

報 文

中鎖脂肪酸の短期的な摂取がアスリートの中・高強度運動時の基質酸化とパフォーマンスに及ぼす影響

田口 素子^{*1}、渡邊 まいみ^{*2 *5}、野坂 直久^{*3}、山澤 文裕^{*4}

^{*1}日本女子体育大学、^{*2}日本女子体育大学大学院、^{*3}日清オイリオグループ(株)、

^{*4}丸紅本社健康管理センター、^{*5}(医社)こころとからだの元氣プラザ

【連絡責任者】田口 素子 日本女子体育大学 田口研究室

TEL & FAX : 03-3300-2263 E-mail : taguchi@jwcpe.ac.jp

抄 録

中・高強度運動時の基質酸化とパフォーマンスに及ぼす影響を検討することを目的として、女子大学生アスリート9名を対象に中鎖脂肪酸(MCT)または長鎖脂肪酸(LCT)を含む食事を二重盲検、クロスオーバー法によりそれぞれ2週間摂取させ、食事介入期間中は運動や生活状況のモニタリングを行った。各トライアル後に自転車エルゴメーターを用いて60% $\dot{V}O_{2max}$ で60分、続けて85% $\dot{V}O_{2max}$ で疲労困憊まで運動させた。安静時及び運動中には血中グルコース濃度、 β -ヒドロキシ酪酸濃度、乳酸濃度、酸素摂取量、二酸化炭素排出量及び呼吸交換比を測定した。基質酸化状況や疲労困憊までの運動時間にはトライアル間で有意な差は認められなかった。このことから、短期的に少量(6.6g, 2.7%)のMCTを摂取させても、アスリートの中・高強度運動時における基質酸化とパフォーマンスに及ぼす影響は認められないことが示唆された。

キーワード 中鎖脂肪酸、アスリート、基質酸化、パフォーマンス、食事介入

緒 言

脂肪酸の消化・吸収過程は種類により異なり、炭素数が12以上の長鎖脂肪酸(long chain triacylglycerol : LCT)はリンパ管経由で全身へ輸送され蓄積される。炭素数が8~10の中鎖脂肪酸(medium chain triacylglycerol : MCT)は門脈から直接肝臓へ輸送され、体内にほとんど蓄積されずに酸化を受けるため、LCTと比較して消化や吸収が速く、エネルギー源になりやすいという特徴がある[1~5]。一般人を対象とした先行研究では、健康な対象者に5g又は10gのMCTを単回摂取させたところ、食事誘発性熱産生が上昇することや[6,7]、1日10gのMCTを12週間継続した結果、体脂肪蓄積抑制効果が認められたことが報告されている[8,9,10~13]

Fushikiら[14]の実験では、鍛錬したマウス及び鍛錬していないマウスに6週間にわたってMCTを含有する試験食又はコントロール食を投与したとこ

ろ、MCTを摂取させたマウスの脂質酸化量が有意に増加し、水泳における持続時間が増加したことが報告されている。持久系運動のパフォーマンス向上にはグリコーゲン蓄積量を高めておくことが重要である[15,16]。MCT摂取により脂質の利用率を高め、MCTがエネルギー源として酸化されることにより、グリコーゲンを節約する効果が期待できるのではないかと考えられる。スポーツ愛好者を対象としたNosakaら[17]の先行研究では、1日当たりおよそ6gのMCTを2週間にわたって摂取させた後に運動負荷試験を実施したところ、MCT群の運動持続時間が延長したことを報告している。男子レスリング選手を対象とした研究[18]ではおよそ5gのMCTを摂取させ、身体組成と血液成分に及ぼす影響を検討しており、MCT摂取による影響は認められないことが報告されている。しかしこれらの先行研究では、運動状況や日常生活のモニタリングは実施されていない。また、MCTを多量に単回摂取させた研究はいくつか

あるが、いずれも胃腸の不快感を訴えたり、運動能力が低下したことを報告しているものが多い[19 ~ 21]。現在までに報告されている先行研究ではエネルギーバランスのコントロールはほとんど行われておらず、アスリートにおける MCT の効果は明らかにされていない。

そこで本研究では、先行研究 [17,18] と同程度の日常の食事から問題なく摂取できる量の MCT または LCT を含む食事を摂取させ、運動中の基質酸化やパフォーマンスに及ぼす影響を検討することを目的とした。

方 法

1) 対象者

対象者は大学の陸上競技部中・長距離ブロックに所属して日常的にトレーニングを行う女子大学生選手 9 名であった。実験に先立ち血液検査を行い、脂質代謝関連指標、貧血指標及び栄養状態が正常であることを確認した。なお本研究は、日本女子体育大学の人を対象とする実験・調査等に関する倫理委員会」の承認を得た後、研究の目的、内容、安全性などについて対象者に十分に説明を行い、書面にて同意を得て実施した。

2) 研究のデザイン

対象者は学年と体重に偏りが出ないように 2 つのグループに分類し、中鎖脂肪酸を含む食事(以下: MCT トライアル)又は長鎖脂肪酸を含む食事(以下: LCT トライアル)を 2 週間ずつ、二重盲検、クロスオーバー法を用いて摂取させた。MCT または LCT が含まれる試験食品以外の食事は規定食を摂取させ、介入期間中の生活は学内の宿泊施設で合宿させ、生活様式や練習環境をトライアル間で概ね同じとなるようにした。なお、トライアル間は先行研究 [18] と同様に 2 週間のウォッシュアウト期間を設け、この期間の食事や活動は制限しなかった。初回の食事介入の 2 ~ 4 日前に最大酸素摂取量の測定を実施した。介入期間中にはエネルギー摂取量およびエネルギー消費量のモニタリングを行い、各々 2 週間の食事介入期間終了後に運動負荷試験を実施した。

3) 試験食品及び規定食の提供

試験食品として、日清オイリオグループ(株)より提供された油脂を使用して MCT 又は LCT を含有する 2 種類のロールパンを製造した。いずれのパンも 1 個当たりエネルギー 277kcal、たんぱく質 6.3g、脂質 9.3g、炭水化物 39.6g であり、MCT トライアルでは 6.6g の中鎖脂肪酸が含有されたパン 1 個を毎日朝食時に提供し、残さず食べるよう指示した。

介入期間中の食事は、国立スポーツ科学センターの方法 [22] により求めた推定エネルギー必要量に合わせて規定食献立を管理栄養士が事前に作成し、調理して摂取させた。試験食品及び規定食は残さず食べ、間食や補食の摂取は避けるよう指示した。調理を行う際はデジタルスケールを用いて食材の分量を秤量記録した。また、1 日の総エネルギー摂取量 (total energy intake : TEI) が総エネルギー消費量 (total energy expenditure : TEE) に見合う食事となるように、3 日に 1 回の頻度で管理栄養士が聞き取り調査を行い、食事量が少ない場合には残さず食べるなどの指導を行ったり、提供量を増やすなどの個別調整を行った。

4) 調査・測定項目

体重及び身体組成の測定

身長は、立位姿勢で眼窩下縁と耳角上縁を結ぶ線が水平になるようにして計測を行った。体重は、50g 単位で測定可能な高精度デジタル体重計 (UC-321, (株) A&D 製) を用いて、介入開始時から介入終了時まで毎早朝空腹時の体重を継続的に測定させた。

介入前後に空気置換法体脂肪測定装置 BOD POD (Life Measurement Instruments 製) を用いて体脂肪率を測定し、体重から体脂肪量を差し引いて除脂肪量 (lean body mass : LBM) を算出した [23]。

栄養摂取状況調査

試験食品及び規定食を残さず食べたかどうか毎食ごとに記録用紙に記録させ、残食があった場合にはその重量を記録しデジタルカメラで撮影させた。さらに 3 日に 1 回の頻度で管理栄養士が聞き取り調査を行い、試験食品及び規定食の摂取状況を把握した。調理の際に秤量記録した食材の分量から残食量を

差し引いて摂取量とした。また、試験食品および規定食以外のものを食べた場合には隠さずに申告させた。栄養計算は「五訂増補日本食品標準成分表[24]」に準拠した栄養計算ソフト「WELLNESS 21(株)トップビジネスシステム製」を用いて行い、介入期間中のエネルギー及び各栄養素の摂取量を把握した。一部の加工食品は各メーカーが公表している栄養成分表示を用いて分析した。

エネルギー消費量のモニタリングとエネルギーバランスの調整

介入期間のトレーニング中のエネルギー消費量は、心拍数法を用いて算出した。ポラール・スポーツ心拍計(S610i, Polar Electro 製)を用いて記録したデータは、トレーニング終了後速やかにパソコンに取り込み、心拍数(heart rate: HR)を $HR \cdot \dot{V}O_2$ 関係式に当てはめて酸素摂取量を積算し、Weirの間接熱量測定式[25]よりエネルギー消費量を求めた。トレーニング以外の日常生活では、加速度計(ライフコーダ EX, 株)スズケン製)を腰部に装着させ、エネルギー消費量を測定した。トレーニング中のエネルギー消費量と日常生活のエネルギー消費量の合計値をTEEとした。およそ3日ごとに個別のTEEとTEIがほぼ等しく、かつ体重の変動がないことを確認しながら食事介入をすすめ、TEEとTEIに差がある場合には個別に指導を行うか提供量を調整することによりTEIを増減させ、エネルギーバランスを調整した。

運動能力の測定

A. 最大酸素摂取量($\dot{V}O_{2max}$)

初回の食事介入を開始する2~4日前に自転車エルゴメーター AERO BIKE 75XL (コンビウエルネス(株)製)を用いて漸増負荷法により最大酸素摂取量の測定を実施した。測定当日はメディカル

チェックを行い、対象者の身体状況を確認してから測定を開始した。50Wから開始し1分毎に15Wずつ負荷が上がるように設定し、90回転/分を維持させた。測定中の酸素濃度及び二酸化炭素濃度は、呼気ガス分析装置 AE-300SRC(ミナト医科学(株)製)を用いて連続的に記録した。呼吸交換比(respiratory exchange ratio: RER)は二酸化炭素排出量を酸素摂取量で除して求めた。測定中の心拍数と酸素摂取量を用いて、心拍数-酸素摂取量関係式($HR \cdot \dot{V}O_2$ 関係式)、負荷量と酸素摂取量を用いて負荷量-酸素摂取量関係式($W \cdot \dot{V}O_2$ 関係式)を個別に作成した。

B. 運動負荷試験

運動負荷試験のプロトコルを図1に示した。自転車エルゴメーターを用いて各トライアル終了後に実施した。 $W \cdot \dot{V}O_2$ 関係式より60% $\dot{V}O_{2max}$ 及び85% $\dot{V}O_{2max}$ の負荷量を個別に設定した。測定開始180分前に試験食品を含む軽食を摂取させ、ウォーミングアップを3分間行った後、60% $\dot{V}O_{2max}$ の強度で60分間運動させ、その後継続して85% $\dot{V}O_{2max}$ の強度で疲労困憊まで運動させた。運動負荷中の心拍数は、ポラール・スポーツ心拍計 S610i を用いて測定を行った。

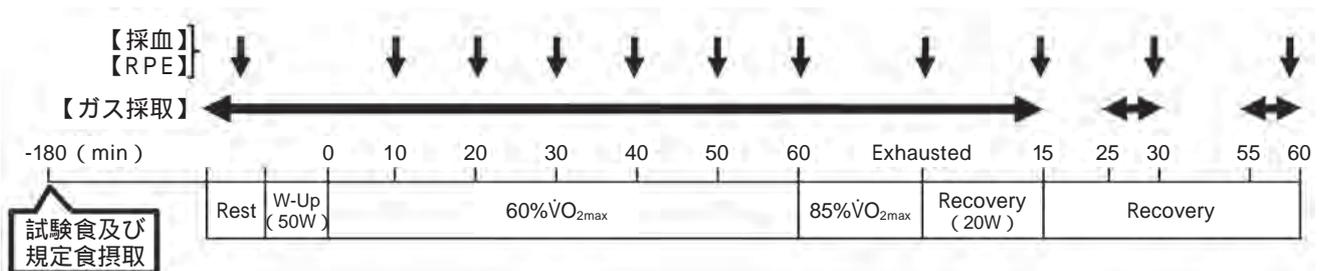
運動中の脂質酸化量と糖質酸化量は下記の式[19,20,26,27]より算出し、60% $\dot{V}O_{2max}$ 運動時は5分ごとに1分あたりの平均値を求め、疲労困憊後15、30、60分後はその前の5分間の平均値を求めた。

$$\text{脂質酸化量} : 1.695\dot{V}O_2 - 1.701\dot{V}CO_2$$

$$\text{糖質酸化量} : 4.585\dot{V}CO_2 - 3.226\dot{V}O_2$$

($\dot{V}O_2$: 酸素摂取量, $\dot{V}CO_2$: 二酸化炭素排出量)

また、エネルギー基質の燃焼割合は下記の式[27]より算出した。



Rest 開始前、w-up ウォームアップ、 $\dot{V}O_{2max}$: 最大酸素摂取量、Exhausted 疲労困憊、Recovery 回復

図1 運動負荷試験のプロトコル

糖質酸化比率(%): $5.047(\text{RER} - 0.707) \times (5.047(\text{RER} - 0.707) + 4.686(1.00 - \text{RER}))$

脂質酸化比率(%): $4.686(1.00 - \text{RER}) \times (5.047(\text{RER} - 0.707) + 4.686(1.00 - \text{RER}))$

(RER:呼吸交換比)

運動中の血中乳酸濃度、血糖値及び β -ヒドロキシ酪酸濃度を測定するために、指突よりキャピラリーに採血を行った。採血は安静時及び $60\% \dot{V}O_{2\max}$ の運動中には10分毎、 $85\% \dot{V}O_{2\max}$ の運動後は疲労困憊直後、15、30、60分後にそれぞれ行った。血中乳酸濃度は血液約5 μ lをラクテート分析装置ラクテート・プロTM(アークレイ㈱製)、血糖値は血液約2 μ lを自己検査用グルコース測定器グルコカードTMマイダイアGT-1670(アークレイ㈱製)を用いて分析を行った。また、血液約20 μ lを内径1.1~1.2mmのヘパリン処理EMマイスターヘマトクリット毛細管に採血し、血漿を遠心分離し、日清オイリオグループ㈱の研究所において酵素法にて β -ヒドロキシ酪酸濃度を測定した[28, 29]

5) 統計処理

本研究で得られた各データは平均値 \pm 標準偏差で示し、統計ソフトSPSS 16.0 J (SPSS Inc.)を用いて分析を行った。トライアル間の平均値の比較には対応のあるt検定を行い、運動中のHR、RER及び基質酸化量は反復測定分散分析を行った。すべての統計データは危険率5%未満を有意水準とした。

結 果

対象者の介入前の身体的及び生理的特性を表1に

表1 研究開始前の対象者の身体的及び生理的特性

n=9		
年齢	(歳)	20.0 \pm 0.9
身長	(cm)	162.4 \pm 6.7
体重	(kg)	54.9 \pm 8.0
体脂肪率	(%)	19.9 \pm 4.9
最大酸素摂取量	(ml/kg/min)	52.4 \pm 6.2
最大負荷量	(W)	221 \pm 30
最大心拍数	(拍)	189 \pm 13
競技歴	(年)	7.3 \pm 3.1

平均値 \pm 標準偏差

示した。介入期間中の栄養摂取状況を表2に示した。1日あたりの中鎖脂肪酸摂取量は、LCTトライアル($0.74 \pm 0.47\text{g/day}$)と比較して、MCTトライアル($7.69 \pm 0.78\text{g/day}$)で有意に高値を示したが($p < 0.01$)、エネルギー及びその他の栄養素摂取量に有意差は認められなかった。介入期間中のエネルギー消費量を表3に示した。トレーニング中及び日常生活でのエネルギー消費量にトライアル間で有意差はなく、1日の総エネルギー消費量もトライアル間で有意差は認められなかった($p = 0.385$)。介入期間中の体重変動はいずれのトライアルにおいても見られず、体脂肪率はMCTトライアル後が $19.5 \pm 4.0\%$ 、LCTトライアル後が $19.9 \pm 4.0\%$ であり、トライアル間で有意差は認められなかった($p = 0.469$)。除脂肪量は、MCTトライアル後が $44.4 \pm 5.6\text{kg}$ 、LCTトライアル後が $44.7 \pm 5.7\text{kg}$ であり、トライアル間で有意な差は認められなかった($p = 0.817$)。運動負荷試験中のRER

表2 介入期間中の1日の栄養摂取状況

	MCT Trial	LCT Trial
エネルギー (kcal)	2574 \pm 308	2629 \pm 323
たんぱく質 (g)	104.1 \pm 10.1	106.2 \pm 12.8
脂質 (g)	88.6 \pm 15.7	91.0 \pm 13.9
(En%)	30.8 \pm 2.1	31.1 \pm 1.3
炭水化物 (g)	338.5 \pm 36.7	343.2 \pm 41.1
カルシウム (mg)	998 \pm 205	1068 \pm 360
鉄 (mg)	13.7 \pm 1.6	13.7 \pm 1.0
ビタミンA (μ g)	1142 \pm 151	1175 \pm 155
ビタミンB ₁ (mg)	1.98 \pm 0.19	2.04 \pm 0.21
ビタミンB ₂ (mg)	2.11 \pm 0.35	2.24 \pm 0.50
ビタミンC (mg)	374 \pm 35	419 \pm 81
食物繊維総量 (g)	23.6 \pm 2.5	23.9 \pm 2.3
中鎖脂肪総量 (g)	7.69 \pm 0.78**	0.74 \pm 0.47
(En%)	2.7	0.3

平均値 \pm 標準偏差 ** LCT Trialと比較して有意差あり($p < 0.01$)
エネルギー比率(En%): エネルギー(kcal)換算した場合のエネルギー摂取量に対する比率

表3 介入期間中のエネルギー消費量

	MCT Trial	LCT Trial
トレーニング中 (kcal)	676 \pm 148	695 \pm 211
日常生活 (kcal)	1796 \pm 207	1811 \pm 225
1日の総エネルギー消費量 (kcal)	2471 \pm 245	2505 \pm 278

平均値 \pm 標準偏差

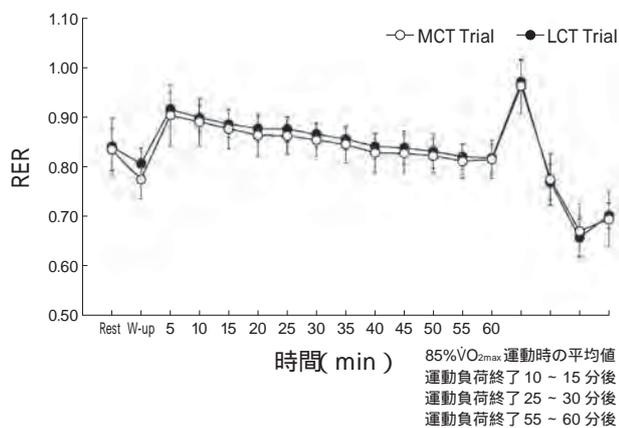


図2 運動負荷試験中の呼吸交換比の変化

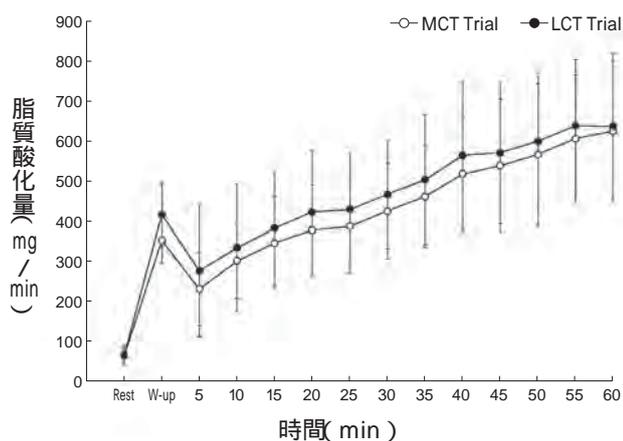


図3 60% $\dot{V}O_{2max}$ 運動時の脂質酸化量の変化

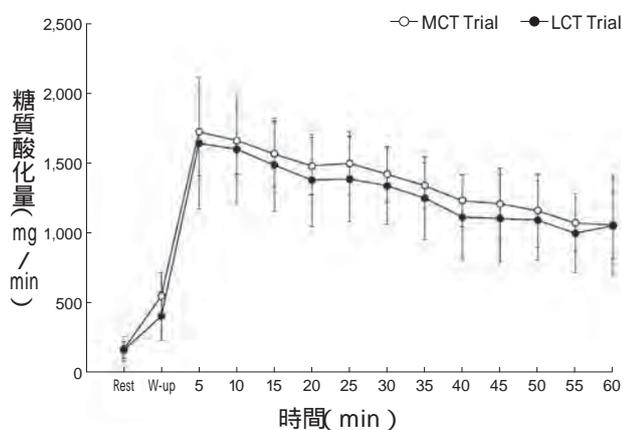


図4 60% $\dot{V}O_{2max}$ 運動時の糖質酸化量の変化

の変化を図2に示した。トライアル間で有意な差は認められなかった。運動負荷試験中の脂質酸化量を図3に、糖質酸化量を図4に、基質酸化総量を図5に示した。いずれもトライアル間で有意な差は認められなかった。運動負荷試験中の血糖値、血中乳酸濃度及び β -ヒドロキシ酪酸の変化を表4に示した。いずれもトライアル間で有意な差は認められなかった。85% $\dot{V}O_{2max}$ 運動の持続時間の比較を図6に示した。MCTトライアルは 349 ± 119 秒(5分49秒 \pm 1分59秒)、LCTトライアルは 386 ± 180 秒(6分20秒 \pm 3分00秒)であり、有意差は認められなかった($p=0.220$)。

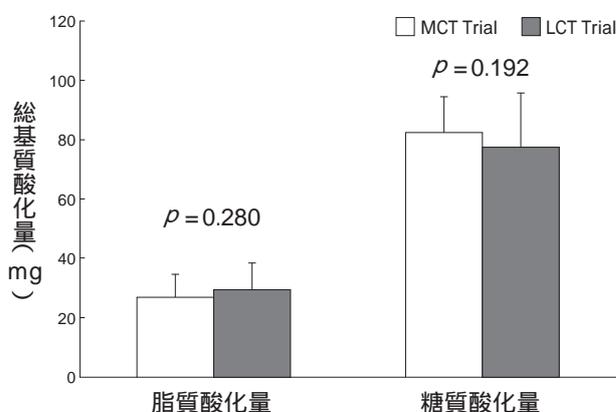


図5 60% $\dot{V}O_{2max}$ 運動時の基質酸化総量の変化

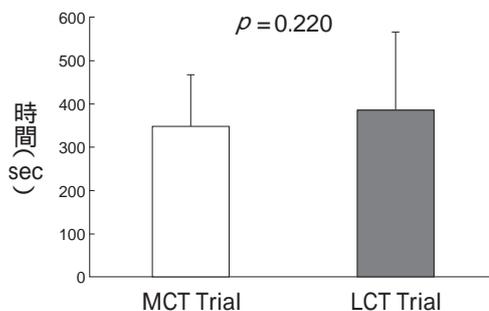


図6 85% $\dot{V}O_{2max}$ 運動の持続時間の比較

表4 運動負荷試験中の血液状況の変化

			安静時	60% $\dot{V}O_{2max}$			85% $\dot{V}O_{2max}$
				15分	30分	60分	
血糖値 (mg/dl)	MCT Trial	90 \pm 10	62 \pm 10	67 \pm 6	67 \pm 7	79 \pm 80	
	LCT Trial	85 \pm 5	67 \pm 7	69 \pm 5	72 \pm 2	81 \pm 11	
血中乳酸濃度 (mmol/l)	MCT Trial	1.4 \pm 0.7	4.3 \pm 1.4	3.5 \pm 1.1	3.6 \pm 3.0	10.9 \pm 1.6	
	LCT Trial	1.4 \pm 0.5	3.6 \pm 1.6	3.3 \pm 1.3	2.9 \pm 1.2	11.1 \pm 2.3	
β -ヒドロキシ酪酸(μ mol/l)	MCT Trial	49 \pm 36	40 \pm 41	58 \pm 38	59 \pm 32	66 \pm 31	
	LCT Trial	67 \pm 75	61 \pm 76	102 \pm 79	104 \pm 100	91 \pm 83	

平均値 \pm 標準偏差

考 察

本研究では、栄養摂取状況や生活状況をコントロールしながら、MCTまたはLCTを経口摂取させるという食事介入を行ったところ、中・高強度運動中における基質酸化状況やパフォーマンスにはトライアル間で差は認められず、日常的な食事から摂取可能な量では、先行研究で報告されているような運動持続時間の延長などの効果は認められないことが示唆された。

Fushiki ら[14]は、ヒトよりも小さいマウスに対して80gという多量のMCTを与え、水泳における持久的な運動能力が向上したと報告している。一般成人を対象としたMisell ら[20]の先行研究では、60g/dayのMCTを2週間継続的に摂取させ、85% $\dot{V}O_{2max}$ の強度で30分運動した後に75% $\dot{V}O_{2max}$ における持続時間を測定したところ、コントロール群と比較して有意差は認められず、胃腸の不快感が発生したことも合わせて報告されている。多量にMCTを摂取させたその他の先行研究でも同様に胃腸症状が報告されている[19~21]。Nosaka ら[17]の先行研究では、MCT量を約6gとし、6gのMCTが含まれる焼成菓子を2週間にわたって摂取させたところ、胃腸の不快感などを訴えた者はいなかった。そこで本研究ではNosaka らの研究より10%多めの6.6g/dayのMCTを摂取させたが、Nosaka らの研究結果と同様に胃腸の不快感を訴えた対象者はいなかったことから、本研究におけるMCTの摂取量は、日常の食事に無理なく取り入れられる量であったと考えられる。

Nosaka らの研究[17]では、試験食品によるMCT摂取量は6gであり、本研究の6.6gよりも少ない。しかし、MCTエネルギー比率は本研究の2.7%よりも高く、食事によるMCT摂取量を加えると3%程度と考えられる。また、被験者に運動習慣はあるものの、競技者ではない。Nosaka らの研究では朝食および午前中の運動直前に試験食品を摂取させており、運動前のMCT摂取量が多い点が本研究とは異なっている。運動負荷試験は60% $\dot{V}O_{2max}$ 強度において40分運動させたのち、80% $\dot{V}O_{2max}$ 強度において疲労困憊までの持続時間を測定している。Nosaka

らの研究では運動中の脂質および糖質の酸化量にMCTトライアルとLCTトライアルで差がないにもかかわらず、疲労困憊までの持続時間はMCTトライアルにおいて有意に長く、負荷試験直前に摂取した試験食品によるMCTが60% $\dot{V}O_{2max}$ 強度における運動のエネルギー源となったためではないかと考察されている。しかし、運動中の基質酸化量、血中乳酸濃度及びグルコース濃度に有意差は認められておらず、介入期間中のエネルギーバランスの把握がなされていないため、MCTのみの影響によるものかは不明である。

一方、本研究の被験者はほぼ毎日トレーニングを実施している競技者であり、運動負荷試験は60% $\dot{V}O_{2max}$ 強度において60分運動させたのち、85% $\dot{V}O_{2max}$ 強度において疲労困憊までの持続時間を測定しており、Nosaka らの先行研究と比較してアスリートの日常的なトレーニング状況に近い負荷量であり、運動中のエネルギー消費量も本研究の方が大きい。本研究ではエネルギーバランスの把握を行いながら食事介入を実施しており、食事介入においては日常の食事の際に油脂の種類異なる試験食品(パン)を摂取させるのみであった。アスリートがMCTを無理なく食事から摂取した場合のMCTの有効性を検討することを目的としたスポーツ現場での食事管理への応用を目指した研究であることから、運動前の食事でも消化吸収の時間を考慮して3時間前に摂取させている。これらのことから、Nosaka らの研究とは異なる結果が得られたのは、被験者や運動負荷試験の実施条件の違いなどによるものと考えられる。

MCTを本研究で用いた量よりも多く食事から摂取させることは容易なことではない。多量にMCTを摂取させれば食事管理も難しくなり、MCT摂取に伴う脂質エネルギー比率やエネルギー摂取量の増加による体重及び体脂肪率の増加や胃腸障害を引き起こす可能性も考えられる。Ooyama ら[30]の研究では、MCT摂取は肝におけるATP量を増加させるものの、そのことが原因となり食事が減少することが報告されている。食事量の減少は、アスリートの重要なエネルギー源となる糖質摂取の減少にもつながる。したがって、パフォーマンス向上という側面から考え

ればアスリートが日常の食事から MCT を摂取するメリットは大きくないと考えられる。

また、脂肪摂取と持久的な運動能力について調査した先行研究では、非常に脂質エネルギー比率が高いという共通点が見られる[14,18,31 ~ 35]。Miller ら[36]の先行研究では、1 週間又は 5 週間の間、ラットに高脂肪食(脂質エネルギー比率 70%)又は普通食(脂質エネルギー比率 11%)を与えたところ、普通食と比較して 1 週間摂取させた群では 7%、5 週間摂取させた群では 31% も運動持続時間が延長されたことが報告されている。Muio ら[29]は、男子大学生持久系ランナーを対象として 7 日間高脂肪食(糖質エネルギー比率 50%、脂質エネルギー比率 38%)と高糖質食(糖質エネルギー比率 73%、脂質エネルギー比率 15%)を摂取させ、75 ~ 80% $\dot{V}O_{2max}$ の運動を行わせたところ、高脂肪食は高糖質食と比較して運動持続時間が 20% 延長したと報告している。中谷ら[32]は、運動部に所属する男子大学生を対象として 5 日間という短期間の実験を行い、コントロール群の脂質エネルギー比率である 25% に対し、高脂肪食群では脂質エネルギー比率が 60% の試験食を摂取させている。その結果、60% $\dot{V}O_{2max}$ の運動時には脂質酸化量はコントロール群と比較して増大するものの、持久的運動能力への影響は必ずしも認められなかったことを報告している。中谷らの研究結果のように基質酸化状況が変化しても持久性能力の明らかな向上が認められなければ、脂質の種類に関わらず高脂質食摂取はデメリットの方がむしろ大きいと考えられる。本研究における脂質エネルギー比率はどちらのトライアルも 30% 程度であり、先行研究[14,18,31 ~ 35]と比較すると脂質エネルギー比率が低かった。そのため、本研究では基質酸化に影響を及ぼさず、そのことが運動持続時間を延長させなかった原因と考えられる。

本研究では、脂質代謝が適応するのに十分な期間として介入期間およびウォッシュアウト期間をそれぞれ 2 週間に設定した。二重盲検、クロスオーバー法により介入期間中に試験食を提供したため、プラセボ効果はなかったと考えられる。しかし、両トライアルを合わせて 4 週間という短期間での食事介入実験で

あったとしても、試験食及び規定食のみを食べなくてはならないことでの心理的な負担は大きい。試験期間を延長した場合、心理的な負担から研究離脱者が出る可能性があること、トレーニングシーズンや練習環境が変化してしまうことなどが考えられ、被験者と実験条件のコントロールが困難となることが予想できるため、本研究の試験期間はコントロール可能な限界であった。食事介入は選手の状況を常に判断しながら支援を行っていく必要があり、被験者にとっても験者にとっても多大な労力が必要となるため、食事介入方法についてもさらに検討していくことが課題と考えられた。

Fushiki ら[14]や Nosaka ら[17]の先行研究のように、MCT 摂取がアスリートの持久力向上に有利であるということが本研究の仮説であったが、運動負荷試験による運動持続時間の延長に対する効果は認められなかった。しかし、日本人一般成人を対象とした Tsuji ら[9]の食事介入実験によれば、BMI が 23kg/m² 以上の肥満者では 1 日当たり 10g の MCT 摂取により体脂肪蓄積抑制効果が認められたことが報告され、Noguchi ら[37]の研究においては MCT 摂取により食事誘発性熱産生が上昇し、体脂肪蓄積量を減少させることが報告されている。したがって、アスリートの中でも柔道やレスリングの重量級選手などのように体脂肪量が多い選手の健康維持あるいは体脂肪蓄積抑制にとって MCT 摂取が役立つ可能性は否定できず、今後アスリートを対象とした更なる検討が必要と考えられる。

まとめ

本研究は、女子大学生アスリートを対象として MCT または LCT を含む食事を短期的に摂取させ、中・高強度運動時の基質酸化とパフォーマンスに及ぼす影響を検討した。本研究の MCT 摂取比率は 2.7% と非常に少量であり、食事から無理なく摂取できる量の MCT(6.6g/day)を摂取させても、中・高強度運動中での基質酸化やパフォーマンスは LCT 摂取時と差が認められず、少量の MCT 摂取では先行研究で報告されているような運動持続時間延長効果は認められないことが示唆された。

謝 辞

本研究に際し、調査・研究に快くご協力いただいた日本女子体育大学陸上競技部の皆様方に心より感謝を申し上げます。さらに、試験食の材料のご提供及び測定や研究に関して多大なるご支援・ご協力をいただきました日清オイリオグループ(株)の皆様方に心より御礼申し上げます。

<参考文献>

- [1]木村修一, 小林修平翻訳監修: 専門領域の最新情報最新栄養学 (第9版), 東京: 建帛社; 2007. pp.111-137.
- [2]青山敏明, 笠井通雄. 身体に脂肪がつきにくいヘルシーシレッタ: 食品・食品添加物研究誌. 2005; 210(2): 123-129.
- [3]Odle J, Benevenga NJ and Crenshaw TD. Utilization of medium chain triglycerides by neonatal piglets: chain Length of even and Odd carbon Fatty acids and apparent digestion / absorption and hepatic metabolism. J Nutr. 1991; 121: 605-614.
- [4]Greenberger NJ, Rodgers JB and Isselbacher KJ. Absorption of medium and long chain triglycerides: Factors influencing their hydrolysis and transport: J Clin. Nutr. 1966; 45(2): 217-375.
- [5]笠井通雄. 特定保健用食品としての中鎖脂肪酸. 脂質栄養学. 2006; 15(1): 55-61.
- [6]Akiko Ogawa, NaohisaNosaka, Michio Kasai, Toshiaki Aoyama, Mitsuko Okazaki, Osamu Igarashi, and Kazuo Kondo: Dietary medium and long chain triacylglycerols accelerate diet induced thermogenesis in humans, Journal of Oleo Science, 56(6), 283-287(2007)
- [7]Yoshie Suzuki, NaohisaNosaka, and Hideaki Maki: Effects of margarine containing medium chain triglycerides on diet induced thermogenesis, Journal of Oleo Science, 54(5), 299-304(2005)
- [8]Kasai M, Nosaka N, Maki H, Suzuki Y, Takeuchi H, Aoyama T, Ohra A, Harada Y, Okazaki M, and Kondo K. Comparison of diet-induced thermogenesis of foods containing medium versus long chain triacylglycerols: J Nutr. Sci. Vitaminol. 2002; 48(6): 536-540.
- [9]Tsuji H, Kasai M, Takeuchi H, Nakamura M, Okazaki M, and Kondo K. Dietary medium chain triacylglycerols suppress accumulation of body fat in a double blind, controlled trial in healthy men and women: J Nutr. 2001; 131(11): 2853-2859.
- [10]Nosaka N, Maki H, Suzuki Y, Haruna H, Ohara A, Kasai M, Tsuji H, Aoyama T, Okazaki M, Igarashi O, and Kondo K. Effects of margarine containing medium chain triacylglycerols on body fat reduction in humans: J Atherosclerosis and Thrombosis. 2003; 10(5): 292-298.
- [11]Ooyama K, Wu J, Nosaka N, Aoyama T, and Kasai M. Combined intervention of medium chain triacylglycerol diet and exercise reduces body fat mass and enhances energy expenditure in rats: J Nutr. Sci. Vitaminol. 2008; 54: 136-141.
- [12]Pierre M, St-Onge, and Bosarge A. Weight loss diet that includes consumption of medium chain triacylglycerol oil leads to a greater rate of weight and fat mass loss than dose olive oil: Am. J Clin. Nutr. 2008; 87(3): 621-626.
- [13]Pierre M, St-Onge, Ross R, Parsons WD, and Jones PJH. Medium chain triglycerides increase energy expenditure and decrease adiposity in overweight men: Obesity Research. 2003; 11(3): 395-402.
- [14]Fushiki T, Matsumoto K, Inoue K, Kawada T and Sugimoto E. Swimming endurance capacity of mice is increased by chronic consumption of medium chain triglycerides: J Nutr. 1995; 125(3): 531-539.
- [15]Coyle EF. Substrate utilization during exercise in active people: Am. J Clin. Nutr. 1995; 61(4): 968S-979S.
- [16]Burke LM, Kiens B and Ivy JL. Carbohydrates and fat for training and recovery: J Sports Sci. 2004; 22(1): 15-30. Review.
- [17]Nosaka N, Suzuki Y, Nagatoishi A, Kasai M, Wu J, and Taguchi M. Effect of ingestion of medium chain triacylglycerols on moderate-and high-intensity exercise in recreational athletes: J Nutr. Sci. Vitaminol. 2009; 55: 120-125.
- [18]野坂直久, 久木留毅, 鈴木佳恵, 笠井道雄, 青山敏明, 近藤和雄, 田口素子, 佐藤満, 河野一郎: 中鎖脂肪酸を構成成分とするトリアシルグリセロール摂取が男子レスリング選手の筋肉厚と血液成分に及ぼす影響, 日本臨床栄養学会雑誌. 2011; 33: 12-21.
- [19]Jeukendrup AE, Thielen JJHC, Brouns F, Wagenmakers AJM, and Saris WM. Effect of medium chain triacylglycerol and carbohydrate ingestion during exercise on substrate utilization and subsequent cycling performance. Am. J Clin. Nutr. 1998; 67(3): 397-404.
- [20]Misell LM, Lagomarcino ND, Schuster V, and Kern M. Chronic medium chain triacylglycerol consumption and endurance performance in trained runners: J Sports Med. Physical Fitness. 2001; 41(2): 210-215.
- [21]Goedecke JH, Clark VR, Noakes TD, and Lambert EV. The effects of medium chain triacylglycerol and carbohydrate ingestion on ultra endurance exercise performance: Intl. J Sport Nutr. Exerc. Metab. 2005; 15(1): 15-27.
- [22]小清水孝子, 柳沢香絵, 樋口満: スポーツ選手の推定エネルギー必要量, トレーニング科学. 2005; 17: 245-250.
- [23]文部科学省科学技術・学術審議会資源調査文化会編: 五訂増補日本食品成分表, 東京: 第一出版; 2006.
- [24]Weir JB. New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. J Physiol. 1949; 109: 1-9.
- [25]VanZyl CG, Lambert EV, Hawley JA, Noakes TD, and Dennis SC. Effects of medium chain triglyceride ingestion on fuel metabolism and cycling performance: J Appl. Physiol. 1996; 80(6): 2217-2225.
- [26]Brožek J, Grande F, Anderson JT, and Keys A. Densitometric analysis of body composition: Revision of some quantitative assumptions: Annals New York Academy of Sciences. 1963; 110: 113-140.
- [27]Lusk G. Analysis of the oxidation of Mixtures of Carbohydrate and Fat: J Biol. Chem. 1924, 59; 41-42.
- [28]Miyamoto T, Katayama Y, and Harano Y. Blood ketone body as a stress marker in acute myocardial infarction: 日本救急医学会雑誌, 1999; 10(10): 621-622.
- [29]Williamson DH, Mellanby J, and Krebs HA. Enzymic determination of D(-)- beta - hydroxybutyric acid and acetoacetic acid in Blood. Biochem. J. 1962; 82: 90-96.
- [30]Ooyama K, Kojima K, Aoyama T and Takeuchi H. Decrease of food intake in rats after ingestion of medium-chain triacylglycerol, J Nutr. Sci. Vitaminol. 2009; 55: 423-427.
- [31]Muio DM, Leddy JJ, Horvath PJ, Awad AB, and Pendergast DR. Effect of dietary fat on metabolic adjustments to maximal VO₂ and endurance in runners: Med.Sci.Sports Exerc. 1994; 26(1): 81-88.
- [32]中谷昭, 辻井啓之, 八木典子: 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, デザントスポーツ科学. 2004; 138-144.
- [33]Simi B, Sempore B, Mayet MH, and Favier RJ. Additive effect of training and high fat diet on energy metabolism during exercise: J Appl. Physiol. 1991; 71(1): 197-203.
- [34]Lapachet RAB, Miller WC, and Arnall DA. Body fat and exercise endurance in trained rats adapted to a high fat and/or high carbohydrate diet: J Appl. Physiol. 1996; 80(4): 1173-1179.
- [35]Thomas TR, Horner KE, Langdon MM, Zhang JQ, Krul ES, Sun GY, and Cox RH. Effect of exercise and medium chain fatty acids on postprandial lipodemia: J Appl. Physiol. 2001; 90: 1239-1246.
- [36]Miller WC, Bryce GR, and Conlee RK. Adaptations to a high fat diet that increase exercise endurance in male rats. J Appl. Physiol. 1984; 56(1): 78-83.
- [37]Noguchi O, Takebuchi H, Kubota F, Tsuji H, and Aoyama T. Larger diet-induced thermogenesis and less body fat accumulation in rats fed medium-chain triacylglycerols than in those fed long-chain triacylglycerols: J Nutr. Sxi. Vitaminol. 2002; 48: 524-529.

(受理日: 2011年12月23日、採択日: 2012年2月1日)

ABSTRACT

Effects of short-term ingestion of medium-chain triacyl glycerol on substrate oxidation and endurance performance at moderate- and high-intensity exercise in female collgiate athletes

Motoko Taguchi ¹, Maimi Watanabe ^{2,5}, Naohisa Nosaka ³, Fumihiro Yamasawa ⁴

1 Japan Women's College of Physical Education

2 Graduate school of Japan Women's College of Physical Education

3 The Nisshin Oillio Group, Ltd.

4 Marubeni Corporation

5 Genki Plaza Medical Center for Healthcare

The present study examined the effect of short-term ingestion of medium-chain triacylglycerol (MCT) on substrate oxidation and endurance performance during moderate- and high-intensity exercise in nine female collegiate athletes. Either MCT or long-chain triacylglycerol (LCT) was taken for two weeks in a double-blind, cross-over, controlled trial. During the intervention periods, all of the test meals were provided, and exercise and life style were monitored. After the MCT or LCT trial, the subjects performed cycle ergometer exercise at a work load corresponding to 60% VO_{2max} for 60 minutes and then continuously at 85% VO_{2max} until exhaustion. Blood glucose, β -hydroxybutyric acid, and lactate concentrations, and VO_2 , VCO_2 , and respiratory exchange ratio (RER) were measured at rest and during exercise. Substrate oxidation and exercise time to exhaustion showed no significant differences between the MCT and LCT trials. These data suggest that short-term ingestion of a small amount (6.6g, 2.7%) of MCT does not affect substrate oxidation or endurance performance at moderate- and high-intensity exercise in female collegiate athletes.

Key words

Medium-chain triacylglycerol, athlete, substrate oxidation, performance, dietary intervention