

原 著

粉乳油脂添加に用いる牛乳および大豆リン脂質の *in vitro* 消化において形成されたミセル中の脂肪酸組成

松本義信*¹ 武政睦子*¹ 守田哲朗*¹

要 約

市販の調製粉乳には大豆由来のリン脂質（大豆レシチン）が添加されているが、リン脂質組成が母乳中のリン脂質（母乳レシチン）に近似しているのは、大豆レシチンより牛乳由来のリン脂質（牛乳レシチン）である。調製粉乳に牛乳レシチンを添加すれば、より母乳に近い組成となり、乳児に好影響をもたらすと考えられる。そこで、調製粉乳油脂に、牛乳レシチン、あるいは大豆レシチンを、調製粉乳油脂重量の0%（無添加）、2.5%、あるいは10.0%添加し、新生児の十二指腸条件であるpH6.0、グリココール酸ナトリウム/タウロコール酸ナトリウム比0.5で、*in vitro* 消化し、得られたミセル層中の総脂質量、脂質分画、および脂肪酸組成を比較検討した。

その結果、ミセル層中の総脂質量と消化移行率は、レシチン無添加群よりレシチン添加群が有意に高値であり、さらに、2.5%レシチン添加群より10.0%添加群が高値の傾向にあった。しかし、用いたレシチンの種類による差は認められなかった。ミセル層中の各脂質の構成比率は、遊離脂肪酸では、レシチン添加群がレシチン無添加群より高い傾向にあり、モノグリセリドでは、逆に前者が後者より低い傾向にあった。ミセル層中の脂肪酸量とその移行率は、レシチン無添加群に比べてレシチン添加群が高い傾向にあり、レシチン添加群では、2.5%群より10.0%群の方が高い傾向にあった。

以上、牛乳レシチンと大豆レシチン間には有意差は認められなかったが、両レシチンとも、添加量の増加が調製粉乳油脂の消化を助長した。

結 言

リン脂質は、分子内に親水性部分と疎水性部分があり、この性質により乳化剤として働き、同じく乳化作用のある胆汁酸とともに消化管内でミセルの形成を介して脂質の消化、吸収に関与している¹⁻³⁾。市販の調製粉乳に強化されているリン脂質は、大豆由来のリン脂質（大豆レシチン）であり、n-6系多価不飽和脂肪酸の含有率が母乳リン脂質に比べて非常に高い⁴⁾。一方、牛乳由来のリン脂質（牛乳レシチン）は、脂肪酸組成が大豆レシチンに比べ母乳由来のリン脂質（母乳レシチン）に類似している。また、牛乳レシチンのリン脂質組成は母乳レシチンに類似しており、両レシチンとも大豆レシチンにはないスフィンゴミエリンを含んでいる^{5,6)}。スフィンゴミエリンは神経線維髄鞘中の主要構成物質であり、脳・神経系の発達が盛んな3歳ごろまでの乳幼児ではその必要性が高まっている⁷⁻⁹⁾。従って、調製粉

乳に牛乳レシチンを強化すれば、大豆レシチン強化よりも、母乳のリン脂質組成に近くなり、機能的にも乳児に好影響をもたらすと思われる。

そこで、調製粉乳油脂に牛乳レシチン、あるいは大豆レシチンを調製粉乳油脂重量の2.5%あるいは10.0%添加し、pH6.0、グリココール酸ナトリウム/タウロコール酸ナトリウム比0.5（新生児十二指腸条件）で *in vitro* 消化し、得られたミセル中に含まれる総脂質量と、リパーゼにより消化生成された脂質分画、脂肪酸組成を比較検討した。

研究 方法

1. レシチン

牛乳由来のリン脂質（牛乳レシチン、Fornterra Co-operative Group Limited）と大豆由来のリン脂質（大豆レシチン、豊年コーポレーション）を用いた。なお、レシチンは一般的にはホスファチルコリンを指すが、本論文では牛乳または大豆中に含

*1 川崎医療福祉大学 医療技術学部 臨床栄養学科
(連絡先) 松本義信 〒701-0193 倉敷市松島288 川崎医療福祉大学

まれるすべてのリン脂質とした。各レシチンのリン脂質組成は表1に、脂肪酸組成は表2にそれぞれ示した。

表1 各レシチンのリン脂質組成

	(%)	
	牛乳レシチン	大豆レシチン
ホスファチジルコリン	30.9	31.3
ホスファチジル エタノールアミン	24.4	28.5
ホスファチジル イノシトール	5.0	15.6
ホスファチジルセリン	7.5	5.4
スフィンゴミエリン	26.1	ND*
その他	6.2	19.3

*No detected.

表2 各レシチンの脂肪酸組成

	(%)	
	牛乳レシチン	大豆レシチン
C14 : 0	3.2	0.1
C14 : 1	0.2	ND*
C16 : 0	18.1	20.4
C16 : 1	1.6	ND
C18 : 0	11.4	3.2
C18 : 1	45.4	11.3
C18 : 2	6.7	57.6
C18 : 3	2.7	6.1
C20 : 0	1.9	0.4
C20 : 1	0.5	0.3
C20 : 2	0.2	ND
C20 : 3	0.6	ND
C20 : 4	1.2	0.1
C20 : 5	1.1	0.1
C22 : 0	5.2	0.5

*No detected.

2. 供試油

研究に供した油は、市販の調製粉乳用としてパーム油、ラード分別油、ヤシ油、大豆油などを混合した調整油(日本油脂製:ブランク)とし、それに牛乳レシチンか、大豆レシチンを2.5%、あるいは10.0%混合したものの、あわせて5種類である。これらの脂肪酸組成を表3に示した。

3. 胆汁酸

グリココール酸ナトリウム(G, ナカライ)とタウロコール酸ナトリウム(T, ナカライ)を、新生児条件下であるG/T比0.5に混合して使用した。

表3 供試油の脂肪酸組成

	(%)				
	Blank ¹⁾	2.5%レシチン		10.0%レシチン	
		Milk ²⁾	Soy ³⁾	Milk	Soy
C14 : 0	2.1	1.9	1.8	2.0	1.7
C14 : 1	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2
C16 : 0	22.7	19.4	19.7	20.2	20.3
C16 : 1	2.0	2.2	1.7	1.8	1.7
C18 : 0	10.4	9.0	8.8	9.1	8.8
C18 : 1	41.7	37.7	38.5	37.5	35.7
C18 : 2	16.8	24.2	24.4	23.4	26.9
C18 : 3	1.2	2.7	2.7	2.7	2.8
C20 : 0	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3
C20 : 1	0.9	0.7	0.7	0.7	0.6
C20 : 2	0.3	0.3	0.3	0.5	0.2
C20 : 3	0.1	0.4	0.1	0.2	0.0
C20 : 4	0.3	0.3	0.2	0.3	0.1
C20 : 5	0.5	0.4	0.6	0.4	0.4
C22 : 0	0.2	0.4	0.2	0.5	0.1

¹⁾調製粉乳油脂

²⁾調製粉乳油脂+牛乳レシチン

³⁾調製粉乳油脂+大豆レシチン

4. 消化酵素

リパーゼ(EC 3.1.1.3, Sigma, ブタ膵臓由来, 至適pH7.7)を、新生児十二指腸条件下であるpH6.0の0.1Mリン酸緩衝液で10%濃度として用いた。

5. 油脂の消化とミセル溶液からの分離(図1)

(1)消化用基質溶液の調整, リパーゼ消化ならびにミセル溶液の分離

各供試油1.5gに, NaCl 449mg, CaCl₂ 55.7mgおよび上記胆汁酸の混合物1.05gを加え, 0.1Mリン酸緩衝液でpH6.0に調整し, 50mLに定容した。これらをホモジナイザー(日本精機, AM-5)で6,000rpm, 10分間攪拌し, さらに超音波装置(シャープ, UT-305)で10分間均質化して消化用基質溶液とした。

各消化用基質溶液16mLに10%リパーゼ溶液4mLを加えて, 37℃恒温槽中振盪下で2時間消化した。なお, 消化開始1時間後にpHを確認し, pH6.0に調整した。消化終了後, 沸騰水中に2分間浸して反応を停止させた。ついで, 各試料を37℃, 100,000g, 2時間, 遠心分離(BECKMAN, XL-A)し, ミセル層10mLを採取した。

(2)ミセル層中の脂質の抽出および定量

ミセル溶液に3mol/LのHCl 2mLを加えて酸性にした後, ジエチルエーテル:石油エーテル(1:1)混合溶媒を加えて振盪, 遊離脂肪酸(FFA), モノグリセリド(MG), ジグリセリド(DG)およびト

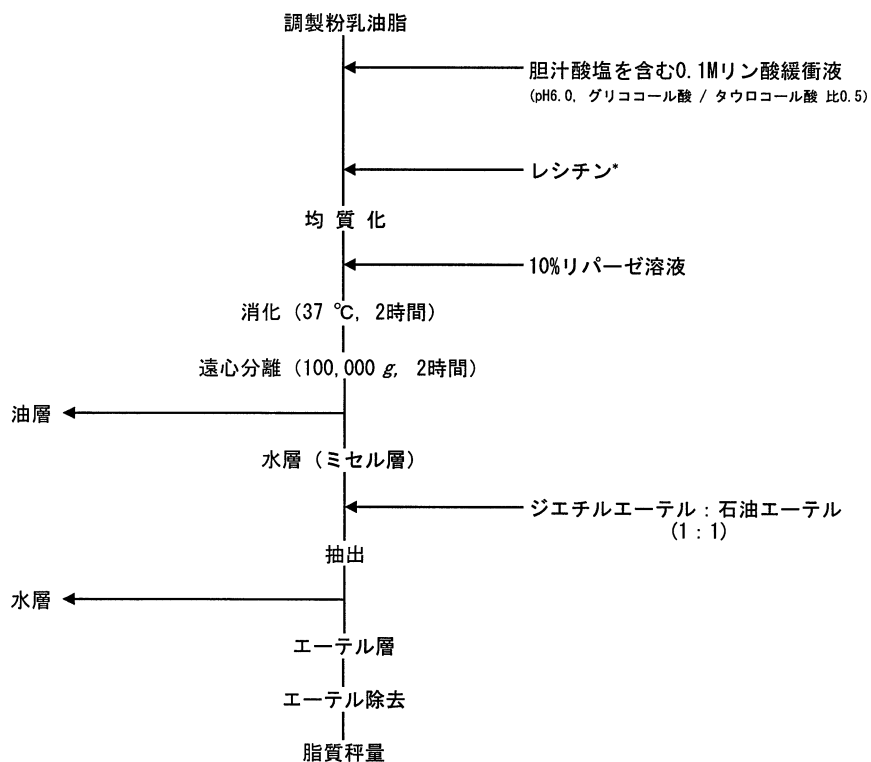


図1 消化用基質溶液の調整, リパーゼ消化, ミセル溶液の分離, および分析試料の調整
* 牛乳レシチンもしくは大豆レシチンを, 調製粉乳油脂重量に対して2.5%, あるいは10.0%添加

リグリセリド (TG) の混合物をエーテル層に抽出した。分離したエーテル層を無水硫酸ナトリウムで一晩脱水後, ロータリーエバポレーター (ヤマト科学, RE52) でエーテルを除去してミセル中の総脂質量を測定した。なお, このミセル中の総脂質量が, 用いた各供試油量に占める割合をミセル中への移行率 (%) とした。移行率は次式より算出した。

$$\text{移行率 (\%)} = \frac{\text{ミセル中の総脂質量}}{\text{供試油量}} \times 100$$

つぎに, この総脂質中に含まれている FFA, MG, DG および TG の混合物をガスクロマトグラフィー (GLC) でそれぞれに分画, 定量した。以下に GLC の分析条件を示した。

分析機種: GC-15A (島津製作所)

カラム: ULBON HR-1, 内径0.24 mm × 長さ25 m

カラムオープン温度: 50 から110 までは12 /分の昇温, 110 から170 までは6 /分の昇温, 170 から300 までは12 /分の昇温, 以降は300 で一定。

検出器温度: 300

注入口温度: 300

検出器: 水素炎イオン化検出器 (FID)

キャリアーガス (He): 1.4 kg/cm²

脂質ピークの同定はガスクロマトグラフィー・マススペクトロメトリー (日立製作所, M-80B) で行った。カラムは DB-1 (内径0.257 mm × 長さ30 m) を用いた。他の分析条件は, 前記条件と同様とした。

6. 脂肪酸の定量

各供試油からミセル中に取り込まれた脂肪酸の重量とその移行率を測定するために脂肪酸のメチル・エステル化を行った¹⁰⁾。すなわち, 精秤した消化前各供試油と, あるいはそれらの消化生成物であるミセル中の脂質混合物に, 内部標準物質トリデカン酸 (2 g/L) を含有したメタノール: ベンゼン = 1 : 1 溶液 2 mL を加えて溶解した。そこに, 塩化アセチル 200 μL を加えて100 , 1 時間加温, メチル・エステル化した後, 6% K₂CO₃ 5 mL を加えて振盪, ついで1,900 g, 3 分間遠心分離し, ベンゼン層を採取, GLC 分析した。以下にこの際の GLC の分析条件を示す。

分析機種: GC-15A (島津製作所)

カラム: HR-Thermon-3000B, 内径0.25 mm × 長さ50 m

カラムオープン温度: 170 から205 までは2 /分の昇温, 以降は205 で一定。

検出器温度: 205

注入口温度: 205

表4 ミセル中の総脂質量と移行率

	Blank	2.5%レシチン		10.0%レシチン	
		Milk	Soy	Milk	Soy
総脂質量* (mg)	61.1 ± 12.6	100.7 ± 11.1 [#]	99.6 ± 8.4 [#]	117.0 ± 12.6 [#]	113.5 ± 22.7 [#]
消化移行率 (%)	25.4 ± 5.2	41.9 ± 4.6 [#]	41.5 ± 3.5 [#]	48.7 ± 5.3 [#]	47.0 ± 9.1 [#]

*各供試油240 mgに対して.

[#]P<0.05, vs Blank.

表5 ミセル中の脂質分画

		(%)					
RT*	Blank	2.5%レシチン		10.0%レシチン			
		Milk	Soy	Milk	Soy		
FFA	16 (C14:0)	0.6 ± 0.3	0.3 ± 0.3	1.0 ± 1.6	1.1 ± 0.5	0.2 ± 0.3	
	18 (C16:0)	19.5 ± 6.2	18.9 ± 3.4	22.9 ± 4.0	15.1 ± 2.9	19.5 ± 1.1	
	20 (C18:0)	55.2 ± 3.2	59.8 ± 4.4	49.8 ± 4.9 [☆]	61.9 ± 4.6	63.0 ± 6.1 ^{#, b}	
	FFAの合計	76.1 ± 4.7	78.0 ± 3.8	74.7 ± 1.9	79.3 ± 2.7	83.1 ± 7.0 ^{#, b}	
MG	23	7.2 ± 5.3	7.2 ± 0.4	9.6 ± 4.6	7.6 ± 2.2	7.3 ± 3.4	
	24	14.8 ± 0.6	11.5 ± 0.5	14.7 ± 3.3	11.0 ± 1.4 [#]	8.1 ± 4.0	
	33	1.1 ± 0.9	1.6 ± 1.5	0.9 ± 1.6	1.2 ± 0.3	0.6 ± 0.5	
	MGの合計	23.0 ± 4.8	20.3 ± 1.7	25.2 ± 1.8	19.8 ± 2.8	16.1 ± 6.7 ^b	
DG	38	0.3 ± 0.3	0.2 ± 0.2	0.0 ± 0.1	0.4 ± 0.4	0.6 ± 0.4	
	45	0.6 ± 0.4	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.5 ± 0.1	0.3 ± 0.5	
	53	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	
	DGの合計	0.9 ± 0.6	0.3 ± 0.3	0.1 ± 0.1	1.0 ± 0.4	0.9 ± 0.8	

*Retention time (分)

[#]P<0.05, vs Blank; ^bP<0.05, vs 2.5%レシチン; [☆]P<0.05, vs Milk.

いずれの群においても, FFAの合計, MGの合計, DGの合計の相互間には, P<0.05で有意差あり.

検出器: 水素炎イオン化検出器 (FID)

キャリアーガス (He): 1.4 kg/cm²

各脂肪酸値 (mg) は, 既知の内部標準物質の重量との比率から求め, 各脂肪酸のミセル中への移行率を求めた.

7. 統計処理

研究結果はすべて平均値 ± 標準偏差で示した. 統計解析には Windows 版 Stat View-J 5.0を用いた. まず, 一元配置の分散分析を行い, つぎに, 有意差が認められた項目は Fisher's PLSD の post hoc test を行った.

研究結果

1. ミセル中の総脂質量と移行率

各供試油のミセル中の総脂質量と移行率を表4に

示した. 総脂質量と移行率はすべてのレシチン添加群においてブランク群より有意に高値であった. また, 有意ではなかったが, 2.5%レシチン添加群の値より10.0%レシチン添加群の値の方が高かった. しかし, レシチンの種類による差は認められなかった.

2. ミセル中の脂質分画

各供試油がリパーゼ消化によりミセル中へ取り込まれた時の, リパーゼの消化性を比較するために, ミセル中の脂質分画 (同定できなかったものは Retention time (RT) 値で表示) を表5に示した. 各群の FFA, MG, および DG の構成比率は, FFA が最も高く, 続いて MG, DG の順であり, 各分画間相互には有意差が認められた. FFA は, ブランク群よりすべてのレシチン添加群で高い傾向にあり, MG は逆にブランク群よりレシチン添加群が低い傾向にあった.

3. ミセル中の脂肪酸量と脂肪酸移行率

各供試油がリパーゼ消化を受けて, ミセル中へ取

表6 ミセル中の脂肪酸組成

	(%)				
	Blank	2.5%レシチン		10.0%レシチン	
		Milk	Soy	Milk	Soy
C14:0	2.1 ± 0.3	2.0 ± 0.3	2.2 ± 0.4	1.8 ± 0.2 [#]	1.9 ± 0.4
C14:1	0.2 ± 0.0	0.2 ± 0.0	0.2 ± 0.0	0.2 ± 0.1	0.2 ± 0.0
C16:0	19.2 ± 2.4	19.7 ± 1.4	19.1 ± 1.7	16.9 ± 3.2	16.2 ± 7.3
C16:1	2.2 ± 0.3	2.0 ± 0.2	2.0 ± 0.2	2.1 ± 0.3	1.9 ± 0.3
C18:0	6.8 ± 1.7	8.5 ± 0.7 [#]	7.4 ± 1.2	6.8 ± 2.3 ^b	9.0 ± 1.0 ^{b, ☆}
C18:1	39.2 ± 2.4	37.9 ± 1.3	39.0 ± 2.5	40.2 ± 3.4	37.6 ± 3.8
C18:2	25.3 ± 1.4	24.4 ± 0.5	24.9 ± 0.2	26.7 ± 1.6 ^b	27.9 ± 2.3 ^{#, b}
C18:3	2.7 ± 0.2	2.7 ± 0.1	2.8 ± 0.1	2.8 ± 0.3	2.9 ± 0.2 [#]
C20:0	0.3 ± 0.1	0.4 ± 0.2	0.3 ± 0.1	0.4 ± 0.2	0.4 ± 0.1
C20:1	0.6 ± 0.0	0.8 ± 0.1 [#]	0.7 ± 0.1	0.7 ± 0.1	0.6 ± 0.0
C20:2	0.3 ± 0.1	0.4 ± 0.1	0.4 ± 0.1	0.4 ± 0.1	0.4 ± 0.1
C20:3	0.1 ± 0.1	0.2 ± 0.2	0.2 ± 0.0	0.1 ± 0.1	0.1 ± 0.0
C20:4	0.3 ± 0.1	0.3 ± 0.2	0.3 ± 0.1	0.3 ± 0.2	0.2 ± 0.1
C20:5	0.5 ± 0.1	0.4 ± 0.1	0.5 ± 0.1	0.4 ± 0.2	0.4 ± 0.1
C22:0	0.2 ± 0.1	0.2 ± 0.1	0.2 ± 0.1	0.1 ± 0.1	0.2 ± 0.1

[#] $P < 0.05$, vs Blank; ^b $P < 0.05$, vs 2.5%レシチン; [☆] $P < 0.05$, vs Milk.

り込まれた各脂肪酸を比較するために、ミセル中の脂肪酸組成を表6に、ミセル中の脂肪酸量を表7に、ミセル中への脂肪酸移行率(ミセル中の各脂肪酸量/供試油量中の各脂肪酸量×100)を表8にそれぞれ示した。

(1) ミセル中の脂肪酸組成、および脂肪酸量

すべての群において、C18:1, C18:2, C16:0が他の脂肪酸より突出して高値であった。なお、C16:0, C18:0, C18:1, C18:3, C20:1, C20:2の各脂肪酸量は、ブランク群よりレシチン添加群が有意に高値となり、また、C18:1, C18:2, C18:3は、牛乳レシチン群、大豆レシチン群とも2.5%添加群より10.0%添加群が高い傾向であった。

(2) ミセル中の脂肪酸移行率

若干の例外を除き、ブランク群よりレシチン添加群が高い傾向であった。また、牛乳レシチン群、大豆レシチン群とも、2.5%添加群より10.0%添加群が高い傾向であった。なお、レシチンの種類による差は認められなかった。

考 察

以上、著者らは、牛乳レシチン、あるいは大豆レシチンを調製粉乳用油脂に強化した場合の乳児栄養学的効用を、*in vitro*の消化実験で比較検討した。脂質の消化に影響を持つ十二指腸中のpHならびに胆汁酸の抱合形態は、新生児と年長乳児では著しく

異なる。すなわち、新生児の十二指腸pHは6.0付近にあり、年長乳児から成人のpHである7.5よりも低い¹¹⁾。また、胆汁酸の抱合形態は、出生後しばらくはグリシン抱合型よりタウリン抱合型が優位であり、しかも、このタウリン優位は、母乳栄養では出生後比較的長く続くのに対して、人工栄養児では1ヶ月もするとグリシン優位に変わるといわれている^{5,6)}。本研究では、新生児十二指腸条件下(pH 6.0, G/T比0.5)において、比較消化実験を行った。

まず、ミセル中の総脂質量と移行率は、すべてのレシチン添加群がブランク群に比べて有意に高値であった。さらに、2.5%レシチン群より10.0%レシチン群の方が有意差はなかったものの高い傾向を示した。すなわち、レシチンを添加すると、調製粉乳油脂のミセル中への移行が促進され、その添加量が多くなると、移行も高まることが示唆された。

新生児、特に低出生体重児は年長乳児に比べ、胆汁リパーゼの活性、胆汁酸の分泌、小腸粘膜細胞からの吸収などの諸機能の発達が未熟である。なかでも、胆汁酸は脂質の乳化、リパーゼの活性化、ミセル形成など脂質の消化吸収全般にわたり重要な作用を有するが、低出生体重児は、胆汁酸貯蔵量が少なく、十二指腸胆汁酸もミセル形成の臨界濃度以下である¹²⁾。本研究における新生児の条件下でのミセルへの移行率は、牛乳レシチン群および大豆レシチン群に差は認められなかった。このことは、牛乳レシ

表7 ミセル中の脂肪酸量

	(mg / 供試油240 mg)									
	Blank	2.5%レシチン				10.0%レシチン				
		Milk		Soy		Milk		Soy		
C14 : 0	1.3 ± 0.3	1.9 ± 0.3	2.2 ± 0.6 #	2.1 ± 0.4 #	2.3 ± 0.9 #					
C14 : 1	0.1 ± 0.0	0.2 ± 0.1	0.2 ± 0.1	0.3 ± 0.1	0.2 ± 0.1					
C16 : 0	11.3 ± 1.8	18.9 ± 2.3 #	19.2 ± 2.5 #	19.7 ± 4.5 #	17.6 ± 7.4 #					
C16 : 1	1.3 ± 0.3	1.9 ± 0.3	2.1 ± 0.4	2.4 ± 0.6 #	2.2 ± 0.8 #					
C18 : 0	4.0 ± 0.8	8.1 ± 1.0 #	7.4 ± 1.0 #	7.9 ± 2.7 #	10.6 ± 3.1 #, b, ☆					
C18 : 1	23.8 ± 6.8	36.4 ± 2.5 #	39.3 ± 4.6 #	46.7 ± 6.3 #	44.6 ± 14.3 #					
C18 : 2	15.3 ± 4.1	23.5 ± 1.5	25.1 ± 2.3 #	31.1 ± 4.2 #	33.0 ± 9.7 #					
C18 : 3	1.6 ± 0.5	2.6 ± 0.1 #	2.8 ± 0.3 #	3.3 ± 0.5 #	3.5 ± 1.0 #					
C20 : 0	0.2 ± 0.0	0.4 ± 0.1	0.3 ± 0.1	0.5 ± 0.3 #	0.5 ± 0.1 #					
C20 : 1	0.4 ± 0.1	0.8 ± 0.1 #	0.7 ± 0.1 #	0.8 ± 0.2 #	0.8 ± 0.1 #					
C20 : 2	0.2 ± 0.0	0.4 ± 0.1 #	0.4 ± 0.1 #	0.5 ± 0.2 #	0.4 ± 0.0 #					
C20 : 3	0.1 ± 0.1	0.2 ± 0.1	0.2 ± 0.0	0.1 ± 0.1	0.1 ± 0.0					
C20 : 4	0.2 ± 0.1	0.3 ± 0.2	0.3 ± 0.1	0.4 ± 0.3	0.3 ± 0.0					
C20 : 5	0.3 ± 0.1	0.4 ± 0.1	0.5 ± 0.1	0.4 ± 0.2	0.4 ± 0.1					
C22 : 0	0.1 ± 0.0	0.2 ± 0.1	0.2 ± 0.1	0.1 ± 0.1	0.2 ± 0.1					

#P<0.05, vs Blank; ^bP<0.05, vs 2.5%レシチン; ☆P<0.05, vs Milk.

表8 ミセル中への脂肪酸移行率

	(%)									
	Blank	2.5%レシチン				10.0%レシチン				
		Milk		Soy		Milk		Soy		
C14 : 0	25.4 ± 6.9	41.1 ± 7.3	51.0 ± 12.9 #	43.8 ± 9.2 #	53.9 ± 22.1 #					
C14 : 1	19.4 ± 6.7	49.1 ± 12.9 #	46.6 ± 12.2 #	60.8 ± 21.7 #	52.9 ± 19.2 #					
C16 : 0	20.8 ± 3.3	40.7 ± 4.9 #	40.7 ± 5.2 #	40.6 ± 9.4 #	36.0 ± 15.1 #					
C16 : 1	27.1 ± 7.3	35.7 ± 6.0 #	49.5 ± 8.9	55.4 ± 13.2 #	54.2 ± 20.5 #					
C18 : 0	15.9 ± 3.2	37.6 ± 4.7 #	34.8 ± 4.9 #	36.1 ± 12.5 #	50.5 ± 14.6 #, b					
C18 : 1	23.7 ± 6.8	40.2 ± 2.8 #	42.5 ± 5.0 #	51.9 ± 7.0 #	52.0 ± 16.6 #					
C18 : 2	37.8 ± 10.3	40.5 ± 2.6	42.8 ± 4.0	55.4 ± 7.5 #	51.1 ± 15.1					
C18 : 3	55.1 ± 15.6	39.1 ± 1.7 #	43.8 ± 4.9	50.6 ± 8.1	50.7 ± 15.0					
C20 : 0	15.7 ± 4.5	49.4 ± 18.4 #	48.0 ± 12.1 #	44.7 ± 15.2 #	56.4 ± 9.3 #					
C20 : 1	18.8 ± 4.4	46.7 ± 6.1 #	41.7 ± 4.4 #	48.2 ± 12.2 #	56.9 ± 10.8 #, b					
C20 : 2	24.7 ± 5.4	65.1 ± 12.0 #	57.7 ± 10.8 #	42.8 ± 18.0 #	75.4 ± 6.7 #, ☆					
C20 : 3	25.5 ± 17.4	22.6 ± 16.8	70.9 ± 31.8	31.8 ± 30.8	69.7 ± 37.0					
C20 : 4	28.7 ± 12.0	42.3 ± 26.3 #	73.0 ± 17.8	31.9 ± 13.1 #	78.1 ± 5.0 #					
C20 : 5	21.0 ± 5.3	34.7 ± 11.2	32.9 ± 6.4	42.6 ± 15.7	46.8 ± 9.4 #					
C22 : 0	19.8 ± 7.6	21.1 ± 6.5	39.5 ± 29.9 ☆	8.1 ± 8.3	67.8 ± 10.0 #, b, ☆					

#P<0.05, vs Blank; ^bP<0.05, vs 2.5%レシチン; ☆P<0.05, vs Milk.

チンは大豆レシチン同様に新生児用調製粉乳の添加レシチンとして使用できることが判った。

つぎに、ミセル中の脂質分画の構成比率は、すべての群において FFA, MG, DG の順に高くなり、FFA,

MG, DG 相互間には有意差があった。FFA は、レシチン添加群がブランク群に比べて高い傾向を示し、また MG は低い傾向であった。すなわち、レシチンは調製粉乳油脂の乳化を亢進させると同等に、TG のリ

パーゼ消化を助けることを示唆した。

また、ミセル中の脂肪酸組成は、すべての群においてそれぞれ対応する供試油の脂肪酸組成と同じ傾向にあり、C18:1, C18:2, C16:0が他の脂肪酸より突出して高値であった。この際、各脂肪酸とも、ブランク群とレシチン添加群の間、レシチンの種類の間には、ほとんど差はみられなかった。ミセル中の脂肪酸量は、C18:1, C18:2, C18:3において、すべてのレシチン添加群がブランク群より高値を示し、また、牛乳レシチン、大豆レシチンのいずれを用いても、2.5%レシチン群より10.0%レシチン群が高い傾向にあった。なお、ミセル中に取り込まれたレシチン由来の脂質量は1.5 mgから4.2 mgであり、供試油からの脂質量である99.6 mgから117.0 mgに対して1.52%から3.70%に過ぎず、ミセル中の脂肪酸組成に影響する程ではなかった。ミセル中への脂肪酸移行率は、ほとんどの脂肪酸において、レシチン添加群の方がブランク群より高い傾向にあり、また、牛乳レシチン、大豆レシチンのいずれのレシチンを用いても2.5%レシチン群より10.0%レシチン群が高い傾向にあった。これら一連の成績とミセル中の脂質分画の構成比率の成績は、ミセル中での脂質から脂肪酸への消化がレシチン添加により促進され、その添加量が多くなると、消化も高まることが示唆された。しかし、牛乳レシチン添加群と大豆レシチン添加群の間では、有意差はみられなかった。

なお、本研究に供した牛乳および大豆レシチン量は、脂質量に対して2.5%あるいは10.0%であり、母乳中の0.6~0.8%、調製粉乳中の0.8%に比べて著しく高値であった¹³⁻¹⁵⁾。これは、予備研究の段階で

牛乳および大豆レシチンを母乳中の含量と同量の0.8%にして行ったところ、脂肪消化に変化を認めなかったため、添加量を2.5%と10.0%に増加した。その結果、いずれのレシチンを添加しても脂質の消化性は高まり、その程度に差は認められなかった。

以上、著者らは新生児の十二指腸条件下において、牛乳レシチン添加が調製粉乳油脂のミセル層での消化に及ぼす影響を大豆レシチン添加の場合と *in vitro* の実験で比較検討した。その結果、ミセル中での脂質から脂肪酸への消化は牛乳レシチンと大豆レシチン添加の間に差はみられなかった。すなわち、牛乳レシチン添加による調製粉乳油脂消化への影響は、大豆レシチン添加に比べて同程度であった。牛乳レシチンは、脂肪酸組成が大豆レシチンに比べ母乳レシチンに類似し、大豆レシチンにはないスフィンゴミエリンを含んでいることを考慮すると、調製粉乳に強化するレシチンは牛乳レシチンの方が理に適っていると考えられる。しかし、本研究は、試験管内という限られた条件下での一モデル実験であり、複雑な生体内消化でのすべてを正確に反映しているとは限らない。牛乳レシチンを強化した人工乳を調製し、これによる低出生体重児や乳児の哺育研究が必要であると考えられる。

最後に、本研究において終始御指導頂きました明治乳業研究所の米久保明得部長、菅野貴浩氏に心からお礼申し上げます。

なお、本研究は平成14~16年度糧食研究会研究費、ならびに平成14年度川崎医療福祉大学プロジェクト研究費の助成によるものである。

文 献

- 1) Nishimukai M, Hara H and Aoyama Y: Enteral administration of soybean lecithin enhanced lymphatic absorption of triacylglycerol in rats. *British Journal of Nutrition*, **90**, 565-571, 2003.
- 2) Rydhag L and Wilton I: The function of phospholipids of soybean lecithin in emulsions. *Journal of American Oil Chemical Society*, **58**, 830-837, 1981.
- 3) 秋野豊明: リン脂質の役割と代謝. *油化学*, **30**, 705-716, 1981.
- 4) 清澤功: 母乳の栄養学, 初版, 金原出版, 東京, 25-39, 1998.
- 5) Morrison WR: The distribution of phospholipids in some mammalian milks. *Lipids*, **3**, 101-103, 1968.
- 6) Harzer G, Haug M, Dieterich I and Gentner PR: Changing patterns of human milk lipids in the course of the lactation and during the day. *American Journal of Clinical Nutrition*, **37**, 612-621, 1983.
- 7) 矢沢一良, 増沢康夫: リン脂質. *油化学*, **40**, 845-857, 1991.
- 8) Kinney HC, Karthigasan J, Borenshteyn NI, Flax JD and Kirschner DA: Myelination in the developing human brain: biochemical correlates. *Neurochemistry Research*, **19**, 983-996, 1994.
- 9) Weidenheim KM, Kress Y, Epshteyn I, Rashbaum WK and Lyman WD: Early myelination in the human fetal lumbosacral spinal cord: characterization by light and electron microscopy. *Journal of Neuropathology Experimental Neurology*. **51**, 142-149, 1992.

- 10) Lepage G and Roy CC : Direct transesterification of all classes of lipids in a one-step reaction . *Journal of Lipid Research* , **27** , 114-119 , 1986 .
- 11) 大西鐘 , 伊藤進 : 小児領域における胆汁酸代謝の病態生理学的意義について . *肝胆臓* , **9** , 91-99 , 1984 .
- 12) 守田哲朗 : 小児栄養におけるタウリンの意義 . *小児科* , **37** , 1419-1427 , 1996 .
- 13) 米久保明得 , 有馬裕史 , 山本良郎 : 日本人の母乳組成に関する研究 (第 3 報) 多価不飽和脂肪酸組成 , ステロール及びリン脂質について . *小児保健研究* , **46** , 349-352 , 1987 .
- 14) 中山孝之 : 北日本における母乳中の脂質 , 総コレステロール , リン脂質の組成に関する研究 , *日本小児科学会雑誌* , **85** , 1615-1625 , 1981 .
- 15) Lauber E and Reinhardt M : Studies on the quality of breast milk during 23 months of lactation in a rural community of the Ivory Coast . *American Journal of Clinical Nutrition* , **32** , 1159-1173 , 1979 .

(平成17年5月31日受理)

Fatty Acid Compositions of Micellar Solutions Formed During *in vitro* Digestion of Lipids with Cow's Milk or Soybean Phospholipids in Powdered Milk Formula

Yoshinobu MATSUMOTO, Mutsuko TAKEMASA and Tetsuro MORITA

(Accepted May 31, 2005)

Key words : phospholipids, fatty acids, micellar solutions, powdered milk formula,
in vitro digestion

Abstract

This *in vitro* study was designed to investigate the possible advantages of phospholipids from cow's milk in the digestion of lipids in young infants. Solutions of a control oil, containing several plant oils, the control oil + phospholipids from cow's milk (cow's milk lecithin), and the control oil + phospholipids from soybean (soybean lecithin), were digested *in vitro* with lipase under conditions comparable to those found in a young infant's duodenum (pH 6.0, glycolic acid sodium salts / taurocholic acid sodium salt ratio of 0.5). The resulting micellar phase was analyzed for the total amount of lipid products, monoglycerides, diglycerides and triglycerides as well as their respective fatty acid contents.

The total amount of lipid products and their digestibility were significantly higher in both cow's milk lecithin and soybean lecithin compared to the control oil alone. The total amount of free fatty acids also showed a tendency to be increased by cow's milk lecithin and soybean lecithin.

It was concluded that increasing the amounts of lecithin results in more total amounts of lipid products and increases their digestibility in the micellar phase. No differences were found between cow's milk lecithin and soybean lecithin.

Correspondence to : Yoshinobu MATSUMOTO Department of Clinical Nutrition, Faculty of Health Science and
Technology, Kawasaki University of Medical Welfare
Kurashiki, 701-0193, Japan
(Kawasaki Medical Welfare Journal Vol.15, No.1, 2005 209-216)