

有酸素性運動が中性脂肪の日内変動に及ぼす影響 —生活活動下における簡易測定器による評価—

早稲田大学 宮下 政 司
(共同研究者) 同 高 泉 佳 苗
同 中 村 好 男

The Effect of Aerobic Exercise on Postprandial Lipaemia: A Simple Method of Measuring Capillary Triacylglycerol Concentrations

by

Masashi Miyashita, Yoshio Nakamura
Faculty of Sport Sciences, Waseda University
Kanae Takaizumi
*Graduate School of Sport Sciences,
Waseda University*

ABSTRACT

An acute bout of physical activity lowers postprandial lipaemia, a cardiovascular disease risk marker, and this physical activity-induced lowering of postprandial lipaemia is short-lived. However, little is known regarding the role of physical activity status on postprandial lipaemia. The purpose of this study was to compare postprandial triacylglycerol concentrations in active and inactive older adults. A total of 26 older adults (aged 69.8 ± 0.9 years, mean \pm SEM; 16 females and 10 males) were recruited. Based on accelerometer data, participants were divided into either the active group (≥ 150 min/week of moderate-intensity physical activity, $n = 15$) or the inactive group (< 150 min/week of moderate-intensity physical activity, $n = 11$). After a 48-h period of physical activity avoidance and a 10-h overnight fast, participants consumed a test meal of moderate fat content (35%). Capillary blood samples were collected in

the fasted state and at 2, 4, and 6 h postprandial time points. After adjusting for body mass, body mass index and waist circumference, postprandial capillary triacylglycerol concentrations were significantly lower in the active group than in the inactive group ($P < 0.0005$). These findings demonstrate that regular physical activity has a beneficial effect on lowered postprandial lipaemic response which is independent of the acute effects of physical activity.

要 旨

一過性の身体活動は、心血管疾患の危険因子である食後中性脂肪濃度を下げ、この身体活動による食後中性脂肪濃度の上昇抑制効果は急性的である。しかし、身体活動量の違いが食後中性脂肪濃度に与える影響は明らかでない。そこで、本研究は活動的な高齢者と非活動的な高齢者の食後中性脂肪濃度を比較することを目的とした。本研究には、26名（年齢 69.8 ± 0.9 歳、平均 \pm 標準誤差；女性16名、男性10名）の高齢者が参加した。加速度計のデータに基づき、参加者は活動群（中強度以上の身体活動を週150分以上；15名）と非活動群（中強度以上の身体活動を週150分未満；11名）に分類した。参加者は48時間の身体活動の禁止、および10時間の空腹の後、試験食として中脂肪食をとった。毛細血管血を空腹時、食後2時間後、食後4時間後、食後6時間後に採取した。体重、体格指数および腹囲の調整後の食後毛細血管中性脂肪濃度は、非活動群と比較し、活動群で低値を示した（ $P < 0.0005$ ）。本研究は、急性的な身体活動による影響とは区別した習慣的な身体活動による食後中性脂肪の低減効果を明らかにした。

諸 言

食後の中性脂肪の著しい上昇および日常化は、動脈硬化を促進させ、心血管疾患の独立した危険因子の一つであり、食後の高中性脂肪は心血管

疾患の罹患率を高めると報告されている¹⁾。多くのヒトの日常生活では、一日の大部分が“食後”の状態になっていることから、食後の中性脂肪の上昇を抑制することは、将来的な心血管疾患の罹患率を軽減する上で有益なことである。

これまでの先行研究²⁻⁴⁾より、急性の有酸素性運動は食後の中性脂肪濃度の上昇を抑制させ、生活習慣病の予防という観点から有効な介入方法の一つであると報告されている。しかし、我々の研究を含め多くの先行研究では、活動的な若年健常者を対象として検討していたため、有酸素性運動における食後中性脂肪濃度上昇の抑制効果を一般に当てはめることは難しいと考えられる。また、食後の中性脂肪を評価する際、脂質負荷試験中に随時採血が必要となり、留置針がよく用いられる。よって、参加者の身体への負担は大きく、より侵襲度の低い測定法が必要と考えられる。近年、欧米諸国では、脂質異常症、糖尿病、代謝症候群の予防や治療モニタリングに指先からの微量な全血にて中性脂肪、血糖、コレステロール値等を測定できる簡易測定器が普及してきている。我々は既に、この簡易測定器を用い、身体活動指針^{5,6)}が推奨する最低限の運動量での有酸素性運動後の中年の肥満男性における食後中性脂肪の経時変化を調べ、そのような有酸素性運動は食後毛細血管中性脂肪濃度を低減させることを明らかにしている⁷⁾。

しかし、有酸素性運動による食後血中中性脂肪濃度の低減は急性的な効果であると報告があ

る⁸⁾。これまでの先行研究^{9,10)}は、運動鍛錬者を対象とし、運動トレーニングを行わないよう指示してからどの程度で運動誘発性食後中性脂肪の低減効果が消失するかという検討であり、一般者を対象とし、習慣的な身体活動量の違いが、食後中性脂肪濃度にどのような影響を与えるか否かは明らかではない。

従って、本研究は高齢者を対象に、活動的な高齢者と非活動的な高齢者の食後毛細血管中性脂肪濃度を比較することを目的とした。

1. 研究方法

1.1 参加者

参加者は、日常生活に支障がない身体機能を保持した高齢者26名であった。なお、基礎疾患、常用薬剤の服用歴（脂質・糖質代謝改善薬）のある者および減量中の者は対象としなかった。本研究は、早稲田大学「ヒトと対象とする研究倫理委員会」の承認を受け実施された。参加者には、あらかじめ研究の趣旨や目的、測定内容を十分に説明し、書面にて研究協力への同意を得た。表1に参加者の身体的特性を示した。

1.2 身体活動量の調査

身体活動量は、記録機能を持つ1軸加速度計（Lifecoder-Ex, スズケン社, 名古屋）を用いて算出した。事前に使用についての注意点を十分に説明した上で、4週間の測定期間中は毎日起床

時から就寝時までの間、入浴や水泳など装着できない場合を除き常に右腰部の上前腸骨棘辺へ装着するよう依頼した。本研究で用いた加速度計は、身体の移動に伴って生じる鉛直方向上への振動と頻度から身体活動強度を11段階（0：安静状態, 0.5：微小活動, 1-3：低強度身体活動, 4-6：中強度身体活動, 7-9：高強度身体活動）に分類し、4秒毎に記録することが可能である。本研究では、参加者による加速度計の一日の装着時間が10時間以上で少なくとも平日4日および週末1日のデータが得られた者を分析に用いた^{11,12)}。得られた測定結果は、調査終了後にコンピュータへダウンロードし、専用解析ソフトによって分析した。なお、本研究の身体活動のデータは、測定期間の4週間のデータから1週間あたりの平均値を用いた。得られた加速度計のデータに基づいて、参加者を活動群と非活動群の二群に分類した。なお、本研究では、身体活動指針^{5,6)}に習い、中強度（3メッツ）以上の身体活動が週150分以上確保されている者を活動群、中強度（3メッツ）以上の身体活動が週150分以上確保されていない者を非活動群と定義した。

1.3 脂質負荷試験

脂質負荷試験は、身体活動量の調査終了後より最低1週間の間隔を空け実施した。参加者に、10時間の絶食の後、08:20に実験室に来訪するよう指示し、10分間の座位安静後、血液を指先

表1 Physical characteristics of the participants

	Active group (n = 15)	Inactive group (n = 11)	P
Age (years)	69.3 ± 1.1	70.4 ± 1.2	0.528
Gender (male/female)	5/10	5/6	0.530
Body mass (kg)	49.6 ± 1.9	56.9 ± 2.6	0.026
Height (m)	1.55 ± 0.02	1.58 ± 0.03	0.368
BMI (kg/m ²)	20.6 ± 0.6	22.8 ± 0.6	0.014
Waist circumference (cm)	76.9 ± 2.1	85.5 ± 2.0	0.026
SBP (mm Hg)	123 ± 3	125 ± 3	0.600
DBP (mm Hg)	74 ± 1	74 ± 1	0.896
Physical activity (min/week)	229 ± 13	98 ± 8	N/A

Values are mean ± SEM. BMI, body mass index; SBP, systolic blood pressure; DBP, diastolic blood pressure; N/A, not applicable.

から採取した。その後、参加者に試験食を摂取させ、食後は実験室内にて14:30まで読書およびテレビ鑑賞のみ可とし、安静を保つよう求めた。また、その間血液を中性脂肪および血糖測定のために、食後2時間後、4時間後、6時間後に採取した。なお、急性的な身体活動による血液指標への影響を考慮し、参加者には、脂質負荷試験日の2日前より日常生活に関わる活動以外の身体活動を行わないよう求めた。また、脂質負荷試験日の前日、活動群と非活動群のエネルギー摂取量を調査するために、秤量法により一日の食事を記録するよう依頼した。

1.4 試験食

試験食には、市販の食パン、スライスチーズ、バター、マヨネーズ、レタス、トマト、牛乳およびココアパウダーを用いた。試験食の摂取量は体重あたりとし、脂質0.34 g/kg、炭水化物1.11 g/kg、蛋白質0.29 g/kg、総カロリー9 kcal/kgとした。二群全体の参加者が摂取した脂質、炭水化物、蛋白質および総カロリーは、 31.4 ± 1.1 g、 102.6 ± 3.7 g、 26.8 ± 1.0 g、 474 ± 15 kcal（脂質35%、炭水化物52%、蛋白質13%）であった。参加者には20分以内で試験食を摂取するよう指示した。各群において、参加者より試験食による身体への副作用があったという報告はなかった。脂質負荷試験中は、水のみ自由摂取とし（試験食以外として）、その摂取量を記録した。

1.5 血液測定

穿刺器具で指先を穿刺し、毛細血管血（全血）をヘパリンリチウム入りのチューブに30 μ L採取した。採取した検体はそれぞれの試験紙（中性脂肪、血糖用）にピペットを用い滴下した。検体を滴下した試験紙は、直ちに卓上型の検査装置（Reflotron Plus, Roche Diagnostics, Mannheim）にて測定した。なお、測定マニュアルに従い、各

試行前に検査装置のシステム機能（反射率）を検査した。さらに、正常域と異常域の2種類のヒト血清由来の凍結乾燥した血清を用い、精度管理を行った。測定内変動係数はそれぞれ、中性脂肪2.4%、血糖1.4%であった。測定間変動係数はそれぞれ、中性脂肪0.4%、血糖3.6%であった。

1.6 統計処理

すべての統計処理には、PASW（SPSS Version 18.0, SPSS Japan Inc.）を用い、統計学的有意水準は5%に設定し、得られたデータはすべて平均値 \pm 標準誤差で示した。二群間における各測定指標の平均値の差の検定には、対応のないスチューデントのt検定を用いた。ただし、二群間の性別の分布割合については、 χ^2 二乗検定を用いた。身体活動量の違いと脂質負荷試験における食事前後の血液項目の変化については、空腹時（0h）測定前での体重、体格指数および腹囲（二群間に差があったため）を交絡因子として調整した分散分析を用いて解析を行った。脂質負荷試験中の血中濃度の曲線下面積は台形法にて算出した。また、身体活動量と食後中性脂肪濃度の曲線下面積との関係を検討するために、単回帰分析を行った。

2. 結果

2.1 食事調査におけるデータ

脂質負荷試験日の前日の活動群と非活動群の総エネルギー摂取量（ 1810 ± 92 kcal/日、 1871 ± 78 kcal/日）、脂質摂取量（ 54.0 ± 3.1 g/日、 49.4 ± 4.3 g/日）、糖質摂取量（ 244.4 ± 17.4 g/日、 277.7 ± 13.4 g/日）、蛋白質摂取量（ 82.8 ± 4.8 g/日、 76.9 ± 4.3 g/日）にはそれぞれ有意な差は認められなかった。

2.2 絶食時における血中中性脂肪・血糖濃度

活動群と非活動群の絶食時における毛細血管中性脂肪濃度 (活動群 80.2 ± 5.4 mg/dL; 非活動群 106.4 ± 18.2 mg/dL), および毛細血管血糖濃度 (活動群 96.2 ± 3.2 mg/dL; 非活動群 95.9 ± 4.5 mg/dL) には有意な差は認められなかった。

2.3 食後における血中中性脂肪・血糖濃度

活動群と非活動群の絶食時および食後の毛細血管中性脂肪濃度を図1に示した。活動群において、非活動群と比較し、毛細血管中性脂肪濃度が低値を示した ($P < 0.0005$) (図1)。活動群における食後毛細血管中性脂肪濃度の総曲線下面積は、非活動群と比較し、38% 低値を示した (活動群 548.3 ± 52.1 mg/dL \cdot 6h, 非活動群 882.6 ± 173.7 mg/dL \cdot 6h, $P = 0.047$)。二群間における毛細血管血糖濃度には有意な差は認められなかった。また、脂質負荷試験中の活動群と非活動群の水分摂取量には有意な差は認められなかった。(活動群 544 ± 45 mL; 非活動群 519 ± 63 mL)

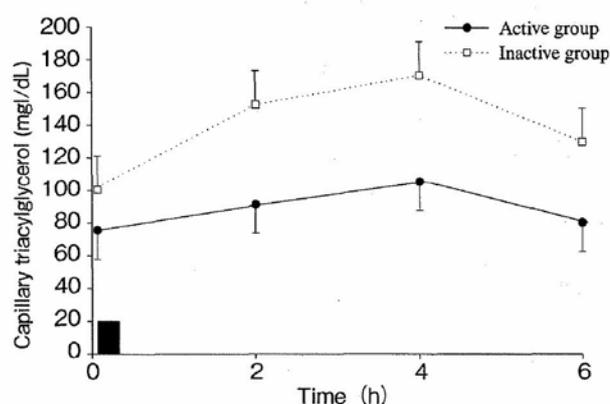


図1 Mean (\pm SEM) fasting and postprandial capillary triacylglycerol concentrations in the active ($n = 15$) and inactive ($n = 11$) groups; a black rectangle indicates consumption of the test meal.

2.4 身体活動量と食後中性脂肪濃度との関連

単回帰分析の結果、身体活動量と食後中性脂肪濃度の曲線下面積との間に有意な相関関係が認

められた ($r = -0.376$, $P = 0.047$)。さらに、目的変数に食後中性脂肪濃度の曲線下面積、説明変数に単回帰分析で関連が認められた項目 (身体活動量, 空腹時毛細血管中性脂肪濃度, 体重, 体格指数, 腹囲) を用いて、ステップワイズ法による重回帰分析を行った結果、食後中性脂肪濃度の曲線下面積は、空腹時中性脂肪濃度 ($\beta = 0.659$, $P < 0.0005$) と体重 ($\beta = 0.385$, $P < 0.0005$) によって84%が説明された。

3. 考 察

本研究では、活動的な高齢者と非活動的な高齢者の食後毛細血管中性脂肪濃度について、簡易測定器を用いて比較検討を行った。その結果、食後毛細血管中性脂肪濃度は、非活動群と比較し、活動群で低値を示した。これらの結果より、健康づくりは長期に亘るものであり、身体活動の習慣化が食後高中性脂肪血症の予防や改善に重要であるということが推察される。

若年および中年の運動鍛錬者において、運動による食後血漿中性脂肪濃度の低減は急性的な効果であり、1週間運動を行わないように指示して脂質負荷試験を行うと、運動による食後血漿中性脂肪濃度の低減効果は消失すると報告している⁹⁾。同様に、若年の運動(ランニング)鍛錬者が、運動終了後15時間後、60時間後および9日後に脂質負荷試験を行ったところ、運動終了後15時間後に行った脂質負荷試験と比較し、60時間後および9日後の脂質負荷試験では、食後血漿中性脂肪濃度が有意に高値を示したと報告している¹⁰⁾。これらの結果から、運動鍛錬者における運動誘発性食後中性脂肪の抑制効果は、急性的であり、毎日の運動実践の必要性を強調している。本研究では、すべての参加者に脂質負荷試験前の48時間、身体活動を控えるよう求めて脂質負荷試験を実施したため、急性的な身体活動による影響とは区別した習慣的な身体活動

による食後中性脂肪の低減効果を明らかにした。

本研究の研究デザインと異なるが、運動トレーニング研究の中の運動トレーニング前の脂質負荷試験の結果を用いて、若年の運動鍛錬者と非鍛錬者との食後血漿中性脂肪濃度には有意な差はなかったと、報告している¹⁰⁾。また、中年者を対象にした食後血清中性脂肪濃度の上昇抑制効果を検討した研究においても、同様に鍛錬者と非鍛錬者との間には有意な差はなかったと報告している¹³⁾。本研究では、高齢者を対象に、身体活動指針^{5,6)}が推奨する最低限の運動量を充足している高齢者は、充足していない高齢者に比べ、食後毛細血管中性脂肪濃度が低値を示した。先行研究の結果と合致していない理由は明らかではないが、先行研究では、“若年から中年”の“運動鍛錬者”を対象としており、本研究における対象者と特徴が大きく異なる点が考えられる。反対に、中年者を対象とした先行研究では食後の血中中性脂肪濃度は健常者に比べ肥満者では高中性脂肪濃度の状態が持続し、一日をとおし高値を示すと報告している^{14,15)}。実際に、本研究での活動群と非活動群との体重や腹囲の違い(臨床的な診断基準としてではないが)から考えれば、先行研究の結果と合致している。従って、食後高中性脂肪血症および動脈硬化症の予防や改善の観点で、有疾患を含む広範囲の者にとり、習慣的な身体活動の実践は重要だと考えられる。

多くの先行研究では、試験食として推奨する脂質量以上の脂質量(食事の60~93%が脂質由来;総説を参照¹⁶⁾)を用いて検討していたため、一回の食事で過剰な脂質量を摂取した後の血中中性脂肪の変動を一般に当てはめることは難しいと考えられる。本研究では、脂質負荷試験に脂質の割合が35%含む食事を用いて検討した。そもそも、必要以上に脂質を多く含む食事を用い負荷をかけなくとも、血中の脂質濃度は上昇

するため¹⁷⁾、今後さらに一般的な食事内容での検討が期待される。特に、食事内容を日本人が摂取する一般的なもの(例、お米や麺類)にするよう改善し、食事の回数を増やして検討を行う必要があると考えられる。また、本研究での身体活動の評価は日常生活下であったが、血液測定については、実験室内で条件を揃えると言った統制された評価であった。従って、実際の日常生活下において、自己測定器を用い中性脂肪や血糖を測定し評価することが、応用研究としてのさらなる発展に繋がると考えられる。しかしながら、我が国では、中性脂肪を小型の自己測定器にて測定する器具は販売されていないため、今後そのような器具が利用可能となることを期待したい。

4. まとめ

本研究は、身体活動指針^{5,6)}が推奨する最低限の運動量を充足している高齢者は、充足していない高齢者に比べ、食後毛細血管中性脂肪濃度が低値を示すことを明らかにした。これまで身体活動による食後血中中性脂肪濃度の低減効果は急性的であると報告されてきたが、本研究の結果より、慢性的な身体活動も同様に食後高中性脂肪血症の予防や改善に対し重要であるということを示した。

謝 辞

本研究に対し、多大な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財団に深く感謝申し上げます。

文 献

- 1) Nordestgaard B.G., Benn M., Schnohr P., Tybjaerg-Hansen A., Nonfasting triglycerides and risk of myocardial infarction, ischemic heart disease, and death in men and women., *JAMA.*, 298, 299-308

- (2007)
- 2) Katsanos C.S., Prescribing aerobic exercise for regulation of postprandial lipid metabolism: Current research and recommendations. *Sports Med.*, **36**, 547-560 (2006)
 - 3) Miyashita M, Tokuyama K., Moderate exercise reduces serum triacylglycerol concentrations but does not affect pre-heparin lipoprotein lipase concentrations after a moderate-fat meal in young men. *Br. J. Nutr.*, **99**, 1076-1082 (2008)
 - 4) Miyashita M., Burns S.F., Stensel D.J., Accumulating short bouts of brisk walking reduces postprandial plasma triacylglycerol concentrations and resting blood pressure in healthy young men. *Am. J. Clin. Nutr.*, **88**, 1225-1231 (2008)
 - 5) Haskell W.L., Lee I.M., Pate R.P., Powell K.E., Blair S.N., Franklin B.A., et al., Physical activity and public health: Updated recommendation for adults from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association., *Med. Sci. Sports Exerc.*, **39**, 1423-1434 (2007)
 - 6) Department of Health. *Physical Activity, Health Improvement and Prevention. At least five a week.* Department of Health, U.K.: London (2004)
 - 7) Miyashita M., Sasai H., Tanaka K., Postprandial capillary triacylglycerol responses in centrally obese middle-aged men to moderate exercise. *J. Sports Sci.*, **28**, 1269-1275 (2010)
 - 8) Zhang J.Q., Ji L.L., Nunez G., Feathers S., Hart C.L., Yao W.X., Effect of exercise timing on postprandial lipemia in hypertriglyceridemic men., *Can. J. Appl. Physiol.*, **29**, 591-603 (2004)
 - 9) Hardman A.E., Lawrence J.E.M., Herd S.L., Postprandial lipemia in endurance-trained people during a short interruption to training. *J. Appl. Physiol.*, **84**, 1895-1901 (1998)
 - 10) Herd S.L., Hardman A.E., Boobis L.H., Cairns C.J., The effects of 13 weeks of running training by 9 d of detraining on postprandial lipaemia. *Br. J. Nutr.*, **80**, 57-66 (1998)
 - 11) Matthews C.E., Chen K.Y., Freedson P.S., Buchowski M.S., Beech B.M., Pate R.R., Troiano R.P., Amount of time spent in sedentary behaviors in the United States, 2003-2004. *Am. J. Epidemiol.*, **167**, 875-881 (2008)
 - 12) Chen C., Jerome G.J., Laferriere D., Young D.R., Vollmer W.M., Procedures used to standardize data collected by RT3 triaxial accelerometers in a large-scale weight-loss trial. *J. Phys. Act. Health.*, **6**, 354-359 (2009)
 - 13) Tsetsonis N.V., Hardman A.E., Mastana S.S., Acute effects of exercise on postprandial lipemia: a comparative study in trained and untrained middle-aged women. *Am. J. Clin. Nutr.*, **65**, 525-533 (1997)
 - 14) Halkes C.J.M., Cabezas M.C., Wijk J.P.H., Erkelens D.W., Gender differences in diurnal triglyceridemia in lean and overweight subjects. *Int. J. Obes.*, **25**, 1767-1774 (2001)
 - 15) Gill J.M.R., Al-Marnar, A., Ferrell W.R., Cleland S.J., Packard C.J., Sattar N., et al., Effects of prior moderate exercise on postprandial metabolism and vascular function in lean and centrally obese men. *J. Am. Coll. Cardiol.*, **44**, 2375-2382 (2004)
 - 16) Gill J.M.R., Hardman A.E., Exercise and postprandial lipid metabolism: an update on potential mechanisms and interactions with high-carbohydrate diets (Review). *J. Nutr. Biochem.*, **14**, 122-132 (2003)
 - 17) Dubois C., Beaumier G., Juhel C., Armand M., Portugal H., Borel P., et al., Effects of graded amounts (0-50 g) of dietary fat on postprandial lipemia and lipoproteins in normolipidemic adults. *Am. J. Clin. Nutr.*, **67**, 31-38 (1998)