

女子大学生の糖代謝能関連諸健康指標値に及ぼす しそ油摂取と有酸素運動トレーニングの影響

坂本元子, 小林修平, 里和スミエ, 中嶋英昭
藤澤由美子, 藤森直江, 湊久美子, 宮川豊美

Effects of perilla oil intake and aerobic exercise training on health-related parameters in female college students

Motoko Sakamoto, Shuhei Kobayashi, Sumie Satowa, Hideaki Nakashima,
Yumiko Fujisawa, Naoe Fujimori, Kumiko Minato, Toyomi Miyakawa

しそ油は α -リノレン酸を主体とするn-3系多価不飽和脂肪酸源の代表的食品である。多価不飽和脂肪酸は、体内に摂取することにより種々の生理効果を示すことが最近明らかになってきているが、本研究はこの効果を生活習慣病の一次予防に活用する試みの一環として、同様にその効果が期待されている有酸素運動トレーニングと併用することの有効性を検討する意図で企画された。しそ油を毎日20 g ずつ18人の女子大学生ボランティアに摂取させ、そのうち8人に有酸素運動トレーニングを負荷し、呼吸循環機能、糖代謝機能、血漿脂質パターン、体内活性酸素関連物質、免疫能を中心とする生体防御機能諸指標値を測定した。その結果、しそ油の単独摂取がトレーニングとの併用の有無に関わらず有酸素機能の向上に寄与すること、またしそ油の摂取が空腹時血糖値の低下や血漿中性脂肪値の低下をもたらすことを確認した。一方でしそ油の摂取は血漿過酸化脂質レベルの上昇もたすが、同時に運動トレーニングを負荷することによって、その上昇が抑制されることを示唆する結果が得られ、その機構として、運動による体内ビタミンCによるビタミンEの還元的活性化の促進がある可能性が示唆された。これらの結果は、食事によるn-3系多価不飽和脂肪酸とビタミンCなどの抗酸化成分の適切な摂取と適度の強さの有酸素運動トレーニングを併用することが、包括的な疾病一次予防に有用な方策である可能性を示している。

緒 言

21世紀における日本人の重大な保健上の課題として、いわゆる予備軍を含め総患者数1,400万人といわれる¹⁾成人型(Ⅱ型)糖尿病の一次予防の重要性が注目されているが、その病因に遺伝素因とともに日常の生活習慣が深く関わっているこの疾患の特性からいって、効

果的な予防が極めて困難とされている。生活習慣の改善による予防策としては、かなり以前から低エネルギー食を主体とした食事の摂取と、日常の運動がよく知られているが、自覚症状の発現が遅く、本質的な治療が困難な変性・退行性慢性疾患の代表である本疾患に対しては、若年期から生涯を通じての生活習慣介入策が一次予防施策の基本として不可欠である。しかしこれらの対策の長期にわたる実践と定着化が困難で、今日なおその患者数は急速に増えつつあるのが現状である¹⁾。

本研究は糖尿病の前駆的病態の中核をなす糖代謝異常の改善による一次予防に有効性が期待できる新しい試みとして、広く一般に日常の運動として実施しやすい手軽な有酸素運動トレーニングと、最近糖尿病リスクに関わる糖代謝の改善に有効であるとの推測²⁾がなされているn-3系多価不飽和脂肪酸を多く含むしそ油の併用摂取実験を、若年成人モデルとしての女子大学生を対象として実施したものである。さらにこのような運動と多価不飽和脂肪酸の併用策で問題となるのは、有酸素運動、多価不飽和脂肪酸摂取のいずれもが、体内で組織の酸化変性をもたらすという活性酸素ラジカルを生成することである。この活性酸素ラジカルは、近年生体内の多くの病理学的変化に関与していると見られており、糖尿病もその一つに数えられている³⁾。従ってこれらの併用は、糖代謝の改善と改悪の拮抗状態を生じ、本来期待できる両者の相加的、あるいは相乗的な効果を損ねる可能性があるが、これまでそのような検討はもとより、軽運動トレーニングと多価不飽和脂肪酸摂取の相互関係を扱った報告すら見当たらない。本研究は、このような複雑な問題の解明を目的とし、食と運動との包括的な視点から、糖代謝における疾病リスク低減を志向して企画されたものである。

実験方法

1 被験者

被験者は当大学に在籍する健康な女子学生18名（平均年齢：21.3±1.9歳）を用い、インフォームドコンセントを文書により得た後、しそ油摂取・運動群（8名、ST群）としそ油摂取・非運動群（10名、SNT群）の2群に分け、介入実験を行った。

2 実験計画

平成12年10月25日より同年12月23日までを実験期間とし、全体を準備期（介入前期）と介入期の二期に分けた。

準備期は10月25日から11月20日までの27日間とし、この間、基本的には食事を日本人の栄養所要量に準じた基準的食生活をするよう指示し、生活記録を取らせてそれを確認した。またあまり激しい運動は避けるように指示し、安静時代謝量、最大酸素摂取量、血圧、身長、

体重、体脂肪量などの身体計測と生理学的指標値の測定を行った。期間中の11月12日から14日までの3日間の食事調査を行い、その結果から3日間の平均食品摂取状況と栄養摂取量を算出し、介入前の日常の食品並びに栄養摂取量とした。

介入期は11月21日から12月22日までの32日間とし、この間毎日一人当たり20gのしそ油の摂取を全被験者に指示し、同時に定期的運動トレーニングを行なわせた。介入開始前の11月20日あるいは同21日（いずれも早朝空腹時）に肘静脈からの採血を、介入中の12月4日あるいは12月5日に第二回の採血をそれぞれ行い、さらに介入後の12月21日あるいは22日に第三回の採血を同様に行った。また、介入中と介入後に各1回、安静時エネルギー代謝率と最大酸素摂取量の測定を含む最大運動負荷試験を行った。介入期の終了直前の12月17—19日の3日間に第1回目と同じ方法で第2回目の食事調査を行った。

なお参考資料として運動歴、日常の運動状況、体調などを調査し、記録した。

3 方法

- 1) 食物摂取状況調査及び栄養素摂取量調査：連続した3日間（日、月、火曜日）における全ての摂取食品名と摂取量を記録し、栄養素摂取量の算出を行った。算出は原則として5訂日本食品成分表を用いた。脂肪酸の量について記載のないものについては、①類似性のある食品で代替可能なものについては代替食品の値を使用し、②不明のものは集計から削除した。糖質摂取量については、糖質と繊維を含め炭水化物として表示した。③食事に付加したしそ油は(株)日本油脂から提供を受け、各自食事時にサラダあるいは料理に使用して摂取させた。提供者の測定によるしそ油の脂肪酸組成は、100g当たりパルミチン酸6.0g、ステアリン酸2.1g、オレイン酸18.8g、リノール酸13.4g、リノレン酸56.7gであって、ほぼ5訂食品成分表に一致するものであった。したがって1日あたりの摂取脂肪酸量は、5訂食品成分表に準拠すれば飽和脂肪酸1.8g、一価不飽和脂肪酸4.0g、多価不飽和脂肪酸14.2g（うちn-6系2.8g、n-3系11.4g）となる。
- 2) 血液生化学測定：採血は前日夕食以降12時間以上絶食後の早朝空腹時に行い、採取した静脈血は10分間室温に放置後、冷却遠心分離器で3,000rpm、5分間遠心分離を行い、血清を分離し、測定まで-80℃の極低温冷凍庫に凍結保存した。糖負荷試験の採血は同時に行い、初回採血（他の測定も含めた全量25ml）の後、直ちに75gグルコース含有水溶液を飲用させ、30分後に二回目の採血（5ml）を行った。

血糖（BG）は、採血直後の全血で小型血糖測定器グルコカード（Arkray(株)）と専用電極ダイアセンサー（Arkray(株)）を使用し、酵素法にて測定した。血小板凝集能は、採血直後の全血で6CH自動血小板凝集能測定装置PAM-6C（メバルニク(株)）を使用し、光透

過法にて測定した。T-ch、TG、HDL-chは、血清で血液化学自動分析システム SPOTCHEM SP-4410 (Arkray(株)) を使用し、EPA法により測定した。臨床検査センター(株)SRLに依頼したインスリン (IRI) はEIA法、過酸化脂質はTBA法、LDL-chはヘパリンクエン酸沈殿法、血清ビタミンCはHPLC法、同ビタミンEは蛍光法を用い、それぞれ測定した。全血中のグルタチオン濃度はMiwaらの方法⁴⁾で測定した。なお糖代謝能に関わる諸指標のうち、HOMA-Rは空腹時BG (mmol/l) × 空腹時IRI (μ U/ml) \div 22.5、インスリン指数 (IRI指数) は (Δ IRI (糖負荷30分後IRI - 空腹時IRI) \div Δ BG (糖負荷30分後BG - 空腹時BG)) の式⁴⁾にそれぞれ当てはめて求めた。

- 3) 生体防衛能指標値測定：空腹時に採取した血液で、補体成分 (C3、C4)、赤血球上補体レセプター (CRI) 及びリンパ球サブセットCD3、CD4、CD5、CD16) の測定を行った。

補体系因子のうち、C3、C4はSRID法で測定した。測定プレートはMBLプレート (株)医学微生物研究所) を用いた。各血清 4 μ lを測定口に入れ、室温で48時間静置後、その拡散した直径を測定し、標準血清の補体濃度から濃度を換算した。

赤血球膜上CRIは、モノクロナール抗体を用いてフローサイトメーター (オーソ・サイトロン) で測定した。血液は採取時にアセルバ保存液 1 に対し血液 1 を入れ、保存しておいたものを用いた。血液をPBSで洗浄し、赤血球を 1×10^8 /mlに調整し、抗ヒトCRIモノクロナール抗体 (抗CD35; Pharmingen International) を室温で30分間反応させた。反応終了後PBSで洗浄してフローサイトメーターで解析した。抗体を反応させない時をコントロールとし、陽性率を算出した。

リンパ球サブセットはモノクロナール抗体を用い、フローサイトメーターで測定した。ヘパリン採血した全血に各モノクロナール抗体 (抗CD3)、抗CD4、抗CD8及び抗CD16 (オーソ・クリニカル・ダイアグノスティック(株)) を反応させた。室温で30分反応後、溶血試薬で赤血球を溶解し、CRIと同様フローサイトメーターで解析した。抗体を反応させない時をコントロールとし、陽性率を算出した。

- 4) 生理学的計測：被験者の運動量を推定するため、歩行量及びエネルギー消費量の概数をペドメーターの1種であるカロリーカウンターセレクトII (株)スズケン) を用いて求めた。カロリーカウンターIIは、歩数のカウントだけでなく、性別、年齢、身長、体重の個人データを入力することによって、基礎代謝量から1日当たりのエネルギー消費量 (kcal) についても表示する機能をもっている。この計測器をウエスト高の臍横5~10cmの辺に起床時から就寝時まで (入浴時を除く) 装着させた。調査は介入前から介入中、およそ2ヶ月間にわたり実施した。

運動負荷テストによる最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2max}$) の測定はトレッドミルを使用して、速度・角度漸増法によるExhaustion testを用いて行った。測定項目は心拍数、呼吸数、血圧、酸素摂取量、炭酸ガス排出量 (アルコシステムARCO-1000)、呼吸商、換気閾値等である。また運動トレーニングは自転車エルゴメーター (コンビ社製エアロバイク) を使用し、各自の心拍数を目標に負荷設定を行い、4回/週の頻度で計16回、60回転/分で30分間駆動する設定で行い、設定心拍数はトレッドミルでの心拍数と酸素摂取量との関係式から導き出した $60\% \dot{V}O_{2max}$ に相当する心拍数に設定、これを ± 5 拍以内に維持するよう負荷を微調整した。なおトレーニング中の状況は、負荷平均 78.7 ± 16.6 watt、平均心拍数 128.1 ± 7.6 拍/分、乳酸値は運動前 1.61 ± 0.52 mmol/l、運動直後 3.28 ± 1.38 mmol/lであった。

被験者は研究室内で30分以上安静を保った後血圧を測定し、次いで安静時代謝量の測定、最後に身体計測を行った。血圧はリバロッチ型血圧計を用い、椅座位にて右上腕で測定した。安静時代謝量は代謝測定装置PIS-3000 (フクダ産業) にて測定した。被験者は椅座位で呼気マスクをつけ、マスクに慣れて安静状態になったことを確認した後 (1—2分) 呼気分析に入り、15-20分間分析を行った。解析項目は呼気分時換気量 (VE)、呼吸数 (RR)、酸素摂取量 (VO_2)、炭酸ガス排出量 (VCO_2)、ガス交換比 (R)、消費エネルギー量 (kcal) (E) であった。身体計測は身長 (YG-200、ヤガミ)、体重 (UC-300、エー・アンド・ディー)、体脂肪 (体内脂肪計TBF-102、タニタ) を測定した。体重、体脂肪は着衣、裸足で計測し、衣服重量を差し引いて求めた。体内脂肪計から打ち出された項目は、インピーダンス、体脂肪率、脂肪量、除脂肪量、体水分量、BMI、標準体重 ($m^2 \times 22$ で算出)、肥満度である。

- 5) 統計処理：独立した多標本の差の検定は一元配置分散分析、独立した2標本の差の検定はt検定で行った。クロス集計結果の検定には χ^2 検定を用いた。また相関はピアソン相関係数を用い、t検定で有意性を検定した。介入前・後の比較には、関連のある有意差検定 (t検定) を用いた。いずれも危険率5%未満 ($p < 0.05$) をもって有意と判定した。
- 6) 研究の倫理性：本研究計画については、和洋女子大学「人を対象とした研究に関わる倫理委員会」の承認を得ている。

結 果

1 被験者の身体状況とその変動

表1に2群の被験者 (SNT群：非トレーニング群、ST群：トレーニング群) のしそ油摂取並びに運動トレーニングによる介入前後の身体計測値、血圧、体組成等の測定結果を平均

値±標準偏差で示した。また、表1の下半部に両群の安静時代謝関連諸指標値の平均値と標準偏差を示した。これらの身体状況に関する諸値のうち、介入前値には両群間に有意の差はなく、ほぼ無作為に区分されていることが示唆される。ただSNT群はST群に比べ若干体脂肪率、体脂肪量、BMI、肥満度が低く、「やせ」気味という傾向が見られた。この2群の区分については、被験者本人の希望も参考にしたので、「やせ」気味の若い女性の運動忌避傾向がその背景にあるかもしれない。しかし、全ての計測値について、いずれの群も介入前後の差は見られなかった。

2 運動トレーニングの生理学的指標値に及ぼす影響

運動トレーニングの諸体力指標値に対する効果を検討し、表2に示した。

最大運動負荷における酸素摂取量は両群とも介入後の計測値が介入前に比較してやや高かった。ST群では介入前に比較し、トレッドミル走行時間が平均39秒の有意な延長が見られた。SNT群でも延長する傾向があったが、有意な延長ではなかった。両群とも最高心拍

表1 身体計測、血圧、及び安静時代謝測定結果

	SNT群 (n = 10)		ST群 (n = 8)	
	介入前	介入後	介入前	介入後
身体計測・血圧				
身長 (cm)	158.2±5.1	158.2±5.1	158.2±4.1	158.2±4.1
体重 (kg)	51.4±4.3	51.6±4.0	55.8±6.2	55.8±5.7
血圧 収縮期 (mmHg)	105.3±5.2	104.8±3.0	105.0±6.6	105.3±4.7
血圧 拡張期 (mmHg)	59.4±3.0	58.4±1.3	59.5±4.0	59.0±1.5
インピーダンス (Ω)	515±62.2	501±77.6	532±50.6	516±43.9
体脂肪率 (%)	24.7±4.5	24.2±4.3	29.4±3.9	28.9±2.9
体脂肪量 (kg)	12.8±3.2	12.5±2.8	16.5±3.8	16.2±3.1
徐脂肪体重 (kg)	38.5±2.4	38.9±2.9	39.0±2.8	39.5±2.9
体水分量 (kg)	28.1±1.8	28.5±2.2	28.6±2.1	28.9±2.2
BMI	20.5±1.7	20.6±1.5	22.2±1.8	22.3±1.7
標準体重 (kg)	55.1±3.5	55.1±3.5	55.1±2.9	55.1±2.8
肥満度 (%)	-6.9±7.6	-6.7±6.7	0.7±8.5	1.0±7.7
安静時代謝				
呼気分時換気量 (l/min)	6.52±1.00	6.71±1.23	6.72±0.87	7.01±1.69
呼吸数 (B/min)	17±2.0	16±2.3	17±1.4	17±1.4
酸素消費量 (l/min)	0.23±0.04	0.23±0.08	0.22±0.04	0.24±0.07
炭酸ガス排泄量 (l/min)	0.19±0.02	0.18±0.06	0.18±0.03	0.20±0.06
ガス交換比	0.85±0.04	0.80±0.04 ^a	0.82±0.03	0.82±0.04
消費エネルギー (kcal/min)	1.12±0.16	1.11±0.36	1.04±0.17	1.14±0.36

^a有意差あり (vs SNT群介入前値) 値は平均値±標準偏差

表2 最大運動負荷試験の測定結果

	SNT群 (n = 10)		ST群 (n = 8)	
	介入前	介入後	介入前	介入後
Exhaustion Time (分)	11.75 ± 0.85	12.16 ± 0.95	12.26 ± 0.69	12.91 ± 0.52 ^b
最高心拍数(拍/分)	186.05 ± 8.76	188.69 ± 7.74	186.35 ± 4.54	188.98 ± 3.97
無酸素性作業域値(ml/kg/分)	24.23 ± 1.94	27.74 ± 2.96 ^a	24.03 ± 2.96	28.84 ± 2.85 ^b
最大酸素摂取量(ml/kg/分)	34.48 ± 3.24	37.62 ± 5.41	33.45 ± 3.35	39.39 ± 2.93 ^b

^a有意差あり (vs SNT群介入前値) 値は平均値 ± 標準偏差

^b有意差あり (vs ST群介入前値)

数が介入前と比較して介入後で平均2.6拍分増加したが、有意ではなかった。介入後の無酸素性作業閾値は、ST群では介入前と比較して4.81ml/kg/分の有意な増加を示したが (p < 0.01)、SNT群も平均3.51ml/kg/分の有意な増加を示した (p < 0.01)。介入後の最大酸素摂取量は、ST群では介入前に比較して5.94ml/kg/分の有意な増加が認められた。(p < 0.001)。これに対しSNT群は増加する傾向があったが有意ではなかった。

3 n-3系多価不飽和脂肪酸含有油の摂取

n-3系多価不飽和脂肪酸をしそ油として介入期間に20g/日ずつ各被験者に摂取させた。

用いたしそ油製品は(株)日本油脂製のもので、ガラス瓶に密閉した状態で実験開始直前に同社より入手し、実験期間中室温に保存した。摂取方法は1日摂取量を遵守するよう指示した以外は、油を用いる各自好みの調理に利用するなど、原則として(既に管理栄養士養成コースの3年生に当たる)各被験者に任せた。この油のエネルギー源栄養素組成は前述したが、そのほかに酸化防止剤として添加されていたものも含めビタミンE (α-トコフェロール)を100g当たり240mg、ビタミンCを同1.0mgそれぞれ含有していた。

4 食物・栄養摂取状況調査

エネルギー、たんぱく質、脂質、炭水化物の摂取量を表3に示した。両群間ではそれぞれこれらの栄養素摂取量に変動は少なく、介入前、介入中(実際には介入終了直前)ともに両群間に有意差は認められなかった。介入前と介入中の摂取量の比較も表3に示したが、SNT群ではエネルギー並びに脂質摂取量が介入前に比べ介入中で有意に高かった(p < 0.05)。各種脂肪酸の摂取量については、介入の前中とも対応する両群間で有意差はなかったが、これを介入前中で比較すると、SNT群では脂肪酸総量、多価不飽和脂肪酸総量、不飽和脂肪酸総量、n-3系脂肪酸総量、リノレン酸量、P/S比について、介入中の値が有意に高く、n-6/n-3脂肪酸比は、介入中の値が有意に低かった。ST群では、多価不飽和脂肪酸総量、n-3系不飽和脂肪酸総量、リノレン酸量、P/S比について介入前に比べ介入中の値が有意に高

表3 エネルギー及び3大栄養素摂取状況

1日当たりの 平均摂取量	SNT群 (n = 10)		ST群 (n = 8)	
	介入前	介入中	介入前	介入中
エネルギー (kcal)	1747 ± 200.5	1894 ± 202.5 ^a	1735 ± 131.8	1895 ± 392.1
たんぱく質 (g)	62.6 ± 7.4	63.2 ± 8.0	56.8 ± 5.8	58.6 ± 13.8
脂質 (g)	46.7 ± 9.7	62.4 ± 13.5 ^a	50.7 ± 11.5	60.5 ± 22.2
炭水化物 (g)	264.3 ± 35.6	265.1 ± 32.3	258.3 ± 18.5	273.2 ± 35.8

^a有意差あり (vs SNT群介入前値) 値は平均値 ± 標準偏差

表4 脂肪酸摂取状況

1日当たりの 平均摂取量	SNT群 (n = 10)		ST群 (n = 8)	
	介入前	介入中	介入前	介入中
FA総量 (g)	38.81 ± 8.42	54.96 ± 13.97 ^a	40.70 ± 8.42	53.10 ± 20.71
飽和脂肪酸 (g)	12.00 ± 3.80	14.61 ± 3.60	12.99 ± 2.14	15.10 ± 6.77
一価不飽和脂肪酸 (g)	14.84 ± 2.95	17.63 ± 6.51	16.08 ± 3.20	17.60 ± 9.09
多価不飽和脂肪酸 (g)	11.97 ± 3.36	22.70 ± 4.44 ^a	11.62 ± 5.60	20.38 ± 5.03 ^b
不飽和脂肪酸総量 (g)	26.81 ± 5.73	40.33 ± 10.81 ^a	27.70 ± 7.97	37.98 ± 14.00
n-6 不飽和脂肪酸合計 (g)	9.80 ± 2.90	9.93 ± 4.34	9.66 ± 4.78	8.26 ± 3.58
n-3 不飽和脂肪酸合計 (g)	2.16 ± 0.64	12.76 ± 0.72 ^a	1.94 ± 0.90	12.10 ± 1.70 ^b
リノール酸 (g)	9.66 ± 2.91	9.78 ± 4.34	9.51 ± 4.79	8.12 ± 3.50
リノレン酸 (g)	1.63 ± 0.61	12.23 ± 0.57 ^a	1.61 ± 0.86	11.65 ± 1.39 ^b
P/S比	1.13 ± 0.44	1.77 ± 0.45 ^a	0.99 ± 0.47	1.61 ± 0.50 ^b
n-6/n-3比	4.98 ± 1.11	0.79 ± 0.33 ^a	5.28 ± 1.29	0.70 ± 0.22 ^b

^a有意差あり (vs SNT群介入前値) 値は平均値 ± 標準偏差

^b有意差あり (vs ST群介入前値)

く、n-6/n-3脂肪酸比は介入中の値が有意に低かった(表4)。つまり脂肪酸の分布状況はトレーニングの有無に関わらず両群間で差はなかったが、しそ油摂取の影響は明らかだったといえる。

次に微量栄養素の摂取状況を、活性酸素ラジカルの除去機能を有するビタミンC、Eについて述べる。

図1 aにSNT群並びにST群の介入中及び介入後のビタミンC摂取量の平均値並びに標準偏差を示した。介入前中いずれも両群間に有意な差は認められず、またそれぞれの群の介入前と介入中の摂取量の間でも有意差は見られなかった。ST群では一見介入中に摂取量が低下している傾向が見られるが、これは介入前値の標準偏差が大きいことから推測されるように、被験者の一人がたまたま調査日に例外的な食事の摂り方を行ったためである。

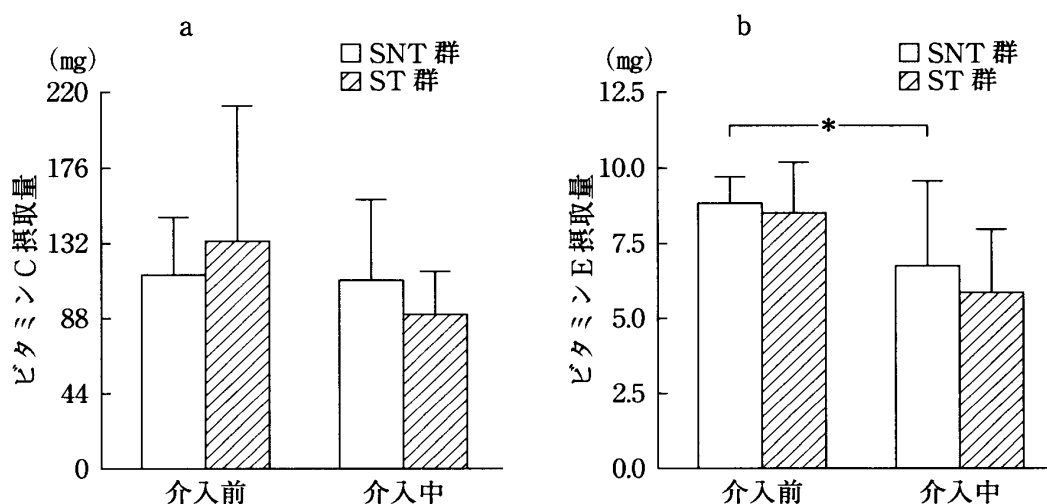


図1 しそ油20g, および運動トレーニング介入に伴うビタミンCおよびビタミンE摂取量の変化 * , $p < 0.05$

もう一つの代表的な抗酸化ビタミンであるビタミンEの摂取量を上記ビタミンCと同様式で示したのが図1bである。介入中の摂取量はSNT、STの両群とも介入前に比べ低い傾向があり、SNT群ではその差が有意であるが、実際にはしそ油中に添加された α -トコフェロールの量が大きく、介入中には両群ともその実摂取総量が約55mg/日に達していることを特記する必要がある。なお別に検討した介入前中における摂取食品の食品群別構成⁹⁾から見る限り、介入中に摂取したしそ油を除く介入前中間の摂取食品パターンに大きな差異は認められず、ほぼ栄養所要量をみたと考えられるものであった。

5 糖脂質代謝指標値測定結果

血液検査結果の平均値とその変動状況を図2に示した。

- 1) 血糖値：空腹時血糖値 (BG) とその変化を図2 aに示した。全般的に見て介入後に低下する傾向が見られたが、介入の前中後のいずれも、SNTとST両群間で有意差は認められなかった。しかしSNT群では介入中値82.9mg/dlは介入前値91.0mg/dlに比べ有意な低下 ($p < 0.05$) が認められた。その他の変動については有意差は認められなかった。
- 2) 血漿過酸化脂質：図2 bに各群の血漿過酸化脂質平均値とその変動を示した。SNT群では介入前 1.9 ± 0.2 nmol/ml、介入中 2.4 ± 0.5 nmol/ml、介入後 2.3 ± 0.3 nmol/mlで、介入中、介入後と介入前との間に有意な ($p < 0.05$) 上昇をみた。ST群では有意な変化は見られなかった。介入中値ではST群の平均値 1.9 ± 0.5 nmol/mlがSNT群のそれに比べ有意に低かった ($p < 0.05$)。
- 3) 中性脂肪：図2 cに各群の血漿中性脂肪平均値とその変動を示した。SNT群では介入

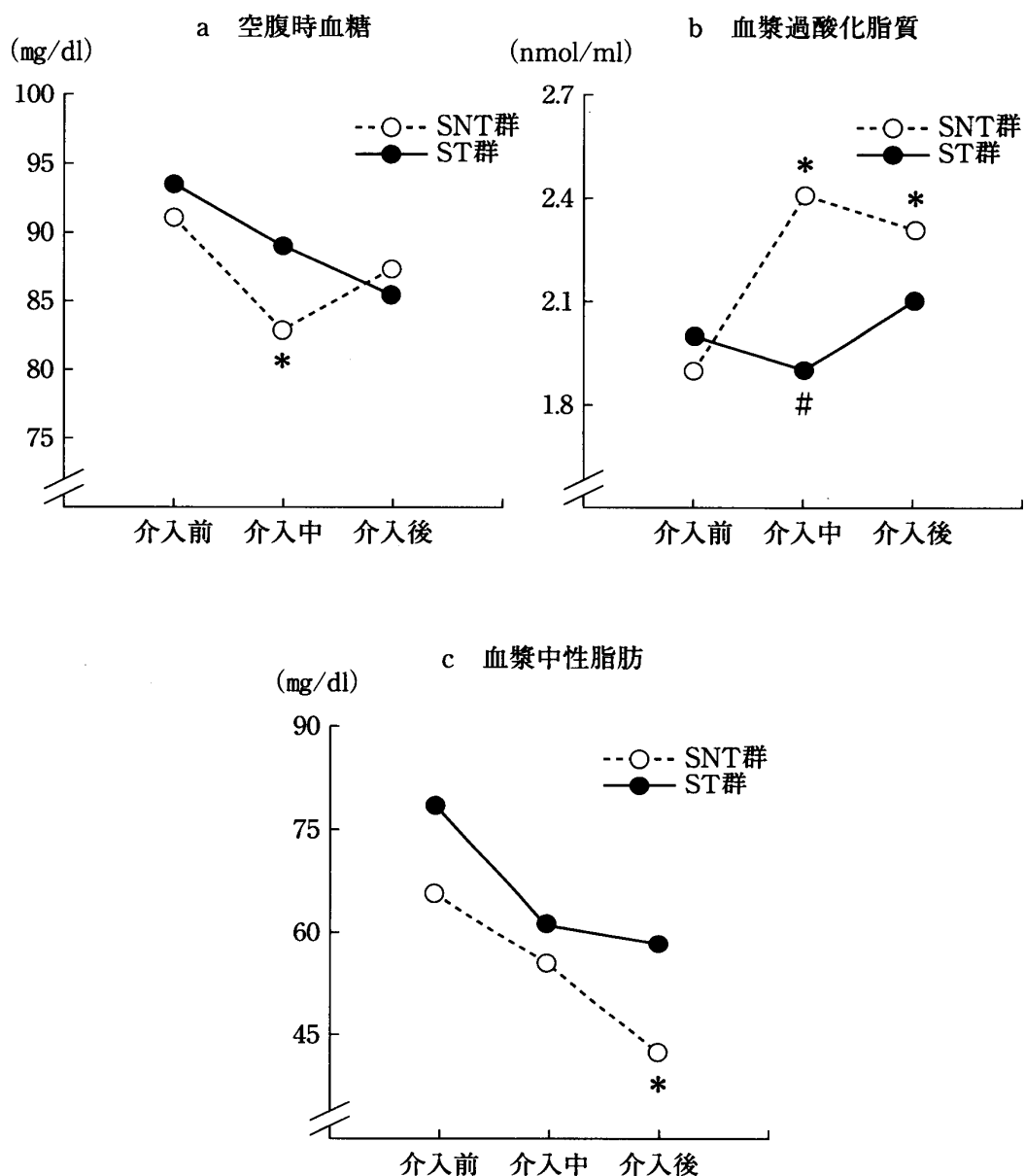


図2 しそ油20g, および運動トレーニング介入に伴う空腹時血糖, 血漿過酸化脂質, 血漿中性脂肪の変動 * , $p < 0.05$, vs SNT群介入前値 # , $p < 0.05$, vs SNT群介入中値

前平均値 64.1 ± 20.9 mg/dlが、介入中 54.3 ± 16.8 mg/dl、介入後 41.7 ± 12.1 mg/dlへと低下して、介入前と後の間に有意差が認められた。ST群でも平均値の介入による低下傾向は見られたが、有意差はなかった。両群間の値にはいずれの場合も有意差は認められなかった。

4) その他の糖脂質代謝関連の血液生化学検査値：糖負荷試験によるIRI及びIRI指数、HOMA-R、総コレステロール、HDLコレステロール、LDLコレステロールの各値について

ては、介入による有意な変化を示す結果は得られなかった。また血小板凝集能は両群ともに介入前と比較して介入後血小板凝集能が抑制された例はなく、むしろ凝集能が亢進した例が多かった。ST群では凝集能亢進が全例で認められ、平均値で見ても介入前と介入中、介入前と介入後の間で有意差 ($p < 0.05$) が認められた。

6 血中抗酸化成分濃度

- 1) ビタミンC：介入前後で採取した血液中ビタミンC濃度の各群平均値とその変動を図3 aに示した。介入前においてST群の平均値がSNT群のそれに比べ有意に高かったが、介入後SNT群では有意な変化は認められなかったのに対し、ST群では有意に低下していた。
- 2) ビタミンE：同様にして介入前後の両群の血中ビタミンEの平均値とその変動を示した(図3 b)。SNT、STの両群ともに介入に用いたしそ油中に添加されている大量のビタミンEの影響を受け、有意な上昇を見せていたが、その上昇の度合いはSNT群の方がST群に比べ大きかった。
- 3) グルタチオン：グルタチオンはグルタミン酸、システイン、グリシンという三種のアミノ酸からなるトリペプチドであるが、ビタミンではなく、食事で摂取した量がそのまま体内の量に反映されるものではない。しかしそのシステイン残基のチオール基によって強力な抗酸化機能を有しており、しかも細胞内に他の抗酸化物質に比べはるかに高濃度で存在していることが知られている。今回の実験の一環として、その血漿中の濃度を測定し、両群の介入前後におけるその平均値と変動を調べ、図3 cに示した。しかしわずかにSNT群において介入後低下の傾向があるものの、いずれの群間、及び介入前後での有意な差は認められなかった。

7 生体防衛能指標値

空腹時採取した血液で測定した補体成分 (C3、C4)、赤血球上補体レセプター (CRI) 及びリンパ球サブセットCD3、CD4、CD5、及びCD16の値は、介入前後、並びに群間の有意な差は認められなかった。

考 察

しそ油はn-3系多価不飽和脂肪酸であるリノレン酸を多量に含有する食用油である。これまで里和らによって、女子大学生を対象にその摂取における体内栄養状態や疾病リスクに関わる血液生化学値の変化を観察してきた⁹⁾。今回は初の学科内大規模共同実験の一環として、食事と運動の両面から糖代謝異常を中心とする包括的な慢性疾患一次予防に資する事を目指し、しそ油摂取と有酸素運動トレーニングを併用した被験者実験を行った。実験は実用

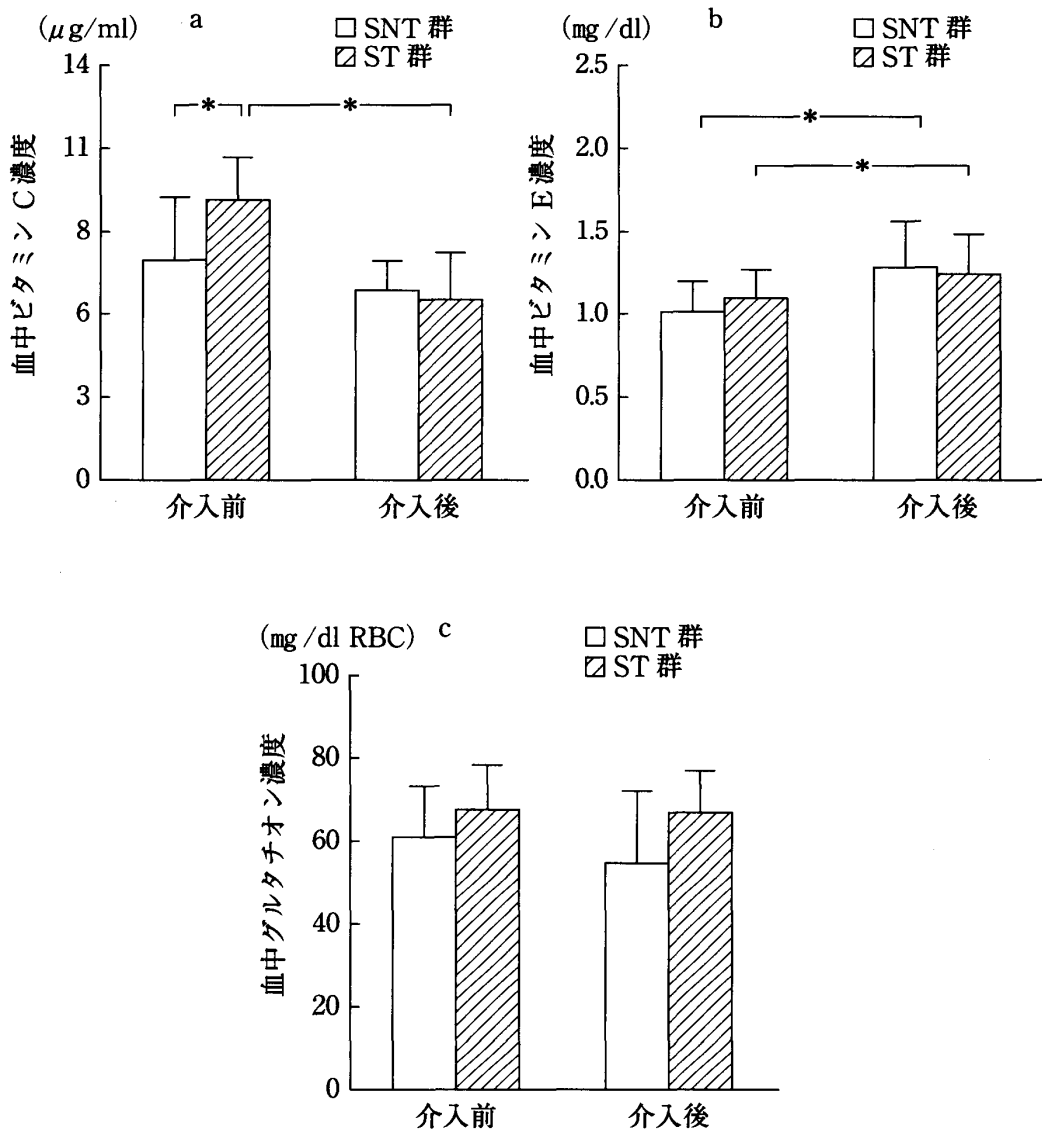


図3 しそ油20g, および運動トレーニング介入に伴う血中ビタミンC, ビタミンE, グルタチオン濃度の変動 * , $p < 0.05$

性を意識して被験者の日常生活に基礎をおいたものとするため、約1ヶ月の予備期間を設定し、ほぼ栄養所要量を充足させたベースラインの食事と、特に激しい身体活動を禁じた安定したベースラインの身体活動レベルに条件設定を行った。この予備期間に続き、介入期として全対象者にしそ油の摂取と、それに加えて運動トレーニング群には自転車エルゴメーターによる軽い運動トレーニングを行わせた。介入期前及び介入中(介入終了前)に日常の食事調査を行って、介入によるデータに及ぼす日常食や日常運動の変動影響が最低限であることを確認したが、この点被験者は本学3年生であり、基礎的な栄養の知識を有するとともに、実験の目的を十分に理解したコンプライアンスの高い被験者であって、その点十分な信頼度

が期待できるものと判断した。このようにヒトを対象として食事摂取状態と身体活動状態を把握した上で、ある程度以上長期にわたる食事・運動の介入を行った研究例は極めて少なく、しかも体内抗酸化成分の評価も行った多価不飽和脂肪酸と運動の併用実験は本研究が初めての試みである。

しそ油摂取・非トレーニング群 (SNT群) としそ油摂取・トレーニング群 (ST群) を区分した両実験群は本来無作為に分けるべきところであったが、女子学生にとって運動に対する好みの差は大きく、そのため、各自の希望にほぼ基づいてこれら2群への配分を行わざるを得なかった。おそらくそのため、「やせ」気味の被験者がSNT群に多く配分されることになって、両群間でBMIに有意の差を生じる結果にならざるを得なかった。しかしその他の属性については両群間に有意な差はなかった。

一方、摂取するしそ油についての最大の問題は、多価不飽和脂肪酸の自然酸化を防ぐ目的で、抗酸化物質 (しそ油100 g 当たりビタミンCが1 mg並びにビタミンEが240mg) があらかじめ酸化防止剤として添加されていたことである。このことは体内の抗酸化物質を評価する上で大きな問題となるが、通常口にされる食用油は実態としてこのような添加物が含まれており、また長期の実験期間中にその品質を維持するためにも避けられぬことと判断した。

ST群の被験者に対し負荷した運動は、一過性の運動に伴って体内に生じる過酸化脂質を評価したこれまでの多くの研究で用いられていた運動強度に比べ、かなり軽度のものであった。これは今回の実験が気軽に一般人が実施し得る運動の効果を狙ったものであり、かつ一過性の運動でなく、日常の運動トレーニングという設定条件で運動を負荷するという趣旨に基づいている。事実この負荷によるエネルギー消費量の増加は、1日当たりわずか45kcalに相当するものであって、両群間のエネルギー需要をはじめとする栄養必要量に殆んど影響を及ぼさないものと考えられる。しかし本実験によると、この程度の運動トレーニングでも、明らかに介入の結果有意な有酸素能力の増大をもたらしたことがわかる。しかしST群について有酸素トレーニングの結果生じる血清脂質の変化をSNT群と比較した限りでは、血漿中性脂肪値もHDL-コレステロール値も有意な差が認められず、結果的に言えば、今回の運動トレーニングはその運動量が体組成や血清脂質に影響するほど多くなく、有酸素能力には影響する程度の、軽いものであったといえる。ただ、今回得られた興味ある知見として、SNT群においてしそ油摂取が無酸素性作業閾値の有意な増加をもたらしたということがあげられる。これは先行研究⁹⁾から、同時に摂取したビタミンEの効果とは考えにくく、多価不飽和脂肪酸の摂取が血液の流動性を高めた結果である可能性があり、運動トレーニングとこの多価不飽和脂肪酸摂取の併用効果の定量的な検討を今後さらに進める必要がある。

生体防衛機能については今回の条件ではしそ油摂取、運動トレーニングの影響のいずれも見出せなかった。これまでの運動と免疫指標との関係についての先行研究の結果から見て、トレーニングが上記のように軽いことがその原因となっている可能性があり、今後さらに検討する必要がある。

本研究の中心課題である糖代謝機能への介入効果については、まず空腹時血糖への効果があげられる。とくにSNT群での血糖低下効果が顕著であったが、しそ油摂取により脂肪細胞への糖の取り込みが増加するためと考えられる。それは板倉らの報告²⁾にあるように、摂取魚油の比率が高いほうがより糖の取り込みが大きいことから推定される。しそ油はまた紅花油、大豆油に比べ血栓性疾患、脳虚血、アレルギー症などの軽減・予防に有効であることが証明されている⁷⁾。一般に多価不飽和脂肪酸の摂取による体内の脂質過酸化の影響は相対的に少ないと見られている。しかし今回の血漿過酸化脂質の測定結果では、SNT群では介入後の有意な上昇が見られ、逆にST群では有意な上昇が見られなかったことは特記に値する。おそらく一過性の運動とは異なり、今回のような軽度の有酸素トレーニングでは体内の活性酸素除去機能の適応的発達が起こったものと考えられ、健康づくりのための運動のあり方に新たな根拠を付与する有用な観察結果と思われる。

血漿中の中性脂肪はSNT群で有意な低下が見られた。これはn-3系多価不飽和脂肪酸の摂取を増加すると主として脂肪酸合成と肝臓での中性脂肪合成の抑制が起るためと解釈されており⁸⁾、有酸素トレーニングによりさらにその低下が促進されると思われる。しかしST群では介入による有意な低下は今回認められていない。これはST群の被験者の測定結果にはばらつきが大きく、対象者数の少ないことも関係していると思われるが、個別的には逆に介入によって値が上昇しているものもあり、さらに詳細な検討が必要である。

一連の抗酸化物質の挙動は多くの問題を投げかけるものであった。まず、ビタミンCの摂取量は介入前後で（しそ油に添加された微量のビタミンCを考慮に入れても）有意差は認められていなかったが、血中ビタミンC濃度は明らかにST群で低下が見られる。ビタミンEについては、しそ油中の添加分のため、摂取量は大きく増加していると思われるが、血中濃度はそれにつれて上昇するものの、その上昇はわずかで、SNT群のほうが顕著であった。さらに血中グルタチオンについては介入前後での変動がなく、一方血中の過酸化脂質はSNT群のみ有意な上昇が見られている。これらの諸成分間の酸化還元関係のネットワークは、その局在性も加わって極めて複雑なものと考えられるが、一般的にそれらの酸化還元電位の差からいって、NADPH→グルタチオン→ビタミンC→ビタミンE→過酸化脂質という順位で電子の流れが起っているとするのが自然である。今回の結果から、運動トレーニングではビ

タミンCの酸化によるビタミンEの増加の経路が促進され、それが体内の脂質過酸化を抑制することに寄与したと考えるのが妥当と思われる。しそ油の中には多量のビタミンEが添加されていたにもかかわらず、しそ油中の多価不飽和脂肪酸による脂質過酸化は完全には防ぎえず、かえって運動トレーニングによってそれが抑制されたという今回の我々の結果は、包括的健康づくりという視点から極めて示唆に富むものと考えられる。

要 約

1. 女子大学生18名を対象に、食事摂取状況調査、運動状況調査を行うとともに、対象者を2群に分け、一方に自転車エルゴメーターによる運動トレーニング負荷を（ST群）、他方には運動トレーニングを負荷せず（SNT群）、同時に両群に1日当たり20gのしそ油を摂取させ、32日間継続させた。
2. しそ油摂取・運動トレーニングの介入前、介入中間、並びに介入終了直後に身体計測、有酸素能力測定を実施した。
3. 介入直前、介入中間、並びに介入直後に血液を採取し、糖・脂質代謝状態指標値並びに過酸化脂質、主要な抗酸化物質の濃度、さらに免疫能に関わる生体防衛能指標値を測定した。
4. しそ油と有酸素トレーニングの介入によって、呼吸循環系の能力が有意に改善された。しそ油摂取のみでも無酸素性作業閾値の有意な改善を見るなど、有酸素能力の上昇が見られた。
5. しそ油摂取により空腹時血糖の有意な低下が認められた。また、血漿中性脂肪も有意な低下が見られた。しかし運動トレーニングとの併用による効果は明らかではなかった。
6. 血中過酸化脂質値はしそ油摂取による上昇が見られたが、トレーニングによるその抑制が観察された。そのメカニズムとして、運動によるビタミンC介在性の活性ビタミンE生成の促進があることを示唆する結果が得られた。
7. しそ油摂取と運動トレーニング介入による生体防衛能指標値の変化は見られなかった。

謝 辞

1. 本研究は齋藤八千代、杉浦加奈子、杉浦令子、坂口淳子、高橋亜矢子の各氏の協力によってなされた。また、19名（当初時点）の本学3年生の学生諸君の被験者としての参加を得て実現した。ここに深く感謝の意を表す。
2. 本研究は和洋女子大学平成12年度共同研究助成金による補助を受けた。

文 献

- 1) 大野義之、柳川洋編：糖尿病、生活習慣病マニュアル、pp. 105-119、(1999)
- 2) 板倉弘重、池本真二、江崎治：動脈硬化症研究の進歩、三和化学、17、53 (1996)
- 3) Mercuri, F., Quagliari, L., Ceriello, A.: Oxidative stress evaluation in diabetes. *Diabetes Technol. Ther.* 2: 589-600, (2000)
- 4) Miwa, S., et al: International committee for standarization in hematology. *Clin. Lab. Hematol.* 11: 131, (1989)
- 5) 杉浦令子、里和スミエ：しそ油とオリーブ油摂取が血清脂質・過酸化脂質・凝固線溶系に及ぼす影響、和洋女子大学紀要 40：37-50, (2000)
- 6) 村岡功、吉野貴順、横関利子、湊久美子：NormoxiaおよびHypoxia条件下でのパフォーマンス、最大酸素摂取量並びに乳酸性閾値に及ぼすビタミンEの影響、昭和60年度日本体育協会スポーツ医科学研究報告、pp. 20-27、(1985)
- 7) 奥山治美：油、この美味しくて不安なもの、農文協、(1989)
- 8) Harris, W.S.: Fish oils and plasma lipid and lipoprotein metabolism in humans. A critical review. *J. Lipid Res.* 30: 785-807, (1989)
- 9) Papas, A.M.: Oil-soluble antioxidants. In Williams, G.M. (eds), *Antioxidants: Chemical, Physiological, Nutritional and Toxicological Aspects.* 123-149, (1992)

坂本元子 (家政学部健康栄養学科教授)

小林修平 (家政学部健康栄養学科教授)

里和スミエ (家政学部健康栄養学科教授)

中嶋英昭 (家政学部健康栄養学科教授)

藤澤由美子 (家政学部生活環境学科助教授)

藤森直江 (短期大学部食物栄養学科助教授)

湊久美子 (家政学部健康栄養学科助教授)

宮川豊美 (家政学部健康栄養学科教授)