

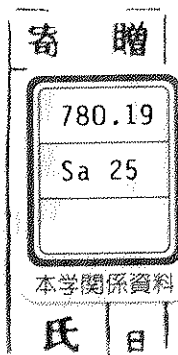
運動後の炭水化物摂取タイミングが翌日の朝食摂取後の
血糖反応に及ぼす影響

課題番号：09680083

平成9年度～平成10年度科学研究費補助金（基盤研究C）研究成果報告書

平成11年4月2日

研究代表者 齊藤 慎一
(筑波大学体育科学系)



09680083

筑波大学図書館

(はしがき)

本報告書は平成9年度～平成10年度の科学研究費補助金（基盤研究C）によって行われた、「運動後の炭水化物摂取タイミングが翌日の朝食摂取後の血糖反応に及ぼす影響」で得られた成果をまとめたものである。研究を行うにあたり協力いただいた多くの被験者の皆さんに、また有益な示唆をいただいた本学体育科学系鈴木正成教授と向井直樹講師に深く感謝いたします。

研究組織

研究代表者： 齊藤慎一（筑波大学体育科学系）

研究経費

平成9年度	900千円
平成10年度	1,000千円
計	1,900千円

研究発表

(2) 口頭発表

齊藤慎一、向井直樹、鈴木正成：夕方トレーニング後の夕食のタイミングが翌朝の筋グリコーゲン含量に及ぼす影響、第53回日本体力医学会大会、横浜、1998年9月18日

(3) 出版物

齊藤慎一：トレーニングと食事のタイミング、競技スポーツにおける栄養管理、トレーニングの科学5、朝倉書店、1999年

研究成果1 (発表予定)

夕方の激運動後の食事摂取タイミングが翌朝空腹時の
筋グリコーゲン含量に及ぼす影響

齊藤慎一¹・向井直樹¹・海老根直之²・劉莉荊²・鈴木正成¹

Effect of time of evening meal ingestion following an intense bout of exercise on muscle
glycogen storage on next day early in the morning

Shinichi SAITOH¹, Naoki MUKAI¹, Naoyuki EBINE²,
Li Jing LIU², and Masashige Suzuki¹

¹筑波大学体育科学系 (〒305-8574 茨城県つくば市天王台1-1-1)

²筑波大学体育研究科 (〒305-8574 茨城県つくば市天王台1-1-1)

¹ Institute of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba (1-1-1 Tennoudai,
Tsukuba 305-8574, JAPAN)

² Master program of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba (1-1-1 Tennoudai,
Tsukuba 305-8574, JAPAN)

原稿毎数 : 10

図表数 : 図2、表3

別刷り請求部数 : 100部

Abstract:

The influence of the time of ingestion of an evening meal following an intense bout of exercise on muscle glycogen storage on the next day early in the morning (12 h postexercise) was examined. Eleven healthy males were subjected to a 10 km run for 50 min pace following resistance exercise (bench press and half squat) at an intensity of 80% of one repetition maximum for 3 sets. An evening meal (73% carbohydrate, 18% fat, 9% protein; percent of energy) was consumed within 1 h postexercise (1P-EX) or from 3 h postexercise (3P-EX). Five subjects participated on two separate occasions and the remaining 6 subjects were divided randomly into either 1P-EX or 3P-EX. Muscle biopsies were taken from the vastus lateralis immediately and 12 h postexercise. Muscle glycogen contents immediately postexercise were not significantly different between the 1P-EX and the 3P-EX (mean \pm SD, 1P-EX vs. 3P-EX: 58.9 ± 11.8 vs. 58.9 ± 27.3 mmol/kg wet wt, n=5; 56.4 ± 15.3 vs. 60.0 ± 25.3 mmol/kg wet wt, n=8). Muscle glycogen contents 12 h postexercise increased significantly in the 1P-EX (81.0 ± 20.0 mmol/kg wet wt, n=5, $p < 0.05$; 84.2 ± 22.6 mmol/kg wet wt, n=8, $p < 0.05$) but not in the 3P-EX (62.5 ± 24.0 mg/g wet wt, n=5; 67.3 ± 20.8 mmol/kg wet wt, n=8). However, there was no difference in muscle glycogen contents 12 h postexercise between the two groups (1P-EX vs. 3P-EX: 81.0 ± 20.0 vs. 62.5 ± 24.0 mg/g wet wt, n=5; 84.2 ± 22.6 vs. 67.3 ± 20.8 mmol/kg wet wt, n=8). There was significant difference in the rate of glycogen repletion between the 1P-EX and the 3P-EX (1P-EX vs. 3P-EX: 2.28 ± 2.0 vs. 0.30 ± 2.87 mmol/kg wet wt/12h, n=5, $p < 0.05$; 2.32 ± 2.48 vs. 0.62 ± 2.30 mmol/kg wet wt/12h, n=8, $p < 0.1$). These results suggest that compared with delaying the ingestion of a meal postexercise, the immediate ingestion of a meal postexercise will lead to more of a good chance of successful recovery of muscle glycogen store at 12 h postexercise.

Key words: postexercise glycogen repletion, meal timing

緒言

筋グリコーゲンの運動成績に及ぼす影響についてはすでに十分知られている^{6,11,32)}。また、激運動後に著しく低下した筋グリコーゲンの回復には、少なくとも24時間かかることが古くから指摘されており^{17,24)}、もし次の試合や練習が1回目の運動後24時間内に予定されている場合には、低下した筋グリコーゲンを次の試合や練習前までの極く短時間内に再補充を行うための栄養処方が重要となる。これについて、1回目の運動後4～8時間内に2回目の運動が予定されている場合と、睡眠を挟んで比較的時間に余裕のある12～24時間後の場合の2つが考えられる³¹⁾。

ところで、激運動で低下した筋グリコーゲンの再補充については、筋への糖輸送を促進するインスリンの分泌動態に関連して、運動終了後の回復初期とそれ以降の回復後期の2つに分けて考えることが提案されている^{18,25,26)}。すなわち、運動直後から30～60分程度つづく非インスリン依存的に筋グリコーゲン再補充が行われる再補充速度の高い時期と、それに続くインスリン依存的に筋グリコーゲン再補充が行われる再補充速度の比較的低い時期とである。これに関して、グリコーゲンの基質となる糖質を、運動終了2時間後にとることに比べて、運動直後にとることが運動後4時間の筋グリコーゲン再補充速度を高めることが明らかにされている¹²⁾。また、運動後直ちにグリコーゲンの基質となる糖質をとることに加えて、インスリン分泌を刺激するタンパク質を同時にとることが、回復期の筋グリコーゲン再補充速度を高めることも明らかにされている³⁵⁾。しかし、運動終了8時間後の筋グリコーゲン含量には、直後か2時間後かの糖質摂取タイミングの違いはないとの報告がある²³⁾。一方、比較的時間に余裕のある12～24時間後の場合の筋グリコーゲン再補充については、これまで運動終了24時間後の筋グリコーゲン再補充が主に検討されてきた^{2,3,4,10,15)}。我々の知る限り、運動終了12時間後の筋グリコーゲン再補充を運動後の糖質摂取タイミングとの関係で検討したものはみられない。

これまでのわが国の一流長距離ランナーの栄養実態調査からみると^{20,29)}、ほとんどのランナーが朝と夕方の2回に分けて練習を行っている。夕方の練習で低下した筋グリコーゲンを翌日の早朝練習前までのおよそ12時間の間にいかに速やかに再補充するかは、長距離ランナーに限らず種々のスポーツ選手の早朝練習効果を左右する意味で重要である。本研究では、夕方のトレーニング後の食事摂取タイミングについて、運動後1時間以内にとる場合と運動3時間後にとる場合とで、翌朝の朝食前空腹時の筋グリコーゲン再補充に差があるか否かに焦点をあてて検討した。

実験方法

1) 被験者

健康な成人男子11名(平均年齢 23 ± 3 歳)を用いた(表1)。これらの被験者は、実験前の約3ヵ月間は定期的な運動トレーニングを中断していたが、その間週に1、2回は健康維持のための運動を行っていた。実験を始める前にこれらの被験者には、実験内容を説明し同意を得た。

2) 実験概要

被験者を運動後1時間以内に夕食をとる(1P-EX)群と運動3時間後から夕食をとる

(3P-EX)群の2群に分け(なお、被験者のうちno.1- no.5の5名は1回目と2回目の実験で食事摂取タイミングの条件を入れ替え、両条件とも実施させ、残りの6名の被験者は3名ずつ(1P-EX: no.6- no.8; 3P-EX: no.9- no.11)に分けそれぞれの条件を1回のみ行わせた)、約2ヵ月の間隔をとって2回(1回は2日間連続)、以下のような手続きで実験を行なった。すなわち、1日目の夕方(16:00-18:00時)に、全被験者に陸上競技場(1周400m)で10kmを50分で走るペース走を負荷し、それに加えてウエイト・トレーニング(ベンチプレス、ハーフスクワット; 最大筋力の約80%、5-10回、3セット)を負荷した。1P-EX群の被験者には運動終了後1時間(18:45-19:00時)以内に、3P-EX群の被験者には運動終了3時間後(21:00時)から、高炭水化物食(73.5%, エネルギー比)として調製した食事(ご飯+レトルトカレー; $1,681 \pm 177$ kcal, 糖質 4.65 ± 0.07 g/kg 体重)を10-15分間で摂取させた。なお、調製食の量は、あらかじめ4日間の食事調査を行い、夕食の平均的な量となるように摂取させた。実験食の食事量を個人個人に応じて決定することは、動物実験とちがい人間のスポーツと栄養の研究では、食事量に対して自己決定ができるので不満がないことなどの利点があるとされている^{28,33)}。夕食後は休養状態を維持させ、約6時間の睡眠をとらせた。2日目の起床(6:00時)後、徒歩あるいは乗用車で実験室に集合させた。実験期間中、水を自由に摂取させたが、それ以外の飲食を禁じた。各被験者には、実験日の前日は激しい運動を行わないこと、また2回の実験に参加した被験者には実験期間中の体重の増減が無いこと、実験の運動日の昼食および夕食は1回目と2回目で同じようにさせた。表1に示した被験者の最大酸素摂取量はトレッドミル漸増負荷法により1回目と2回目の実験の中間点で測定し、また体脂肪率(%)はインピーダンス(BIA)法(タニタ(株), TBF-102)により測定した。

3) 採血と筋サンプル採取の方法

毎回の運動後にシャワーで汗を流した後とその翌日の早朝の2回にわたって、5分間の安静を保持させた後、前腕肘静脈より採血した。得られた血液を血清分離した後-20℃で保存した。

採血後、各被験者の右大腿外側広筋中央部から、Bard社製ディスプレイ自動生検装置バードモノプティ(マックスコア)を用い、針生検法にて筋サンプルを約5mg(3-7mg)採取した⁹⁾。採取に際しては、グルコン酸クロルヘキシジン-アルコール液で消毒の後、1%リドカイン2mlにて皮膚、皮下の局所麻酔を施した。また、運動した翌朝の採取場所は、前日の採取による血腫などの影響を受けないように、運動直後の採取場所から約3cm遠位を穿刺して採取した⁸⁾。サンプルは直ちに液体窒素で凍結し、分析まで-60℃で保存した。

4) 血液と筋グリコーゲンの分析方法

血清グルコース、血清遊離脂肪酸(FFA)、血清3-ヒドロキシ酪酸(3-OHBA)の濃度は以前に報告した方法で測定した³⁰⁾。血清インスリンを2抗体法のラジオイムノアッセイ(シオノリアインスリン、塩野義製薬、大阪)で測定した。

筋グリコーゲン含量は、Loらの方法で測定した¹⁶⁾。

5) 統計処理

データは、2回の実験に参加した5名の被験者と各実験1回のみ参加した6名を加えた場

合とにわけ分析し、平均値と標準偏差で表わした。平均値の差の検定は、運動後と翌朝の比較には、対応のある場合のStudentのt-テストを用い、群間の比較には対応のない場合のStudentのt-テストを用いた。いずれの場合も有意水準を $P<0.05$ とした。

結果

図1には、2回の実験に参加した5名の筋グリコーゲン含量の変化を示した。平均値で見ると、運動直後の筋グリコーゲン含量は、両群間に差はなかった(1P-EX vs. 3P-EX: 58.9 ± 11.8 vs. 58.9 ± 27.3 mmol/kg wet wt, $n=5$)。運動12時間後の翌朝の筋グリコーゲン含量は、運動直後の値に比べて、1P-EXで有意に上昇したが(81.0 ± 20.0 mmol/kg wet wt, $n=5$, $p<0.05$)、3P-EXではそのような傾向はみられなかった(62.5 ± 24.0 mg/g wet wt, $n=5$)。したがって、運動直後と翌朝の筋グリコーゲン含量から求めた運動後12時間の筋グリコーゲン再補充速度にも両群間に差が認められた(1P-EX vs. 3P-EX: 2.28 ± 2.00 vs. 0.30 ± 2.87 mmol/kg wet wt/12h, $n=5$, $p<0.05$)。しかし、翌朝の筋グリコーゲン含量は両群間に有意な差はなかった(1P-EX vs. 3P-EX: 81.0 ± 20.0 vs. 62.5 ± 24.0 mg/g wet wt, $n=5$)。このような傾向は、それぞれ1回の実験しか参加しなかった被験者のデータを加えてもほぼ同じであった。すなわち、運動直後の筋グリコーゲン含量には両群間に差はなく(1P-EX vs. 3P-EX: 56.4 ± 15.3 vs. 60.0 ± 25.3 mmol/kg wet wt, $n=8$)、運動12時間後の翌朝の筋グリコーゲン含量は、運動直後の値に比べて、1P-EXで有意に上昇したが(84.2 ± 22.6 mmol/kg wet wt, $n=8$, $p<0.05$)、3P-EXではそのような傾向はなかった(67.3 ± 20.8 mg/g wet wt, $n=8$)。一方、運動直後と翌朝の筋グリコーゲン含量から求めた運動後12時間の筋グリコーゲン再補充速度は両群間に差が認められたが、有意な差ではなかった(1P-EX vs. 3P-EX: 2.32 ± 2.48 vs. 0.62 ± 2.30 mmol/kg wet wt/12 h, $n=8$) ($p<0.1$)。また、翌朝の筋グリコーゲン含量は両群間に有意な差はなかった。なお、運動直後に比べて翌朝の筋グリコーゲン含量が高くなった被験者は、1P-EXでは8名のうち7名であったが、3P-EXでは8名のうち4名にすぎなかった。

表2には、血液データを示した。血清グルコース濃度は、運動直後と翌朝のいずれも両群間に差はなかった。血清FFA濃度と血清3-OHBA濃度のいずれも、運動直後には両群間に差が認められなかったが、翌朝のそれらの値は、3P-EXに比べて、1P-EXで有意に高かった。血清インスリン濃度は、運動直後と翌朝のいずれにも両群間に差はなかった。これらの傾向は、2回の実験に参加した被験者のみで計算しても変わらなかった。

考察

本研究の結果、翌朝の筋グリコーゲン再補充速度に夕方の運動後の夕食摂取タイミングが1時間以内と3時間後で差があることがわかった。Ivyら¹²⁾は、グリコーゲンの基質となる糖質を、運動終了2時間後にとることに比べて、運動直後にとると運動後4時間の筋グリコーゲン再補充速度が高まることを明らかにしている。最近Parkinら²³⁾は、運動直後か運動2時間後かの食事タイミングの差はあったとしても、その後2時間毎に食事を追加すると運動8時間後の筋グリコーゲン含量には差はないと報告している。この結果から、Ivyら¹²⁾の認めた運動後4時間の筋グリコーゲン再補充速度の差は、それ以後食

事を追加することで無くなることが考えられる。一方、本研究では夕食後から翌朝まで絶食を続けたので、運動後の夕食摂取タイミングの違いは、運動終了後数時間以内だけでなく翌朝まで影響することが考えられる。

一方、翌朝の筋グリコーゲン含量の値には食事摂取タイミングの違いによって差が認められたが、有意な差ではなかった。激運動で低下した筋グリコーゲンの再補充については、摂取タイミングに加えて、どのような糖質源をどれくらい与えるか^{1,13,33)}も重要である。これに関連して、運動直後から30~60分間の非インスリン依存的に筋への糖輸送が促進しグリコーゲン再補充速度の高い時期と、それに続くインスリン依存的に筋への糖輸送が行われグリコーゲン再補充速度の比較的低い時期のあることが知られている^{18,25,26)}。実際Zawadzkiら³⁶⁾は、運動直後に糖質とインスリン分泌を刺激するタンパク質を同時にとると、糖質だけをとるのに比べて、インスリン分泌がより高まり、運動4時間後の筋グリコーゲン含量が高まることを明らかにした。これに対して、最近Tarnopolskyら³³⁾は、摂取エネルギーを同じにすれば糖質単独でも糖とタンパク質と脂肪の食べあわせでもインスリン分泌を同程度に刺激するので、グリコーゲン再補充速度に差はないとしている。これらのことから、運動後直ちに血糖上昇反応が大きく、インスリン分泌を刺激し易いHigh Glycemic Index³³⁾ (HGI)の糖質を摂取することは、筋への糖輸送の促進を通じて、回復期の筋グリコーゲン再補充速度を高めると考えられる¹⁰⁾。先に示したIvyら¹²⁾の結果もHGIのグルコースポリマー(体重1kgあたり2g)を用いたことによるかもしれない。本研究ではご飯を糖質源としたが、これまでの研究で用いられているグルコースポリマーやコーンフレークスのGI値120~140に比べて、ご飯のGI値は60~80にしかすぎない³⁴⁾。一方、翌朝までの12時間の回復に対して、 $4.6 \pm 0.1 \text{g/kg}$ 体重(4.55-4.87g/kg bw, n=11)の糖質を与えたが、これまでの多くの研究が用いている24時間内に7-10g/kg体重の糖質を与えるのに比較すると不十分な量であるとは考えられない^{2,3,10,15,31)}。また、血糖とインスリン濃度の結果には食事摂取タイミングの影響による差はなかった(表2)。これらのことを考えあわせると、本研究で、翌朝の筋グリコーゲン含量に食事摂取タイミングの影響が無かった理由には、GIの値が小さいご飯を糖質源としたことが一部関係していると考えられる。

ところで、本研究では運動前の筋グリコーゲン含量を測定してはいないので、運動によって筋グリコーゲンが低下したかどうかはわからない。しかし、夕方の運動直後の筋グリコーゲン含量と翌朝までの12時間の筋グリコーゲン再補充の関係には有意な負の相関が認められた($r=-0.643$, $n=8$, $p<0.05$)ことから、筋グリコーゲン再補充速度が大きければ運動直後の筋グリコーゲン含量が少ないという関係が先行研究と同様に存在すると考えられる。運動により筋グリコーゲン含量が低下すればするほど、その後の回復期の筋グリコーゲン再補充が加速することは古くより知られた事実であり^{14,35)}、その理由として筋の糖輸送体GLUT4の細胞膜への移動⁵⁾とそのタンパク合成の促進²⁷⁾、またグリコーゲン合成酵素活性の上昇¹⁴⁾などが明らかにされている。最近McCoyら¹⁹⁾は、運動後の筋グリコーゲン再補充が運動直後の筋グリコーゲン含量に反比例するとともに、糖輸送体GLUT4のタンパク量が直接に関係していることをヒトで明らかにしており、またPriceら^{25,26)}は、運動直後の筋グリコーゲン含量がおよそ40 mmol/kg 湿重量以下である

と運動直後の非インスリン依存的筋グリコーゲン再補充速度が非常に高く、それ以上であると逆に極端に低いことを明かにしている。本研究では、運動負荷として最大酸素摂取量の約75% ($74 \pm 6\% \text{VO}_2\text{max}$)、50分間のペース走に加え、レジスタンス運動も負荷したが、上述の値に比較して、運動直後の筋グリコーゲン含量がおよそ55-60 mmol/kg 湿重量であり筋グリコーゲン含量が十分に低下したとは思われない。これまでの研究から、外側広筋の筋グリコーゲンは、自転車エルゴメーターやローラー上の競技自転車シュミレーションによる運動負荷により容易に低下するのに比べて、レジスタンス運動やランニングでは比較的低下しないようである^{7,21,22,28})。今後、夕食摂取タイミングを検討する場合には、運動後の筋グリコーゲン含量が十分低下するように、運動様式と運動時間をも考慮することが重要であると思われた。

ところで血液のデータでは、翌朝の遊離脂肪酸とケトン体の濃度に食事摂取タイミングの違いが有意に認められた。動物をもちいた研究から、肝臓グリコーゲン濃度と血中遊離脂肪酸およびケトン体濃度の間に負の関係があることは良く知られた事実である³⁰⁾。したがって、食事摂取タイミングの違いは翌朝の肝臓のグリコーゲン濃度に影響する可能性が考えられたが、本研究からはわからない。おそらく、夕方の食事からの絶食時間の長さの違いが、脂肪(酸)代謝に影響したものである¹⁰⁾。

要約

本研究では、夕方の激運動後の食事摂取タイミングについて、運動後1時間以内にとる場合と運動3時間後にとる場合とで、翌朝(朝食前・空腹時)の筋グリコーゲン再補充に差があるか否かに焦点をあてて検討した。

1. 健常な男子学生11名をランダムに2群に分け、夕方(16:00-18:00時)に10kmを50分で走るペース走を負荷し、それに加えてウェイト・トレーニング(ベンチプレス、ハーフスクワット; 最大筋力の約80%、5-10回、3セット)を負荷した。1群の被験者には運動終了1時間以内(18:45-19:00時)(1P-EX)に、もう1群の被験者には運動終了3時間後(21:00時)(3P-EX)に、調製食(ご飯+レトルトカレー; 糖質 $4.65 \pm 0.07 \text{ g/kg}$ 体重)を10-15分間で摂取させた。毎回の運動直後とその翌日の早朝の2回にわたって、各被験者の右大腿外側広筋より局所麻酔下にディスポーザブル自動生検装置を用いて筋サンプルを採取した。なお、被験者のうち5名は両条件とも、また残りの6名の被験者は3名ずつに分けそれぞれの条件を1回だけ行わせた。

2. 運動直後の筋グリコーゲン含量は、両群間に差はなかった(1P-EX vs. 3P-EX: 58.9 ± 11.8 vs. $58.9 \pm 27.3 \text{ mmol/kg wet wt}$, $n=5$; 56.4 ± 15.3 vs. $60.0 \pm 25.3 \text{ mmol/kg wet wt}$, $n=8$)。運動12時間後の翌朝の筋グリコーゲン含量は、運動後1時間以内に食事をとった場合に有意に上昇した(1P-EX: $81.0 \pm 20.0 \text{ mmol/kg wet wt}$, $n=5$, $p<0.05$; $84.2 \pm 22.6 \text{ mg/g wet wt}$, $n=8$, $p<0.05$)が、運動3時間後にとった場合はそのような傾向はみられなかった(3P-EX: $62.5 \pm 24.0 \text{ mg/g wet wt}$, $n=5$; $67.3 \pm 20.8 \text{ mg/g wet wt}$, $n=8$)。運動直後と翌朝の筋グリコーゲン含量から求めた運動後12時間の筋グリコーゲン再補充速度は両群間に差が認められた(1P-EX vs. 3P-EX: 2.28 ± 2.0 vs. $0.30 \pm 2.87 \text{ mmol/kg wet wt/12h}$, $n=5$, $p<0.05$; 2.32 ± 2.48 vs. $0.62 \pm 2.30 \text{ mmol/kg wet wt/12 h}$, $n=8$) ($p<0.1$)。

謝辞

本研究の一部は文部省科学研究費基盤研究（C）課題番号80114081によった。

引用文献

- 1) Van Den Bergh AJ, Houtman S, Heerschap A, Rehrer NJ, Boogert HJ van den, Oeseburg B, and Hopman MTE (1996) Muscle glycogen recovery after exercise during glucose and fructose intake monitored by ^{13}C -NMR. *J Appl Physiol* 81: 1495-1500
- 2) Burke LM, Collier GR, and Hargreaves M (1993) Muscle glycogen storage after prolonged exercise: effect of the glycemic index of carbohydrate feedings. *J Appl Physiol* 75: 1019-1023
- 3) Burke LM, Collier GR, Beasley SK, Davis PG, Fricker PA, Heeley P, Walder K, and Hargreaves M (1995) Effect of coingestion of fat and protein with carbohydrate feedings on muscle glycogen storage. *J Appl Physiol* 78: 2187-2192
- 4) Burke LM, Collier GR, Davis PG, Fricker PA, Sanigorski AJ, and Hargreaves M (1996) Muscle glycogen storage after prolonged exercise: effect of the frequency of carbohydrate feedings. *Am J Clin Nutr* 64: 115-119
- 5) Coderre L, Kandrór KV, Vallega G, and Pilch PF (1995) Identification and characterization of an exercise-sensitive pool of glucose transporters in skeletal muscle. *J Biol Chem* 270: 27584-27588
- 6) Costill DL, Bowers R, Branam G, Sparks K (1971) Muscle glycogen utilization during prolonged exercise on successive days. *J Appl Physiol* 31: 834-838
- 7) Costill DL, Sherman WM, Fink WJ, Maresh C, Witten M, and Miller JM (1981) The role of dietary carbohydrates in muscle glycogen resynthesis after strenuous running. *Am J Clin Nutr* 34: 1831-1836
- 8) Costill DL, Pearson DR, Fink WJ (1988) Impaired muscle glycogen storage after muscle biopsy. *J Appl Physiol* 64: 224-2248
- 9) Cote AM, Jimenez L, Adelman LS, Munsat TL (1992) Needle muscle biopsy with the automatic biopsy instrument. *Neurology* 42: 2212-2213
- 10) Hawley JA and Burke LM (1997) Effect of meal frequency and timing on physical performance. *Br J Nutr* 77: S91-S103
- 11) 堀田昇、堀田朋基、石河利寛 (1984) 炭水化物ローディングが健康な日本人青年男子の筋グリコーゲン量および自転車エルゴメーターによる持続的能力に及ぼす影響、*体力科学*33 : 184-191
- 12) Ivy JL, Katz AL, Cutler CL, Sherman WM, and Coyle EF (1988) Muscle glycogen synthesis after exercise: effect of time of carbohydrate ingestion. *J Appl Physiol* 64: 1480-1485
- 13) Ivy JL, Lee MC, Bronzinick JT Jr, and Reed MJ (1988) Muscle glycogen storage after different amounts of carbohydrate ingestion. *J Appl Physiol* 65: 2018-2023
- 14) Ivy JL and Kuo CH (1998) Regulation of GLUT4 protein and glycogen synthase during muscle glycogen synthesis after exercise. *Acta Physiol Scand* 162: 295-304
- 15) Jozsi AC, Trappe TA, Starling RD, Goodpaster B, Trappe SW, Fink WJ, Costill DL (1996) The influence of starch structure on glycogen resynthesis and subsequent cycling performance. *Int J Sports Med* 17: 373-378
- 16) Lo S, Russel JC, and Taylor AW (1970) Determination of glycogen in small tissue sample.

J Appl Physiol 28: 234-236

17) MacDougall JD, Ward GR, Sale DG, and Sutton JR (1977) Muscle glycogen repletion after high-intensity intermittent exercise. J Appl Physiol 42: 129-132

18) Mahlum S, Hostmark AT, and Hermansen L (1978) Synthesis of muscle glycogen during recovery after prolonged severe exercise in diabetic subjects. Effect of insulin deprivation. Scand J Clin Invest 38: 35-39

19) McCoy M, Proietto J, and Hargreaves M (1996) Skeletal muscle GLUT-4 and postexercise muscle glycogen storage in humans. J Appl Physiol 80: 411-415

20) 水沼俊美、菊石五月、坂井堅太郎、山本茂、山上文子、木路修平、河野匡、川野因、高橋保子 (1997) 一流中・長距離走選手の栄養指導、体力科学46 : 383-388

21) Pascoe DD, Costill DL, Robergs RA, Davis JA, Fink WJ, Pearson DR (1990) Effects of exercise mode on muscle glycogen restorage during repeated days of exercise. Med Sci Sports Exerc 22: 593-598

22) Pascoe DD, Costill DL, Fink WJ, Robergs RA, and Zachwieja JJ (1993) Glycogen resynthesis in skeletal muscle following resistive exercise. Med Sci Sports Exerc 25: 349-354

23) Parkin JA, Carey MF, Martin IK, Stojanovska L, and Febbraio MA (1997) Muscle glycogen storage following prolonged exercise: effect of timing of ingestion of high glycemic index food. Med Sci Sports Exerc 29: 220-224

24) Piehl K (1974) Time course for refilling on glycogen stores in human muscle fibres following exercise-induced glycogen depletion. Acta Physiol Scand 90: 297-302

25) Price TB, Rothman DL, Taylor R, Avison MJ, Shulman GI, Shulman RG (1994) Human muscle glycogen resynthesis after exercise: insulin-dependent and -independent phases. J Appl Physiol 76: 104-111

26) Price TB, Perseghin G, Duleba A, Chen W, Chase J, Rothman DL, Shulman RG, and Shulman GI (1996) NMR studies of muscle glycogen synthesis in insulin-resistant offspring of parents with non-insulin-dependent diabetes mellitus immediately after glycogen-depleting exercise. Proc Natl Acad Sci USA 93: 5329-5334

27) Ren JM, Semenkovich CF, Gulve EA, Gao J, and Holloszy JO (1994) Exercise induces rapid increases in GLUT4 expression, glucose transport capacity, and insulin-stimulated glycogen storage in muscle. J Biol Chem 269: 14396-14401

28) Roy BD and Tarnopolsky MA (1998) Influence of differing macronutrient intakes on muscle glycogen resynthesis after resistance exercise. J Appl Physiol 84: 890-896

29) 齊藤慎一、河合美香 (1996) トレーニング(練習)時間と食事のタイミング、臨床スポーツ医学13 : 199-203

30) Saitoh S, Chang H, Morinaga A, Lee SJ, Tagami K, and Suzuki M (1997) Effects of short-term dietary change from a high fat diet to a high carbohydrate diet and with or without energy restriction on muscle and liver glycogen stores in untrained rats. Adv Exerc Sports Physiol 3: 75-81

- 31) Sherman WM and Wimer GS (1991) Insufficient dietary carbohydrate during training: does it impair athletic performance? *Int J Sport Nutr* 1: 28-44
- 32) Simonsen JC, Sherman WM, Lamb DR, Dernbach AR, Doyle JA, and Strauss R (1991) Dietary carbohydrate, muscle glycogen, and power output during rowing training. *J Appl Physiol* 70: 1500-1505
- 33) Tarnopolsky MA, Bosman M, MacDonald JR, Vandeputte D, Martin J, and Roy BD (1997) Postexercise protein-carbohydrate and carbohydrate supplements increase muscle glycogen in men and women. *J Appl Physiol* 83: 1877-1803
- 34) Wolever TMS (1990) The glycemic index. In *Aspects of some vitamins, minerals and enzymes in health and disease*, *World Rev Nutr Diet.*, pp.120-185 [Bourne GH, editor]. Basel, Karger.
- 35) Zachwieja JJ, Costill DL, Pascoe DD, Robergs RA, and Fink WJ (1991) Influence of muscle glycogen depletion on the rate of resynthesis. *Med Sci Sports Exerc* 23: 44-48
- 36) Zawadzki KM, Yaspelkis BB 3rd, and IVY JL (1992) Carbohydrate-protein complex increases the rate of muscle glycogen storage after exercise. *J Appl Physiol* 72: 1854-1859

Table 1 : Physical characteristics of subjects.

Subject	Age(yrs)	Height (cm)	Weight (kg)	VO2 max (ml/kg/min)	Body fat (%)
1	21	176	79	45.6	20.4
2	21	169	69	54.3	20.7
3	24	171	65	53.5	15.5
4	21	172	65	48.6	16.7
5	22	173	70	49.6	19.7
6	21	172	63	56.9	17.5
7	21	166	61	54.5	17.7
8	23	177	63	58.6	15.1
9	24	164	58	55.4	12.3
10	21	179	76	54.9	19.4
T.Ku.	31	163	62	55.5	15.8
Mean	23	171	66	53.4	17.3
SD	3	5	6	3.9	2.6

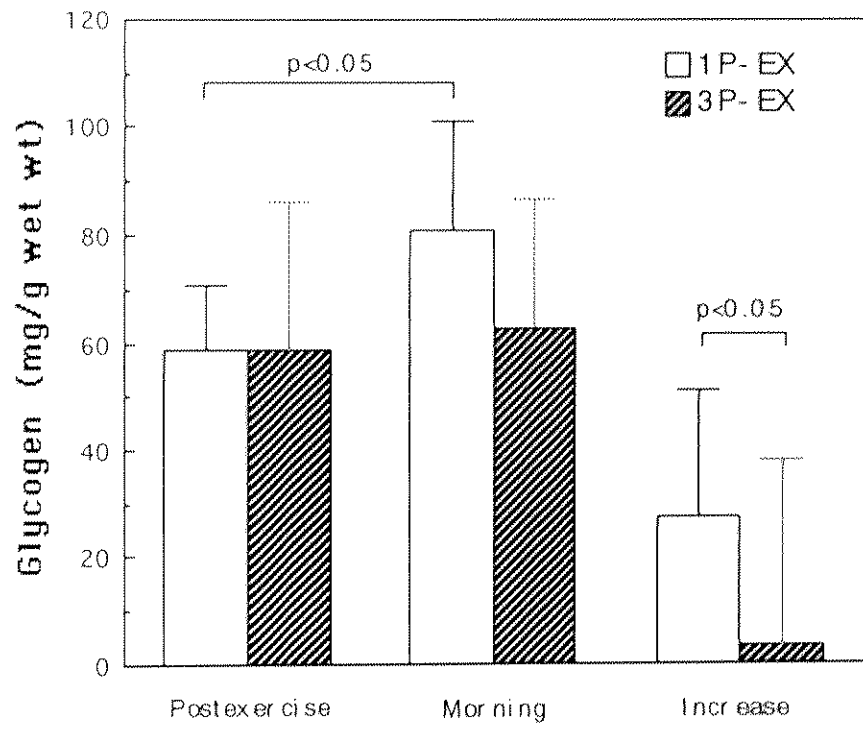
Table 2: Serum concentrations of glucose, free fatty acid (FFA), 3-Hydroxybutyric acid (3-OHBA), and insulin.

	1P-EX*		3P-EX	
	Postexercise*	Morning	Postexercise	Morning
Glucose (mg/100ml)	94.0±9.4	89.1±13.8	96.0±9.7	88.5±6.6
FFA (mmol/l)	0.89±0.48	0.40±0.21 ^a	0.74±0.61	0.15±0.12 ^a
3-OHBA (mmol/l)	0.185±0.158	0.065±0.041 ^a	0.144±0.151	0.014±0.0011 ^a
Insulin (μ U/ml)	6.7±2.1	7.6±3.0	12.5±15.7	9.1±3.9

*Details see text. Mean \pm SD (n=8). ^aSignificant difference between 1P-EX and 3P-EX (p<0.05).

図の説明

Fig. 1: Muscle glycogen contents postexercise (Postexercise), 12 h after exercise (Morning), and the difference between Postexercise and Morning (Increase). An evening meal was consumed within 1 h postexercise (1P-EX) or from 3 h postexercise (3P-EX). Data: mean \pm SD (n=5). Details see text.



研究成果II（発表準備中）

夕方激運動後の食事前に高糖質の間食を摂取することが翌朝の
朝食摂取後の血糖反応に及ぼす影響

齊藤慎一¹⁾、郭 世尅²⁾、鈴木正成¹⁾

Effects of the timing of ingestion of high glycemic index food after intense
exercise on blood glucose response at next morning

Shinichi Saitoh¹⁾、Seikoku Kaku²⁾、Masashige Suzuki¹⁾

1) 筑波大学体育科学系

2) 筑波大学体育専門学群

目的

先に健康な体育系男子学生を対象に、持久走（10キロメートル／50分）とウエイト・トレーニング（ベンチプレス、スクワット）を負荷した直後1時間以内か3時間後かの夕食の摂取タイミングが、翌朝の空腹時の筋グリコーゲン含量に及ぼす影響を検討した。その結果、トレーニングをした直後1時間以内に夕食を摂取した場合には、夕方の運動後に低下した筋グリコーゲンが有意に回復したのに比べ、3時間後に夕食をとった場合は、その様な回復は認められなかった。その場合、翌朝の血漿グルコース濃度および血漿FFA濃度を比較すると、トレーニングをした直後1時間以内に夕食を摂取した場合に血漿グルコース濃度が低く、血漿FFA濃度が高かったが3時間後に夕食をとった場合は、これとは逆になった。この結果から、持久性運動+ウエイト・トレーニングのようなハードな運動をした3時間後に夕食をとる場合、翌朝までに体組織のグリコーゲン貯蔵は十分に回復していないと推察される。

夕食で摂取された炭水化物は、消化・吸収されてグルコースとなった後、門脈、肝臓に供給されるが、運動後は脂肪組織の脂肪分解が活発化しているので遊離脂肪酸の濃度が高く、運動後絶食が続くようであれば筋のグルコース取り込みがそれによって阻害される恐れがあり、このため3時間後に夕食をとった場合は、翌朝の朝食前の血漿グルコース濃度が高かったと考えられた。もしこれが正しいとすれば、翌朝の血漿グルコース濃度を測定することにより、あるいはまたこれを拡大することができれば、筋グリコーゲンを直接測らなくても間接的に筋グリコーゲンの回復程度を推察できることが考えられる。

そこで、今回はトレーニング終了2時間後に夕食をとる条件下で、トレーニング直後に高糖質食であるコーンフロストの間食を摂取させることによって、これをとらなかった場合と比べて、翌朝の朝食摂取後の血糖反応が高くなるか否かについて実験を行った。

方法

1) 被験者

健康なT大学の体育系男子学生7名を用いた（表1）。実験を始める前にこれらの被験者には、実験内容をあらかじめ説明し同意を得た。

2) 実験方法（図1）

被験者をランダムに2群に分け、約1カ月の間隔をとって2回（1回は2日間）以下のような手続きで実験を行なった。すなわち、毎回の第1日目の夕方（17:00-18:40時）に、全被験者に10kmを50分で走るペース走を負荷し、それに加えてウエイト・トレーニング（ベンチプレス、ハーフスクワット；最大筋力の約80%、5-10回、2-3セット）を負荷した。これらの運動終了直後、半数のグループの被験者にはコーンフロスト（日本ケロッグ株式会社）150グラム（炭水化物として135グラム）を牛乳500mlと同時に摂取させた（表2）。残りの半数のグループの被験者には牛乳のみを与えた。その後、シャワーなどで汗を流し休養させ、運動終了2時間後（20:40）に調製食を摂取させた（表3）。1回目と2回目の実験では、グループの間食の条件を入れ替えた。夕食後は、休養状態を維持させ、6時間-6時間30分の睡眠をとらせた。毎回の第2

日目の起床（6:00時）後、徒歩あるいは乗用車で実験室に集合させ、調製した朝食を摂取させた（表4）。採血を朝食直前、朝食後15、30、60および90分の都合5回行なった。実験期間中、水を自由に摂取させたが、それ以外の飲食を禁じた。

3) 採血と血漿グルコース・遊離脂肪酸（FFA）の分析

真空採血管（フッ化ナトリウム+ヘパリンナトリウム+EDTA-2ナトリウム）（テルモ社、東京）を用いて、前腕肘静脈から血液を5ml採取した。遠心分離して得られた血漿を、分析まで-30℃で凍結保存した。

血漿グルコース濃度をグルコースオキシダーゼ法（グルコースBテストワコー、和光純薬、大阪）、血漿FFA濃度をACS・ACOD法（NEFA Cテストワコー、和光純薬、大阪）で測定した。

血漿インスリンを2抗体法のラジオイムノアッセイ（シオノリアインスリン、塩野義製薬、大阪）で測定した。

4) 統計処理

データを平均値と標準誤差で表わした。各処理毎の平均値の差の検定は、一元配置の分散分析を行った後、分散が有意の場合にはFisherのPLSDにより多重比較をおこなった。コーンフロストを摂取した場合と摂取しない場合の平均値の差の検定には、対のある場合のt-テストを用いた。いずれの場合も $P<0.05$ を有意とした。

結果と考察

トレーニング直後に間食としてコーンフロストを摂取した場合、朝食摂取後15-30分にかけて血漿グルコース濃度は上昇し、その後60分にかけて低下した（図2）。朝食摂取前に比べて、30分後の値は有意に高かった。一方、トレーニング直後に間食をとらない場合もほぼ同様な変化であり、いずれの時点でも間食をとった場合との間に差は認められなかった。

トレーニング直後にコーンフロストを摂取した場合、朝食摂取後15-30分にかけて血漿FFA濃度は低下し、60分以後はほぼ一定になった（図3）。朝食摂取前に比べて、60分後の値は有意に低かった。一方、間食をとらない場合もほぼ同様な変化であり、むしろ低下はやや顕著であったが、いずれの時点でも間食をとった場合との間に差は認められなかった。

トレーニング直後にコーンフロストを摂取した場合、朝食摂取後15-30分にかけて血漿インスリン濃度は上昇し、60分にかけて低下したが、朝食摂取前に比べていずれの時点でも有意に高かった（図4）。一方、間食をとらない場合も同様な変化が認められたが、いずれの時点でも間食をとった場合との間に差は認められなかった。

以上の結果から、持久運動+ウエイト・トレーニングのようなハードな運動をした直後に間食としてコーンフロストを摂取しその後に夕食のをとる場合と、間食なしで夕食のをとる場合との間に、翌朝の朝食摂取後の血糖反応に差は認められなかった。

先の実験では夕食後にコーンフロストをとると、翌朝の朝食摂取後の血糖反応が高まった。この相違の理由として、夕食の炭水化物摂取量の違いがあるかもしれない。これについて平均値でみると、本実験では絶対値で255グラム、体重キログラム当りで3.

5グラムであった。これは先の実験の318グラムと4.4グラムに比較するとやや少ないが、前々回の野田(参考図C)の180グラムと3.1グラムに比べると多い。これらの結果を参考にすると、朝食摂取後の血糖反応が起こるには、夕食で体重キログラム当たり3グラムの炭水化物を摂取する必要があることがわかる。したがって、本実験の夕食の炭水化物摂取量は朝食摂取後の血糖反応を正常にするには十分であると思われる。

これに関連して、トレーニング直後にコーンフレークをとることと、夕食後にとることのタイミングの違いが関係しているのではないかと思われる。コーンフロストのようなグライセミック・インデックス(GI)の高い(121)食品を運動直後に摂取するとグリコーゲン再補充に有利であることは良く知られている。一方、グリコーゲン合成はグリコーゲン量が低下していると活発化するというネガティブ・フィードバック調節を受けている。したがって、コーンフロスト間食によって運動後の回復初期に体組織グリコーゲン貯蔵が急激に高まると、この調節により、その後の夕食の炭水化物によるグリコーゲン再補充がかえって抑制されることが考えられる。もし、このことがおこれば、運動直後にコーンフロストをとることの有利さは、総合的に見れば体組織グリコーゲン再補充を加速するものではなくなる。

結論として、持久運動+ウエイト・トレーニングのようなハードな運動をした直後に間食としてコーンフロストを摂取しその後に夕食をとる場合と、間食なしで夕食をとる場合との間に、翌朝の朝食摂取後の血糖反応に差は認められなかった。

参考文献

1) 郭 世剋(1999) 夕方のトレーニング後の食事前にコーンフロスト間食を摂取することが翌朝の朝食の血糖反応に及ぼす影響。平成10年度筑波大学体育専門学群卒業論文。

2) Hawley JA and Burke LM(1997) Effect of meal frequency and timing on physical performance. Br J Nutr 77(suppl): S91-S103.

Table 1. Characteristics of subjects.

Subject	Age (yrs)	Height (cm)	Body Weight (kg)	VO2 max (ml/kg/min)
1	20	169	64.9	54.5
2	21	166	62	54.6
3	21	176	85	45.6
4	20	179	69.6	48.1
5	21	175	97.2	34.7
6	21	172	64.9	45.4
7	20	172	63.7	46.9
Mean	20.6	172.7	72.5	47.1
SD	0.5	4.4	13.4	6.7

エネルギー摂取量

Tab. 2

—夕食—

Subjects	Energy	Carbohydrate	Protein	Fat
	Kcal	g(%)	g(%)	g(%)
M. E.	2641.6	275.77(55)	109.14(22)	111.63(23)
S. K.	1253.8	121.17(52)	56.02(24)	56.43(24)
H. K.	2657.5	279.67(56)	109.50(22)	111.63(22)
T. K.	2244	261.87(60)	87.78(20)	85.03(20)
M. T.	2979	349.57(60)	115.30(20)	112.63(20)
T. Y.	2007.2	232.77(58)	85.42(21)	84.53(21)
S. Y.	2268.5	267.67(61)	88.10(20)	85.03(19)
Mean±SD	2293.0±1040.0	255.5±134.33	93.0±37.0	92.4±36.0

Tab. 3

—コーンフロスト—

Snack	Energy	Carbohydrate	Protein	Fat
	Kcal	g(%)	g(%)	g(%)
コーンフロスト	564.6	135.0(94.6)	7.2(5)	0.6(0.4)
牛乳	295.0	22.5(42)	14.5(27.0)	16.6(31.0)

Tab. 4

—朝食—

Subjects	Energy	Carbohydrate	Protein	Fat
	Kcal	g(%)	g(%)	g(%)
M. E.	537.2	43.7(46)	21.7(23)	30.6(31)
S. K.	562.3	46.4(49)	19.2(20)	29.8(31)
H. K.	1164.0	90.9(45)	45.8(22)	67.0(33)
T. K.	920.4	75.6(41)	35.7(20)	67.7(39)
M. T.	1069.5	88.1(46)	43.6(23)	59.7(31)
T. Y.	1067.4	87.1(46)	43.0(23)	59.7(31)
S. Y.	671.1	53.1(45)	28.7(24)	37.1(31)
Mean±SD	856.0±318.8	69.2±25.6	34.0±14.8	50.2±19.6

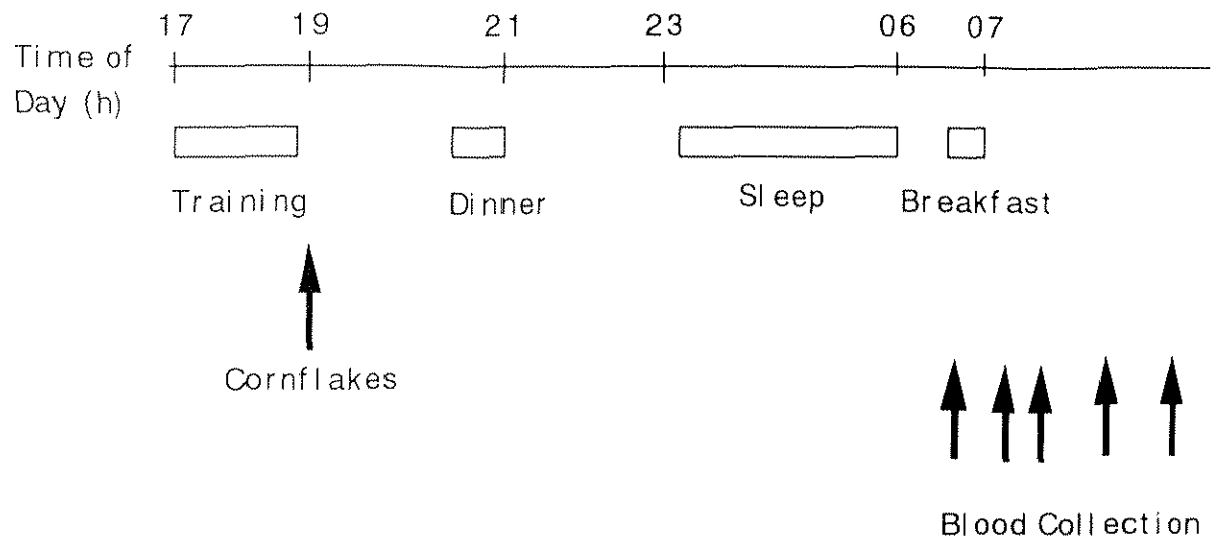


Fig.1. Experimental design

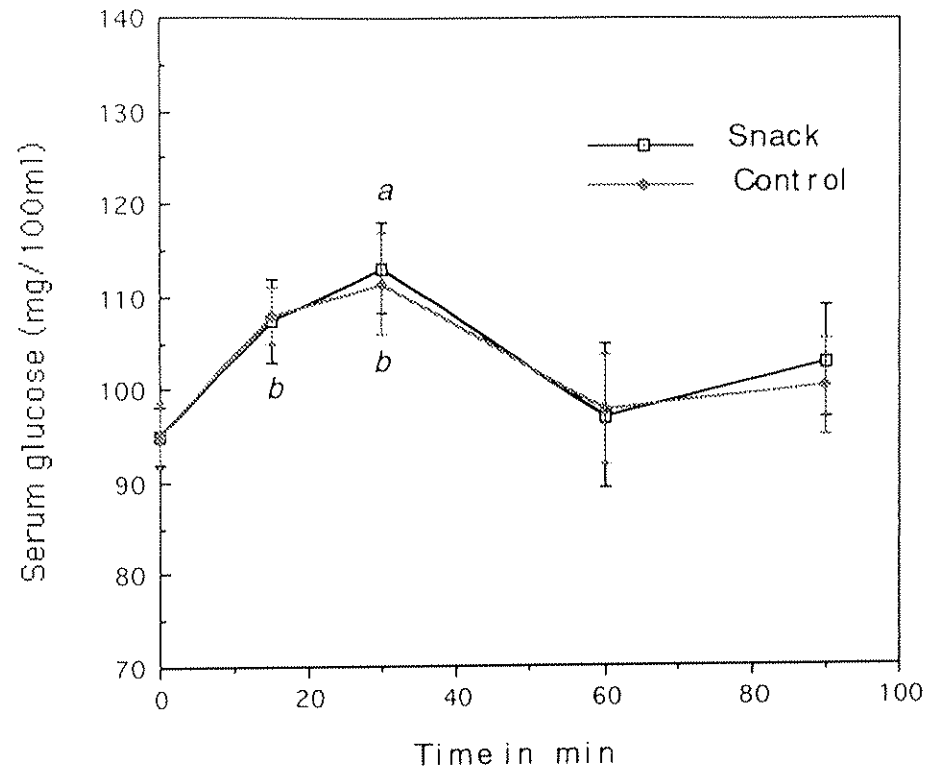


Fig. 2. Changes of serum glucose concentrations after breakfast. Data are presented as means and SEM for 7 subjects. *a,b* Significant difference from pre-meal (*a*,snack;*b*,control) ($p < 0.05$).

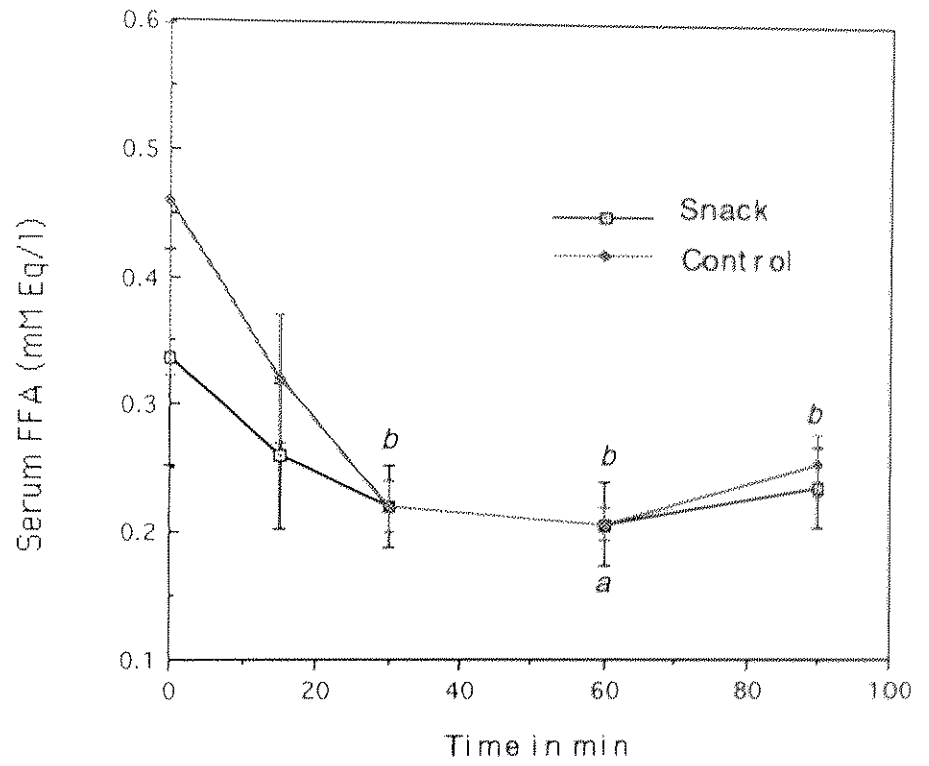


Fig. 3. Changes of serum free fatty acids (FFA) concentrations after breakfast. Data are presented as means and SEM for 7 subjects. *a, b* Significant difference from pre-meal (*a*, snack; *b*, control) ($p < 0.05$).

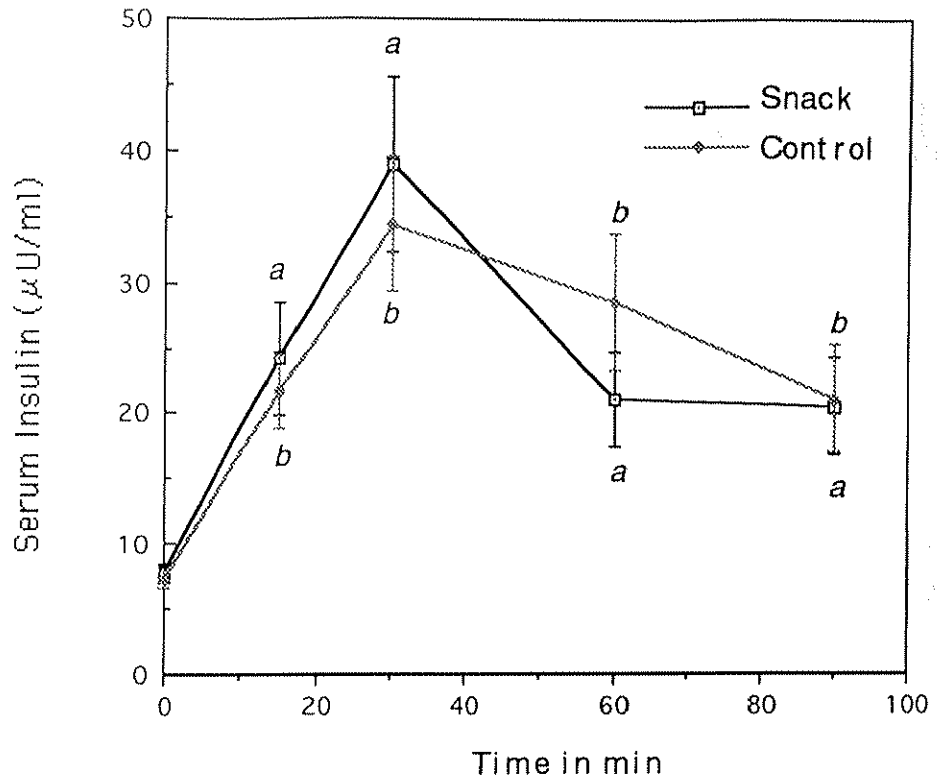


Fig. 4. Changes of serum insulin concentrations after breakfast. Data are presented as means and SEM for 7 subjects. *a, b* Significant difference from pre-meal (*a*, snack; *b*, control) ($p < 0.05$).