

比較的短期間の高脂肪食摂取が血液性状および 運動時のエネルギー代謝に及ぼす影響

奈良教育大学 中谷 昭
(共同研究者) 同 辻井 啓之
甲子園大学 八木 典子

Effect of Short Term High Fat Diet on Blood Chemical Data and Energy Metabolism During Prolonged Exercise

by

Akira Nakatani, Hiroyuki Tsujii

Nara University of Education

Noriko Yagi

Koshien University

ABSTRACT

We examined the effect of short-term high fat diet on blood properties and energy metabolism during prolonged exercise. Six well-trained subjects participated in two trials during which they consumed either their normal diets (~25% calories as fat) or an isoenergetic high fat diet (~60% calories as fat) for 5 days followed by a normal diet on day 6. On day 7, performance testing (60min steady-state cycling at 60% $\dot{V}O_{2max}$ + 7.5km time trial) was undertaken. There were no significant differences between the normal and the high fat diet on body weight, body fat and fasting plasma lipids. The different dietary treatment also did not affect the blood glucose, serum insulin and FFA levels during the steady-state exercise. Respiratory exchange ratio (R) continuously decreased during the steady-state exercise and R was lower in the high fat diet trial than in the normal diet trial. Accordingly, the rate of fat oxidation was higher during steady-state exercise in the fat diet than in the normal diet ($19.1 \pm 9.9\%$ and $13.8 \pm 5.7\%$, respectively). There was no significant difference in the time to complete 7.5km of work between the normal diet and the

fat diet (705 ± 111 sec and 689 ± 95 sec, respectively). These results suggest that short-term high fat diet may increase fat oxidation during prolonged exercise without adverse changes of plasma lipids. However there was no evidence of benefit of fat adaptation to the exercise performance.

要 旨

本研究は5日間という比較的短期間の高脂肪食摂取が血液性状や運動時の糖質・脂質代謝に及ぼす影響を検討した。被験者として運動部に所属する男子大学生6名を用いた。普通食（脂質エネルギー比が約25%）もしくは高脂肪食（脂質エネルギー比が約60%）を5日間摂取した後、6日目に普通食を摂取し、さらの7日目に60% $\dot{V}O_{2max}$ の自転車運動を60分間負荷した。体重、体脂肪率および安静時の血中脂質レベルには食事による違いが見られなかった。しかし、運動時の呼吸交換比は高脂肪食を摂取した方が低く、計算により求めた脂質寄与率は高脂肪食を摂取した方が高かった。持久的運動後に行った自転車運動による7.5kmタイムトライアルの結果は食事による影響が認められなかった。以上の結果から比較的短期の高脂肪食摂取は肥満や高脂血症を引き起こすことなく、運動時の脂質代謝を亢進するものと考えられるが、持久力増大には必ずしも効果があるとは言えない。

緒 言

持久的運動時の主なエネルギー源は糖質と脂質であるが、特に、筋グリコーゲン持久力を規定する重要なエネルギー源であることが知られている¹³⁾。従って、運動前に筋グリコーゲン含量を高めておくか、あるいは運動時のグリコーゲン利用を節約することにより持久力を増大することができる^{1, 4)}。逆に、運動数日前に高脂肪食（低糖質食）を摂取した場合には筋グリコーゲン含量が

減少し、持久力が低下する¹⁾。

ところで、Millerら⁸⁾はラットを対象に5週間高脂肪食を摂取させた場合、筋グリコーゲン含量の低下に関わらず、持久的運動能力が有意に増加することを報告している。これは、長期の高脂肪食摂取により骨格筋における脂質代謝が亢進し、筋グリコーゲンの節約がおこったためと考えられる。

しかし、長期の高脂肪食摂取は体脂肪量を増大するとともに、高脂血症を引き起こし、生活習慣病の原因ともなりうる^{9, 10)}。従って、比較的短期間の高脂肪食摂取により長期の高脂肪食摂取と同様に脂質代謝の適応を引き起こすことができるなら、持久力増大の可能性が期待できる。

そこで、本研究においては、比較的短期間である5日間の高脂肪食摂取が血液性状および運動時のエネルギー代謝にどのような影響を及ぼすかについて検討した。

1. 実験方法

1. 1 被験者

被験者は運動部に所属する健康な男子大学生6名であった。被験者の身体特性は身長 173.7 ± 4.0 cm、体重 66.7 ± 5.6 kgおよび $\dot{V}O_{2max}$ 56.8 ± 8.7 ml/kg/minであった。被験者には研究内容や実施上のリスクなど十分説明した上で協力に同意を得た。

1. 2 実験手順

被験者は普通食あるいは高脂肪食からなる実験食を5日間摂取した後、6日目には両食事群とも

普通食を摂取し、さらに7日目に60% $\dot{V}O_{2max}$ 強度の自転車運動を60分間行った。普通食と高脂肪食の実験は約4週間の期間をあけて行った。1日のエネルギー摂取量は体重1kg当り60kcalとし、普通食はエネルギー比で糖質57%、脂質25%、タンパク質15%、また高脂肪食は糖質25%、脂質60%、タンパク質15%からなる食事を管理栄養士の指導のもと作成した。1日の献立例を表1に示した。

表1 1日の献立例

	普通食	高脂肪食
朝食	ご飯 (350g) 味噌汁 焼魚 巣ごもり卵 野菜サラダ デザート (普通牛乳)	ご飯 (120g) 味噌汁 焼魚 巣ごもり卵 添えグラッセ 野菜サラダ アーモンドスライス デザート (加工乳濃縮)
昼食	ご飯 (350g) 味噌汁 豚カツ ししとう炒め かぶのゆかり和え デザート (キウイフルーツ)	ご飯 (120g) 味噌汁 ピカタ 揚げ野菜添え ししとう炒め かぶのマヨネーズ和え デザート (加工乳濃縮)
夕食	ご飯 (350g) 味噌汁 ハンバーグ 野菜サラダ 豆腐サラダ おかか和え デザート (オレンジ)	ご飯 (120g) 味噌汁 ハンバーグ 野菜サラダ 豆腐サラダ おかか和え デザート (加工乳濃縮)
間食	チーズトースト	リンゴ

献立名は同じでも材料を変えることにより脂質のエネルギー比を変えた。

60分の運動は自転車エルゴメータ (active 10-II:竹井機器) を用い70rpm, 60% $\dot{V}O_{2max}$ 強度で行った。

呼気分析は自動呼気分析計 (エアロモニター AE300S:ミナト医科学) を用いて行い、得られた呼吸交換比 (R) から、換算表¹¹⁾ を用いて運動時の糖質および脂質寄与率を求めた。

1. 3 タイムトライアル

60分の運動後3分の休息をはさみタイムトライアルを行った。タイムトライアルは50% $\dot{V}O_{2max}$ 相当の強度で7.5kmをできるだけ速くこぎきるよう指示した。

1. 4 採血および分析

採血は、6日目の早朝空腹時および7日目に行った。採血後血清分離剤入りスピッツにとり45分間室温に放置した後、3000rpmで遠心分離し血清を得た。血糖、インスリン、中性脂肪、遊離脂肪酸、総コレステロール、HDL-コレステロールおよび総ケトン体を測定した。またLDL-コレステロール量は計算式より求めた。

1. 5 統計処理

測定結果は平均±標準偏差で示した。食事の違いによる差の検定にはt検定を用いた。また運動時間の経過にともなう変化については2要因分散分析を用いて検定した。有意水準は5%未満とした。

2. 結果

2. 1 5日間の食事前後の体重および体脂肪量

普通食および高脂肪食を5日間摂取したときの体重、BMIおよびBIA法 (タニタ脂肪計付ヘルスメーター) で測定した体脂肪率を表2に示した。いずれも両食事間に有意な差が見られず、食事の

表2 5日間の普通食及び高脂肪食前後における身体特性

	体重 (kg)	BMI	体脂肪率 (%)
普通食前	67.6 ± 5.7	22.5 ± 2.0	17.2 ± 3.3
普通食後	68.0 ± 5.7	22.6 ± 1.9	18.3 ± 2.0
高脂肪食前	67.8 ± 6.2	22.5 ± 2.1	18.8 ± 2.6
高脂肪食後	68.1 ± 6.5	22.6 ± 2.2	20.0 ± 2.6

影響が認められなかった。

表3 5日間の普通食もしくは高脂肪食摂取後及び運動前の血中脂質の比較

	中性脂肪	総コレステロール	HDLコレステロール	LDLコレステロール	総ケトン体
普通食空腹時	71 ± 39	168 ± 30	58 ± 8	96 ± 28	46 ± 16
普通食運動前	111 ± 41	168 ± 29	58 ± 9	88 ± 23	41 ± 7
高脂肪食空腹時	29 ± 9 *	156 ± 14	61 ± 10	88 ± 18	263 ± 231 *
高脂肪食運動前	63 ± 31 *.a	152 ± 17	59 ± 9	80 ± 14	44 ± 7 ^a

* ; 普通食群との有意差, P<0.05, a ; 空腹時との有意差, P<0.05

LDLコレステロールは計算により求めた

2.2 安静時の血液性状

表3は安静時の血中脂質を比較したものである。中性脂肪は空腹時、運動前とも高脂肪食を摂取した場合の方が有意 (P<0.05) に低かった。総コレステロール、HDL-コレステロールおよびLDL-コレステロールは食事による違いが見られなかった。総ケトン体は高脂肪食後の空腹時において有意 (P<0.05) に高い値を示した。

2.3 運動時の呼吸交換比 (R)

図1はRの変化を示している。運動開始時点でのRは普通食の0.996 ± 0.032に対し、高脂肪食では0.953 ± 0.054とやや低い値であった。運動経過に伴い両食事ともRは低下したが、常に高脂肪食を摂取した場合のほうが低い値であった。

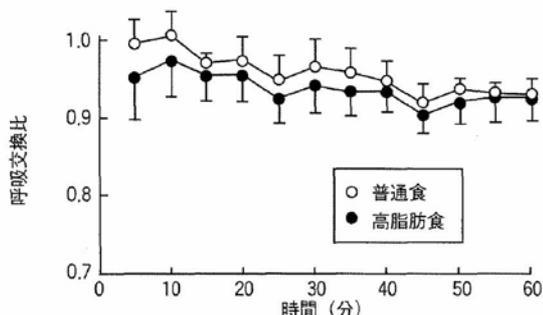


図1 60% $\dot{V}O_{2max}$ 強度の運動中の呼吸交換比 (R) の変化。普通食 (○) 及び高脂肪食 (●) のいずれの場合も時間経過とともにRは低下したが、高脂肪食摂取後の方がすべての時点において低い値を示した。

2.4 運動時の血液性状の変化

図2は血糖値の変化を示したものである。血糖値は運動および食事による影響は見られなかった。

図3はインスリンの変化を示したものである。

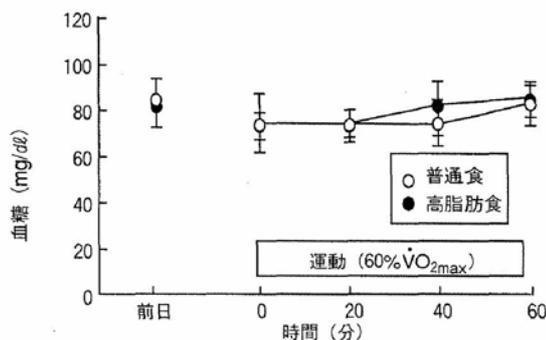


図2 血糖値の変動。前日及び運動時の血糖値は変化が見られず、普通食 (○) 及び高脂肪食 (●) で差が認められなかった。

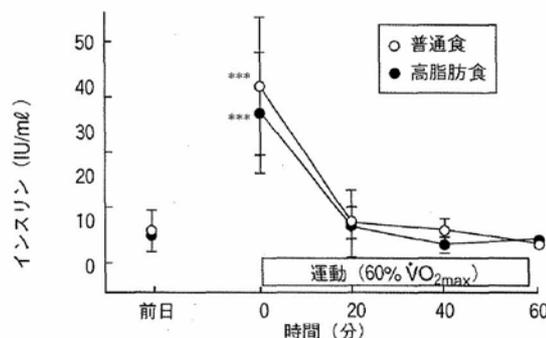


図3 インスリン濃度の変動。食後2時間後に測定した運動前値は、安静空腹時に比較し普通食 (○) 及び高脂肪食 (●) とも有意に高かった。いずれの時点においても食事の違いによる差は見られなかった。***P<0.001 ; 前日との有意差。

食後2時間を経過して行った運動直前のインスリン濃度は前日の空腹時に測定した値より有意 (P<0.001) に高かった。運動時間経過とともに低下したが、その変化に食事による違いは認められなかった。

図4は血中FFAの変化を示したものである。前日のFFAレベルは高脂肪食の方が有意ではないが高い値を示した。運動開始後FFAは次第に増加したが、食事による違いは見られなかった。

2.5 タイムトライアル

図6は自転車エルゴメーターによる7.5kmのタ

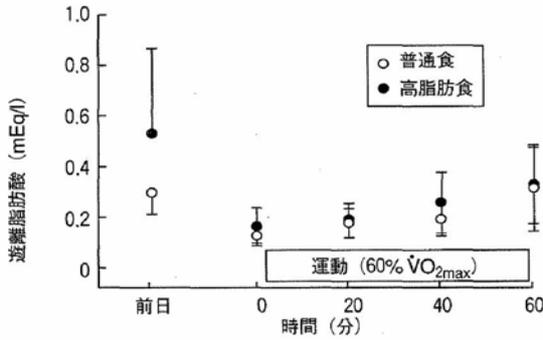


図4 血中遊離脂肪酸レベルの変動. 前日の安静空腹時の値は高脂肪食(●)の方が高かった. 運動経過とともに普通食(○)及び高脂肪食とも増加したが食事による違いは見られなかった.

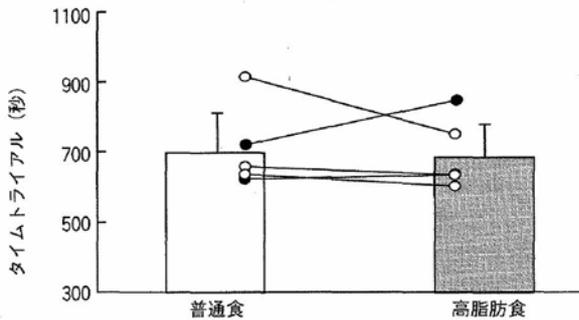


図5 60分の60% $\dot{V}O_{2max}$ 自転車運動に続き, 50% $\dot{V}O_{2max}$ 強度の7.5kmタイムトライアルを行った. 棒グラフは平均値を, また○は高脂肪食摂取で記録の向上した被験者の値を, ●は高脂肪食摂取で記録の低下した被験者の値を示している. 食事による違いはほとんど見られなかった.

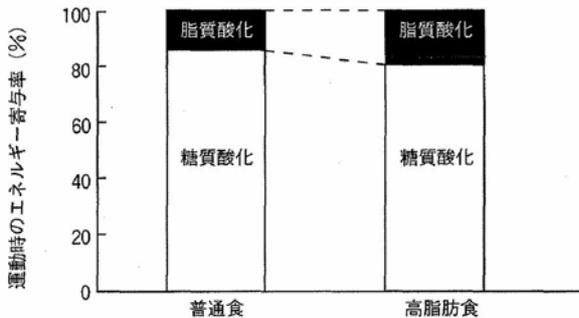


図6 呼吸分析から求めた¹¹⁾ 運動時の糖質及び脂質のエネルギー寄与率を示している. 高脂肪食摂取の方がやや脂質酸化の寄与率が高かった.

タイムトライアルの結果を示したものである. 普通食での705 ± 111秒に対し, 高脂肪食では689 ± 95秒とやや短縮されたものの有意な差ではなかった. 普通食に対し高脂肪食において時間が短縮したものは4名で, 逆に時間が延長したものが2名であった.

3. 考察

高脂肪食を2~3日にわたり摂取すると筋グリコーゲン含量が減少し, 持久力が低下する¹⁾. これに対し, 数週間にわたり高脂肪食を摂取した場合には, 筋グリコーゲン含量が低下するのに関わらず, 脂質代謝が亢進することにより, 持久力の増大することが報告されている⁸⁾. しかし, 数週間にわたり長期に高脂肪食を摂取すると, ラットの場合, 脂肪組織が増大し¹⁰⁾, 中性脂肪やコレステロールなど血中脂質が増大すること¹⁰⁾, あるいはインスリン抵抗性の発現すること⁹⁾などが知られている.

今回, 5日間の高脂肪食を摂取した結果, 体重, 体脂肪率に影響は認められなかった(表1). また, 安静空腹時の血糖, インスリン濃度, 総コレステロール, HDL-コレステロールおよびLDL-コレステロールも普通食を摂取した場合とほぼ同じ値であった(表2および図2, 3). 従って, 脂質エネルギー比が約60%と極めて高い場合でも5日間の高脂肪食摂取では肥満や高脂血症を引き起こすことがないものと考えられる. Leddyら⁷⁾は長距離走者を対象にエネルギー比で約42%の高脂肪食を4週間摂取した場合の体脂肪率や血中脂質の変化を見ているが, いずれも普通食との間に有意な差を見ていない.

しかし, 安静空腹時の血中FFA, 総ケトン体量は高脂肪食摂取により有意に増加した(表2および図4). これは5日間の高脂肪食摂取によりエネルギー源として糖質利用が制限されたため血中FFAやケトン体が増加したものと考えられる¹²⁾.

運動時の呼吸分析から求めた呼吸交換比(R)は運動開始時点から高脂肪食を摂取した場合の方が常に低い値を示した(図1). 図6はRより計算した運動時の糖質および脂質のエネルギー寄与率である. 有意ではないものの高脂肪食を摂取した場合の方が脂質の寄与率が普通食より約40%高

い値を示した。Stephoら¹⁴⁾は4日間の高脂肪食摂取により、またBurkeら³⁾は5日間の高脂肪食摂取により同様にエネルギー源として脂質の寄与率が増大したことを報告している。

本研究において血中遊離脂肪酸濃度は運動中増加するものの食事による違いは見られなかった(図4)。Burkeら²⁾も同様に食事による違いを観察していないが、血中グリセロール濃度が高脂肪食摂取群で有意に高いことを示している。血中グリセロールは脂肪組織からの脂肪動員を反映するものであり、高脂肪食を摂取した場合には脂肪組織から分解・動員されたFFAがより多く運動時に利用された結果、運動時の脂質寄与率が増大したものと考えられる(図6)。また、Helgeら⁵⁾は4週間の高脂肪食摂取で筋中性脂肪含量の増加することを報告しているが、筋中性脂肪がエネルギー源として利用されたのかどうかについては今後さらに検討する必要がある。

ところで、Burkeら²⁾は5日間の高脂肪食摂取後、筋グリコーゲンの利用量が高脂肪食適応群で著しく低かったことを報告している。本研究では筋グリコーゲン含量を測定していないが、運動時の脂質代謝寄与率が増加したことから、骨格筋グリコーゲンが節約され、持久力が増大するものと考えられる。しかし、本実験においてはタイムトライアルの記録に有意な増加が見られなかった。従って、今回のようにわずかな脂質代謝の亢進は必ずしもパフォーマンスに反映されないものと考えられる。ただ、6名中4名でパフォーマンスがわずかながらも改善されたことは、競技においては重要な意味を持つ場合もありうる。また、食事の影響に個人差が見られることから、さらに今後検討する必要があると考えられる。

4. まとめ

運動部に所属する6名の男子学生を対象に、5日間の高脂肪食摂取が血液性状および運動時のエネルギー代謝に及ぼす影響を検討した。結果は以下のとおりである。

1. 5日間の高脂肪食摂取は、体重、体脂肪率および血中脂質に影響を及ぼさなかった。

2. 5日間の高脂肪食摂取により安静空腹時の血中FFA、総ケトン体は上昇したが、普通食摂取により回復した。

3. 60分間、60% $\dot{V}O_{2max}$ 強度の自転車運動中の血糖、インスリンおよびFFAの変化に食事の違いによる影響は見られなかった

4. 運動時の呼吸交換比は運動開始時点から普通食と比較し高脂肪食摂取で低い値を示した。また、呼気分析の結果から求めた運動時の脂質酸化は高脂肪食により13.8±5.7%から19.9±9.9%へ増大した。

5. 持久的運動後に行った7.5kmタイムトライアルの運動時間は食事による違いが見られなかった。

以上の結果より、5日間の高脂肪食摂取は持久的運動時における脂質利用を亢進するものの、必ずしも持久的運動能力を改善しないものと考えられる。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、食事の献立にご協力頂きました奈良県健康づくりセンター、管理栄養士の餅美智子氏および調理にご協力を頂きました奈良県スポーツ栄養研究会(栄養サポートチーム)、奈良教育大学学生および樟蔭女子大学スポーツ栄養サークルの皆さま方に深く感謝を述べるとともに、研究助成を賜りました財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興団に厚くお礼を申し上げます。

文 献

- 1) Bergström, J., L. Hermansen, E. Hultman, and B. Saltin. Diet, muscle glycogen and physical

- performance. *Acta Physiol. Scand.* 71 :140-150 (1967)
- 2) Burke, L. M., D. J. Angus, G. R. Cox, N. K. Cummings, M. A. Febbraio, K. Gawthorn, J. A. Hawley, M. Minehan, D. T. Martin, and M. Hargreaves. Effect of fat adaptation and carbohydrate restoration on metabolism and performance during prolonged cycling. *J. Appl. Physiol.* 89 :2413-2421 (2000)
 - 3) Burke, L. M., J. A. Hawley, D. J. Angus, G. R. Cox, N. K. Cummings, B. Desbrow, and M. Hargreaves. Adaptations to short-term high-fat diet persist during exercise despite high carbohydrate availability. *Med. Sci. Sports Exerc.* 34 (1) :83-91 (2002)
 - 4) Coggan, A. W. and E. F. Coyle. Carbohydrate ingestion during prolonged exercise: effects on metabolism and performance. *Exer. Sports Sci. Rev.* 19 :1-40 (1991)
 - 5) Helge, J. W., B. Wulff, and B. Kiens. Impact of fat-rich diet on endurance in man: role of the dietary period. *Med. Sci. Sports Exerc.* 30 (3) :456-461 (1998)
 - 6) Lambert, E. V., J. H. Goedecke, C. v. Zyl, K. Murphy, J. A. Hawley, S. C. Dennis, and T. D. Noakes. High-fat diet versus habitual diet prior to carbohydrate loading: Effects on exercise metabolism and cycling performance. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 11 :209-225 (2001)
 - 7) Leddy, J., P. Horvath, J. Rowland, and D. Pedergast. Effect of a high or a low fat diet on cardiovascular risk factors in male and female runners. *Med. Sci. Sports Exerc.* 29 (1) :17-25 (1997)
 - 8) Miller, W. C., G. R. Bryce, and K. Conlee. Adaptations to a high-fat diet that increase exercise endurance in male rats. *J. Appl. Physiol.* 56 (1) :78-83 (1984)
 - 9) Nakatani, A. and J. O. Holloszy. Effect of high fat diet on glucose transport activity in rat skeletal muscle. Glucose fluxes, exercise and diabetes. Edited by R. Kawamori et al. 211-214, Smith-Gordon (1995)
 - 10) 中谷 昭, 岡崎政博, 坂田 進. 高脂肪食摂取と血中レプチン濃度に及ぼす影響. 奈良教育大学紀要. 50 (2) :39-43 (2001)
 - 11) Peronnet, F. and D. Massicotte. Table of nonprotein respiratory quotient: update. *Can. J. Sport Sci.* 16 :23-29 (1991)
 - 12) Phinney, S. D., B. R. Bistrian, R. R. Wolfe, and G. L. Blackburn. The human metabolic response to chronic ketosis without caloric restriction: Physical and biochemical adaptation. *Metabolism.* 32 (8) :757-768 (1983)
 - 13) Saltin, B. and J. Karlsson. Muscle glycogen utilization during work of different intensities. *Muscle Metabolism During Exercise.* Edited by B. Pernow and B. Saltin. Plenum Press, 289-299, New York-London (1971)
 - 14) Stepto, N. K., A. L. Carey, H. M. Staudacher, N. K. Cummings, L. M. Burke, and J. A. Hawley. Effect of short-term fat adaptation on high-intensity training. *Med. Sci. Sports Exerc.* 34 (3) :449-455 (2002)