

## 유아식에서의 팔미틴산의 함량이 변성과 미네랄의 흡수에 미치는 영향

이현우 · 김상중 · 김용해 · 양웅석 · 정성숙 · 하월규  
파스퇴르 유업 식품연구소

### 서 론

지방(Triacylglycerol)은 모유와 조제분유의 주요 에너지원으로 약 50%의 열량을 공급한다.<sup>(1)</sup> 그러나 그 입체 구조에 있어서 모유와 조제분유의 경우 많은 차이가 있다.<sup>(2)</sup> 팔미틴산은 모유의 전체 지방산 중 약 1/4를 차지하는 주요 지방산으로 모유 지방의 경우에는 약 70% 정도가 글리세롤 분자의 sn-2 부분에 에스테르 결합을 하고 있다. 지방에서 sn-2 위치에 에스테르 결합을 하고 있는 지방산의 경우 장내의 지방분해효소(pancreatic lipase)에 의해 가수분해가 되지 않으며 이때 생긴 2-monoacylglycerol은 담즙염과 micelle을 형성하여 원활히 흡수된다고 알려져 있다.<sup>(3)(5)</sup> 이와는 달리 우유와 조제분유에서는 팔미틴산이 대부분 지방의 sn-1, sn-3 위치에 있어 장내 지방분해효소에 의한 가수분해반응이 일어나며, 이때 생성된 유리팔미틴산은 칼슘과 복합체를 형성하여 장에서 잘 흡수가 되지 않는다.<sup>(6)(7)</sup> 따라서 조제분유의 경우 지방산의 조성을 모유 수준으로 맞춘다고 하더라도 지방산과 칼슘의 흡수가 낮다.<sup>(8)(9)</sup> 또한 장내 칼슘과 팔미틴산의 비누화 반응(formation of calcium soaps)은 모유를 먹이는 유아와 분유를 먹이는 유아 사이의 균총 및 변성의 차이를 어느 정도 설명할 수 있다. 모유를 수유하는 부모의 경우 아이의 석검변 현상을 호소하는 경우는 거의 없었으며 변성 문제로 전문가에게 상담을 하는 경우도 거의 없었다.<sup>(10)</sup> 조제분유에서의 지방의 sn-2 위치에 있는 팔미틴산을 조절하였을 경우 효과가 있는지에 대해서는 아직 많은 논란중이나<sup>(2,4,11,12)</sup> 미숙아의 경우 팔미틴산의 위치를 인위적으로 조정된 지방을 배합한 조제분유를 섭취할 때 지방산과 칼슘의 흡수가 개선되었으며<sup>(13,14)</sup> 비누화 현상의 감소<sup>(15)</sup>, 칼슘 배출의 감소 및 변성 개선<sup>(15)</sup> 등이 보고된 바 있다. 하지만 팔미틴산의 지방내에서의 위치를 조정하기 위해 쓰이는 효소에 대한 안전성에 대해서는 아직 명확히 검증되지는 않았다. 본 연구는 안전성을 고려하여 식물성 유지를 조절하여 석검변의 원인이 되는 팔미틴산의 양을 조절하였을 경우 팔미틴산의 함량이 유아의 변성, 주요 미네랄 및 지방산의 흡수와 어떤 상관관계가 있는지를 조사하였다.

### 재료 및 방법

#### 사용된 조제분유 및 실험 설계

본 실험에서 사용된 두 종류의 조제분유는 그 영양 성분의 함량은 유사하나 지방산의 조성은 다르게 설계하였다.(Table 1) 조제분유 A(formula A)의 경우 모유와 유사하게 지방산이 배합된 것이고, 조

제분유 B(formula B)의 경우 팔미틴산의 함량을 모유의 약 1/3 수준으로 줄인 것이다.

Table 1. Composition of experimental formulas (per 100ml)

	Formula A	Formula B	Breast milk <sup>1</sup>
Energy			
(kcal)	71	72	
(kJ)	298	302	
Protein(g)	1.8	1.7	1.2
Fat(g)	3.6	3.8	3.6
Carbohydrate(g)	7.8	7.9	7
Calcium(mg)	56	50	33
Phosphate(mg)	94	102	15
Magnesium(mg)	5.6	5.6	4
Fatty acids (% of total fatty acids by wt)			
6:0-10:0	2.03	3.59	1.5
12:0	10.80	12.69	3.4
14:0	4.70	5.07	7.8
16:0	27.64	7.15	22.1
18:0	4.28	3.30	6.9
16:1	0.00	0.07	3.1
Oleate(18:1)	27.64	43.86	35.6
Linoleate(w6,18:2)	20.68	21.61	14.7

<sup>1</sup> Myron Winick (1979) Human Nutrition v1.1 Plenum Press

30명의 생후 약 80일 정도의 유아를 세 그룹으로 나누어 각각 두 그룹은 각각 조제분유 A, 조제분유 B만을 먹이도록 하였고 다른 한 그룹은 모유와 조제분유 B를 1:1 비율로 먹이도록 하였다. 실험 기간은 1주일로 정하였고, 기존에 다른 조제분유를 먹이는 경우 실험 설계에 맞는 분유로 완전히 바꾼 시점을 그 시작일로 하였다. 하루에 먹이는 횟수는 유아 각자에 맞게 조절하도록 하였으며 하루에 총 900ml 정도의 유아식을 섭취하도록 하였다. 실험에 참여한 모든 유아들은 특정 질병을 앓지 않고 있었으며, 이 실험을 수행하기 전에 정상적인 발육을 보인 유아들이었다. 실험의 진행에 있어서 유아에게 제공되는 조제분유의 종류는 사전에 알 수 없게끔 하였고 샘플과 함께 제공된 설문지를 통하여 변의 물기, 변을 보는 횟수, 변의 색깔 등을 조사하였다.

### 유아변 분석

샘플의 수거는 본 실험에서 제공하는 조제분유로 완전히 바꾼 시점을 기준으로 하여 약 5~7일 후 2변에 걸쳐 실시하였다. 샘플은 산화 및 미생물의 번식을 막기 위해 밀봉후 냉동보관하였으며, 실험 수행 직전에 해동하여 균질화하였다. 미네랄 분석은 0.5~1g의 샘플을 약 570℃에서 회화후 묽은 염산에 녹여 유도결합플라즈마분광분석기(model OPTIMA 3300XL; Perkin-Elmer, USA)를 사용하여 측정하였다. 유아변에서의 지방산 분석은 가스 크로마토그래피 방법(GC)을 사용하였으며, 샘플당 3번 반복하여 평균치를 구하였다. 샘플 약 7~10g에서 지방을 추출하여 메틸에스테르화하여 GC 분석을 수행

하였다.

## 결과 및 고찰

유아의 변을 그룹별로 나누어 변의 농도, 색 및 일주일 배변 횟수 등을 비교한 결과는 Table 2와 같았다. 변의 농도의 경우 모유와 조제분유 B를 혼합 수유한 그룹이 가장 묽었으며, 조제분유 A, B를 섭취한 경우 유의할만한 차이점은 관찰할 수 없었다. 변을 보는 횟수에 있어서는 혼합수유를 하거나 조제분유 A를 섭취한 경우 조제분유 B를 섭취하는 것보다 다소 많은 경향을 나타내었다. 변의 색을 관찰한 경우 혼합수유를 하거나 조제분유 A를 섭취한 경우 다소 밝은 경향이 있었으나 유의할만한 수준은 아니었다.

Table 2. Mother's estimation of stool consistency during experimental period

Stool characteristic	Infant formula		Mixed feeding <sup>1</sup>
	Formula A	Formula B	
Stool consistency			
Hard stool (%)	18	14	0
Formed stool (%)	0	43	10
Soft(Mushy) stool (%)	45	0	20
Watery stool (%)	37	43	70
Stool consistency score <sup>2</sup>	2	2.3	1.4
Stools per week <sup>3</sup>	8.3±1.8	6.6±0.8	8.4±4.1
Stool color <sup>4</sup>	1.59	2.43	1.75

<sup>1</sup> Breast milk and Formula B.

<sup>2</sup> Calculated by scoring each stool(4=hard, 1=watery) and dividing by the number of stools.

<sup>3</sup>  $\bar{x} \pm SD$ .

<sup>4</sup> Calculated by scoring each stool(4=dark, 1=bright yellow) and dividing by the number of stools.

한편 변을 통해 배설되는 주요 지방산의 상대적인 양은 Table 3과 같았다. 세 그룹 모두 같은 양의 유아식을 섭취하였기 때문에 이 자료를 통해 지방산의 흡수도를 추정하였다. Lauric acid, myristic acid, palmitic acid의 경우 혼합수유를 하였을 때 가장 잘 흡수되었으며 조제분유 A를 섭취하였을 때 흡수도가 가장 낮았다. 특히 palmitic acid의 경우 조제분유 A와 B를 흡수한 그룹 사이에 약 30% 정도 흡수도의 차이를 보였다. (그림 1) Oleic acid, linolenic acid와 같은 불포화지방산의 경우 조제분유 A를 섭취한 그룹에서의 흡수도가 가장 높았다.

변을 통해 배설되는 주요 미네랄의 양은 Table 4에 나타내었다. 칼슘을 비롯한 마그네슘, 철분 등의 주요 양이온에 있어서는 모유와 혼합수유를 했을 때 가장 잘 흡수가 잘 되었다. 조제분유 A를 섭취한 경우 혼합수유에 비해 칼슘, 마그네슘, 철분 모두 50% 정도로 낮게 흡수되었다. 조제분유 B를 섭취한 경우 혼합수유에 비해서는 그 흡수가 다소 낮았으나 조제분유 A를 섭취하는 것보다 칼슘, 마그네슘,

철분 모두 약 26%, 34%, 10% 정도의 높은 흡수를 보였다.

Table 3 Comparison of fecal fatty acids among types of formulas

Fatty acid <sup>2</sup>	Infant formula		Mixed feeding <sup>1</sup>
	Formula A	Formula B	
12:0 (% of fecal fat)	3.9±0.7	3.5±1.5	3.0±1.3
14:0 (% of fecal fat)	6.6±0.3	6.0±1.5	5.5±1.1
16:0 (% of fecal fat)	53.0±4.8	41.7±4.5	37.4±5.6
18:0 (% of fecal fat)	16.8±1.7	19.3±8.1	16.4±5.4
18:1 (% of fecal fat)	11.2±3.2	17.2±5.0	24.1±6.6
18:2 (% of fecal fat)	2.7±1.2	3.2±1.7	3.1±2.8

<sup>1</sup> Breast milk and Formula B.

<sup>2</sup>  $\bar{x} \pm SD$ .

위 결과를 통해 조제분유에 배합한 지방산의 조성이 지방산의 장내 흡수와 미네랄의 균형에 밀접한 영향을 끼친다는 사실을 알 수 있었다. 본 연구는 지방의 구조를 모유와 유사하게 디자인했던 기존의 연구<sup>(16),(17)</sup>에 비해 지방산의 조성을 달리하는 것만으로도 지방의 소화 및 흡수를 조절할 수 있음을 밝혀내었다. 실제로 모유에는 지방의 흡수를 도와주는 지방분해효소들(lipolytic enzymes)을 지니고 있다. 따라서 조제분유를 설계하는 데에 있어서 지방의 구조를 모유화한다 하더라도 모유와 같은 효과를 기대하기에는 많은 어려움이 따른다고 볼 수 있다. 이에 비해 본 연구의 경우, 영양소의 효과를 고려한 모델(Breast-fed infant performance model) - 모유와 동일한 성분을 가진 조제분유를 만들어 아이에게 공급하는 것이 아니라 모유를 수유한 아이와 같이 건강하게, 튼튼하게 자라도록 영양소의 공급을 최적화한다는 모델 - 에 입각하여 실험을 설계하고 수행하였다. 조제분유 A를 섭취한 유아의 변에서는 조제분유 B를 섭취한 경우에 비해 lauric acid, myristic acid, palmitic의 양이 높았고 oleic acid와 linoleic acid의 양은 낮았다. 이는 효소를 사용하여 지방 구조를 모유화하여 지방산의 소화 및 흡수를 연구한 Virgilio PC et al,<sup>(16)</sup> 라드유를 사용한 Verkade et al<sup>(17)</sup>의 결과와도 일치한다. 변에서의 칼슘의 양과 변의 지방 혹은 지방산에 대해서는 많은 연구가 있어왔다.<sup>(25)</sup> 이 경우 음식을 통해 섭취하는 칼

Table 4. Contents of selected minerals<sup>1</sup> in feces fed different types of formulas

	Infant formula		Mixed feeding <sup>2</sup>
	Formula A	Formula B	
Calcium (mg/100g)	1105±166	876±249	583±229
Magnesium (mg/100g)	114±26	85±19	61±31
Iron (mg/100g)	26±6	24±8	15±8
Phosphorous (mg/100g)	118±35	119±22	77±30

<sup>1</sup>  $\bar{x} \pm SD$ .

<sup>2</sup> Breast milk and Formula B.

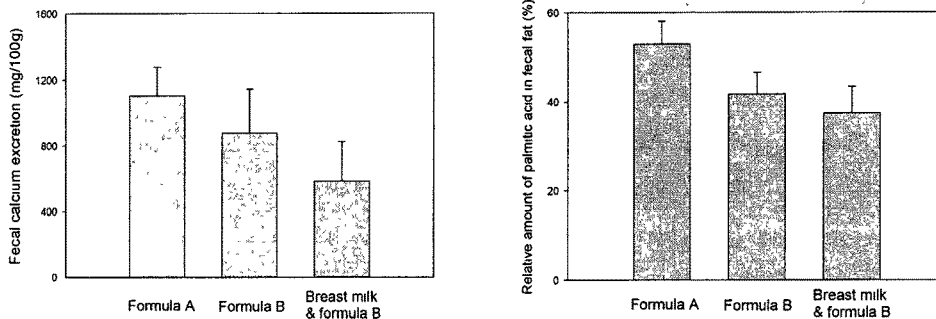


Fig. 1. Fecal calcium excretion and relative amount of fecal palmitate. Data are means of triplicated measurements, with error bar.

습과 배설되는 칼슘 및 포화지방산의 양과는 비례하는 경향을 보였다.<sup>(24)(25)</sup> 본 연구에서 칼슘의 섭취량은 세 그룹 모두 비슷했기에 우리는 조제분유 A를 먹이는 동안 많은 양의 팔미틴산을 포함한 포화지방산이 칼슘과 복합체를 형성하여 체내에 흡수되지 못했다고 생각할 수 있다. 결론적으로, 우리는 조제분유에 배합된 지방산의 조성이 지방산의 장내 대사에 많은 영향을 끼침을 밝혀내었다. 모유에 비해 팔미틴산의 양을 낮춘 조제분유를 사용함으로써 주요 포화지방산인 lauric acid, myristic acid, palmitic acid의 흡수도를 높였으며, 미네랄 흡수의 개선을 유도할 수 있었다.

## 요 약

30명의 건강한 유아를 세 그룹으로 나누어 팔미틴산을 포함한 주요 지방산의 조성을 모유에 맞춘 조제분유 A, 팔미틴산의 비율을 모유의 1/3으로 조절한 조제분유 B, 그리고 모유와 조제분유 B를 약 1:1 비율로 각각 1주일간 섭취하도록 하여 그들의 변을 수거, 분석을 하였다. 변의 농도, 횟수 및 변의 색에 있어서는 세 그룹 모두 유의할만한 차이를 관찰할 수 없었으나, 팔미틴산을 포함한 포화지방산과 칼슘, 마그네슘, 철분의 흡수는 혼합수유한 그룹이 가장 높았으며 조제분유 A를 섭취한 그룹에서 가장 낮았다. 또한 조제분유 B를 섭취한 그룹의 경우 혼합수유그룹에 비해 다소 낮은 흡수를 보이긴 하였으나 조제분유 A를 섭취한 그룹과는 현격한 차이를 보였다. 모유의 대표적인 포화지방산인 팔미틴산의 조성을 낮춘 조제분유를 수유할 경우 장내 지방산의 흡수를 개선하였으며 미네랄의 흡수도 효과적이었다.

## 참고문헌

1. Manson WG et al, (1997) *Arch. Dis. Child. Fetal. Neonatal. Ed.*, **76**, F206-211
2. Lien EL et al, (1993) *J. Nutr.*, **123**, 1859-1867
3. Bracco U, (1994) *Am. J. Clin. Nutr.*, **60**, 1002S-1009S
4. Filer LJ et al, (1969), *J. Nutr.*, **99**, 293-298

5. Innis SM et al, (1994), *Lipids*, **29**, 541-545
6. Lewis CT et al, (1977) *Arch. Dis. Child.*, **52**, 68-71
7. Chappell JE et al, (1986) *J. Pediatr.*, **108**, 439-447
8. Quinlan PT et al, (1995), *J. Pediatr. Gast. Nutr.*, **20**, 81-90
9. Weaver LT et al, (1988), *J. Pediatr. Gast. Nutr.*, **7**, 568-571
10. Morley R et al, (1997), *Child. Care Health Dev.*, (1997), **23**, 475-478
11. Tomarelli et al, (1968) *J. Nutr.*, **95**, 583-590
12. Verkade HJ et al, (1989), *Eur. J. Pediatr.*, **149**, 126-129
13. Carnielli VP et al, (1995), *Am. J. Clin. Nutr.*, **61**, 1037-1042
14. Lucas A. et al, (1997), *Arch. Dis. Child. Fetal Neonatal Ed.*, **77**, F178-184
15. Myron Winick (1979) *Human Nutrition v1.1* Plenum Press
16. Virgilio PC et al, (1995). *Am. J. Clin. Nutr.*, **61**, 1037-1042
17. Verkade HJ et al, (1991), *Am. J. Clin. Nutr.*, **53**, 643-651
18. Zoppi G et al, (1972), *Pediatr. Res.*, **6**, 880-886
19. Fredrikzon B et al, (1978), *Pediatr. Res.*, **12**, 631-634
20. Brueton MJ et al, (1978), *Gut*, **19**, 95-98
21. Murphy GM et al, (1974), *Gut*, **15**, 151-163
22. Watkins JB, et al, (1975), *Gastroenterology*, **69**, 706-713
23. Hanna FM et al, (1970), *Pediatrics*, **45**, 216-224
24. Chappell JE et al, (1986), *J. Pediatr.*, **108**, 439-447
25. Lutwak L et al, (1964), *Am. J. Clin. Nutr.*, **14**, 76-82