昇せず、むしろ低下する傾向がみられた。食後運動負荷の場合、運動開始直前の血漿 NEFA レベルは低く、運動直後はさらに低下する傾向を示したが、その程度は食前運動負荷の場合に比し軽微であった。血漿 TG 値は、食前・食後いずれの負荷の場合も、運動開始直前は低く、運動直後にやや増加する傾向がうかがえるが、有意差は認められなかった。

3) ヘモグロビン量、血漿蛋白質量は、食前負荷・食後負荷のいずれの場合も、また、運動開始直前値と運動直後の値を比較しても、有意の変動は見られなかった。

4) 運動中のガス代謝測定による RQ から算出した糖質：脂質の燃焼比率は、食前運動負荷の場合、平均約 50：50 で、脂肪の燃焼比率は決して高くはなく、食後負荷の場合は脂肪の比率は若干低

下する傾向がうかがわれた。

5) 以上の結果から、体脂肪の減量を目的として実施する運動について、その強度と持続時間を実施時刻と食事時刻との関連から、極めて効率がよく(脂肪燃焼比が極めて高く)、しかも健康増進に役立つ形で運動処方を作成することは困難であることが示唆された。

文 献

- 1) Issekutz, B.Jr., Miller, H.I., and Rodahl, K.; Lipid and carbohydrate metabolism during exercise. *Federation Proc.* **25**: 1445—1420 (1966)
- 2) Armstrong, D.T., Steel, R., Altszuler, N., Dunn, A., Bishop, J.S., and DeBods, R.D.; Regulation of plasma free fatty acid turnover. *Am. J. Physiol.* **201**: 9—15 (1961)
- 3) Paul, P., and Issekutz, B.; Role of extramuscular energy sources in the metabolism of the exercising dog. *J. Appl. Physiol.* **22**: 615—622 (1967)
- 4) Paul, P.; FFA metabolism of normal dogs during steady-state exercise at different work loads. *J. Appl. Physiol.* **28**: 127—132 (1970)
- 5) 堤達也, 後藤芳雄, 喜多尚武, 青木和江, 高橋登久子; 運動強度と血清遊離脂肪酸(FFA), 血糖, 血中乳酸の変動, 体力研究, **22**: 1—8 (1971)
- 6) 喜多尚武, 後藤芳雄, 高橋登久子, 堤達也; 運動時の血糖, 血中乳酸, 血清 FFA の変動に及ぼす glucose 投与の影響, 体力研究, **28**: 26—38 (1974)
- 7) 喜多尚武, 後藤芳雄, 堤達也; 運動負荷時の血清遊離脂肪酸, 血糖, 血中乳酸の変動に及ぼす環境温度の影響, 体力研究, **31**: 26—38 (1975)
- 8) 喜多尚武, 後藤芳雄, 堤達也; トレッドミル運動と自転車運動とにおける血漿遊離脂肪酸(FFA), 血糖, 血中乳酸の変動に及ぼす負荷強度の影響, 体力研究, **48**: 30—49 (1981)
- 9) 厚生省保健医療局健康増進栄養課編; 第三次改訂日本人の栄養所要量, 第一出版(1984)
- 10) Jorfeldt, L., and Wahren, J.; Human forearm muscle metabolism during exercise. V. Quantitative aspects of glucose uptake and lactate during prolonged exercise. *Scand. J. Clin.*

- Invest.* **26** : 73—81 (1970)
- 11) Wahren, J., Felig, P., Ahlbog, G., and Jorfelt, L.; Glucose metabolism during leg exercise in man. *J. Clin. Invest.* **50** : 2175—2725 (1971)
 - 12) Goldstein, M.S.; Humoral nature of hypoglycemia in muscular exercise. *Am. J. Physiol.* **200** : 67—70 (1961)
 - 13) Pruetz, E.D.R.; Plasma insulin concentration during prolonged work at near maximal oxygen uptake. *J. Appl. Physiol.* **29** : 155—158 (1970)
 - 14) Pruetz, E.D.R.; FFA mobilization during and after prolonged severe muscular work in man. *J. Appl. Physiol.* **29** : 809—815 (1970)
 - 15) Galbo, H., Holst, J.J., and Christensen, N.J.; Glucagon and plasma catecholamine responses to graded and prolonged exercise in man. *J. Appl. Physiol.* **38** : 70—76 (1975)
 - 16) 後藤芳雄, 喜多尚武, 堤達也; 運動強度と血漿 FFA, Triglycerides, Cholesterol, 糖および乳酸の変動, 並びにそれらの相互関係について, 体力研究, **31** : 11—25 (1975)
 - 17) Havel, R.J., Carlson, L.A., Ekelund, L.G., and Holmgren, A.; Turnover rate and oxydation of different free fatty acids in man during exercise. *J. Appl. Physiol.* **19** : 613—618 (1964)
 - 18) Carlson, L.A., Ekelund, L.G., and Froberg, S.; Concentration of triglycerides, phospholipids and glycogen in skeletal muscle and of free fatty acids and β -hydroxybutyric acid in blood in man in response to exercise. *Europ. J. Clin. Invest.* **1** : 248—254 (1971)
 - 19) 堤達也, 後藤芳雄, 喜多尚武, 青木和江, 高橋登久子; 運動中, 運動後の血清 Triglycerides の変動および運動強度との関連, 並びにその変動因子について, 体力研究, **25** : 1—15 (1972)