

運動直後の給餌が筋グリコーゲン量の回復に及ぼす
影響：運動直前欠食のラットを用いて

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2015-05-01 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 山本, 章, 黒岩, 一雄, 谷, 健二, 赤田, 信一 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.14945/00008374

運動直後の給餌が筋グリコーゲン量の回復に及ぼす影響 —運動直前欠食のラットを用いて—

Effect of a meal immediately after prolonged exercise on muscle glycogen repletion without the last meal before the exercise in rats

山本 章・黒岩一雄¹⁾・谷 健二・赤田信一

Akira YAMAMOTO, Kazuo KUROIWA, Kenji TANI and Shinichi AKADA

(平成15年10月1日受理)

Abstract

The purpose of this study was to investigate the effect of a meal immediately after prolonged exercise on muscle glycogen content during recovery.

Male 6 wk - old rats of Sprague - Dawley strain were fed meals twice a day at 08:00 -09:00h and 20:00-21:00h. Rats were individually housed in a room maintained on a 07:00-19:00h light cycle and at a temperature of 23°C.

After about 4 weeks, rats swam for 3 hours from 00:00h without the 20:00-21:00h meal before the swimming and were randomly divided into two groups. Rats of Group1 were fed a meal at 08:00-09:00h. Rats of Group 2 were fed one third of the meal immediately following exercise and remaining two third of the meal from 08:00h. Energy sources of rats were determined at immediately postexercise, after 5 h and 9 h of recovery.

Serum levels of glucose and FFA and lactate were no significantly difference between the two groups at any recovery period. Liver glycogen content after 5 h of recovery was higher in Group2 than in Group1. Glycogen contents of red and white gastrocnemius muscle after 9 h of recovery were higher in Group2 than in Group1. But soleus muscle glycogen content was no significantly difference between the two groups after any recovery period.

These results suggest that a meal immediately after exercise may effective the repletion of glycogen in liver after 5 h of recovery and gastrocnemius muscle after 9 h of recovery.

1) 筑波大学大学院博士課程

緒言

筋グリコーゲンは中等度から強度の長時間運動の重要な燃料であり、筋グリコーゲンの枯渇により運動遂行能力が失われ、運動が大きく制限されることが以前から指摘されている (Ahlborg et al. 1967, Bergstrom et al. 1967)。そこで、長時間運動の前には筋グリコーゲンの貯蔵量を高めておき、運動中には脂肪酸の利用能力を高めて筋グリコーゲンの節約をはかりその枯渇を遅らせることが競技で良い成果を発揮するためには欠かせない。

また、運動後には、筋グリコーゲンをできるだけ早く回復させることが運動能力の回復につながると考えられており、運動後の筋グリコーゲンを再補充させる方法について、糖質を摂取する量 (Ivy 1998, Jentjents et al. 2001)、タイプ (Burke et al. 1993)、タイミング (Ivy et al. 1988)、そして頻度 (Burke et al. 1996) などから多くの検討がなされている。最近では筋グリコーゲンの再補充に関して、たんぱく質を糖質に加える効果について多くの報告がなされている (Carrithers et al. 2000, Jentjents et al. 2001, Ivy et al. 2002)。

しかし、栄養素やサプリメントの摂取も重要だが、普段の食事の食べ方を工夫すること、例えば、食べ慣れている食事の一部を練習や試合などの運動直後に摂取することが筋グリコーゲンの回復に及ぼす効果について検討しておくことも重要なことであると考えられる。そこで、前報 (山本他2001) では、実験動物としてラットを用いて、3時間の運動後、普段の給餌時刻である運動終了5時間後から給餌する群と運動直後に普段の量の1/3を給餌し、5時間後に残りの2/3を給餌する群とを設けて、両群間で筋グリコーゲン量の回復に違いが見られる否かを運動後の3時点で検討した。その結果、運動直後の給餌が、運動5時間後の時点での肝臓のグリコーゲン、ヒラメ筋と腓腹筋の赤色部位でのグリコーゲンの回復に効果的であることが明らかにされた。しかし、運動直前に普段通りに給餌した場合には、運動終了直後の時点であっても、胃にかなりの食物が残っており、それが、グリコーゲンの材料となる糖質の供給源となっている可能性が高く、運動直後の給餌の効果が修飾されていることも考えられた。

そこで、今回は運動直前の給餌をせず、運動開始まで15時間の絶食期間を設けて、前報とほぼ同様な条件で、運動直後の給餌が筋グリコーゲンの回復に及ぼす効果について検討を加えた。

方法

1. 実験動物および飼育方法

実験動物は生後6週齢 (43-45日齢) のJcl:SD系雄ラット (184.9±1.4g、日本クレア株式会社) 30匹を用いた。飼育室は07-19時を明期、19-07時を暗期とする12時間の明暗サイクルとし、室温は23°Cに調節した。

ラットは個別に飼育し、入荷日の14時から翌日の10時まで自由給餌とし、その後、20時と08時から、2日間は2時間、次の2日間は1時間半、その後は1時間ずつ1日2回間欠給餌した。飼料は粉末飼料CE-7 (糖質60%、たんぱく質17.6%:日本クレア株式会社) を用い、摂食量は毎給餌後測定した。飲水は24時間自由に摂取させた。体重は入荷時は14時に飼育期間中は17時に測定した。

最終日の実験開始5日前までに、すべてのラットに5回予備遊泳をし、遊泳に慣れさせた。予備遊泳の時間は1回目が5分間、2回目は10分間、3回目は20分間、4回目は40分間、5回目は60分間とした。

2. 実験手順と運動負荷方法

約4週間飼育後、遊泳運動後に飼育期間中と同様に給餌にする1群と運動直後にも給餌する2群に分けた。実験最終日は、前報とは異なり、20-21時の給餌を行わずに、0時から3時間の遊泳運動を負荷し

た。その後、1群には運動終了5時間後の8時から普段通りの給餌をし、2群には運動直後の3時から給餌量の1/3を、5時間後の8時から残りの2/3を与えた。1群の運動5時間後の給餌量は2群の運動直後と5時間後の合計給餌量とラットの体重当たり等量になるようにした。

遊泳は、前報と同様、水温35°Cで、直径約40cm、水深約40cmのポリバケツ内で一度に6匹ずつ実施した。運動直後（3時）に6匹、運動5時間後（8時）と運動9時間後（12時）に両群それぞれ、6匹ずつ屠殺した。

3. 血清の分離と血清基質濃度の分析

屠殺後、体幹より血液を採取し、4°Cの冷暗所で1時間放置した後、3000rpmで15分間遠心して血清を分離した。血清グルコースと乳酸濃度は、YSI MODEL 2300STAT GLUCOSE & L-LACTATE ANALYZER (Yellow Springs Instrument Co. Inc.)で、遊離脂肪酸 (FFA) 濃度はACS-ACOD法によりTOSHIBA TBA-80FR自動分析機で分析した。

4. 体組織グリコーゲン含量の分析

肝臓、ヒラメ筋、腓腹筋の赤色部位と白色部位を氷上で素早く摘出して、グリコーゲン含量をLo et al. (1970)の方法で分析した。

5. 統計的処理

数値は平均値±標準誤差で示した。各測定時点での差についてはStudentのt-testで検定した。回復期の給餌方法と回復時点の要因については二元配置分散分析により検定し、 $P < 0.05$ を有意と判定した。

結果

1. 飼育期間中の体重と摂食量

入荷時の体重は 184.9 ± 1.4 g、飼育期間中の初体重は 183.70 ± 1.1 g、最終体重は $340.9.0 \pm 3.1$ g、飼育期間中の体重増加量は 157.3 ± 2.9 gであった。

飼育期間中の総摂食量は 649.0 ± 7.5 gであり、08時～09時の摂食量は 10.4 ± 0.2 g/日で20時～21時の摂食量は 10.1 ± 0.1 g/日であった。

2. 胃の重量 (Fig. 1)

運動直後の時点では 1.9 ± 0.1 gであった。運動5時間後の8時の時点では、運動直後に約3g給餌した2群 (2.3 ± 0.2 g) が給餌しなかった1群 (1.9 ± 0.1 g) より約0.4g重い傾向 ($p=0.095$) にあったが、両群間で有意差は見られなかった。9時間後の12時の時点では、8時に約6g給餌した2群 (6.6 ± 0.4 g) より8時に約9g給餌した1群 (9.0 ± 1.2 g) のほうが重い傾向 ($p=0.086$) にあったが、両群間で有意差は見られなかった。

3. 血清基質濃度の変化 (Table 1)

血清グルコース濃度は運動直後の時点で最低値を示した。運動5時間後の時点では、1群では運動直後の時点と差が見られなかったが、2群では運動直後の時点に比べて有意 ($P < 0.05$) に高値を示した。また、運動9時間後の時点では5時間後の時点に比べ、1群 ($p < 0.001$)、2群 ($p < 0.05$) とともに有意に高値

を示した。しかし、運動5時間後の時点でも運動9時間後の時点でも、両群間では有意差が見られなかった。分散分析の結果、5時間後より9時間後の回復時点で有意に高値を示したが、運動直後の給餌の有無では有意差は見られなかった。

血清FFA濃度は運動直後に最高値を示した。運動5時間後の時点では、運動直後の時点に比べ1群でも2群でも有意 ($p < 0.001$) に低値を示したが、両群間では有意差が見られなかった。9時間後の時点でも、運動5時間後の時点に比べ1群 ($p < 0.001$)、2群 ($p < 0.01$) とも有意に低値を示したが、両群間では1群が2群に比べて低値の傾向 ($p = 0.06$) を示したものの有意差は見られなかった。分散分析の結果、5時間後より9時間後の回復時点で有意に低値を示したが、運動直後の給餌の有無では有意差は見られなかった。

血清乳酸濃度はいずれの時点でも両群間で有意差は見られなかった。

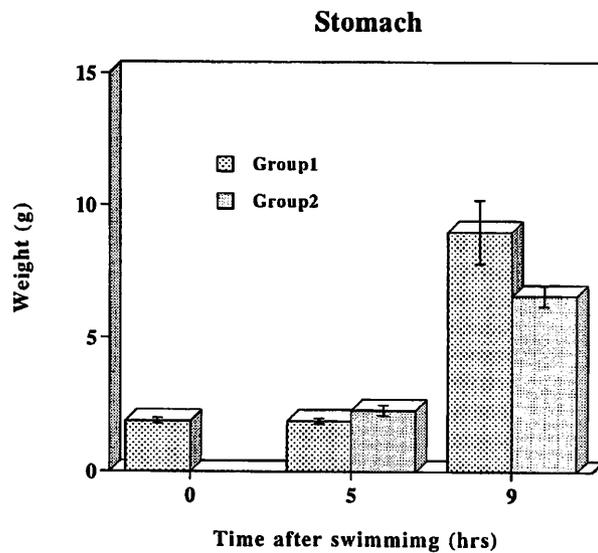


Fig.1 Changes of stomach weight in rats. Values are means \pm SE.

Table 1. Serum levels of glucose, FFA and Lactate in rats

Group	Time after exercise (hrs)	Glucose (mg/dL)	FFA (μ M)	Lactate (mM)
	0 (03:00)	111.3 \pm 2.9	1827 \pm 100	3.5 \pm 0.6
Group1	5 (08:00)	124.8 \pm 7.6	1193 \pm 57	4.5 \pm 0.6
	9 (12:00)	179.5 \pm 7.4***	611 \pm 29***	5.8 \pm 0.9
Group2	5 (08:00)	135.8 \pm 8.7	1105 \pm 76	4.8 \pm 0.6
	9 (12:00)	166.7 \pm 5.4*	746 \pm 55***	5.5 \pm 0.5

Values were means \pm SE for 6 rats.

*, ***, Significantly different from 5 hrs of the same group. (* $P < 0.05$, *** $p < 0.001$).

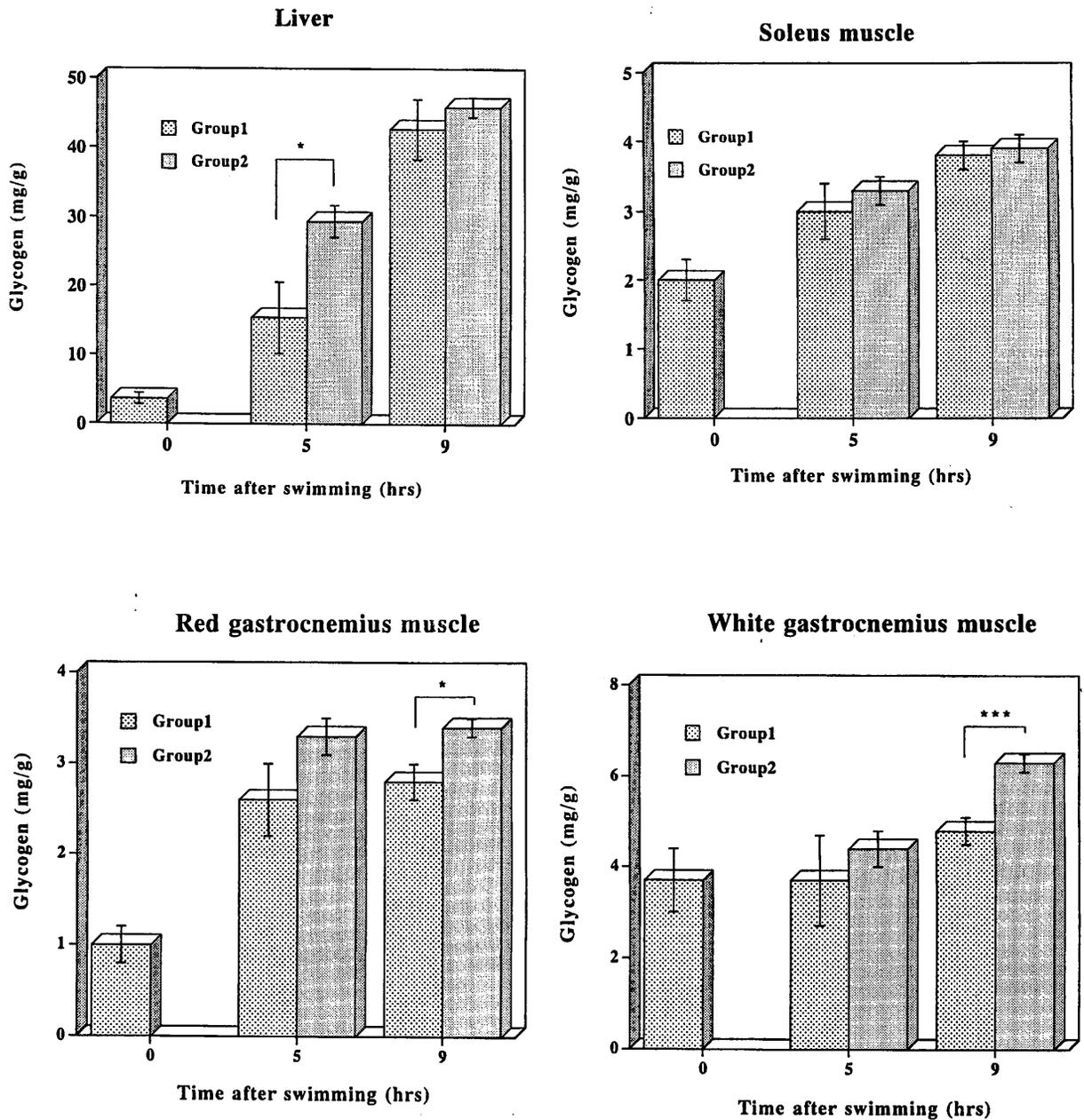


Fig.2 Glycogen levels for liver, soleus muscle, red and white gastrocnemius muscle in rats. Rats were fed meals twice a day at 08:00-09:00h and 20:00-21:00h during breeding period. On the experimental day all rats swam for 3 hours from 00:00h without the last meal(20:00-21:00h) before the swimming. Rats of Group1 were given a meal as usual from 08:00h. On the other hand, rats of Group2 were given one third of the meal from immediately after the swimming and remaining two third from 08:00h. Values are means \pm SE.

* $p < 0.05$, *** $p < 0.001$

4. 組織グリコーゲン含量の変化 (Fig. 2)

グリコーゲン含量は組織湿重量当たりで示した。肝臓のグリコーゲン含量は、運動直後の時点 ($2.0 \pm 0.8 \text{ mg/g}$) に比べて5時間後の時点では1群 ($p < 0.05$)、2群 ($p < 0.001$) とともに有意に高値を示した。5時間後の時点では、運動直後に給餌されなかった1群 ($15.4 \pm 5.2 \text{ mg/g}$) より運動直後に給餌された2群 ($29.4 \pm 2.3 \text{ mg/g}$) の方が有意 ($p < 0.05$) に高値を示した。9時間後の時点では、1群 ($42.6 \pm 4.3 \text{ mg/g}$)、2群 ($45.8 \pm 1.4 \text{ mg/g}$) とともに5時間後の時点より有意 ($p < 0.05$) に高値を示したが、群間では有意差が見られなかった。分散分析の結果、運動直後に給餌した群が給餌しなかった群よりも有意に高値を示し、5時間後より9時間後の回復時点で有意に高値を示した。

ヒラメ筋のグリコーゲン含量は、運動直後の時点 ($2.0 \pm 0.3 \text{ mg/g}$) と5時間後の時点で、1群 ($3.0 \pm 0.4 \text{ mg/g}$) では有意差が見られなかったが、2群 ($3.3 \pm 0.2 \text{ mg/g}$) では5時間後の時点の方が有意 ($p < 0.01$) に高値を示した。しかし、5時間後の時点では両群間で有意差は見られなかった。9時間後の時点でも1群 ($3.8 \pm 0.2 \text{ mg/g}$) と2群 ($3.9 \pm 0.2 \text{ mg/g}$) 間で有意差は見られなかった。5時間後の時点と9時間後の時点とを比べても両群とも有意差は見られなかったが、9時間後の時点は運動直後の時点と比べると両群とも有意 ($p < 0.001$) に高値を示した。分散分析の結果、5時間後より9時間後の回復時点で有意に高値を示したが、運動直後の給餌の有無では有意差が見られなかった。

腓腹筋の赤色部位のグリコーゲン含量は、運動直後の時点 ($1.0 \pm 0.2 \text{ mg/g}$) に比べて5時間後の時点では、1群 ($2.6 \pm 0.4 \text{ mg/g}$)、2群 ($3.3 \pm 0.3 \text{ mg/g}$) とともに有意 ($p < 0.001$) に高値を示した。しかし、5時間後の時点では、両群間で有意差は見られなかった。5時間後の時点と9時間後の時点とを比べても両群とも有意差は見られなかった。しかし、9時間後の時点では、1群 ($2.8 \pm 0.2 \text{ mg/g}$) に比べて2群 ($3.4 \pm 0.4 \text{ mg/g}$) が有意 ($p < 0.05$) に高値を示した。分散分析の結果、運動直後に給餌した群は給餌しなかった群より有意に高値だったが、回復時点では有意差が見られなかった。

腓腹筋の白色部位のグリコーゲン含量は、運動直後の時点 ($3.8 \pm 0.7 \text{ mg/g}$) と5時間後の時点の間で、1群 ($3.7 \pm 0.4 \text{ mg/g}$)、2群 ($4.4 \pm 0.4 \text{ mg/g}$) とともに有意差は見られなかった。5時間後の時点でも、赤色部位と同様、両群間で有意差は見られなかった。しかし、5時間後の時点に比べて9時間後の時点では1群 ($4.8 \pm 0.3 \text{ mg/g}$)、2群 ($6.3 \pm 0.2 \text{ mg/g}$) とともに有意 ($p < 0.05$ と $p < 0.001$) に高値を示し、9時間後の時点では1群に比べ2群が有意 ($p < 0.001$) に高値を示した。分散分析の結果、運動直後に給餌した群は給餌しなかった群より有意に高値を示し、また、5時間後より9時間後の回復時点で有意に高値を示した。

考察

前報 (山本他2001) では1日2回の間欠給餌で飼育したラットを実験動物として用いて、1時間の給餌終了3時間後から3時間の遊泳運動を負荷し、遊泳直後の給餌がグリコーゲンの回復に及ぼす影響を検討した。その結果、肝臓のグリコーゲン、ヒラメ筋や腓腹筋赤色部位の筋グリコーゲンの回復に効果があることを報告した。しかし、遊泳運動終了時のラットの胃内には運動前に給餌した餌がかなり残っており、そのことが運動直後の給餌の効果を修飾していることが考えられた。

そこで、今回は、運動直前の給餌を一過性欠食させ、15時間絶食させて胃を空にした状態で運動を負荷し、運動直後の給餌の影響を調べた。

その結果、肝臓のグリコーゲン含量は、前報に比べ、運動直後の時点で約 1 mg/g 、運動5時間後の時点では1群で約 7 mg/g 、2群で約 4 mg/g 低値だった。しかし、運動9時間後の時点では、逆に1群で約 10 mg/g 、2群で約 13 mg/g 高値だった。一過性の欠食により、給餌による糖質の補給がなかったことが、運動直後や5時間後の時点でのグリコーゲン量が前報より低値を示した理由であろう。また、運動9時間後の

時点で前報より高値を示したのは、長時間の絶食によりグリコーゲン合成の酵素活性が高まっていた状態で給餌による糖質の補給がなされたためではないかと考えられる。今回の結果から、一過性欠食した場合も、運動前の食事を普段通り摂取した場合と同様、運動直後の給餌が、肝臓のグリコーゲンの回復を促すことが確かめられた。

次に、筋グリコーゲンについて見ると、運動直後のグリコーゲン含量は、前報に比べていずれも低く、ヒラメ筋では約0.3mg/g、腓腹筋の赤色部位と白色部位では1mg/g以上も低値を示した。山本他(1986)は一過性朝食欠食が3時間の遊泳運動後の腓腹筋のグリコーゲン量を有意に減少させたことを、Kuo et al. (1999)は6時間の遊泳運動が、腓腹筋の赤色部位と白色部位のグリコーゲン含量を有意に減少させたことを報告している。中等度の持久性運動ではSTR、FTR、FTWの順に動員され、グリコーゲンが利用される(Dohm et al. 1983)ので白色部位のグリコーゲンが低値を示した理由は赤筋タイプのグリコーゲンの利用だけではエネルギー需要を満たすことができなくなったためであろう。

回復について見ると、Nesher et al. (1985)は血中グルコース濃度が高いと筋でのグルコースの取り込みが高いと報告している。しかし、運動直後のグルコース濃度は、今回は111mg/dlと低く、運動5時間後も運動直後に給餌されたラットであっても136mg/dlと低かった。それにもかかわらず、運動直後の時点で比べ運動5時間後の時点では、ヒラメ筋と腓腹筋赤色部位のグリコーゲン含量が高値を示し、特に腓腹筋の赤色部位で著しかった。このメカニズムは、遊泳運動により最も多く動員されたのが腓腹筋の赤色部位の筋繊維であり、運動即ち筋収縮により、インスリンに依存しないGLUT-4トランスポーターの細胞内から細胞膜へのトランスロケーションが亢進し(Ivy and Kuo 1998)、グルコースの取り込みが高まり、グリコーゲンが合成されたのではないかと考えられる。

しかし、運動5時間後の時点での筋グリコーゲン含量には両群間で有意差は見られなかった。胃の重量の変化からみると、1群は運動5時間後と直後での胃の重量がほぼ等しく、胃が空だった。一方、運動直後に約3g給餌された2群は運動5時間後の胃の重量が運動直後より0.4g増えていたので、正味約2.6gが胃から消えていたことになる。餌の約60%が糖質なので、約1.5gの糖質が取り込まれたことになる。筋グリコーゲン含量に両群間で有意差が見られなかった理由は明らかではないが、運動5時間後の血清グルコース濃度にも両群間で差がなく、取り込まれた糖質がグリコーゲンの材料として筋より肝臓で多く取り込まれたのかもしれない。

運動9時間後の時点では腓腹筋のグリコーゲン含量が運動直後に給餌した群で有意に高値を示した。飲水量も胃の重量と関係しており、飲水量を測っていないので、正確な胃中の餌の量は分からないが、胃の重量の変化から見ると、運動直後に給餌しなかった1群は運動5時間後に約9g食べ、運動9時間後の胃の重量は運動直後より約7g増えていたので正味約2gが胃から消えたことになる。一方2群では運動直後に約3gそして運動5時間後に約6g食べ、運動9時間後の胃の重量は直後より約4.5g増えていたので正味約4.5gが胃から消えていたことになる。従って、運動9時間後の時点では直後に給餌をした2群が1群の約2.2倍の糖質が胃から消えたことになる。このことが筋グリコーゲンに差をもたらした大きな要因ではないかと考えられる。

Goodyear et al. (1996)は糖質摂取により血中インスリン濃度の増加が筋のGLUT-4トランスポーターを細胞内プールから細胞膜へトランスロケーションし、グルコースの取り込みを高めると報告し、Cohen (1986)はインスリン濃度の増加が筋のグリコーゲン合成にかかわる酵素の活性を増加し、ホスホラーゼの活性を抑制することからグリコーゲンの回復を促すと報告している。インスリンに依存しない運動直後45-60分間のグリコーゲンの回復とインスリンに依存するグリコーゲンの回復(Price et al. 2000)が合わさって運動9時間後の両群間の腓腹筋のグリコーゲン含量の差をもたらしたと考え

られる。

以上のことから、運動前の給餌を一過性欠食させた条件下であっても、運動直後の給餌は骨格筋のグリコーゲンの回復に大きな効果を与えることが明らかにされた。

要約

本研究は一過性欠食の後に持久性運動を負荷し、運動直後の食事が筋グリコーゲンの回復に効果があるかどうかを明らかにするために行われた。

6週齢のSD系雄ラットを08-09時と20-21時の1日2回の間欠給餌で飼育した。飼育室は07-19時を明期とする12時間の明暗サイクルとし、室温は24℃に調節した。約4週間後、20-21時の給餌を行わずに00時から3時間の遊泳運動を行わせ、ラットを2群に分けた。1群には普段通り、08-09時に給餌し、2群には3分の1を運動直後に、残りの3分の2は08-09時に給餌した。そして、運動直後、5時間後、9時間後の時点で運動のエネルギー源の変化を比較した。

結果は次の通りであった。

- 1) 血清グルコース、FFA、乳酸濃度は両群間でいずれの時点でも有意差は見られなかった。
- 2) 肝臓のグリコーゲン含量は運動5時間後の時点で1群に比べ2群が高値を示した。
- 3) ヒラメ筋のグリコーゲン含量は両群間でいずれの時点でも有意差は見られなかった。
- 4) 腓腹筋の赤色部位と白色部位のグリコーゲン含量は運動9時間後の時点で1群に比べ2群が高値を示した。

以上の結果から、運動直後の給餌は肝臓と腓腹筋のグリコーゲンの回復に効果があることが明らかにされた。

引用文献

- Ahlborg B, Bergstrom J, Ekelund LG, and Hultman E(1967)Muscle glycogen and muscle electrolytes during prolonged physical exercise. *Acta Physiol Scand* 70, 129-142.
- Bergstrom J, Hermansen L, Hultman E, and Saltin B(1967)Diet, muscle glycogen and physical performance. *Acta Physiol Scand* 71,140-150.
- 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.
- Burke LM, Collier RG, Davis PG, Fricker PA, Sanigorski AJ, and Hargreaves M (1996) Muscle glycogen after prolonged exercise: effect of the frequency of carbohydrate feedings. *Am J Clin Nutr* 64,115-119.
- Carrithers JD, Williamson DL, Gallagher PM, Godard MP, Schulze KE, and Trappe SW(2000) Effects of postexercise carbohydrate-protein feeding on muscle glycogen restoration. *J Appl Physiol* 88,1976-1982.
- Cohen P(1986)Muscle glycogen synthase. *Enzymes*17, 461-497.
- Dohm GL, Tapscott EB, Barakat HA, and Kasperek GL(1983)Influence of fasting on glycogen depletion in rats during exercise. *J Appl Physiol* 55, 830-833 .
- Goodyear LJ, Hirshman MF, Napoli R, Calles J, Markuns JF, Ljungqvist O, and Horton ES(1996)

- Glucose ingestion causes Glut 4 translocation in human skeletal muscle. *Diabetes* 45, 1051-1056.
- Ivy JL, Katz AL, Culter CL, Sherman WM, and Coyle EF (1988) Muscle glycogen synthesis after exercise; effect of timing of carbohydrate ingestion. *J Appl Physiol* 64, 1480-1485.
- Ivy JL, Goforth HW Jr, Damon BM, McCauley TR, Parsons EC, and Price TB (2002) Early postexercise muscle glycogen recovery is enhanced with a carbohydrate-protein supplement. *J Appl Physiol* 93(4):1337-44.
- Ivy JL and Kuo CH (1998) Regulation of Glut 4 protein and glycogen synthase during muscle glycogen synthesis after exercise. *Acta Physiol Scand* 162, 295-304.
- Ivy JL (1998) Glycogen resynthesis after exercise: effect of carbohydrate intake. *Int J Sports Med* 19, Suppl;142-146
- Jentjens RLPG, van Loon LJC, Mann CH, Wagenmakers AJM, and Jeukendrup AE (2001) Addition of protein and amino acids to carbohydrates does not enhance postexercise muscle glycogen synthesis. *J Appl Physiol* 91, 839-846.
- Kuo Chia-Hua, Hunt DG, Ding Z, and Ivy JL (1999) Effect of carbohydrate supplementation on postexercise GLUT-4 protein expression in skeletal muscle. *J Appl Physiol* 87, 2290-2295.
- Lo S, Russell JC, and Wegeles AW (1970) Determination of glycogen in small samples. *J Appl Physiol* 28, 234-236.
- Nesher R, Karl SE, and Kipnis DM (1985) Dissociation of effects of insulin and contraction on glucose transport in rat epitrochlearis muscle. *Am J Physiol Cell Physiol* 249, C226-232.
- Price TB, Laurent D, Peteren KF, Rothman DL, and Shulman GI (2000) Glycogen loading alters muscle glycogen resynthesis after exercise. *J Appl Physiol* 88, 698-704
- 山本章・谷健二・国崎弘 (1986) 欠食が運動によるエネルギー源の変化に及ぼす影響. *東海体育科学* 8, 35-45.
- 山本章・谷健二・赤田信一 (2001) 運動直後の給餌が筋グリコーゲンの回復に及ぼす影響—1日2回の間欠給餌ラットを用いて—. *静岡大学教育学部研究報告 (自然科学篇)* 51, 1-9.