

有酸素性運動に伴う食後中性脂肪濃度の経時変化：簡易測定器による評価

宮下政司¹、笹井浩行^{2,3}、田中喜代次²

¹ 早稲田大学スポーツ科学学術院

² 筑波大学大学院人間総合科学研究科

³ 日本学術振興会

Summary

Background: Perturbations in triacylglycerol concentrations following meals are more likely to be exaggerated in obese individuals compared with their healthy lean peers. Prolonged (≥ 90 min) aerobic exercise has been shown to lower postprandial triacylglycerol concentrations after a meal(s) of high-fat content in obese individuals.

Objective: To investigate whether 30 min of moderate-intensity cycling (exercise volume corresponds to the minimum recommendation dose) attenuates postprandial capillary triacylglycerol concentrations after a meal of moderate-fat content in obese men. **Methods:** Ten obese middle-aged men (age: 46 ± 2 years, BMI: 31.6 ± 1.0 kg/m², mean \pm SEM) with waist circumference between 100 and 120 cm completed two, 2-day trials (exercise and control) at least one week apart in a randomised, repeated measures design. On day 1, participants either cycled for 30 min at 60% of maximal heart rate in the afternoon or rested (no exercise). On day 2 of both trials, after an overnight fast, participants consumed a test meal of moderate-fat content (35%) for breakfast. Capillary blood samples were collected in the fasted state (0 h), and at 2, 4, and 6 h postprandially on day 2. **Results:** The total area under the capillary triacylglycerol *versus* time curve was significantly lower (Student's *t*-test, $P = 0.023$) on the exercise trial compared with the control trial (13.93 ± 1.32 , 15.30 ± 1.36 mmol/L·6h, respectively). Postprandial capillary total cholesterol and glucose concentrations did not differ between trials. **Conclusion:** One, 30-min session of moderate-intensity cycling is effective in lowering postprandial capillary triacylglycerol concentrations in centrally obese middle-aged men. These findings may have important implications for the prescription of exercise as a means to reduce the risk of cardiovascular disease if such exercise is performed for an extended period of time.

1. 緒言

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^{1,2)}。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、心血管疾患のリスクを軽減する上で重要である。

有酸素性運動は食後の中性脂肪濃度の上昇を抑制させ³⁾、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、多くの先行研究³⁾において、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。さらに、試験食として高脂肪食(食事の 60~93%が脂質由来)を用い、脂質負荷試験を行

っていたため、1回の食事で脂質を過剰に摂取した後の中性脂肪の変化を一般に当てはめることは難しいと考えられる。

食後の中性脂肪を評価する際、脂質負荷試験中に隨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、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、コレステロール値を測定できる簡易測定器が普及してきている。測定の精度は、測定間の変動係数が低く、静脈血との相関も高いと報告されている^{4,5)}。しかし、簡易測定器を用い、身体活動指針^{6,7)}に沿った一過性の有酸素性運動が、肥満者における食後の中性脂肪上昇の抑制に効果があるか否かは明らかではない。

従って、本研究は中年の肥満男性を対象に、身体活動指針に沿った一過性の自転車漕ぎ運動が食後毛細血管中性脂肪濃度に及ぼす影響について、簡易測定器を用い検討することを目的とした。本研究における運動時間（30分）および運動強度（最高心拍数の約60%の強度）は、著者の先行研究⁸⁾において、上記の運動量（運動時間×運動強度）は若年の肥満男性において食後血清中性脂肪濃度の上昇を抑制すると認めらることに基づき、選定した。

2. 方法

2.1 参加者

参加者は、肥満男性10名であった。本研究では日本肥満学会の定義に従って、体格指数（BMI）25 kg/m²以上を肥満とみなした⁹⁾。基礎疾患、喫煙者、サプリメント（最近6ヶ月以内）、常用薬剤の服用歴のある者および減量中の者は対象としなかった。なお、本研究を実施するにあたり筑波大学大学院人間総合科学研究科研究倫理委員会の承認を得た。また、同委員会の規定に従って、参加者にはあらかじめ研究の趣旨および研究遂行に伴う危険性について文書および口頭で説明し、研究内容を十分に理解させた上で、実験参加への同意を得た。参加者の年齢、身長、体重、BMI、腹囲、収縮期血圧、拡張期血圧、最大酸素摂取量（推定）の平均と標準誤差は、それぞれ 46.2 ± 2.2 歳、 171.0 ± 2.5 cm、 92.5 ± 3.3 kg、 31.6 ± 1.0 kg/m²、 104.6 ± 2.2 cm、 136 ± 4 mm Hg、 90 ± 4 mm Hg、 30.0 ± 2.0 mL/kg/min であった。

2.2 運動負荷試験

各参加者の最大心拍数（220 - 年齢）の60%に相当する負荷量を規定するために、本実験の1週間前に16分間の運動負荷試験を行った。運動負荷試験は自転車エルゴメーター（Ergomedic 874E、Monark社製）を使用し、4ステージの漸増負荷法を用いた。1ステージの時間は4分とした。1ステージ目の負荷量は参加者の日常の活動量（事前の聞き取り調査による）により25-30ワットとし、その後、ステージごとに25-30ワットずつ負荷量を増やした。ペダルの回転数は毎分60回転とした。運動中の心拍数は心拍モニター（Polar RS400、Polar社製）、主観的運動強度はBorgスケール¹⁰⁾を用い、それぞれ記録した。各ステージでの心拍数と負荷量の回帰直線から各参加者の最大心拍数の60%の負荷を算出し、この負荷量を本実験での運動時に用いた。

2.3 実験デザイン

運動負荷試験後、各参加者は一試行が連続した2日工程の実験に2回参加した（運動試行、安静試行）（図1）。一試行が連続した2日工程を用いた理由は、骨格筋のリポ蛋白リパーゼの活性が、運動後8時間以上で最大となり、この酵素が中性脂肪分解を促進するため¹¹⁾であった。各試行は少なくとも7日間の間隔を空け、試行順は無作為とした。

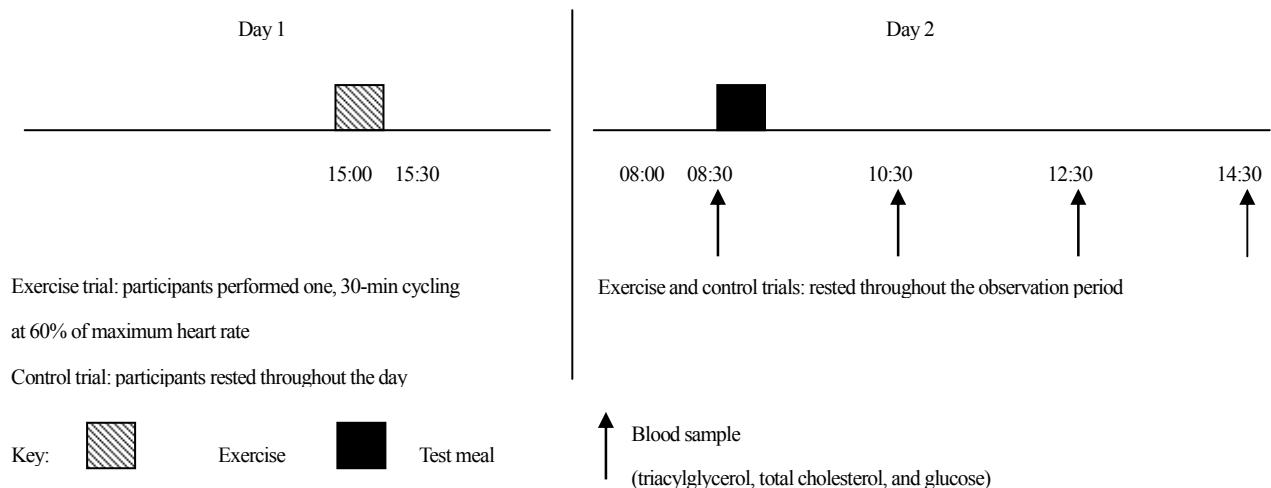


図1 Schematic representation of the study protocol.

2.3.1 本実験：一日目

運動試行では、参加者に自宅で昼食を済ませ、14:30に実験室に来訪するよう指示した。30分の座位安静後、15:00から15:30まで、30分連続の自転車漕ぎ運動を行った。自転車漕ぎ運動中の運動強度は、事前の運動負荷試験より求めた最大心拍数の60%の強度を用いた。自転車漕ぎ運動中、心拍数を4-5、9-10、14-15、19-20、24-25、29-30分の間15秒間隔で心拍モニターにより記録した。また、心拍数は参加者の主観的運動強度に影響する可能性があり、参加者が心拍モニターを目視できないようにした。主観的運動強度はBorgスケール¹⁰⁾を用い心拍の測定中に記録した。ペダルの回転数は毎分60回転とした。推定のエネルギー消費量は参加者の体重、心拍数および自転車漕ぎ運動中の負荷量より算出した¹²⁾。安静試行では、参加者に一日運動を行わないよう求め安静を保つよう指示した。

2.3.2 本実験：二日目

各試行において、参加者に、10時間の絶食の後、08:00に実験室に来訪するよう指示し、30分間の座位安静後、血液を指先から採取した。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まで読書および映画鑑賞のみ可とし、安静を保たせた。また、その間血液を中性脂肪、総コレステロール、グルコース測定のために、食後2時間、4時間、6時間に採取した。

2.4 食事・運動の計画

1回目の試行において実験日一日目とその前日の朝、昼、夜および間食を含む摂取したものすべてを記録用紙に記録するよう求めた。また、この間および実験日二日目の実験終了までアルコール摂取は禁止するよう指示した。暴飲・暴食は避けるよう、食事は普段と同じ内容となるよう指示した。そして、これらと全く同様および同量の食事を2回目の試行でも摂取するよう依頼した。摂取した食事および飲料の栄養計算は管理栄養士が行った。本実験で行う運動以外は、各試行とも実験一日目の前日より実験二日目の実験終了まで運動を行わないよう求めた。また参加者に各試行実験一日目の前日および実験一日目に本実験で行う運動と睡眠以外の間で、加速度計（IHJA-350IT、オムロン社）を装着するよう指示した。

2.5 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 36 kJ (= 9 kcal) /kg とした。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、 3.48 ± 0.12 MJ (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、摂取時間を記録し 2 回目の試行時に同じ時間で摂取するようにした。試験食の摂取時間は 12.2 ± 0.8 分であった。各試行において、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。本実験二日目において、1回目の試行時に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、2回目の試行で同じ量を摂取させた。

2.6 血液検査

穿刺器具で指先を穿刺し、毛細血管血（全血）をヘパリシリチウム入りのチューブに $30 \mu\text{L}$ 採取した。採取した検体はそれぞれの試験紙（中性脂肪、総コレステロール、グルコース用）にピペットを用い滴下した。検体を滴下した試験紙は、直ちに検査装置（Reflotron Plus, Roche Diagnostics 社）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%、総コレステロール 1.2%、グルコース 0.6% であった。測定間変動係数はそれぞれ、中性脂肪 3.3%、総コレステロール 2.7%、グルコース 1.8% であった。

2.7 算出方法・統計処理

すべての統計処理には PASW (SPSS Version 18.0, SPSS Japan Inc.) を用いた。すべての測定項目において、統計処理の前に Shapiro-Wilk テストを行い、正規性の検定を行った。すべての測定項目においてデータの正規性が認められたため、そのまま測定値を用い統計処理を行った。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、測定条件（試行）と時間を要因とした測定項目の変化については、反復測定の二元配置の分散分析によって、その有意性を検定した。二元配置の分散分析で交互作用の有意性が認められた際は、Bonferroni の方法にて多重比較を行った。統計学的有意水準を危険率 5%未満に設定し、得られたデータはすべて平均値 \pm 標準誤差で示した。

3. 結果

3.1 運動中におけるデータ

推定のエネルギー消費量および負荷量(ワット)は、それぞれ 0.87 ± 0.01 MJ (208 ± 12 kcal)、 68 ± 7 ワットであった。運動中の平均心拍数は、 109 ± 2 拍/min であった。これは、最高心拍数の $62 \pm 1\%$ に相当する強度であった。また、運動中の主観的運動強度は、平均 13 であった。

3.2 食事・歩数におけるデータ

食事摂取におけるエネルギー量の本実験一日目の前日と一日目は、それぞれ 9.6 ± 0.7 MJ (30 ± 2 % 脂質、 $53 \pm 3\%$ 炭水化物、 $17 \pm 1\%$ 蛋白質)、 9.5 ± 0.5 MJ (29 ± 2 % 脂質、 $55 \pm 3\%$ 炭水化物、 $16 \pm 2\%$ 蛋白質) であった。参加者の各試行の本実験一日目前日と一日目の歩数にはそれぞれ有意差は認められなかった。本実験一日目の前日の運動試行および安静試行の歩数はそれぞれ、 5963 ± 855 歩、 6861 ± 888 歩であった。本実験一日目の運動試行および安静試行の歩数はそれぞれ、 5237 ± 497 歩、 6010 ± 895 歩であった。

3.3 絶食時における血中濃度

各試行の実験二日目における絶食時の毛細血管血濃度を表 1 に示した。各試行の絶食時における中性脂肪、総コレステロールおよびグルコース濃度には有意な差は認められなかった。

表 1 Fasting capillary concentrations of triacylglycerol (TAG), total cholesterol and glucose for the exercise and control trials.

| Trial | TAG (mmol/L) | Total Cholesterol (mmol/L) | Glucose (mmol/L) |
|----------|-----------------|-------------------------------|---------------------|
| Exercise | 1.67 ± 0.17 | 5.02 ± 0.30 | 5.95 ± 0.10 |
| Control | 1.66 ± 0.16 | 4.96 ± 0.29 | 6.08 ± 0.18 |

n = 10, values are mean ± SEM. Means were compared using Student's *t*-tests for correlated data.

3.4 食後における血中濃度

各試行の実験二日目における絶食時および食後の毛細血管中性脂肪濃度を図 2 に示した。運動試行において、安静試行と比較し、1 日を通じ毛細血管中性脂肪濃度が低値を示した(図 2)。二元配置の分散分析の結果、試行間 ($P = 0.020$)、時間 ($P < 0.0005$) および交互作用 ($P = 0.001$) に有意性が認め

られた。交互作用が認められたため多重比較を行ったところ、運動試行において、安静試行と比較し、毛細血管中性脂肪濃度が食後4時間と6時間で有意に低値を示した（図2）。運動試行における食後毛細血管中性脂肪濃度の総曲線下面積は、安静試行と比較し、9%低値を示した（運動試行 13.93 ± 1.32 mmol/L \cdot 6h、安静試行 15.30 ± 1.36 mmol/L \cdot 6h, $P = 0.023$ ）。

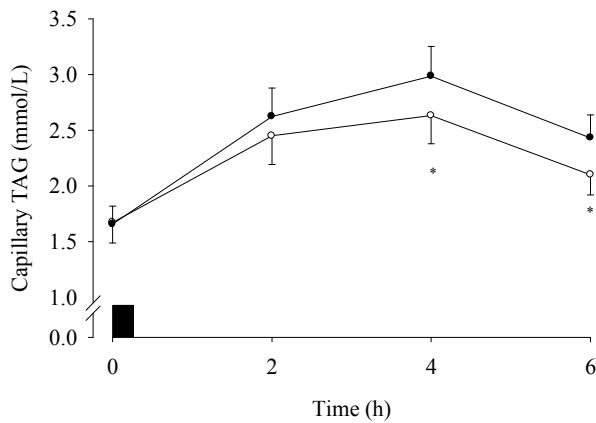


図2 Mean (\pm SEM) fasting and postprandial capillary triacylglycerol (TAG) concentrations during the exercise (○) and control (●) trials ($n = 10$); a black rectangle indicates consumption of the test meal. *Significantly different from the control trial after Bonferroni adjustment, $P \leq 0.012$.

各試行の実験二日目における絶食時および食後の毛細血管総コレステロールとグルコース濃度を図3に示した。各試行間において、毛細血管総コレステロールおよびグルコース濃度に有意な差は認められなかつたが、安静試行と比較し、毛細血管グルコース濃度が運動試行において低値を示す傾向があった ($P = 0.103$)。

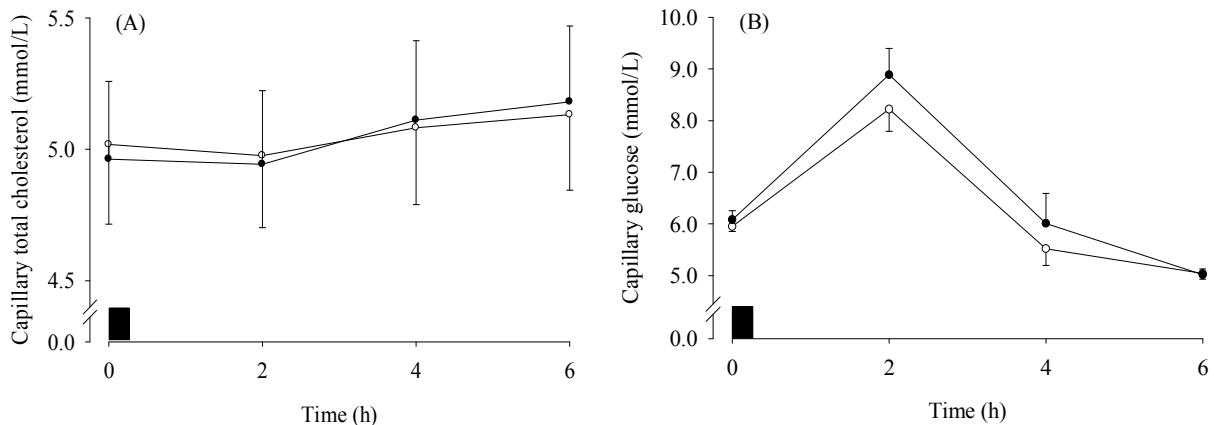


図3 Mean (\pm SEM) fasting and postprandial capillary total cholesterol (A) and glucose (B) concentrations during the exercise (○) and control (●) trials ($n=10$); a black rectangle indicates consumption of the test meal.

4. 考察

本研究の主な知見として、中年の肥満男性において、30分間の中強度の自転車漕ぎ運動は、翌日の脂質負荷試験中の毛細血管中性脂肪濃度の上昇を抑制させることを明らかにした。これらの結果より、身体活動指針^{6,7)}が推奨する最低限の運動量（総エネルギー量 0.84 MJ/日の 30 分間の中強度運動）においても、食後毛細血管中性脂肪濃度を低減させることができた。食後の中性脂肪濃度は健常者に比べ肥満者では高中性脂肪の状態が持続することから考えると^{13,14)}、本研究における一過性の運動における効果は肥満者のための運動実践として重要だと考えられる。

本研究の結果は、先行研究における肥満者^{8,13-17)}、高中性脂肪血症患者^{18,19)}、糖尿病患者²⁰⁾、メタボリックシンドロームの構成因子を有する者^{21,22)}を対象とした、一過性の運動後の食後中性脂肪の抑制効果と合致している。さらに本研究は、身体活動指針^{6,7)}が推奨する最低限の運動量を用い、“中年”肥満者を対象とした最初の研究であり、運動誘発性食後中性脂肪の低減効果に対し、先行研究をさらに支持する結果であった。我々は、食後中性脂肪の抑制の程度は運動における総エネルギー量に依存すること²³⁾、また肥満者に対する運動療法として運動量をできるだけ増やすこと²⁴⁾を認識しているが、今回用いた最低限の運動量での効果は、日常生活において活動的でない者にとり魅力的であるとも推察できる。ただし、本研究における運動による食後中性脂肪の上昇抑制の効果として、最終的な罹患率を調べているわけではなくリスクマーカーを測定しているので、本研究の結果が臨床的にどの程度意義があるかは明確ではない。しかしながら、食後の高中性脂肪は心血管疾患の独立した危険因子であることから^{1,2)}、本研究で確認された急性的な運動誘発性食後中性脂肪の抑制効果が、運動を定期的に行い習慣となれば、健康の保持・増進に有益であると考えられる。

我々の知る限りでは、運動が食後毛細血管中性脂肪濃度に及ぼす影響を検討した研究が 1 例ある²⁵⁾。我々の研究結果は Pfeiffe ら²⁵⁾の研究結果と合致していない。Pfeiffe ら²⁵⁾は、総エネルギー量 0.42 MJ (100 kcal)、0.63 MJ (150 kcal)、0.84 MJ (200 kcal) の自転車漕ぎ運動後の脂質負荷試験中の毛細血管中性脂肪濃度の経時的变化を検討した。参加者は健康的な若年男性で以下 4 つの試行にそれぞれ参加した。1) 安静試行、2) 30 分の低強度自転車漕ぎ運動(最大酸素摂取量の 26%の強度)、3) 30 分の中強度自転車漕

ぎ運動(最大酸素摂取量の 37%の強度)、4)30 分の中強度自転車漕ぎ運動(最大酸素摂取量の 48%の強度)。Pfeiffe ら²⁵⁾の研究では、すべての運動試行において運動誘発性食後中性脂肪の抑制効果が認められなかった。おそらく、Pfeiffe ら²⁵⁾の研究結果と本研究結果の相違点として、血液の採取時間が挙げられる。Pfeiffe ら²⁵⁾は、脂質負荷試験の 30 分前に運動をしており、本研究では、脂質負荷試験の 17 時間前に運動を行っている。つまり、本研究での血液の採取時間は、骨格筋のリポ蛋白リパーゼの活性がより高まった状態であり、中性脂肪分解を促進したと考えられる¹¹⁾。

本研究での運動における食後中性脂肪の抑制効果の程度は、若年肥満男性を対象として同様の研究デザインで検討した先行研究⁸⁾と比較し、小さいことが確認された。安静試行と比較し、中性脂肪濃度の総曲線下面積は、先行研究⁸⁾では 15%減、本研究では、9%減であった。なぜこのような結果が生じたのかは明らかではないが、先行研究⁸⁾と比較し、本研究ではグルコース濃度が食後に高値を示しかつ持続していたため、インスリンにおける骨格筋リポ蛋白リパーゼの抑制に関与していたと推察することができる(インスリンは骨格筋での中性脂肪の分解を抑制する作用を有する²⁶⁾)。また、先行研究の参加者の特性と比較し、グルコース代謝の異常を伴う腹部肥満者である本研究の参加者は、食後の遊離脂肪酸が門脈を介し肝臓に多く入り、結果的に食後の高中性脂肪を招いている²⁷⁾とも推測できる。しかし、今回の測定器からではインスリンや遊離脂肪酸は測定できないためデータは保持しておらず、これから推測を直接的に支持することはできない。運動療法としての観点から、本研究における有酸素性運動は、動脈硬化性疾患の予防に有効であると示唆することができる。しかし、中年の腹部肥満者に対する運動療法として、運動によるエネルギー消費量の増大(適度な強度で長い時間)が食後の中性脂肪濃度上昇の抑制効果を引き出すために必要であろう。

本研究では、脂質負荷試験に脂質の割合が 35%の脂肪食を用いて検討した。この脂質率を選定した理由は、より普段に近い食事で検討するためであった。更に、近年のわが国の 30 歳から 49 歳の 29%以上の男性が食事の 30%以上が脂質由来のものを摂取していると報告している²⁸⁾。実際に、本研究での 2 日間の食事記録から半数の参加者が上記に当てはまっていた。本研究は日本人を対象とし、中脂肪食を用い、一過性の運動により食後中性脂肪濃度上昇を抑制したという先行研究の報告^{8, 29)}と一致している。そもそも、必要以上に脂質を多く含む食事による負荷をかけなくとも、血中の脂質濃度は上昇するため³⁰⁾、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)にするよう改善し、また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。

前述したとおり、本研究では、骨格筋のリポ蛋白リパーゼの活性を最大にさせ、食後中性脂肪濃度上昇の抑制を最大に引き出すために運動と脂質負荷試験を同日に行わず、運動を脂質負荷試験の前日に行った。しかし、運動による食後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¹⁸⁾。さらに、一般に運動トレーニングを積んでいる者は活動的でない者と比較し、食後の中性脂肪濃度の上昇の割合は少ないが、3 日間トレーニングを行わないように指示して脂質負荷試験を行うと、運動による食後中性脂肪濃度の低減は抑制されると報告している³¹⁾。すなわち、健康づくりは長期に亘るものであり、運動の習慣化が重要となることを忘れてはならない。

5. 総括

本研究は中年の肥満男性において、身体活動指針^{6, 7)}が推奨する最低限の運動量での一過性の 30 分の自転車漕ぎ運動は、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た。本研究の結果は生

活習慣病の予防という観点から考えると、有効な介入法のひとつであると考えられる。本研究での運動量は身体活動指針に沿った研究であるが、実験室内で条件を揃える統制された研究であった。従つて、実際の日常生活下において、幅広い対象で同様の結果が得られるかを検討する必要があると考えられる。

謝辞

本研究に対し、多大な助成を賜りました財団法人ミズノスポーツ振興会に深謝致します。

引用文献

- 1) Bansal S, et al: Fasting compared with nonfasting triglycerides and risk of cardiovascular events in women. *JAMA*, 298: 309-16, 2007.
- 2) Nordestgaard BG, et al: Nonfasting triglycerides and risk of myocardial infarction, ischemic heart disease, and death in men and women. *JAMA*, 298: 299-308, 2007.
- 3) Katsanos CS: Prescribing aerobic exercise for regulation of postprandial lipid metabolism: Current research and recommendations. *Sports Med*, 36: 547-560, 2006.
- 4) Luley C, et al: Point-of-care testing of triglycerides: Evaluation of the Accutrend triglyceride system. *Clin Chem*, 46: 287-291, 2000.
- 5) van Oostrom AJ, et al: Diurnal triglyceride profiles in healthy normolipidemic male subjects are related to insulin sensitivity, body composition and diet. *Eur J Clin Invest*, 30: 964-971, 2000.
- 6) Haskell WL, 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.
- 7) Department of Health. *Physical Activity, Health Improvement and Prevention. At least five a week.* Department of Health, U.K.: London, 2004.
- 8) Miyashita M: Effects of continuous versus accumulated activity patterns on postprandial triacylglycerol concentrations in obese men. *Int J Obes*, 32: 1271-78, 2008.
- 9) 日本肥満学会: 肥満症治療ガイドライン 2006. *肥満研究*, 12: 1-91, 2006.
- 10) Borg GA: Perceived exertion: a note on history and methods. *Med Sci Sports*, 5: 90-93, 1973.
- 11) Seip RL, Semenkovich CF: Skeletal muscle lipoprotein lipase: Molecular regulation and physiological effects in relation to exercise. *Exerc Sports Sci Rev*, 26: 191-218, 1998.
- 12) American College of Sports Medicine: Guidelines for Exercise testing and Prescription. 6th edition. Lippincott Williams and Wilkins: Philadelphia, 2000.
- 13) Halkes CJM, et al: Gender differences in diurnal triglyceridemia in lean and overweight subjects. *Int J Obes*, 25: 1767-1774, 2001.
- 14) Gill JMR, 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.
- 15) Gill JMR, et al: Effects of a moderate exercise session on postprandial lipoproteins, apolipoproteins and lipoprotein remnants in middle-aged men. *Atherosclerosis*, 185: 87-96, 2006.

- 16) Burton FL, et al: Energy replacement attenuates the effects of prior exercise on postprandial metabolism in overweight/obese men. *Int J Obes*, 32: 481-489, 2008.
- 17) MacEneaney OJ, et al: Effect of prior exercise on postprandial lipemia and markers of inflammation and endothelial activation in normal weight and overweight adolescent boys. *Eur J Appl Physiol*, 106: 721-729, 2009.
- 18) Zhang JQ, et al: Effect of exercise timing on postprandial lipemia in hypertriglyceridemic men. *Can J Appl Physiol*, 29: 591-603, 2004.
- 19) Zhang JQ, et al: Effect of exercise on postprandial lipemia in men with hypertriglyceridemia. *Eur J Appl Physiol*, 98: 575-582, 2006.
- 20) Tobin LWL, et al: The effect of exercise on postprandial lipidemia in type 2 diabetic patients. *Eur J Appl Physiol*, 102: 361-370, 2008.
- 21) Mestek ML, et al: Aerobic exercise and postprandial lipemia in men with the metabolic syndrome. *Med Sci Sports Exerc*, 40: 2105-2111, 2008.
- 22) Zhang JQ, et al: Effect of exercise duration on postprandial hypertriglyceridemia in men with metabolic syndrome. *J Appl Physiol*, 103: 1339-1345, 2007.
- 23) Petitt DS, Cureton KJ: Effects of prior exercise on postprandial lipemia: a quantitative review. *Metabolism*, 52: 418-424, 2003.
- 24) American College of Sports Medicine: Appropriate physical activity intervention strategies for weight loss and prevention of weight regain for adults. *Med Sci Sports Exerc*, 41: 459-471, 2009.
- 25) Pfeiffer M, et al: The influence of 30 minutes of light to moderate intensity cycling on postprandial lipemia. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil*, 13: 363-368, 2006.
- 26) Kiens B, et al: Effects of insulin and exercise on muscle lipoprotein lipase activity in man and its relation to insulin action. *J Clin Invest*, 84: 1124-1129, 1989.
- 27) Blackburn P, et al: Contribution of visceral adiposity to the exaggerated postprandial lipemia of men with impaired glucose tolerance. *Diabetes Care*, 26: 3303-3309, 2003.
- 28) 厚生労働省: 平成 20 年国民健康・栄養調査報告. 厚生労働省: 東京, 2009.
- 29) 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.
- 30) Dubois C, 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.
- 31) Herd SL, et al: Postprandial lipemia in young men and women of contrasting training status. *J Appl Physiol*, 89: 2049-2056, 2000.