

# 摂食から運動開始までの時間の違いが持久性 運動によるエネルギー源の消長に及ぼす影響

静岡大学 山本 章  
(共同研究者) 同 磐井 邦子  
同 稲垣 正男

## **Effect of the Difference in Feeding Time Before Prolonged Exercise on the Utilization of Energy Source in Rats**

by

Akira Yamamoto  
Kuniko Iwai and Masao Inagaki  
*Shizuoka University*

### **ABSTRACT**

This study was made to answer the question of optimal feeding time before the exercise.

Forty-eight male Sprague-Dawley rats were daily meal-fed on a commercial diet at 20.00—21.00 and 08.00—09.00 hr for 3 weeks.

At 7 weeks of age, the rats were classified into control groups and 3 exercised groups, namely rats fed with the meal at just before, 3 hours before, and 6 hours before a bout of 3 hours swimming exercise.

Blood substrate, tissue glycogen content, adipose tissue lipolysis, and tissue lipoprotein lipase activity were measured at two times just before and after the exercise.

The results obtained were summarized as follows;

1. In the rats fed with the meal just before the exercise, liver and skeletal muscle glycogen contents at the end of the exercise were lower as compared with those in the rats of the other two groups.

2. In the rats fed with the meal at 3 hours before the exercise, liver and skeletal muscle glycogen contents at the time just before the exercise were

similar to those in the rats fed with the meal just before the exercise. However, those at the end of the exercise were similar to those in the rats fed with the meal at 6 hours before the exercise.

3. In the rats fed with the meal at 6 hours before the exercise, skeletal muscle glycogen contents at the time just before the exercise were higher as compared with those in the rats of the other two groups. However, those at the end of the exercise were similar to those in the rats fed with the meal at 3 hours before the exercise.

These results suggest that the feeding just before the exercise is not optimal in rats.

## 緒 言

競技の前の食事は Pregame meal と呼ばれ、最近、選手の間では固形食 (solid meal) にかわり流動食 (liquid meal) がとられる傾向にある<sup>1)</sup>。しかし、競技の前に普段取り慣れない食事をする事は適切ではなく、一般の人にとっては、普通の食事を運動を始めるどの位前にとっておくのがよいかという問題がより重要であろうと考えられる。運動の主たるエネルギー源は肝臓や骨格筋のグリコーゲンと脂肪由来の FFA である<sup>2)</sup> が、それらは食事によって変化する。また、摂食は糖質代謝を盛んにし、絶食は脂質代謝を盛んにし、食事からの時間の違いで運動に使われるエネルギー源は変化すると考えられる。

そこで本研究では、食事から運動開始までの適切な時間を知るための基礎的な資料を得る目的で、ラットを用い、3つの異なる時間を設定し、長時間の中等度の運動によるエネルギー源の消長から検討を行った。

## 方 法

### 1. 実験動物および飼育条件

実験計画の概略は図1に示した。

生後4週齢の JCL<sup>®</sup>: SD 系雄ラット48匹を用

い、07—19時を明期とする12時間の明暗サイクル下で個別に飼育した。飼料は粉末飼料 CE-7 (日本クレア K.K.) を用い、08—09時と20—21時の1日2回 meal-feeding し、飲水は24時間自由に摂取できるようにした。

### 2. 運動負荷法

上記の条件下で3週間飼育後、7週齢でラット (205.0±21.5 g) を体重の平均値が等しい対照群 (5群) と運動群 (3群) に分けた。対照群は20—21時 (朝食に相当) の摂食直前 (20時)、直後 (21時)、3時間後 (00時)、6時間後 (03時)、9時間後 (06時) に6匹ずつ断頭屠殺した。運動群は摂食直後 (21時)、3時間後 (00時)、6時間後 (03時) からおのおの3時間の遊泳運動を負荷し、00時、03時、06時に6匹ずつ断頭屠殺した。遊泳運動は、水温 35°C、直径 40cm、深さ 40cm のポリバケツ中で一度に6匹ずつ実施した。

### 3. 血清の分離方法

血液は断頭により体幹より採取し、4°C で1時間放置後、3,000rpm で15分間遠心し、血清を分離した。血清はグルコース (Glucose B-Test Wako), FFA<sup>3)</sup>, TG<sup>4)</sup> の分析に供されるまで -40°C で凍結保存した。

### 4. 脂肪分解能の測定方法

断頭屠殺後、副睾丸脂肪組織を室温で摘出、

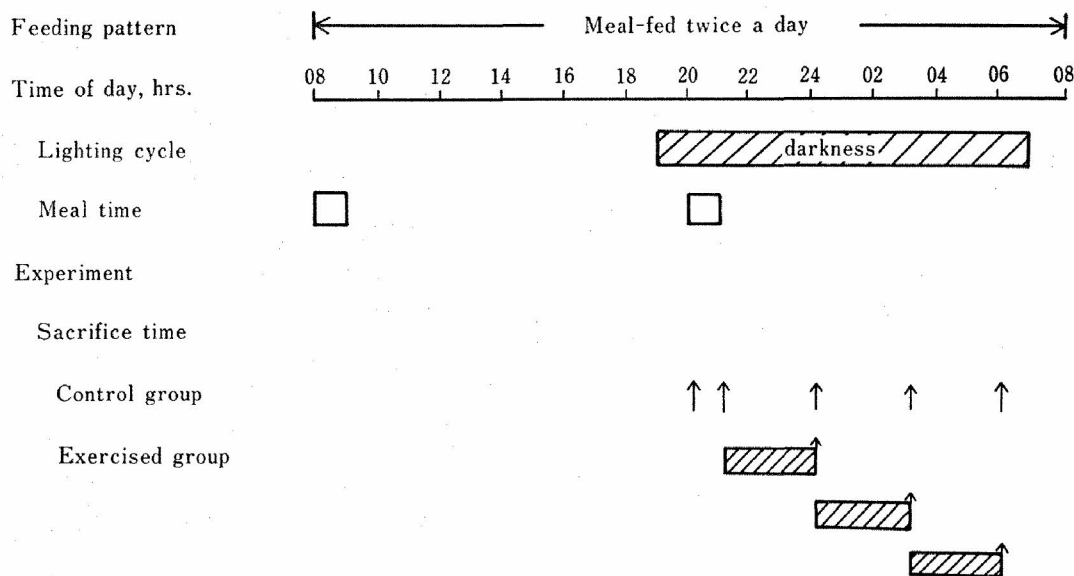


図1 Experimental schedule

0.9%食塩水で洗浄後、ろ紙で水分を除いて秤量した。血管を取り除いた約100mgの組織片には、1.9mlのKrebs Ringer Buffer (3% Bovin serum albuminを含む)と0.1mlの蒸留水あるいはエピネフリン(10 $\mu$ g/ml)溶液を添加し、37°Cの恒温水浴槽中で振とうしながらインキュベートした。1時間後に水中に移して反応を停止させ、脂肪組織片を除き、反応液はFFAの分析に供されるまで-40°Cで凍結保存した。脂肪分解能はFFA産生量で表わした。

### 5. 体組織グリコーゲン含量の測定方法

断頭屠殺後、氷上で肝臓、心臓、ヒラメ筋、腓腹筋(白色部位)を摘出し、秤量後ただちに液体窒素中で凍結し、グリコーゲン含量の分析<sup>5)</sup>に供されるまで-40°Cで保存した。

### 6. 体組織LPL活性の測定方法

凍結保存した副睾丸脂肪組織、心臓、ヒラメ筋の組織片約100mgをテフロン製ホモジナイザーを用い、10mlの50mM NH<sub>3</sub>-NH<sub>4</sub>Cl Buffer (pH 8.1, Heparin (2 IU/ml)を含む)でfresh-tissue homogenateに調整した。基質エマルジョンは10% Intralipid 1容に対し、24時間絶食させたラットの血清1容、0.35M Tris-HCL Buffer (pH

8.1, 7.5% Bovin serum albuminを含む)8容を加え、37°Cで45分間インキュベートすることで活性化基質とした。Homogenate調整後、fresh-tissue homogenate 1容に対し活性化基質1容を加え、37°Cで振とうしながらインキュベートし、開始5分および65分に水中で反応を停止させた。反応液はFFAの分析に供されるまで-40°Cで凍結保存した。LPL活性は1時間あたりに反応液中に産出されたFFA量で表わした。データはStudentのT-testで統計処理した。

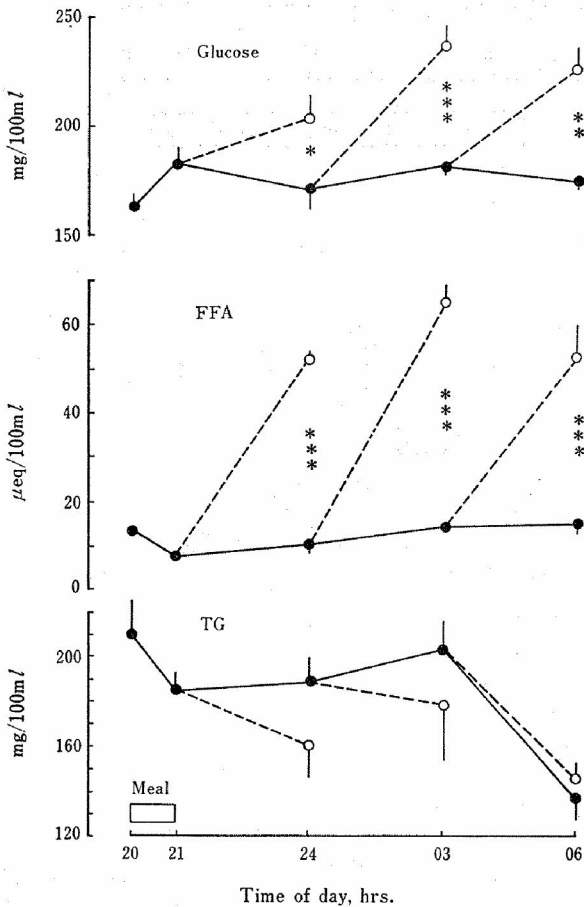
## 結 果

### 1. 血清グルコース濃度の変化(図2)

運動群は対照群に比べ、いずれも高値を示し、摂食直後から運動を開始した群では有意差が認められなかったが、3時間後(p<0.001)並びに6時間後(p<0.01)から運動を開始した群では有意差が認められた。

### 2. 血清FFA濃度の変化(図2)

運動開始前の値は摂食直後ほど低かった。運動群は対照群に比べ、いずれも有意(p<0.001)に高値を示した。運動終了時の値は、摂食直後から運動を開始した群に比べ、3時間後から運動を開



● : control group, ○ : exercised group.  
Significantly different,  
\*\*\*  $p < 0.001$ , \*\*  $p < 0.01$ , +  $p < 0.1$ .  
Varues are Means  $\pm$  SE for 5 rats.

図2 Effect of exercise on serum glucose, FFA, and TG level.

始した群で有意 ( $p < 0.05$ ) に高かった。

### 3. 血清TG濃度の変化 (図2)

摂食直後並びに3時間後から運動を開始した群では対照群に比べ、低値を示す傾向にあったが、いずれも有意差は認められなかった。

### 4. 体組織グリコーゲン含量の変化 (図3)

#### 1) 肝臓のグリコーゲン含量

運動群は対照群に比べ、いずれも有意 ( $p < 0.001$ ) に低値を示した。運動終了時の値は、有意ではないが、摂食から運動開始までの時間が短い群ほど低かった。

#### 2) ヒラメ筋のグリコーゲン含量

運動群は対照群に比べ、いずれも低値を示し、摂食直後から運動を開始した群では有意差 ( $p <$

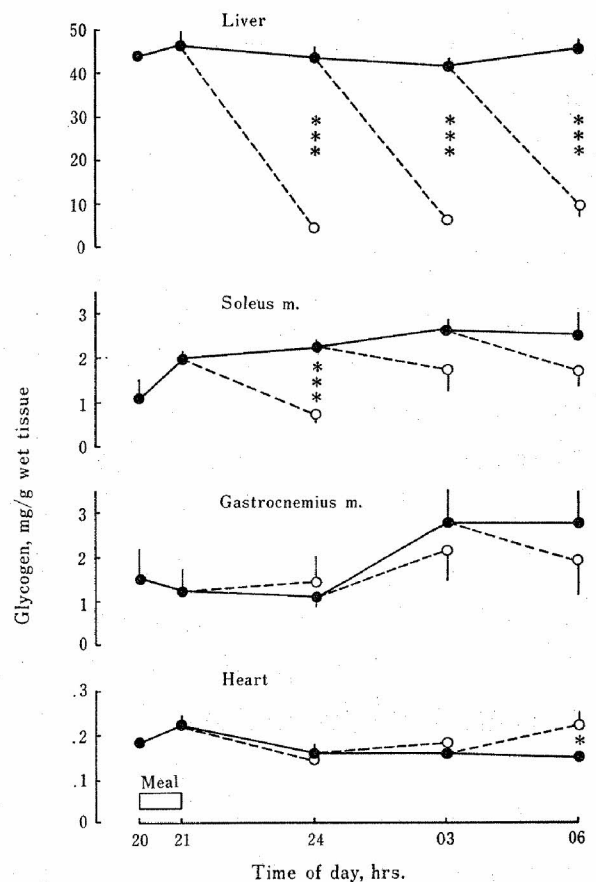
0.001) が認められた。運動終了時の値は、摂食直後から運動を開始した群が3時間後あるいは6時間後から運動を開始した群に比べて低く、6時間後から運動を開始した群とは有意差 ( $p < 0.05$ ) が認められた。

#### 3) 腓腹筋のグリコーゲン含量

摂食直後と3時間後の値は6時間後に比べて低く、3時間後と6時間後の値には有意差 ( $p < 0.05$ ) が認められた。摂食直後から運動を開始した群では低値のまま変わりなく、3時間後から運動を開始した群と6時間後から運動を開始した群では運動前後の値の増減は異なったが、対照群と比べるといずれも低値を示す傾向にあった。

#### 4) 心臓のグリコーゲン含量

摂食直後の値は3時間後並びに6時間後の値に



● : control group, ○ : exercised group.  
Significantly different,  
\*\*\*  $p < 0.001$ , \*  $p < 0.05$ .  
Varues are Means  $\pm$  SE for 5 rats.

図3 Effect of exercise on liver, soleus m., gastrocnemius m., and heart glycogen level.

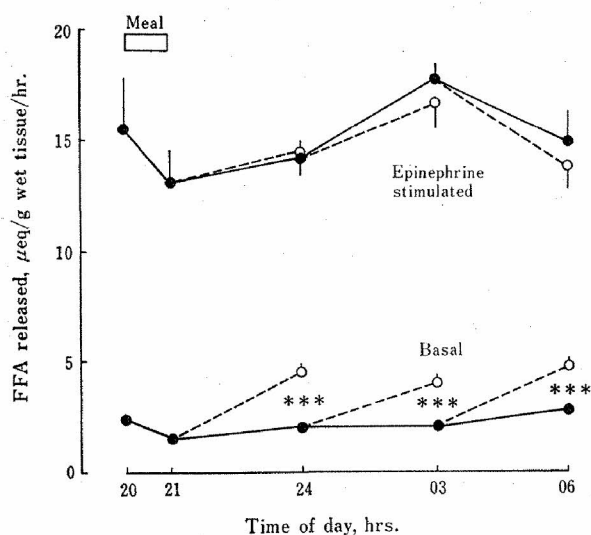
比べて有意 ( $p < 0.05$ ) に高かった。摂食直後と3時間後から運動を開始した群では、対照群と比べて差がみられなかったが、6時間後から運動を開始した群では、対照群に比べて有意 ( $p < 0.05$ ) に高値を示した。運動終了時の値は、摂食直後から運動を開始した群が3時間後あるいは6時間後から運動を開始した群に比べて有意 ( $p < 0.05$ ) に低かった。

### 5. 脂肪分解能の変化 (図4)

エピネフリン無添加の脂肪酸放出量は、摂食直後に最も低値を示し、3時間後 ( $p < 0.05$ ) 並びに6時間後 ( $p < 0.01$ ) に比べて有意差が認められた。運動群は対照群に比べ、いずれも著しく ( $p < 0.001$ ) 高値を示した。

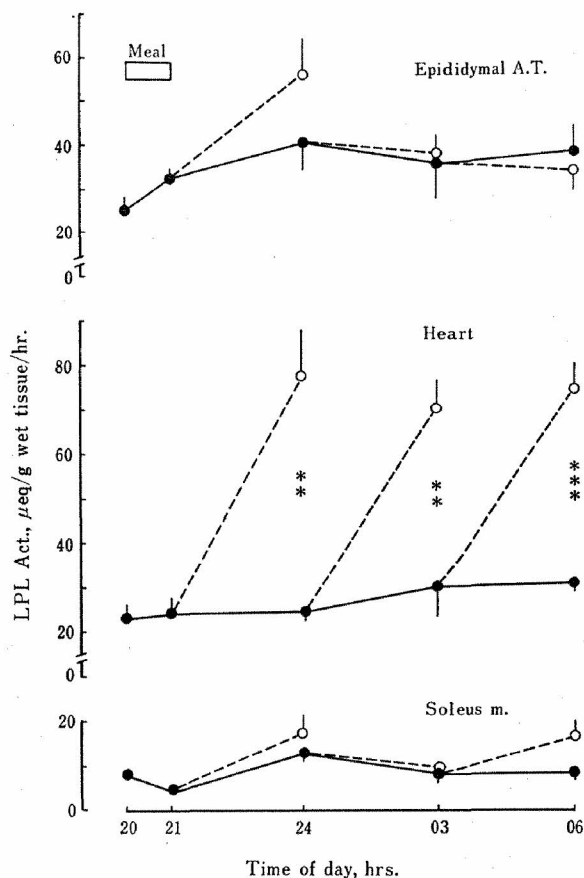
エピネフリン添加の脂肪酸放出量は、摂食直後に低く、その後6時間後まで増加する傾向を示し、摂食直後に比べて6時間後には有意 ( $p < 0.05$ ) に高値を示した。運動群と対照群の値には差が認められなかった。

エピネフリン添加と無添加の差から求められるエピネフリン刺激性脂肪酸放出量は、運動群が対照群に比べて低値を示したが、いずれも有意差は



● : control group, ○ : exercised group.  
Significantly different, \*\*\*  $p < 0.001$ .  
Values are Means  $\pm$  SE for 5 rats.

図4 Effect of exercise on basal and epinephrine stimulated lipolysis in epididymal adipose tissue.



● : control group, ○ : exercised group.  
Significantly different,  
\*\*\*  $p < 0.001$ , \*\*  $p < 0.01$ .  
Values are Means  $\pm$  SE for 5 rats.

図5 Effect of exercise on epididymal adipose tissue, heart, and soleus m. LPL activity.

認められなかった。

### 6. 体組織 LPL 活性の変化 (図5)

#### 1) 副睾丸脂肪組織の LPL 活性

対照群に比べ、摂食直後から運動を開始した群では高値を示し、3時間後から運動を開始した群では変わらず、6時間後から運動を開始した群では低値を示す傾向にあったが、有意差は認められなかった。

#### 2) 心臓の LPL 活性

運動群は対照群に比べていずれも有意 ( $p < 0.01$ ) に高値を示したが、摂食から運動開始までの時間の違いによる差はみられなかった。

#### 3) ヒラメ筋の LPL 活性

運動群は対照群に比べていずれも高値を示す傾向にあったが、有意差は認められなかった。

## 考 察

運動のどの位前に食事をすませておくのが適切であるかという問題に関して、一般的には、運動を実施する時に胃に食物が残っていないことが望ましく、そのためには運動の4～5時間前に食事をすませるのがよいとされている<sup>6)</sup>。

Iowa 州立大学の Asprey らのグループ<sup>7-10)</sup>は、400～500kcal の軽い食事後30分から3時間の間で、数種類の激しい運動を実施し、そのパフォーマンスを比べたが、食事から運動開始までの時間の違いによる差を認めることができなかったと報告している。Grandola ら<sup>11)</sup>は約 1000kcal の食事後30分から3時間の間で、約80%  $\dot{V}O_2 \max$  のトレッドミル走を実施し、パフォーマンスだけでなく、心拍数や酸素消費量などの生理的指標も調べたが、食事から運動開始までの時間の違いによる差を認めることができなかったと報告している。

これらの報告は短時間の激しい運動を実施した時の結果であり、また、運動の主要なエネルギー源の消長については検討していない。ラットを用いて、Clark と Canlee は<sup>12)</sup>肝臓と骨格筋のグリコーゲン含量が運動前に高い時は、低い時に比べて遊泳時間が長かったと報告している。一方、Dohm ら<sup>13)</sup>は、24時間絶食した群は自由摂食群に比べて肝臓や骨格筋のグリコーゲン含量が運動前に低かったが、トレッドミル走時間は長く、運動中に血中 FFA 濃度が高く維持され、FFA の利用が高いとグリコーゲンの消費が節約されると指摘している。Hickson ら<sup>14)</sup>はラットで、Costill ら<sup>15)</sup>はヒトで、運動前に血中 FFA 濃度を高めておくと、運動によるグリコーゲンの利用が節約され、パフォーマンスが高まったと報告している。

したがって、長時間の中等度の運動では、運動前の肝臓や骨格筋のグリコーゲン含量が高く、しかも、運動中に血中 FFA 濃度が高く維持され、

グリコーゲンの利用が節約される状態にあることが望ましいと考えられる。

そこで本研究結果をみると、摂食直後から運動を開始した群では、運動開始時の骨格筋のグリコーゲン含量、血中 FFA 濃度は低く、運動終了時のグリコーゲン含量は3つの運動群の中で最も低く、パフォーマンスは低いことが推察される。摂食3時間後から運動を開始した群では、運動開始時の肝臓と骨格筋のグリコーゲン含量、血中 FFA 濃度は、摂食直後から運動を開始した群と変わらなかったが、運動終了時のグリコーゲン含量は摂食6時間後から運動を開始した群と変わらず、血中 FFA 濃度は高かった。また、摂食6時間後から運動を開始した群では、運動開始時の肝臓のグリコーゲン含量は他の2群と変わらず、骨格筋のグリコーゲン含量、血中 FFA 濃度は高かったが、運動終了時の肝臓と骨格筋のグリコーゲン含量は摂食3時間後から運動を開始した群と変わらなかった。

以上のことより、長時間の中等度の運動では、摂食直後から運動を開始するのは望ましくなく、摂食3時間後と6時間後では著しい差はなかったと結論される。運動強度が異なる場合は今回の結論と異なる可能性も考えられるので、今後の課題としたい。

## 要 約

長時間の中等度の運動を実施する場合、食事は運動のどの位前にすませておくのが適切であるかを知るため、本研究を行った。SD 系雄ラット48匹を用い、1日2食制で3週間飼育後、対照群と摂食直後、3時間後、6時間後から運動を開始する群に分けた。運動開始直前と3時間の運動終了時に血中基質と組織グリコーゲン含量、脂肪分解能、組織 LPL 活性を分析し、比較検討して、以下に示す結果を得た。

1. 摂食直後から運動を開始した群は、他の2

群に比べ、運動終了時の肝臓と骨格筋のグリコーゲン含量が低値を示した。

2. 摂食3時間後から運動を開始した群は、運動開始時の肝臓と骨格筋のグリコーゲン含量は摂食直後から運動を開始した群と変わらなかったが、運動終了時には摂食直後から運動を開始した群に比べて高値を示した。

3. 摂食6時間後から運動を開始した群は、運動開始前の骨格筋のグリコーゲン含量は他の2群に比べて高かったが、運動終了時には摂食3時間後から運動を開始した群と変わらなかった。

以上の結果から、運動の直前の食事は適切でないことが示唆された。

#### 文 献

- 1) Macaraeg, P.V.J.; High carbohydrate, low fat liquid meal for athletes, *J. Sports Med.*, **14**, 259—262 (1974)
- 2) Essen, B.; Intramuscular substrate utilization during prolonged exercise, *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, **301**, 30—44 (1977)
- 3) 前畑英介, 中甫; 2-(2-Thiazolylazo-p-cresol)を用いた遊離脂肪酸の比色定量, *臨床化学*, **1**, 447—456 (1972)
- 4) Fletcher, M.J.; A colorimetric method for estimating serum triglycerides, *Clin. Chim. Acta*, **22**, 393—397 (1968)
- 5) Lo, S., Russell, J.C. and Taylor, A.W.; Determination of glycogen in small tissue samples, *J. Appl. Physiol.*, **28**, 234—236 (1970)
- 6) Buskirk, E.R.; Diet and athletic performance, *Postgrad. Med.*, **61**, 229—236 (1977)
- 7) Ball, J.R.; Effect of eating at various times upon subsequent performances in swimming, *Res. Quart.*, **33**, 163—167 (1961)
- 8) Aspray, G.M., Alley, L.E., and Tuttle, W.W.; Effect of eating at various times on subsequent performances in the 440-yard dash and half-mile run, *Res. Quart.*, **34**, 267—270 (1963)
- 9) Asprey, G.M., Alley, L.E., and Tuttle, W.W.; Effect of eating at various times upon subsequent performances in the one-mile run, *Res. Quart.*, **35**, 227—230 (1964)
- 10) Asprey, G.M., Alley, L.E., and Tuttle, W.W.; Effect of eating at various times on subsequent performances in the 2-mile run, *Res. Quart.*, **36**, 233—236 (1965)
- 11) Girandola, R.N., Wiswell, R.A., Frisch, F., Khodiguian, N.R., Bulbulian, B.R., and Hecker, A.L.; Effect of liquid and solid meals and time of feeding on  $\dot{V}O_2$  max. Nutrient utilization during exercise, Ross Lab., Ohio, p. 115—119 (1982)
- 12) Clark, J.H., and Conlee, R.K.; Muscle and liver glycogen content: diurnal variation and endurance, *J. Appl. Physiol.*, **47**, 425—428 (1979)
- 13) Dohm, G.L., Tapscott, E.B., Barakat, H.A., and Kasperek, G.J.; Influence of fasting on glycogen depletion in rats during exercise, *J. Appl. Physiol.*, **55**, 830—833 (1983)
- 14) Hicksom, R.C., Rennie, M.J., Conlee, R.K., Winder, W.W., and Holloszy, J.O.; Effects of increased plasma fatty acids on glycogen utilization and endurance, *J. Appl. Physiol.*, **43**, 829—833 (1977)
- 15) Costill, D.L., Coyle, E., Dalsky, G., Evans, W., Fink, W., and Hoopes, D.; Effects of elevated plasma FFA and insulin on muscle glycogen usage during exercise, *J. Appl. Physiol.*, **43**, 695—699 (1977)