激運動終了直後のラットに対する2種の異なった糖質投与が 筋肉グリコーゲンの回復に及ぼす影響

寺尾 保* 山下泰裕** 張 楠****杉浦克己***
森山嘉夫*** 大崎久子*** 中野昭一*

EFFECT OF INGESTION OF TWO DIFFERENT CARBOHYDRATES IMMEDIATELY AFTER EXHAUSTIVE EXERCISE ON MUSCLE GLYCOGEN RESTORATION IN RATS

TAMOTSU TERAU, YASUHIRO YAMASHITA, NAN ZHANG, KATSUMI SUGIURA,
YOSHIO MORIYAMA, HISAKO OHSAKI and SHOICHI NAKANO

Abstract

A study was performed to investigate the effect of ingestion of two different carbohydrates immediately after exhaustive exercise on muscle glycogen restoration in rats. The carbohydrate solutions used were 20% maltodextrin (osmolality: 270 mOsm/kg·H₂O) and 20% glucose (osmolality: 1370 mOsm/kg·H₂O). At both 30 and 60 min after oral ingestion, the osmolality in the gastric residue was significantly higher in the group given the glucose solution than in the group given the maltodextrin solution. The concentration of serum glucose at both 30 and 60 min after oral ingestion was significantly higher in the group given maltodextrin than in the group given glucose. Compared to the group given glucose, the group given maltodextrin had significantly higher muscle glycogen contents in M. plantaris and M. gastrocnemius at both 30 and 60 min after oral ingestion. Furthermore, the muscle glycogen contents in the group given maltodextrin returned to the levels in resting control rats 60 min after oral ingestion. Thus it is concluded that ingestion of maltodextrin solution immediately after exhaustive exercise might be effective for rapid restoration of muscle glycogen.

(Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med. 1995, 44, 375~384)

key words: muscle glycogen, maltodextrin solution, glucose solution, osmolality, exhaustive exercise.

I. 緒 言

激運動によって消費された筋肉グリコーゲンを補充するためには、糖質の補給がより合目的である。特に、毎日激しいトレーニングを行い、それに必要な筋肉グリコーゲン量を貯蔵しておかなければならないスポーツ選手にとっては重要である。ことに、競技会で1日のうちで2, 3回、さらには柔道のように決勝まで5, 6回の競技が行

われる場合、あるいはトーナメント形式で数日間にわたって競技が行われるような状況の場合には重要な因子となろう。

一般に、スポーツ選手が必要とする糖質摂取量は、体重1kg当たり8~10gが望ましい^{1,2)}といわれている。しかし、1日体重1kg当たり糖質を8.0gと3.9gとを摂取した群とに分け、長時間にわたる高強度の運動を5日間行わせた実験では、筋肉グリコーゲンが1日体重1kg当たり

*東海大学スポーツ医科学研究所
〒259-12 神奈川県平塚市北金目1117

**東海大学体育学部武道学科
〒259-12 神奈川県平塚市北金目1117

***明治製菓株式会社スポーツ&
ニュートリション・ラボ

****東海大学医学部生理科学部門
〒259-11 神奈川県伊勢原市望星台

Research Institute of Sports Medical Science, Tokai University
1117 Kitakaname, Hiratsuka, Kanagawa 259-12, Japan

Department of Judo and Kendo, School of Physical Education, Tokai University 1117 Kitakaname, Hiratsuka, Kanagawa 259-12, Japan
Sports & Nutrition Laboratory, Meiji Seika Kaisha, LTD
2-4-16 Kyobashi, Chuo-ku, Tokyo 104, Japan

Department of Physiology, Tokai University School of Medicine,
Bohseidai, Isehara, Kanagawa 259-11, Japan

8.0 g の摂取群の方が3.9 g の摂取群よりもその低下の度が少ないものの両群ともトレーニング3日および5日目と徐々に低下していったこと³⁾が報告されている。長時間の運動を行った後に、多量の糖質を摂取しても枯渇した筋肉グリコーゲンを完全に回復するには、一般に、24~48時間かかること⁴⁾も報告されている。これらのことは、日常、激しいトレーニングを続けていると、グリコーゲン消費に見合う量を糖質で補ったとしても、なお完全に筋肉グリコーゲンの消耗を防止することが難しいことを示唆していよう。

糖質の補給で重要なことは、トレーニング終了後に補給した糖質が効率よく速やかに筋肉グリコーゲンとして貯蔵されることである。そこで、運動終了後の筋肉グリコーゲン回復に対する問題は、前述の1日の糖質摂取量はもとより、糖質補給のタイミングも重要といえよう。運動終了後の筋肉グリコーゲン再合成は、糖質補給時間によって異なり、運動終了直後と終了2時間後とに糖質溶液を経口投与した場合、運動後の糖質摂取時間を遅らせると、筋肉グリコーゲンの蓄積速度が低下したこと⁵⁾が報告されている。さらに、私たちは、運動終了後の筋肉グリコーゲン回復に及ぼす糖質溶液の摂取時間の違いによる影響について検討を行い、運動終了直後に糖質補給を行う方が、より筋肉グリコーゲンの回復が速やかになること⁶⁾を報告した。これらの結果は、激しい運動を行った後、体内で筋肉のグリコーゲンを蓄積させる要求が高まっているときに糖質を補給することが、速やかに効率よく筋肉内にグリコーゲンを蓄積するであろうことを示唆している。したがって、筋肉グリコーゲンの回復を目的とした糖質の補給には、その補給時間、さらには、補給する糖質の種類等が問題となってくるところである。

本研究は、その一環として運動終了後の筋肉グリコーゲンの回復を検討する目的で、激運動終了直後のラットに、2種の異なる糖質(高濃度のマルトデキストリンおよびグルコース溶液)をそれぞれ経口投与させた場合、糖質の違いが筋肉グリコーゲンの回復に対して、どのような影響を及ぼすかを追究した。

II. 実験方法

A. 実験動物および実験条件

実験動物は、6週齢のWistar系雄性ラット46匹を用い、1週間にわたり飼料(日本クレア:CE-2)および水を自由摂取させ、予備走行トレーニング(10~20 m/分の速度で10~30分)を行わせた後、次の条件で実験を行った。

7週齢のラット(体重: 216 ± 20 g)を安静対照群($n=5$)と運動群($n=22$)に分けた。ラットの運動負荷は、15~17時間の絶食状態で、6%の傾斜角に固定したラット用トレッドミル(KN-73, 夏目製作所)を用い、負荷漸増法によって20 m/分の速度から5分毎に5 m/分の速度ずつ負荷を増加させていき、20分以後は40 m/分の速度に固定して疲労困憊に至るまで走行させた(疲労困憊時間: 42 ± 4 分)。疲労困憊の判定は、ラットが電気刺激に対して反応しなくなった時点とした。

運動終了直後、無作為に5匹を屠殺し、残りの17匹は、ラット用経口ゾンデ針を用い、クエン酸(0.5%)を含んだ20%のマルトデキストリン(分子量: 1700, 浸透圧: 約 270 mOsm/kg $\cdot$ H₂O)およびグルコース(分子量: 180, 浸透圧: 約 1370 mOsm/kg $\cdot$ H₂O)溶液を体重1 kg当たり2.0 gの割合でそれぞれ経口投与し、30分(マルトデキストリン投与: $n=4$, グルコース投与: $n=4$)および60分(マルトデキストリン投与: $n=5$, グルコース投与: $n=4$)後に sodium, pentobarbital (4~5 mg/100 g, wt)による麻酔下で心臓穿刺によって採血を行った。採血後、直ちに脱血をし、骨格筋(ヒラメ筋, 腓腹筋, 足底筋)を摘出した。なお、非運動(Non-Ex: $n=19$)時においても、マルトデキストリンおよびグルコース溶液をそれぞれ経口投与し、30分(マルトデキストリン: $n=5$, グルコース投与: $n=4$)および60分(マルトデキストリン: $n=5$, グルコース投与: $n=5$)後に同様な測定を行い、運動(Ex)終了後に与えたときの値と比較検討した。

さらに、胃内における貯留溶液の浸透圧の変動を検討するために、開腹後、速やかに胃の噴門部

と幽門部を糸で結紮した後、胃を開き貯留溶液を採集した。

B. 測定項目および測定方法

1. 胃内における貯留溶液の浸透圧

胃内における貯留溶液の浸透圧の測定は、自動浸透圧計 (Advanced Instruments 社の全自動 3 D II 型) によって行った。

2. 血清グルコース濃度

血清グルコース濃度の測定は、glucose/lactate analyzer, 2300 STAT (米国, Yellow Springs Institute 社製) によって行った。

3. 骨格筋グリコーゲン含有量

骨格筋グリコーゲン含有量の測定は、Carroll たち⁷⁾の方法を用い、摘出した筋肉を秤量後、直ちに30% KOH 溶液中 (1 ml) に浸漬し、20分間室温に放置した。その後、遠心分離 (3000 rpm, 15 分間) 上清を捨て、グリコーゲン沈澱物をアンスロン法によって測定した。

4. 統計学的分析

本実験で得られた平均値の差の検定は、すべて unpaired t-test を用い、危険率 5 % 以下を有意水準とした。

Ⅲ. 実験成績

A. 胃内における貯留溶液の浸透圧

図 1 には、運動を行わない安静時 (Non-Ex) および激運動 (Ex) 終了後における 20% マルトデキストリンおよび 20% グルコース溶液をそれぞれ経口投与した後の胃内における貯留溶液の浸透圧変動を示した。投与溶液の浸透圧は、同じ高濃度でも マルトデキストリン溶液が $270 \text{ mOsm/kg} \cdot \text{H}_2\text{O}$ と低張を示したのに対して、グルコース溶液は、 $1370 \text{ mOsm/kg} \cdot \text{H}_2\text{O}$ と高張の値を認めた。

次に、Non-Ex 時の経口投与における浸透圧の変動は、マルトデキストリン投与群が投与 30 分および 60 分後ではほぼ等張を維持していたのに対して、グルコース投与群の胃内貯留溶液はグルコース溶液の浸透圧に比較すると、著明な低下が認められた。しかしながら、投与の両群間では、グルコース投与群がマルトデキストリン投与群に比較して、投与 30 分および 60 分後で有意な高値を示していた ($p < 0.001$, $p < 0.05$)。

Ex 終了後においては、マルトデキストリン投与群が投与 30 分および 60 分後ではほぼ等張を維持していたのに対して、グルコース投与群は 30 分後で

Fig. 1. Effect of ingestion of two different carbohydrates at non-exercise (rest) and immediately after exercise on osmolality of gastric residue in rats. Values are expressed as Mean $\pm$ SD. *: $p < 0.05$, ***: $p < 0.001$ vs maltodextrin group; §: $p < 0.05$ vs 30 min in Non-Ex group, §§: $p < 0.01$ vs 60 min in Non-Ex group.

平均 800 mOsm/kg·H₂O, 60 分後でも平均 565 mOsm/kg·H₂O といずれも Non-Ex 時よりも高張の値を示していた ($p < 0.05$, $p < 0.01$). 投与の両群間では, マルトデキストリン投与群に比較して, グルコース投与群が30分および60分後でも著明な高値を示した (いずれも $p < 0.001$).

B. 血清グルコース濃度の変動

Non-Ex 時と Ex 終了後における20%マルトデキストリン溶液およびグルコース溶液をそれぞれ経口投与した後の血清グルコース濃度の変動を図2に示した. Non-Ex 時の血清グルコース濃度の変動は, マルトデキストリン投与群が投与30分後には安静対照群よりも著明な増加を示したのに対して, グルコース投与群は投与60分後にやや増加傾向を示した. 両群間では, マルトデキストリン投与群がグルコース投与群に比較して, 投与30分後で有意な増加 ($p < 0.05$) を示したが, 投与60分後では両群間に有意な差が認められなかった.

Ex 終了後の血清グルコース濃度の変動は, マルトデキストリン投与群が投与30分および60分後で安静対照群よりも著明な増加を示し, グルコー

ス投与群と比較しても有意な増加が認められた (いずれも $p < 0.01$). これに対して, グルコース投与群は, 投与30分および60分後も安静対照群とほとんど変化が認められなかった.

C. 骨格筋グリコーゲン含有量の変動

図3には, Non-Ex 時における20%マルトデキストリンおよびグルコース溶液をそれぞれ経口投与した後の筋肉グリコーゲン含有量の変動を示した. Non-Ex 時では, 両群間で著明な差が認められなかった.

Ex 終了後における20%マルトデキストリン溶液およびグルコース溶液をそれぞれ経口投与した後の筋肉グリコーゲン含有量の変動を図4に示した. 筋肉グリコーゲン量は, マルトデキストリン投与群がグルコース投与群に比較して, 投与30分 (腓腹筋および足底筋; いずれも $p < 0.05$) および60分 (腓腹筋; $p < 0.05$, 足底筋; $p < 0.01$) 後で有意な増加を示した. マルトデキストリン投与群は, 投与60分後に安静対照群の値まで回復していたのに反して, グルコース投与群では, 60分後でも回復が認められなかった.

Fig. 2. Effect of ingestion of two different carbohydrates at non-exercise (rest) and immediately after exercise on concentration of serum glucose in rats. Values are expressed as Mean $\pm$ SD. * : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$ vs glucose group; §§ : $p < 0.01$ vs 30 min in Non-Ex group.

Fig. 3. Effect of ingestion of two different carbohydrates at non-exercise (rest) on muscle glycogen content in rats. SOL : M. solues, GAS : M. gastrocnemius, PLA : M. plantaris. Values are expressed as Mean $\pm$ SD.

Fig. 4. Effect of ingestion of two different carbohydrates immediately after exercise on muscle glycogen content in rats. SOL : M. solues, GAS : M. gastrocnemius, PLA : M. plantaris. Values are expressed as Mean $\pm$ SD. * : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$ vs group.

Ⅳ. 考 察

本研究は、激運動終了直後に、マルトデキストリンとグルコースとの同じ高濃度溶液をそれぞれ補給した場合、糖質の違いが筋肉グリコーゲンの回復に対して、どのような影響を及ぼすかを追究したものである。

糖質溶液の浸透圧は、同じ重量を溶かしてもその分子量の関係から単糖類、二糖類、さらには多糖類の種類によって異なってくる。本研究のマルトデキストリンのようなグルコース・ポリマー溶液では、270 mOsm/kg・H₂O と低張であったのに対して、グルコースのような単糖類の溶液では1370 mOsm/kg・H₂O と高張の値を示した。

そこで、このような異なった浸透圧の溶液を補給した場合、一般的に低張ではほとんどのものがそのままの形で胃を通過し小腸に流入するが、高張の溶液では胃の中で等張に稀釈されてから移送されること⁸⁾が考えられている。したがって、高張な糖質溶液であればあるほど胃内容排出速度の遅くなること⁹⁾が報告されている。さらに、本研究で運動を行わない安静時と激運動終了直後の投与とでは、それぞれ異なった結果が得られた。すなわち、高張性溶液であるグルコース投与群は、運動終了後の方が非運動時よりも投与30分および60分後でも著明に高張の値を示していた。なお、運動終了後には、交感神経緊張状態がある程度持続するものの運動中に比較すると、相対的に低下してくることは事実である。しかし、運動終了後直ちに副交感神経刺激による胃機能の促進がみられるとは考え難い。この場合問題となるのは、その負荷された運動強度である。激運動終了直後には、胃の運動が抑制され、胃液の分泌低下のみられること¹⁰⁾が推察される。これらの胃機能への影響から考えると、激運動終了直後において高張な糖質溶液を摂取すればするほど胃の中で等張に稀釈されるまでの時間が延長され、さらに胃内容排出の速度も遅くなり、溶液の胃内停滞量の割合が多くなることが考えられた。この胃内容排出速度の遅延は、次の血清グルコース濃度の変動、さらには筋肉グリコーゲンの回復にも関連してく

る。

血清グルコース濃度は、運動終了後にマルトデキストリンを投与した群が、投与30分および60分後で安静対照群よりも著明な上昇を示し、グルコース投与群と比較して、いずれも有意な上昇が認められていた。これに対して、グルコース投与群は、非運動時と異なり、投与30分および60分後もほとんど上昇がみられず、安静対照群と同等の値を示していた。このような成績は、消化吸収の速度に関連していることを示唆している。さて、糖質の消化吸収を調節している因子としては、糖質の構造、濃度、量などの他に小腸内の pH、浸透圧などの影響⁸⁾が考えられよう。また、当然のことながら、前述の胃内容排出速度も大きな要因となる。この胃内容排出速度も摂取する溶液の量、温度および浸透圧などの影響を受ける。ヒトの場合、胃内に貯留される溶液量は、約 600 ml が限度で、その温度は低温の溶液であれば、速やかに小腸に移行すること¹¹⁾が報告されている。ラットの場合、1 回の投与量は、体重 100 g 当たり 1 ml である¹²⁾といわれている。したがって、本研究では、これらの報告を考慮して、1 回投与量を 2 ml として、低温(4℃)の条件下で経口投与を行い、胃内容排出速度が円滑に行われるように配慮した。また、運動と関連した栄養素の消化吸収について考えると、激運動終了直後は、消化吸収機能に抑制的な影響を及ぼしていることが考えられる。しかし、Gisolfi たち¹³⁾は、運動負荷が小腸における溶液の吸収に影響を与えないということも報告している。したがって、本研究では、糖質の消化吸収あるいは血清グルコース濃度の変動に大きな影響を及ぼす因子として前述の胃内容排出速度が大きな影響を与えているものと考えたのである。すなわち、これらのことと胃内における溶液の浸透圧の推移から、胃内容排出は、グルコースよりもマルトデキストリンの方が、より速やかに行われ、小腸における消化吸収も円滑に進んで、その結果、血清グルコース濃度の急激な上昇が認められたことが推察される。

次に、運動終了後の腓腹筋および足底筋の筋肉グリコーゲン含有量は、マルトデキストリン投与

群が投与60分後、すでに安静時レベルまで回復していたのに反して、グルコース投与群では、投与60分後でもなお回復が認められなかった。これらの成績は、マルトデキストリン投与群の方が血清グルコース濃度の変動と筋肉グリコーゲンの回復過程とが一致しており、より円滑な代謝過程の行われていたことを意味している。したがって、疲労困憊に至るような激運動後の筋肉グリコーゲン補充には、血中グルコースがより重要な基質であることが考えられる。また、筋肉へのグルコースの取り込みは、インスリン存在の有無に関係なく運動終了後に増加すること¹⁴⁾が認められている。しかし、この筋肉へのグルコース取り込みも運動終了後、時間の経過とともに低下していく¹⁵⁾ことも報告されている。

本研究における筋肉グリコーゲンの回復は、筋線維の組成によって異なっていた。すなわち、遅筋(タイプⅠ)線維であるヒラメ筋は、速筋(タイプⅡ)線維の腓腹筋および足底筋に比較して、マルトデキストリン投与でも投与60分後において運動終了直後の値よりも増加を示したものの完全なグリコーゲンの回復にまで至らなかった。筋線維組成の違いによるグリコーゲン変動については、Vøllestad たち¹⁶⁾がヒトで長時間の運動終了後の糖質補給がそれぞれの筋線維組成におけるグリコーゲン再合成にどのような影響を及ぼすか検討している。その成績は、運動終了直後から90分間におけるグリコーゲンの再合成が速筋(タイプⅡ)線維の方が遅筋(タイプⅠ)線維に比較して、65%も速いことを示している。しかし、それ以後は、筋線維組成による違いは認めていない。さらに、筋肉グリコーゲン再合成の調整について、Conlee たち¹⁷⁾は、運動終了後におけるグリコーゲン合成酵素が高い速筋(fast-twitch red muscle, タイプⅡA)の場合、グリコーゲン再合成が急速に行われたことを報告している。これらの結果から、遅筋線維の割合が高いヒラメ筋は、速筋線維(タイプⅡA およびタイプⅡB)の割合が高い腓腹筋や足底筋に比較すると、グリコーゲンの再合成が多少なりとも遅延するものと推察される。いずれにしてもマルトデキストリン投与は、グルコース

投与よりも急速に効率よく筋肉グリコーゲンの補充を行えるということが示唆された。

なお、非運動時では、マルトデキストリン投与とグルコース投与で胃内容液の浸透圧、血清グルコース濃度に有意な差があったにも拘らず、筋肉グリコーゲンには有意差が認められなかった。筋肉グリコーゲンの補充は、グリコーゲン枯渇の程度や筋肉グリコーゲン合成酵素の活性等に関連していることが考えられる。すなわち、筋肉グリコーゲンの枯渇は、筋肉グリコーゲン合成酵素の活性を高めること¹⁸⁾が報告されている。さらに、このグリコーゲン合成酵素活性が筋肉グリコーゲンの増加に関連している¹⁹⁾ことが考えられる。したがって、非運動時では、前述の運動時とは異なり、筋肉グリコーゲン合成酵素活性が低い状態にあったことが1つの要因として考えられ、その結果、高濃度のマルトデキストリンおよびグルコース溶液を投与しても筋肉グリコーゲンに変動が認められなかったことが示唆されよう。

本研究の成績から、運動終了直後における糖質補給には、マルトデキストリンのようなグルコース・ポリマー溶液の方がグルコースのような単糖類を含んだ溶液よりも同じ高濃度に調整しても、より低張な溶液として補給できるという利点がある。また、マルトデキストリンの胃からの排出も速やかに行われていることから、急速に効率よく筋肉グリコーゲンの補充を行うための手段として、マルトデキストリンの投与が、より有効な栄養補給方法の一つであると考えられた。

V. ま と め

本研究は、運動終了後の筋肉グリコーゲン含有量の回復を検討する目的で、激運動終了直後のラットに、同じ高濃度のマルトデキストリン溶液およびグルコース溶液をそれぞれ投与させた場合、糖質の違いが筋肉グリコーゲンの回復に対して、どのような影響を及ぼすかについて追究した。その成績を示すと次のごとくである。

1. 溶液の浸透圧は、同じ高濃度でもマルトデキストリンが 270 mOsm/kg・H₂O と低張を示したのに対して、グルコースは 1370 mOsm/kg・H₂O

と高張を認めた。

2. 運動終了後は、マルトデキストリン投与群が投与30分および60分後ではほぼ等張を維持していたのに対して、グルコース投与群は30分後で平均 800 mOsm/kg·H₂O, 60分後でも平均 565 mOsm/kg·H₂O といずれも非運動時よりも高張の値を示した ($p < 0.05$, $p < 0.01$). 投与の両群間では、マルトデキストリン投与群に比較して、グルコース投与群が30分および60分後でも著明な高値を示した (いずれも $p < 0.001$).

3. 運動終了後の血清グルコース濃度の変動は、マルトデキストリン投与群が投与30分および60分後で運動前の安静対照群よりも著明な増加を示し、グルコース投与群と比較しても有意な増加が認められた (いずれも $p < 0.01$). これに対して、グルコース投与群は、投与30分および60分後も安静対照群とほとんど変化が認められなかった。

4. 運動終了後における筋肉グリコーゲン含有量は、マルトデキストリン投与群がグルコース投与群に比較して、投与30分 (腓腹筋および足底筋: $p < 0.05$) および60分 (腓腹筋: $p < 0.05$, 足底筋: $p < 0.01$) 後で有意な増加を示した。さらに、マルトデキストリン投与群は、投与60分後に安静対照群の値まで回復していたのに反して、グルコース投与群では、60分後でも回復が認められなかった。

本研究の成績から、運動終了直後における糖質補給には、グルコースのような単糖類を含んだ溶液よりも、マルトデキストリンのようなグルコース・ポリマー溶液の方が同じ高濃度に調整しても、より低張な溶液として補給できるという利点がある。また、マルトデキストリン溶液は、胃からの排出も速やかに行われることから、急速に効率よく筋肉グリコーゲンの補充を行うための手段として、より有効な栄養補給の一つであると考えられた。

(受付 平成6年11月8日)

文 献

- 1) American Dietetic Association. Position of the american dietetic association: nutrition for physical fitness and athletic performance for adults. J. Am. Diet. Assoc., (1987), **87**, 933-939.
- 2) Costill, D. L., Flynn, M. G., Kirwan, J. P., Houmard, J. A., Mitchell, J. B., Thomas, R., and Park, S. H. Effects of repeated days of intensified training on muscle glycogen and swimming performance. Med. Sci. Sports Exerc. (1988), **20**, 249-254.
- 3) Kirwan, J. P., Costill, D. L., Mitchell, J. B., Houmard, J. A., Flynn, M. G., Fink, W. J., and Beltz, J. D. Carbohydrate balance in competitive runners during successive days of intense training. J. Appl. Physiol., (1988), **65**, 2601-2606.
- 4) Piehl, K. Time course for refilling of glycogen stores in human muscle fibres following exercise-induced glycogen depletion. Acta Physiol. Scand., (1973), **90**, 297-302.
- 5) Ivy, J. L., Katz, A. L., Cutler, C. L., Sherman, W. M., and Coyle, E. F. Muscle glycogen synthesis after exercise: effect of time of carbohydrate ingestion. J. Appl. Physiol., (1988), **64**, 1480-1485.
- 6) Zhang, N., Terao, T., and Nakano, S. Effect of time of carbohydrate ingestion on muscle glycogen resynthesis after exhaustive exercise. Tokai J. Exp. Clin. Med., (1994), **19**, (in press)
- 7) Carroll, N. Y., Longley, R. W., Roe, J. H. The determination of glycogen in liver and muscle by use of anthrone reagent. J. Biol. Chem. (1956), **220**, 583-593.
- 8) 中野昭一, 吉岡利忠. 図解生理学, 初版, 消化器系, 医学書院, 東京, (1981), 158-215.
- 9) Coyle, E. F. Gastric empty rates for selected athletic drinks. Res. Quart., (1978), **49**, 119-124.
- 10) 中野昭一. 運動と消化・吸収機能, 臨床栄養, (1984), **65**, 461-467.
- 11) Costill, D. L., and Saltin, B. Factors limiting gastric emptying during rest and exercise. J. Appl. Physiol., (1974), **37**, 679-683.
- 12) 佐藤徳光. 動物実験の基本, 初版, 薬物の投与, 西村書店, 新潟, (1986), 60-63.
- 13) Gisolfi, C. V., Spranger, K. J., Summers, R. W., Schedl, H. P., and Bleiler, T. L. Effects of cycle exercise on intestinal absorption in humans. J. Appl. Physiol., (1991), **71**, 2518-2527.
- 14) Garetto, L. P., Richter, E. A., Goodman, M. N.,

- and Ruderman, N. B. Enhanced muscle glucose metabolism after exercise in the rat: the two phases. *Am. J. Physiol.*, (1984), **246** (Endocrinol. Metab. 9), E 471-E 475.
- 15) Ivy, J. L., Lee, M. C., Brozinick, J. T., Brozinick, Jr. J. T., and Reed, M. J. Muscle glycogen storage after different amounts of carbohydrate ingestion. *J. Appl. Physiol.*, (1988), **65**, 2018-2023.
- 16) Vøllestad, N. K., Blom, P. C. S. & Grønnerød, O. Resynthesis of glycogen in different muscle fibre types after prolonged exhaustive exercise in man. *Acta Physiol. Scand.*, (1989), **137**, 15-21.
- 17) Conlee, R. K., Hickson, R. C., Winder, W. W., Hagberg, J. M., and Holloszy, J. O. Regulation of glycogen resynthesis in muscles of rats following exercise. *Am. J. Physiol.*, (1978), **235**, R 145-R 150.
- 18) Costill, D. L. Carbohydrate for exercise: dietary demands for optimal performance. *Int. J. Sports Med.*, (1988), **9**, 1-18.
- 19) Kochan, R. G., Lamb, D. R., Lutz, S. A., Perrill, C. V., Reimann, E. M., and Schlender, K. K. Glycogen synthase activation in human skeletal muscle: effects of diet and exercise. *Am. J. Physiol.*, (1979), **236**, E 660-E 666.