

原 著

## コレステロールとリン脂質添加が 調製粉乳油脂の *in vitro* 消化に及ぼす影響

松本義信\*<sup>1</sup> 守田哲朗\*<sup>1</sup>

### 要 約

新生児は、コレステロール合成能が弱く、母乳や人工乳からの供給が不可欠である。新生児の栄養のためにはコレステロール摂取量は母乳レベルが望ましいと思われるが、人工乳のコレステロール含量は母乳の1/2~1/4量と少ない。この場合、添加されたコレステロールの脂肪消化に及ぼす影響は明らかでない。そこで、市販の調製粉乳に添加されている大豆レシチン、あるいは脂肪酸組成が母乳レシチンに近似している牛乳レシチンの存在下で、動物由来のコレステロール(Cho)、あるいは植物由来の $\beta$ -シトステロール(Pla)をそれぞれ調製粉乳油脂重量の0.28%、または0.43%添加し、新生児の十二指腸条件(pH 6.0、グリココール酸/タウロコール酸比0.5)において、各ステロールが調製粉乳油脂の *in vitro* 消化に及ぼす影響を、得られたミセル層中の総脂質量、脂肪酸組成、および消化により生成した脂質画分から比較検討した。

その結果、調製粉乳油脂がミセル中に取り込まれた割合(移行率)は、両レシチン群とも Pla 添加群および Cho 添加群がステロール無添加群より高値を示し、牛乳レシチン群においてその差は有意であった。また、両レシチン群とも Cho 添加群が Pla 添加群より高値で、0.43%添加群での差は有意であった。脂肪酸移行率は C16:0, C18:1, C18:2 において牛乳レシチン群は両ステロール添加がblankより有意に高値を示したが、大豆レシチン群は両ステロール添加の影響はなかった。取り込まれた油脂の消化により生成した脂質画分は、各群とも、遊離脂肪酸、モノグリセリド、ジグリセリドの順に高く、各画分間の差は有意であった。また、遊離脂肪酸においては Cho 添加群で、牛乳レシチン群は大豆レシチン群より有意に高値を示した。

以上、調製粉乳へ添加するステロールは、油脂のミセルへの取り込み、消化・吸収の面からも動物性である Cho の方が理に適っていると思われた。

### 結 言

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、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。先に、私どもは、牛乳レシチン、あるいは大豆レシチンを調製粉乳油脂に添加し、新生児の十二指腸条件下で *in vitro* 消化した結果、ミセル層中の総脂質量と脂肪酸量、ならびにこれらの消化移行率は、両レシチン間に有意差を認めなかったが、両レシチンとも、添加量の増加が調製粉乳油脂の消

化を助長することを確認した<sup>1)</sup>。

一方、コレステロールは、胆汁酸やステロイドホルモン、ビタミンDなどの前駆物質であり、神経のミエリン鞘や細胞膜を構成する脂質としても重要である<sup>2,3)</sup>。新生児は、コレステロール合成能が弱く、乳汁からの供給が不可欠である。牛乳脂肪を植物油で置換した人工乳のコレステロール含量は、母乳の1/2~1/4量である。母乳栄養におけるコレステロール摂取は、乳児に生理的であると思われるので、最近では、人工乳のコレステロール含量を母乳レベル程度にした製品が販売されている。この場合、新生児期での人工乳に添加したコレステロールの機能、特に脂肪の消化に及ぼす影響については明らかでない。

\*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  
E-Mail: yosinobu@mw.kawasaki-m.ac.jp

そこで、本研究では、牛乳レシチンあるいは大豆レシチン存在下で、動物由来のコレステロールと、植物由来の $\beta$ -シトステロールをそれぞれ添加し、各ステロールが新生児期における調製粉乳油脂の *in vitro* 消化に及ぼす影響について、ミセル中に取り込まれた脂質量、脂肪酸組成、ならびにミセル中に取り込まれた脂質から消化により生成した脂肪画分を測定し、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ジルコリンを指すが、本研究では牛乳または大豆に含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、および脂肪酸組成を表1に示した。

#### 2. ステロール

ステロールは、動物性のコレステロール（和光，以下 Cho と略す）と、植物性ステロールとして $\beta$ -シトステロール（ナカライ，以下 Pla と略す）を用いた。

#### 3. 供試油

市販の調製粉乳用として調整されたパーム油，ラード分別油，ヤシ油，大豆油などの混合油（日本油脂製）に，牛乳レシチンか，大豆レシチンを0.8%混合し，ブランクとした。ついで，ブランクに調整油重量の0.28%（市販の調製粉乳中の含量），あるいは0.43%（母乳中の含量）の上記ステロールを添加し，これらすべてを供試油とした。なお，レシチン添加調製粉乳油脂（ブランク）の脂肪酸組成は表2に示した。

#### 4. 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，新生児十二指腸条件下である G/T 比0.5に混合して使用した。

#### 5. 消化酵素

リパーゼ（EC 3.1.1.3，Sigma，ブタ膵臓由来，至適 pH 7.7）を 新生児十二指腸条件下である pH 6.0 の0.1 M リン酸緩衝液で10%濃度として用いた。

#### 6. 油脂の消化とミセル溶液からの分離（図1）

6.1. 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1.5 g に，NaCl 449 mg，CaCl<sub>2</sub> 55.7 mg

表1 各レシチンのリン脂質組成，ならびに脂肪酸組成

	牛乳レシチン	大豆レシチン
リン脂質組成（%）		
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
脂肪酸組成（%）		
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

ND；検出されず。

表2 レシチン添加調製粉乳油脂(ブランク)の脂肪酸組成

脂肪酸	牛乳レシチン添加 <sup>1)</sup>	大豆レシチン添加 <sup>2)</sup>
C14 : 0	2.1	2.2
C14 : 1	0.3	0.3
C16 : 0	19.9	20.3
C16 : 1	2.9	2.6
C18 : 0	7.7	7.9
C18 : 1	40.5	41.1
C18 : 2	22.7	19.6
C18 : 3	1.8	2.8
C20 : 0	0.3	0.7
C20 : 1	0.6	0.3
C20 : 2	0.3	0.5
C20 : 3	0.3	0.7
C20 : 4	0.2	0.3

<sup>1)</sup>0.8%牛乳レシチンを添加した調製粉乳油脂

<sup>2)</sup>0.8%大豆レシチンを添加した調製粉乳油脂

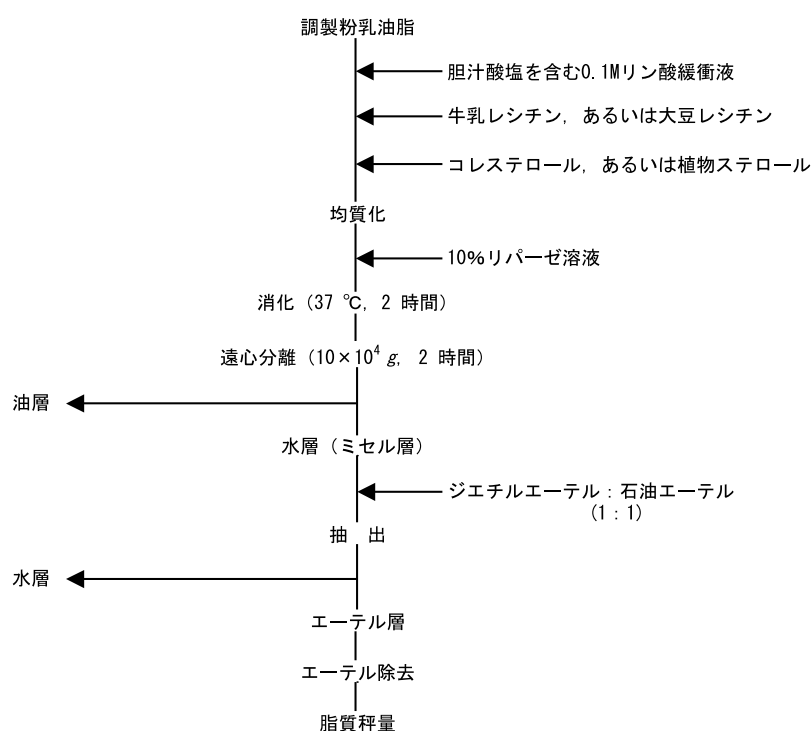


図1 消化用基質溶液の調整, リパーゼ消化, ミセル溶液の分離, および分析試料の調整

および上記胆汁酸の混合物1.05 gを加えた。さらに, Cho, あるいは Pla を加え, 0.1 M リン酸緩衝液で pH 6.0に調整し, 50 mL に定容した。これらをホモジナイザー(日本精機, AM-5)で6,000 rpm, 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16 mLに10%リパーゼ溶液 4 mLを加えて, 37°C 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, pH 6.0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℃, 100,000 g, 2時間, 遠心分離 (BECKMAN, XL-A) し, 乳化ミセル層10 mLを採取した。

#### 6.2. 乳化ミセル層中の脂質の抽出および定量

ミセル溶液に3 mol/LのHCl 2 mL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)でそれぞれに画分, 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/cm<sup>2</sup>

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。

#### 7. 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<sup>4)</sup>。すなわち, 各供試油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(2 g/Lトリデカン酸)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。ついで, 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% K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 5 mLを加えて振盪, 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℃

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/cm<sup>2</sup>

#### 8. 統計処理

研究は, 各群6試料について行い, 結果は平均値±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. ミセル中への油脂の移行率

調製粉乳油脂が乳化によりミセル中へ取り込まれた割合(移行率)を図2に示した。移行率は両レシチン群ともPla添加群, あるいはCho添加群がブラ

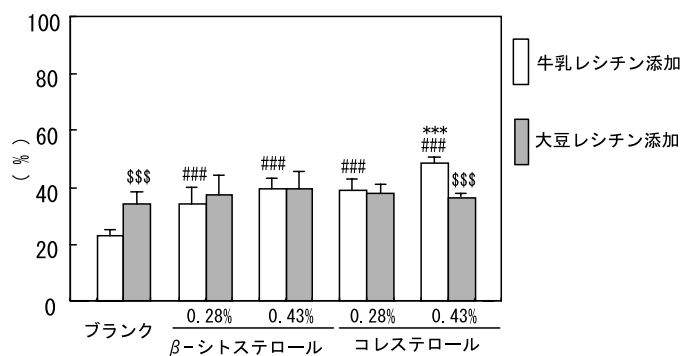


図2 調製粉乳油脂のミセル中への移行率

###  $P < 0.001$ , vs ブランク; \$\$\$  $P < 0.001$ , vs 牛乳レシチン添加; \*\*\*  $P < 0.001$ , vs  $\beta$ -シトステロール.

ンク群より高値を示し、牛乳レシチン群においてその差は有意であった。また、牛乳レシチン群では Pla 添加群より Cho 添加群が高値を示し、0.43%添加群での差は有意であった。

2. ミセル中の脂肪酸組成

ミセル中に取り込まれた油脂の主要な脂肪酸である C16:0, C18:0, C18:1, C18:2 の移行率を図3に示した。なお、脂肪酸の移行率は用いた調製粉乳油脂中の各脂肪酸量に対するミセル中に取り込まれた油脂中の各脂肪酸の割合で示した。脂肪酸の移行率は、牛乳レシチン群が両ステロール添加群とも C16:0, C18:1, C18:2 においてblank群より有意に高値を示し、C18:1, C18:2 においては Cho 添加群が Pla 添加群より高値傾向となった。この結果は、調製粉乳油脂のミセル中への取り込みの結果をよく反映するものであった。一方、大豆レシチン群では両ステロール添加による影響はなかった。

すなわち、ミセル中の脂質量、および脂肪酸量のどちらの測定結果からみても、牛乳レシチン添加時の調製粉乳油脂に Cho を0.43%添加すると、より多くの油脂がミセル中に取り込まれることを示す結果

となった。

3. ミセル中の脂質画分

ミセル中に取り込まれた油脂をリパーゼで *in vitro* 消化させたときに生成した FFA, MG, ならびに DG の脂質画分を図4に示した。各供試油群の脂質画分の構成比率は、FFA が最も高く、続いて MG, DG の順であり、それぞれの分画間の差は有意 ( $P < 0.05$ ) であった。FFA では、牛乳レシチン群が両ステロール添加ともblank群より有意に高値を示した。このとき、Cho 群が Pla 添加より有意に高値を示し、両ステロール添加群とも0.28%添加群より0.43%添加群が有意に高値を示した。また、Cho 添加では大豆レシチン群より牛乳レシチン群が有意に高値を示した。すなわち、ミセルに取り込まれた油脂の易消化性の指標を FFA, MG, DG から検討したところ、牛乳レシチン添加時に、Pla 添加より Cho 添加が、また0.28% Cho 添加より0.43% Cho 添加が、調製粉乳油脂の消化性を有意に向上させた。

考 察

以上、著者らは、牛乳レシチン、あるいは大豆レシチン存在下で調製粉乳用油脂に Cho か Pla を添加

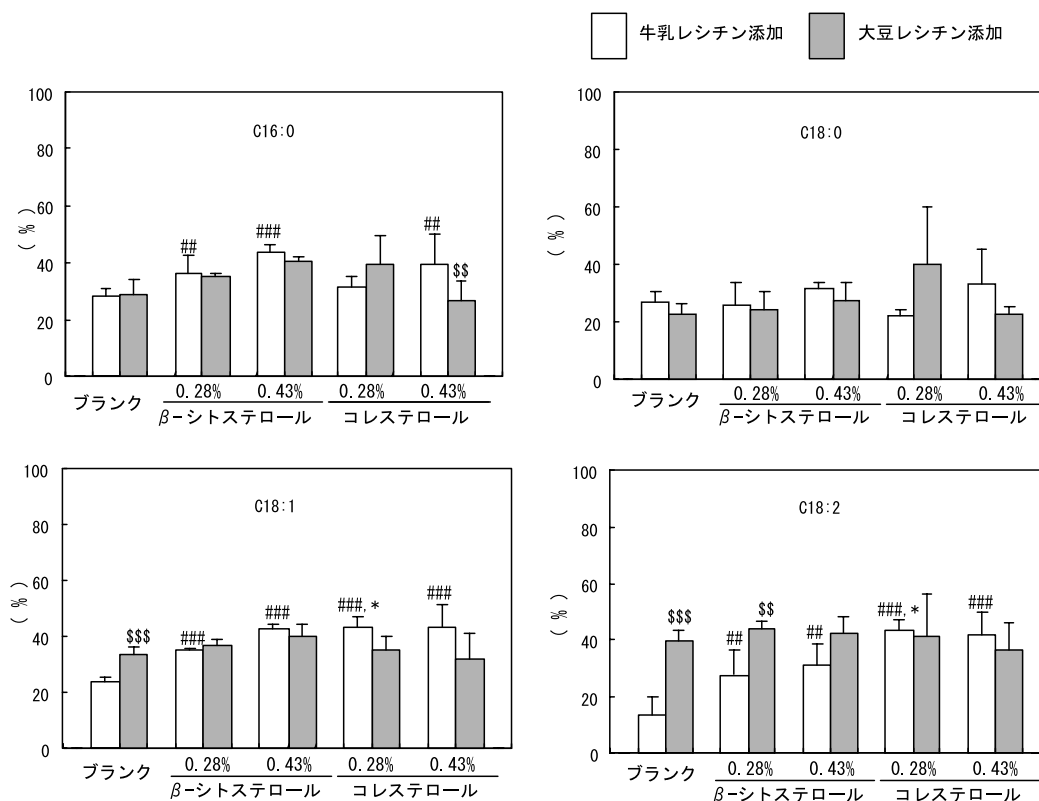


図3 ミセル中に移行した油脂の主要な脂肪酸の移行率

##  $P < 0.01$ , ###  $P < 0.001$ , vs blank; \$\$  $P < 0.01$ , \$\$\$  $P < 0.001$ , vs 牛乳レシチン添加;  
\*  $P < 0.05$ , vs β-シトステロール.

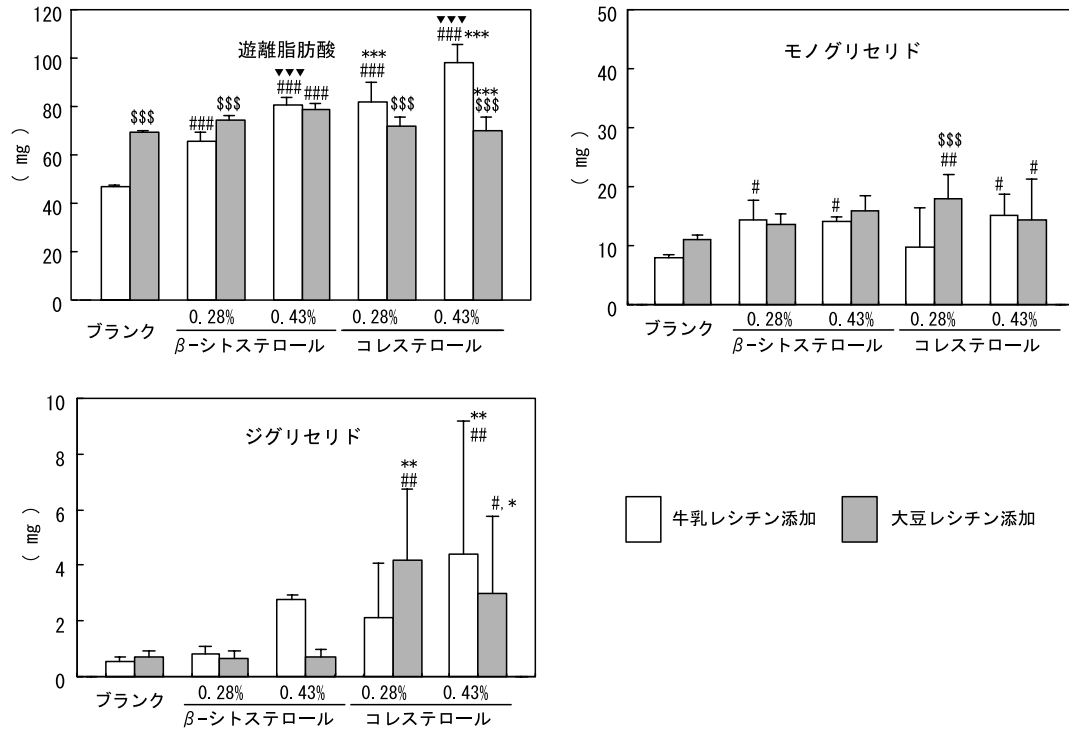


図4 ミセル中で消化された油脂の脂質画分

\* $P < 0.05$ , \*\* $P < 0.01$ , \*\*\* $P < 0.001$ , vs ブランク; \$\$\$ $P < 0.001$ , vs 牛乳レシチン添加; \* $P < 0.05$ , \*\* $P < 0.01$ , \*\*\* $P < 0.001$ , vs  $\beta$ -シトステロール;  $P < 0.001$ , vs 0.28%.

した場合の乳児栄養学的効用を、油脂のミセルへ取り込まれた割合である移行率と、取り込まれた油脂から消化により生成した脂肪酸画分、ならびに脂肪酸組成について比較検討した。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<sup>5)</sup>。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<sup>6,7)</sup>。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。

一方、母乳中の Cho 含量は 10~20 mg/100 mL であるが、調製粉乳中のそれは調乳時で 5 mg/100 mL である。また、乳児 (0~11 ヶ月) の哺乳量は 1 日当たり約 780 mL<sup>8)</sup> で、母乳栄養と人工栄養との間に差はなく、コレステロール摂取量は母乳栄養児が人工栄養児より 2~4 倍多い。このコレステロール摂取量の違いは、乳児の血清コレステロール値にも反映され、母乳栄養児の方が人工栄養児より高値で

ある。乳児の自然な栄養法は母乳栄養である。従って、母乳栄養における Cho 摂取は乳児にとって生理的であると思われる<sup>9)</sup>。アメリカの小児科学会栄養委員会は、食事からの Cho 摂取量は小児も成人同様、1 日 300 mg 以下としているが、急速な成長で栄養要求量の高い 2 歳までの乳幼児は例外で、食事からの脂肪と Cho を制限すべきでない<sup>7)</sup>と警告している。最近では、人工栄養乳児の脂質代謝がより円滑に進むことを期待して、人工乳の Cho 含量も人乳レベル程度に近似させる動きが活発になっている。

そこで、本研究では、牛乳レシチンあるいは大豆レシチン存在下で、動物由来のコレステロールと、植物由来の  $\beta$ -シトステロールをそれぞれ添加し、各ステロールが新生児の十二指腸条件下における調製粉乳油脂の *in vitro* 消化に及ぼす影響について、ミセル中の総脂質量、ならびにミセル中での消化により生成した脂肪酸の組成を測定し、それぞれの移行率とあわせて比較検討した。

まず、調製粉乳油脂のミセル中への移行率は、両レシチン群において、Pla 添加群、あるいは Cho 添加群がブランク群より高値を示し、牛乳レシチン群ではその差が有意であった。また、両ステロール群とも、0.43% 添加群が 0.28% 添加群より高い傾向に

あった。さらに、大豆レシチン群では、ステロール間の差は認められなかったが、牛乳レシチン群では、Cho 添加群が Pla 添加群より高値を示し、0.43%添加群でその差は有意であった。すなわち、牛乳レシチンを用いる場合、Pla 添加より Cho 添加の方が調製粉乳油脂のミセルへの取り込みを高め、さらに Cho 添加量を多くすると、取り込みも助長され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、腸リパーゼの活性、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<sup>10)</sup>。本研究において、脂質のミセルへの移行率は、牛乳レシチン群において、両ステロールとも、0.43%添加群の方が0.28%添加群より高値であった。すなわち、両ステロールとも脂質のミセル中への取り込みを促進したが、その効果は、母乳中の Cho 濃度0.43%の方が市販の調製粉乳中の濃度0.28%よりも大であることが判った。

つぎに、ミセルに取り込まれた油脂の脂肪酸組成は、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が、この際、各脂肪酸組成とも、レシチンの種類およびステロールの種類や添加量による違いは認められなかった。ミセル中への脂肪酸の移行率は、牛乳レシチン群では C16:0, C18:1, C18:2 において、ステロール添加群がブランク群より有意に高値を示し、さらに C18:1, C18:2 においては Cho 添加群が Pla 添加群より高値傾向を示したが、大豆レシチン群ではステロール添加による差はなかった。

また、ミセル中に取り込まれた油脂から消化により生成した脂質画分量は、すべての供試油群とも、FFA が最も高く、ついで MG, DG の順であり、各画分間に有意差があった。FFA において、牛乳レシチン群では、両ステロール添加がステロール無添加群より有意に高値を示し、Pla 群より Cho 群が有意に高値を示した。また、両ステロール群とも、0.28%添加群より0.43%添加群が有意に高値を示した。さらには、Cho 添加群では牛乳レシチン群が大豆レシチン群より有意に高値を示した。すなわち、Cho 添加時には、牛乳レシチン群が大豆レシチン群よりリパーゼ消化を助長させることが示唆された。これらミセル中で消化されて生成した脂質画分の成績と先のミセル中の脂肪酸の成績を併せて考えると、ミセ

ル中での脂肪から脂肪酸への消化は Cho 添加時に、大豆レシチン群より牛乳レシチン群で促進される傾向が認められた。

Sang ら<sup>11)</sup> は、牛乳由来または卵由来のスフィンゴミエリンが中性脂肪や<sup>14</sup>C ラベルのコレステロールを含んだエマルジョンの吸収に及ぼす影響をラットについて検討した結果、リンパ管への脂肪と<sup>14</sup>C コレステロールの取り込みは、両方のスフィンゴミエリン添加時が、無添加時よりも低下したと報告した。また、Chiba ら<sup>12)</sup> は、ミセル中にホスファチジルコリン/ホスファチジルエタノールアミンの比率を変えて添加したときの、コレステロールエステラーゼ活性を *in vitro* 実験で検討したところ、ホスファチジルエタノールアミン量が多いほど活性値が高まったと報告した。リン脂質画分の異なる2種類のレシチンを用いた私どもの研究では、脂肪のミセルへの取り込みや消化に差が認められた。今後は、レシチンの各画分が、脂肪や Cho のミセル中への取り込みや消化・吸収に及ぼす影響を検討する必要がある。

以上、著者らは新生児の十二指腸条件下において、レシチンの種類、ならびにステロールの種類と添加量が、調製粉乳油脂のミセル中への移行率、さらにはミセルに取り込まれた油脂の *in vitro* 消化に及ぼす影響を比較検討した。その結果、調製粉乳油脂のミセルへの移行率は、大豆レシチン群では添加ステロール間の差はほとんどなかった。一方、牛乳レシチン群では、両ステロール群とも0.43%添加群が0.28%添加群より高い傾向を示し、いずれの添加濃度においても Cho 添加群が Pla 添加群より高値であった。すなわち、牛乳レシチンの場合、Pla 添加よりも Cho 添加の方が調製粉乳油脂のミセルへの取り込みを亢進させることが判明した。さらに、新生児の脂質代謝を円滑に進ませるためには、人工乳の Cho 含有率(0.28%)を人乳レベル(0.43%)まで増量する必要性も示唆された。この際、ミセル中に取り込まれた脂肪から脂肪酸への消化は、Cho 添加時に大豆レシチン群より牛乳レシチン群で促進される傾向がみられた。なお、Cho そのものの吸収に関する研究<sup>13-15)</sup> は多くあるものの、Cho が脂質の消化や吸収に及ぼす影響について検討した研究は著者等が調べた限りでは見当たらなかった。今後、メカニズムも含めて検討を続けたいと考えている。また、植物ステロール類は消化管において生体内への Cho の取り込みを阻害する<sup>16-18)</sup> ことも知られており、油脂の消化・吸収の面からも調製粉乳へ添加するステロールは動物性である Cho の方が理に適っていると思われる。なお、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て Cho の添加量を増量した人工乳を調整し，低出生体重児や，乳児による補足研究が必要である．

最後，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16～17年度糧食研究会研究費の助成によるものである．

#### 文 献

- 1) 松本義信，武政睦子，守田哲朗：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，川崎医療福祉学会誌，**15**，209-216，2005．
- 2) 守田哲朗：脳の発達からみた新生児栄養 — タウリン，長鎖多価不飽和脂肪酸，コレステロールの意義—，栄養-評価と治療，**15**，295-300，1998．
- 3) Committee on Nutrition and American Academy of Pediatrics: Statement on cholesterol, *Pediatrics*, **90**, 469-473, 1992．
- 4) 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．
- 5) 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，肝胆膵，**9**，91-99，1984．
- 6) Morrison WR: The distribution of phospholipids in some mammalian milks, *Lipids*, **3**, 101-103, 1968．
- 7) 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．
- 8) 厚生労働省策定：日本人の食事摂取基準 [2005年版]，初版，第一出版，東京，**57**，2005．
- 9) Kallio MJT, Salmenpera L, Siimes MA, Perheentupa J and Miettinen TA: Exclusive breast-feeding and weaning; Effect on serum cholesterol and lipoprotein concentrations in infants during the first year of life, *Pediatrics*, **89**, 663-666, 1992．
- 10) 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．
- 11) Sang KN and Sung IK: Milk sphingomyelin is more effective than egg sphingomyelin in inhibiting intestinal absorption of cholesterol and fat in rats, *Journal of Nutrition*, **134**, 2611-2616, 2004．
- 12) Chiba T, Uematsu S, Sawamura F, Sugawara M, Tomita I, Kajiyama F and Tomita T: Effects of phosphatidylcholine / phosphatidylethanolamine composition in cholesteryl ester-micellar substrates on neutral cholesterol esterase activity, *Analytical Biochemistry*, **268**, 238-244, 1999．
- 13) Ikeda I, Matsuoka R, Hamada T, Mitsui K, Imabayashi S, Uchino A, Sato M, Kuwano E, Itamura T, Yamada K, Tanaka K and Imaizumi K: Cholesterol esterase accelerates intestinal cholesterol absorption, *Biochimica et Biophysica Acta*, **1571**, 34-44, 2002．
- 14) Ranpon JA: The effect of lecithin on intestinal cholesterol uptake by rat intestine *in vitro*, *Journal of Physiology*, **229**, 505-514, 1973．
- 15) Kinugasa K, Yamane Y, Adachi K, Kataoka K, Kato M, Sasaki T, Yorizumi H, Adachi A, Hirii Y, Morinaga O, Inada Y, Kashima K and Takino T: Effect of phosphatidylcholine on uptake of lipids into isolated rat enterocytes from mixed micelles, *Journal of Kyoto Prefecture University Medicine*, **97**, 651-659, 1988．
- 16) Ikeda I and Sugano M: Some aspects of mechanism of inhibition of cholesterol absorption by  $\beta$ -sitosterol, *Biochemistry Biophysics Acta*, **732**, 651-658, 1983．
- 17) Ikeda I, Tanaka K, Sugano M, Vahouny GV and Gallo LL: Inhibition of cholesterol absorption in rats by plant sterol, *Journal of Lipid Research*, **29**, 1573-1582, 1988．
- 18) Ikeda I, Tanabe Y and Sugano M: Effects of sitosterol and sitostanol on micellar solubility of cholesterol, *Journal of Science and Vitaminology*, **35**, 361-369, 1989．

(平成18年12月4日受理)



## Effects of Cholesterol and / or Phospholipids on Compositions of Micellar Solutions Formed during *in vitro* Digestion of Lipids in Powdered Milk Formula

Yoshinobu MATSUMOTO and Tetsuro MORITA

(Accepted Dec. 4, 2006)

Key words : cholesterol, *in vitro* digestion, micellar solutions, phospholipids, powdered milk formula

### Abstract

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

The total amount of lipid products and their digestibility were higher in both the control oils + cholesterol or  $\beta$ -sitosterol compared to the control oils alone. The total amount of fatty acids showed a tendency to be increased by the control oil contained milk lecithin + cholesterol.

It was concluded that cholesterol is more effective than  $\beta$ -sitosterol in the total amount of lipid products and in their digestibility in the micellar phase.

Correspondence to : Yoshinobu MATSUMOTO Department of Clinical Nutrition, Faculty of Health Science and Technology, Kawasaki University of Medical Welfare  
Kurashiki, 701-0193, Japan  
E-Mail: [yosinobu@mw.kawasaki-m.ac.jp](mailto:yosinobu@mw.kawasaki-m.ac.jp)  
(Kawasaki Medical Welfare Journal Vol.16, No.2, 2006 261-269)