

中等度の運動強度における運動中の糖, 脂質代謝について

東京学芸大学 渡辺 雅之

(共同研究者) 東京慈恵会医科大学 小林 啓三

Carbohydrate and lipid metabolism during moderate exercise

by

Masayuki Watanabe

Tokyo Gakugei University

Keizo Kobayashi

Jikei University School of Medicine

ABSTRACT

This study was focused on the carbohydrate and lipid metabolism during moderate exercise. Four healthy male students were participated in this experiments. After maximal exercise testing on treadmill running, each relative intensity, the loads responsible for 40% and 60% maximal oxygen intake, were determined. Treadmill running continued 30 minutes and blood samplings were done at rest and 5 min. intervals. Blood components were analyzed.

Blood sugar values didn't change during both exercise. Serum free fatty acids values (FFA) decreased during initial stage of exercise, and then in 40% $\dot{V}O_2$ max exercise FFA were unchanged, in 60% $\dot{V}O_2$ max increased gradually. Serum triglycerides values (TG) decreased gradually during both exercise. Blood Lipo-protein lipase activities reached maximal level at the end of exercise in 40% $\dot{V}O_2$ max and 10 min. after exercise in 60% $\dot{V}O_2$ max.

In conclusion, the changes in blood components were small during moderate exercise, but, lipid metabolism was accelerated rapidly.

I. 緒 言

運動時の代謝応答は、運動強度や運動時間によって異なる。運動時でも、その主体となるエネルギー源が糖質と脂質であり、両者の相対的な燃焼の割合の変動に対応して、血液中の諸基質が変動すると考えられる。

Hermansen, L et al (1967)⁷⁾ は、運動強度を29% $\dot{V}O_2$ max の負荷から78% $\dot{V}O_2$ max の負荷へと増加させることによって、筋グリコーゲンの消失が増大したと述べ、これは、強度が高い運動の場合には糖質が利用されることを意味している。

健康・体力づくりのために行われる運動の強度は、中等度の強度がよく用いられるが、このような中等度の運動は、脂質代謝の改善に有効であるといわれる⁸⁾。

そこで、こうした中等度の運動強度の運動時の糖・脂質代謝の特徴を把握することは、運動処方を行ううえで意義あることと思われる。

今回は、運動中における動態を知るために、5分間隔で採血し、血中レベルでの基質変動を観察した。

II. 実験方法

被検者は、表1に示した、健康な男子大学生(保健体育専攻)4名である。

あらかじめ5%の勾配のトレッドミルを用いて、各被検者に速度漸増法によって最大作業を行わせた。

すなわち、加賀谷の報告¹⁰⁾に準じ、毎分140mのスピードからスタートし、4分ごとに20m増加、12分経過以後は毎分20m増加してExhaustionに至らせた。

ダグラスバック法によって呼気を採取し、呼気ガス分析は、三栄測器製瞬時ガス分析装置を用いて行い、 O_2 、 CO_2 濃度を求めた。

これから、各被検者の最大酸素摂取量の40%、60%に相当する運動強度を算出した。

5%の勾配をつけたのは、運動中の採血をより安全に、迅速に行うためである。

相対的運動強度による運動は30分間とし、心拍数を連続記録した。

被検者には、12時間以上の絶食をさせて運動負荷を与えた。

採血は肘正中皮静脈より、運動前と運動開始後5、10、15、20、25、30分と5分ごとに計6回行った。

測定項目は、血糖(Somogy-Nelson法^{14,15)}、血清中遊離脂肪酸(FFA)、トリグリセライド(TG)、コレステロール(Chol.)—Kabara-Chen法⁹⁾、Lipo-protein-lipase活性値(LPLA)—久城らの方法¹²⁾、である。

III. 実験結果

被検者4名の最大酸素摂取量および最大心拍数は、それぞれ平均値で $55.7 \pm 3.83 \text{ ml/kg/min}$ 、 $204.5 \pm 8.19 \text{ beats/min}$ であった。

40%、60% $\dot{V}O_2$ max に相当する強度のトレッ

表1 Physical characteristics of subjects

Subj	Age (years)	Height (cm)	Weight (kg)	$\dot{V}O_2$ max (ml/kg/min)
K.M.	22	173.0	61.0	51.8
S.A.	21	168.0	67.6	57.1
M.H.	20	171.0	67.6	53.5
H.E.	19	172.5	61.4	60.4

ドミル走時の定常状態における心拍数をみると、その最大心拍数に対する割合は、40% $\dot{V}O_2 \max$ の強度の場合 43.1~57.3% の範囲で平均 $50.6 \pm 6.77\%$ 、60% $\dot{V}O_2 \max$ のそれが $58.9 \sim 74.5\%$ 、平均 $67.0 \pm 5.55\%$ となった。

したがって、40%、60% $\dot{V}O_2 \max$ の強度を心拍数からみた場合には、それぞれ10%程度高くなっていたことになる。

血液中の諸基質の変動を、40%、60%の各強度別に平均値で比較した。

図1に血糖値の変動を示した。

運動前値および運動中各時間における値には、有意な差が認められなかった。どちらの強度の運動とも、過血糖現象を示す者はいなかった。

図2に FFA の変動を示した。

両強度とも、運動開始10分後に最低値となり、40%の強度では15分以後一定となったのに対し、60%では漸増傾向を示した。

これに対して、TG は図3に表したが、運動開始とともに漸減傾向をたどり、60%の強度では、運動終了直前に立ち上がりをみせた。

図4では、Free Chol. を比較した。

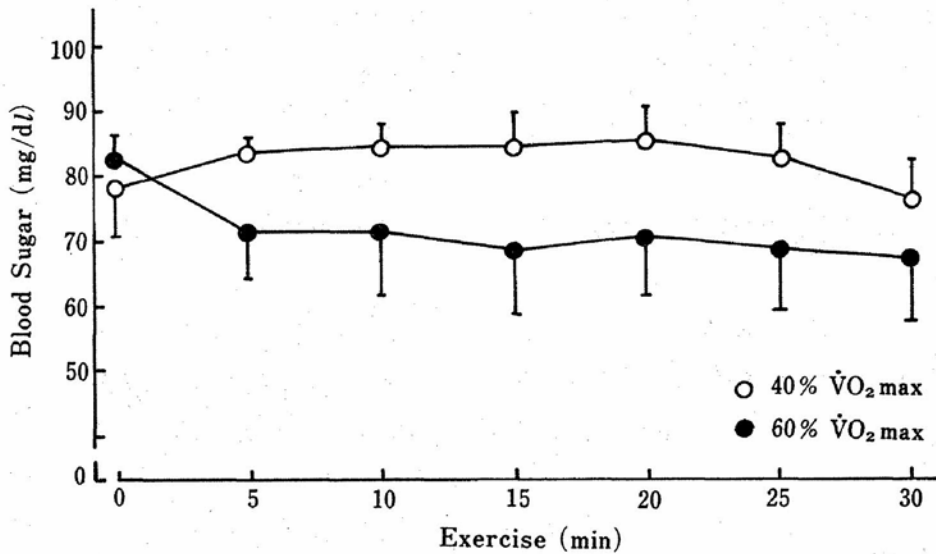


図1 Changes in blood sugar levels during exercise

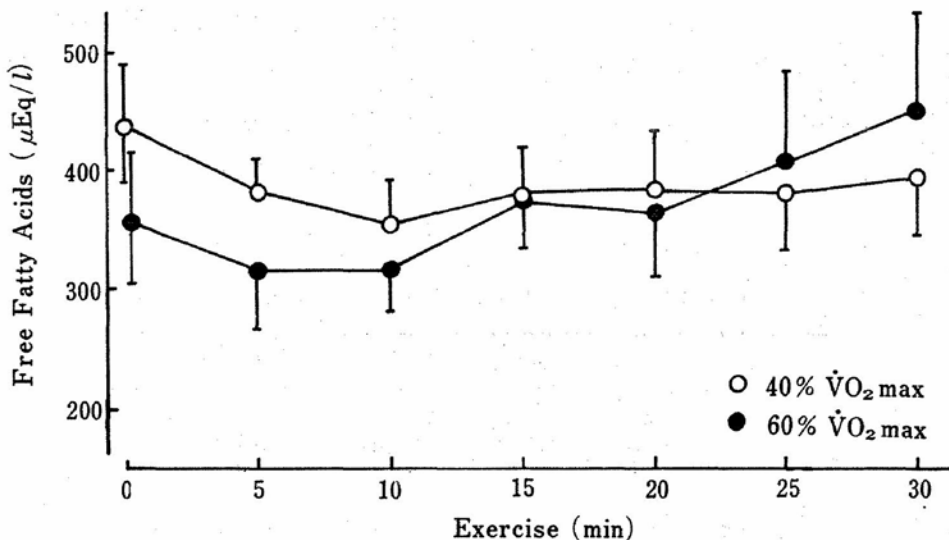


図2 Changes in serum Free Fatty Acids levels during exercise

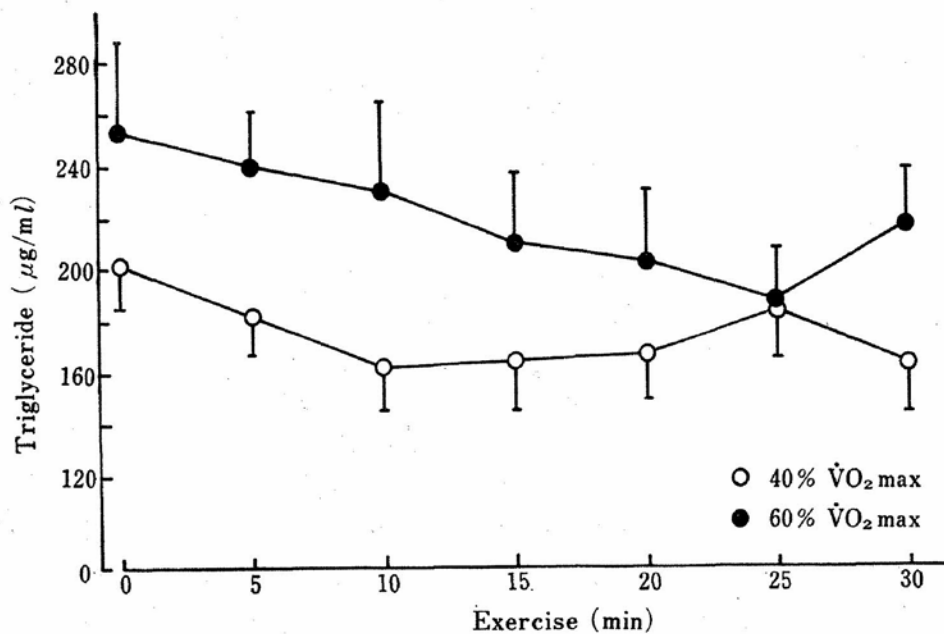


図3 Changes in serum Triglyceride levels during exercise

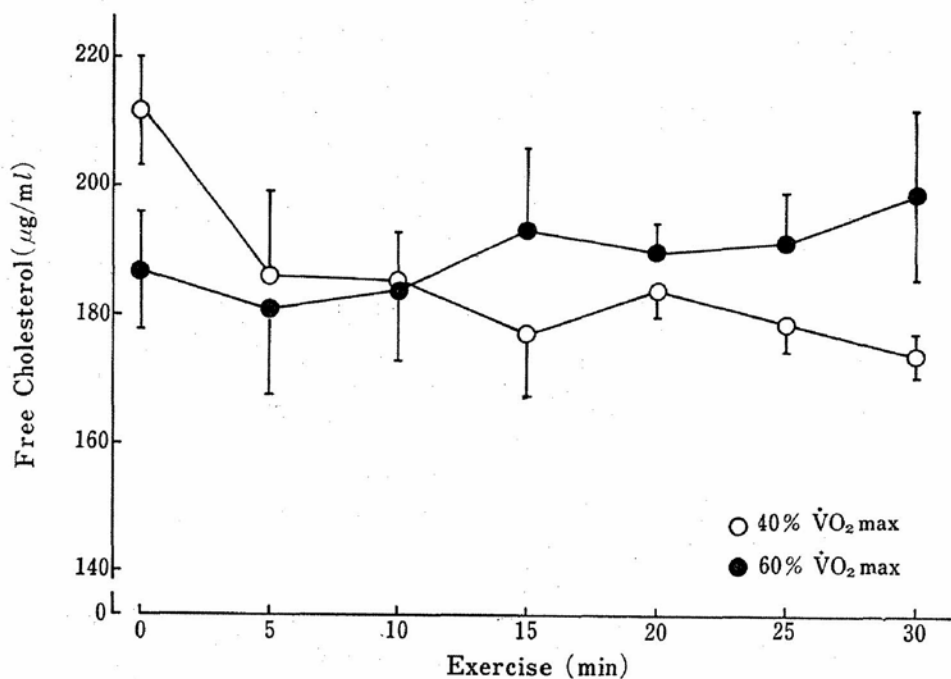


図4 Change in serum Free Cholesterol levels during exercise

いずれも、有意な変動は認められなかった。

LPLA の変動を、安静時値に対する増加率で表した。40%の強度では運動中全く変化せず、運動終了直前で約1.6倍に上昇した。60%の強度では、運動開始10分で約2倍となって極大値を示した。以後は、低いレベルを維持した。

IV. 考 察

本研究の被検者の $\dot{V}O_2$ max は、これまでの報告²⁾ よりやや少ない。最大作業テストを行う前に、十分トレッドミル走を行わせたのにもかかわらず、 $\dot{V}O_2$ max が低値を示したのは、おそらく勾配をもったトレッドミルに慣れていなかったか

らかもしれない。

40%, 60% $\dot{V}O_2 \text{ max}$ に相当する強度の運動時の血液中諸物質の変動は少ないが、両者を比較すると、60% $\dot{V}O_2 \text{ max}$ の強度の運動の時の方が40%のそれより変動がやや大きい。生体のエネルギー要求からみても、強度の高い60% $\dot{V}O_2 \text{ max}$ の運動の方が変動が大きいのは当然であろう。

図1の血糖値が、40%, 60% $\dot{V}O_2 \text{ max}$ の運動とも、運動開始5分後から全く変化しないことから、この強度の運動ならば、少なくとも糖質代謝の応答は速かで、スムーズに進行しているであろう。すなわち、全エネルギー供給量に対する糖質の依存度はそれほど大きくなく、肝臓でのGlycogenの分解、末梢組織でのGlucoseのuptakeが平衡に達し、内臓組織でのGluconeogenesis¹⁾もこれに関与していると考えられる。

脂質からのFFAは重要なエネルギー源であり、図2に示された変動は、Friedberg, S. J et al.,⁵⁾ Cobb, L.A. and W.P. Johnson⁴⁾の報告とよく一致している。

40%の運動の場合、15分以後変動していないのは、おそらく血糖値と同じ考え方が説明できる。

それに対して60%の場合、運動開始10分以後上昇傾向を示したのは、エネルギー需要の増加によって脂肪組織におけるTGの水解が促進し、FFAの遊離が促進して血中レベルが徐々に高まったからで、脂質代謝の高進を意味している。

血中のFFAは、血中TGの水解によっても増加するので¹⁹⁾、図3のTGの減少からも示唆されるように、血中TG由来のFFAもあると思われる。

血中TGの水解にあたって作用するLPLAは、血中レベルは極めてわずかであり¹⁹⁾、各臓器組織での活性と必ずしも一致していない¹⁹⁾。

図5に示した血中でのLPLAの変動が、果たしてどこに由来するのか現在不明である。

しかし、60% $\dot{V}O_2 \text{ max}$ の場合のLPLAの増加が、主として骨格筋でのそれを代表しているとすれば、図3の血中TGの減少とよく一致している。同様のことが40% $\dot{V}O_2 \text{ max}$ の場合でも、運動前半に関していえそうである。

血中TGの減少傾向はHarada et al⁶⁾、小林ら¹¹⁾も報告しており、血中FFAと同様に、このような強度の運動の場合には、血中TGもエネ

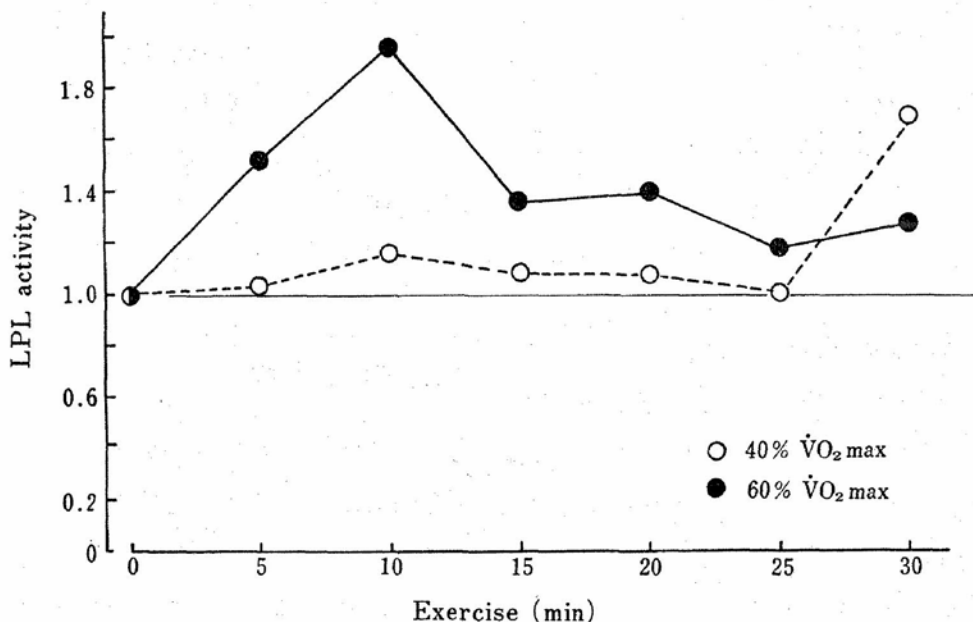


図5 Change in serum Lipo-Protein-Lipase activities during exercise

ルギー源として利用されていると考えられる。

中等度の30分間運動とはいえ、本研究のような鍛練者での成績をそのまま未鍛練者に適用してよいかといえ、必ずしもそうではない。

青木ら³⁾は、陸上長距離選手に38%, 55%の強度で走行させたが、その15分および30分時の血中諸基質と変動は本研究の成績と一致していない。

未鍛練者の軽いランニングともいえる中等度の強度の運動については、杉浦¹⁶⁾の統計観察もあり、今後の研究が必要である。

V. 摘 要

中等度の運動強度における運動時の糖・脂質代謝の特徴を把握するために、大学生男子4名によるトレッドミル走中の血液中諸物質の変動を観察した。その結果は、次のようであった。

1) 血糖値の変動はほとんど認められなかった。40%, 60%の強度の違いによる差も認められない。

2) 血中遊離脂肪酸は、運動開始後やや減少し、その後60%では漸増傾向で、40%は一定のままであった。

3) 血中トリグリセライドは両強度とも漸次減少した。

4) 血中 Lipo-protein Lipase 活性値は、40%では運動開始30分後に、60%では10分後に最大となった。

5) 血中レベルの変動は小さいが、中等度の運動では、脂質代謝の高進が認められた。

文 献

- 1) Ahlborg, G., P. Felig, L. Hagenfeldt, R. Hender, J. Wahren; Substrate turnover during prolonged exercise in man, splanchnic and leg metabolism of glucose, free fatty acids, and amino acids, *J. Clin. Invest.*, **53**: 1080~1090 (1974)
- 2) 青木純一郎, 村岡 功; 同一ランニング・スビ

- ードに対する男子の子どもと大人の呼吸循環応答の比較, *体育の科学* **31**: 271~277 (1981)
- 3) 青木純一郎, 高岡郁夫; 種々なる相対強度と運動時間の組合せによる持続走に対する鍛練者の生理・生化学的応答, 昭和49年度日本体育協会スポーツ科学研究報告 9-17 (1974)
- 4) Cobb, L.A., W.P. Johnson; Hemodynamic relationships of anaerobic metabolism and plasma free fatty acids during prolonged, strenuous exercise in trained and untrained subjects, *J. Clin. Invest.*, **42**: 800~810 (1963)
- 5) Friedberg, S.J., P.B. Sher, M.D. Bogdonoff, E.H. Estes, Jr.; The dynamics of plasma free fatty acid metabolism during exercise, *J. Lipid Res.*, **4**: 34~38 (1963)
- 6) Harada, K; Influence of moderate exercise of rat on carbohydrate and lipid metabolism. *Jpn. J. Physical Fitness and Sports Med.* **24**: 124~133 (1975)
- 7) Hermansen, L., E. Hultman, B. Saltin; Muscle glycogen during prolonged severe exercise, *Acta Physiol. Scand.*, **71**: 129~139 (1967)
- 8) 伊藤 朗, 鈴木政登, 金刺喜美子, 井川幸雄; 中高年者の60% $\dot{V}O_2$ max トレーニングの生化学的研究, *体育科学* **3**: 96~111 (1975)
- 9) Kabara, J.J., J.S. Chen; Microdetermination of lipid classes after thin-layer chromatography, *Anal. Chem.*, **48**: 814~817 (1976)
- 10) 加賀谷潤彦; 持久性トレーニングの至適強度選定に関する研究(1)—80% $\dot{V}O_2$ max 負荷トレーニング効果, *体育科学* **1**: 58~66 (1973)
- 11) 小林啓三, 原田邦彦, 小林康孝, 確井外幸, 永井 猛; 肥満予防を脂質代謝の立場から考える, *デサントスポーツ科学* **1**, 52~58 (1981)
- 12) 久城英人, 高野圭以, 福井 巖; リポタンパクリパーゼ測定法, *臨床病理*, 特 **21**, 110~123 (1975)
- 13) 内藤周幸; リポタンパクリパーゼ, *代謝* **7**: 161~168 (1970)
- 14) Nelson, N., A photometric adaptation of the Somogyi method for the determination of glucose, *J. Biol. Chem.*, **153**: 375~380 (1944)
- 15) Somogyi, M.; Determination of blood sugar, *J. Biol. Chem.*, **160**: 69~73 (1945)
- 16) 杉浦守邦; ランニング中に発生した学童の心臓死に関する統計的観察, *日衛誌* **23**: 42 (1968)