

## 시판 두유 및 우유가 흰쥐의 체내 철분 영양 상태와 운동 능력에 미치는 영향

이윤복 · 최연배 · 손헌수

(주)정 · 식품 중앙 연구소

### Effects of Commercial Soy Milk and Cow Milk on Iron Status and Work Capacity of Rats

Lee, Yoon Bok · Choi, Yeon Bae · Sohn, Heon Soo

Central Research Institute, Dr. Chung's Food Co. Ltd.

#### ABSTRACT

Evaluation of soy milk as an iron-rich milk substitute was conducted by feeding commercial soy milk, cow milk and mixed formula(soy and cow milk) to Wistar rats for 8 weeks. Body weight gains were significantly lower in the soy milk and mixed formula groups. Hematocrit, serum iron concentration and TIBC(total iron binding capacity) were measured to determine the iron status of the rats. In these respects, the iron status of the soy milk group was normal. Both serum iron concentration and TIBC as well as hematocrit were abnormal in the cow milk group, which is indicative of severe iron deficiency. Although hematocrit was normal in the mixed formula group, serum iron concentration was slightly low. The work capacities of each group were correlated with serum iron concentration and TIBC rather than hematocrit. The running distance of the soy milk group was about 10-fold longer than that of the cow milk group. Soy milk may be considered an iron-rich substitute for cow milk due to its higher iron content and bioavailability. (*Korean J Nutrition* 30(8) : 904~910, 1997)

KEY WORDS : soy milk · cow milk · rat · iron · work capacity.

#### 서 론

두유는 아시아 지역을 중심으로 오랫동안 이용되어 온 대두 가공 식품의 한 형태로 최근 서구에서도 이용 빈도가 증가하고 있다<sup>1)</sup>.

두유에는 대두 단백질과 대두유와 같은 영양 성분뿐만 아니라 식이 섬유, 대두 올리고당, saponin, phytic acid, isoflavone과 같은 많은 생리 활성 물질이 함유되어 있다<sup>2)</sup>.

영양적인 측면에서 두유는 우유와 유사하여 우유 대체액일 : 1997년 9월 1일

체 식품으로 인지되고 있으며, 특히 유당불내증을 보이는 영유아 및 성인에게 그 효용성이 크게 인정되었다<sup>3)</sup>. 또한 기능적인 측면에서 불 때 대두의 생리 활성 물질이 혈청 콜레스테롤을 저하시켜 순환기 질환을 예방할 수 있고, 그밖에도 항암효과, 항콜다공증효과를 갖는 것으로 보고되고 있다. 따라서, 두유는 영양적인 면과 기능적인 면을 모두 갖춘 식품이라고 볼 수 있다.

유아기 아동의 빈혈 증세의 상당 부분은 식이의 철분 결핍에서 유래된다<sup>4)</sup>. 영유아의 철분 영양의 특징을 성인과 비교해 보면 다음과 같다<sup>5)</sup>. 우선 이 시기는 적혈구 생성이 활발하여 식이의 철분 공급이 큰 영향을 미친다는 것이다. 또한 일반적으로 이 시기의 철분 결

핍증은 철분 함량이 낮거나 철분 이용률이 떨어지는 식사를 섭취하여 발생한다는 점이다. 특히 생우유를 과량 섭취할 때는 위장관 발달의 미비로 장출혈에 의한 철분 결핍성 빈혈을 일으킬 수 있다<sup>7)</sup>.

생활 수준 향상과 영양에 대한 관심 증대로 영유아의 영양은 많이 호전되었지만 영유아의 빈혈 증세는 국내 외에서 계속 보고되고 있다. 이는 모유 영양 기간의 증대로 인한 철분 결핍성 빈혈<sup>8)9)</sup>, 생우유 과량 섭취로 인한 철분 결핍성 빈혈<sup>10)11)</sup> 등이 주된 원인이다. 첫째, 모유 영양 기간의 증대로 인한 빈혈은 모유 영양의 장점이 지나치게 강조되면서 모유만으로도 충분한 영양 공급이 가능한 것으로 잘못 인식되어 발생한다. 둘째, 생우유 과량 섭취로 인한 빈혈은 생우유의 철분 함량이 낮고, 철분 흡수율이 낮음에도 불구하고 영양학적 지식의 결여와 사용의 편의성으로 인해 우유를 과량 섭취하여 발생한다. 우유의 철분 함량은 0.3~0.6mg/l의 정도로<sup>12)</sup> 낮고 특히, 장에서 철분 흡수율이 10% 내외로 유아의 철분 공급원으로는 부적당하다<sup>13)</sup>. 생후 6개월 이전에는 태내에서 태반을 통해 축적된 저장 철로 충분히 공급하지만 6개월 이후에는 식이를 통한 철분 공급이 필수적이다<sup>10)</sup>. 따라서 생후 6개월 이후에 생우유를 과량 섭취할 경우 철분 결핍성 빈혈을 초래할 수 있다. 이에 비해 두유는 철분을 약 8mg/l를 함유하여 양적인 면에서 우유보다 높으나, 한편으로는 대두에 내재하는 phytate에 의해 그 흡수가 저해된다<sup>14)</sup>.

이에 본 연구에서는 실험 동물을 이용하여 생우유 과량 섭취시 철분 결핍성 빈혈의 발생 여부를 확인하고, 적정 철분 공급 식품 원으로 두유의 가능성을 조사했다. 또한, 철분 결핍은 개인의 운동 능력을 감소시키기 때문에<sup>15)</sup> 체내 철분 영양 상태에 따른 운동 능력의 차이도 조사하였다. 실험 식이로는 순수한 두유, 우유 및 두유 우유 혼합제품을 기타 영양소의 첨가 없이 사용하였으며, 대조군의 식이는 비정제식이인 상업용 사료를 사용하였다. 이는 공급 식이가 철분뿐만 아니라 다른 영양소간에도 차이가 있어 흰쥐의 생육에 영향을 미칠 수 있다는 것과 대조군의 식이도 비정제식이라는 제한점이 있으나, 각 식이의 직접적인 체내 철분 영양 상태의 변화 효과와 이에 따른 운동 능력의 변화를 판정하기 위하여 사용하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 실험 동물의 사육

본 실험에 사용한 실험 동물은 Wistar종의 흰쥐로

3주령의 수컷을 1주일간 예비 사육한 후 사용하였다. 85~90g의 흰쥐를 난괴법(randomized block design)에 의해 각 5마리씩 4군으로 나누어 8주간 사육하였다. Stainless-steel cage를 사용하여 cage당 1마리씩 개별 사육하였으며, 사육실의 채광은 인공 광으로 주야 각각 12시간으로 유지하고, 온도 및 상대 습도는 각각 22±1℃, RH 55±5%가 되도록 하였다. 물과 식이는 자유롭게 먹을 수 있도록 하였다.

### 2. 실험식이

실험에 사용한 식이는 시중에 유통되고 있는 두유 제품, 두유 우유 혼합 제품 및 시유를 구입하여 동결 건조하여 영양 성분의 첨가 없이 사용하였고, 대조군으로 사용한 식이는 상업용 동물 사료(삼양 사료)를 사용하였다. 동결 건조한 식이는 저온에서 밀봉 보관하였으며, 분말 상태로 매일 공급하였다.

### 3. 실험 식이의 영양 성분 분석

각 시료는 식품 공전과<sup>16)</sup> AOAC 방법에<sup>17)</sup> 준하여 분석하였다. 총고형분은 105℃ 건조법, 단백질은 kjeldahl법, 지방은 고속 soxhlet법, 회분은 600℃ muffle furnace법을 사용하여 분석하였다. 인은 Molybden법을 사용하여 측정하였고 그 외의 무기질은 원자흡광광도계를 이용하여 분석하였다. 비타민은 고속 액체크로마토그래피법을 이용하여 분석하였고, 실험식이의 열량은 Atwater 계수를 사용하여 계산하였다.

### 4. 식이 섭취량 및 체중 측정

식이 섭취량은 매일 한번씩 측정하였으며, 체중은 실험 전기간 1주일에 한번씩 먹이통을 제거하고 두시간이 지난 후에 측정하였다.

### 5. 시료 채취와 적혈구 용적을 측정

실험 동물을 12시간 절식시킨 후 diethyl ether로 마취하여 복부 대동맥으로 채혈하였고, EDTA를 처리한 혈액과 EDTA 비치리 혈액을 각각 얻었다.

EDTA처리 혈액은 헤파린 비치리 모세관에 채워 microhematocrit법으로 적혈구 용적률을 측정하였다.

EDTA비치리 혈액은 실온에서 30분간 방치한 후 4,000 rpm에서 20분간 원심 분리하여 혈청을 얻었다. 이 혈청은 -20℃에서 냉동 보관하였다가 혈청 철분 농도와 혈청 총 철분 결합능(TIBC)을 각각 측정하였다.

### 6. 혈청 철분 농도와 혈청 총 철분 결합능 측정

혈청 철분 농도와 혈청 총 철분 결합능 측정에 사용된 모든 기구는 1N 염산 용액으로 탈철처리를 한 후 사

용하였으며, (주)아산 제약의 측정용 kit를 사용하여 590nm에서 흡광도를 측정하였다.

### 7. Dual treadmill을 이용한 운동 능력 측정

실험 동물의 운동 능력은 실험 시작 7주 후에 측정하였다. 운동 능력은 dual treadmill(대중 기기)로 주행 거리를 측정하여 지표로 삼았다. 주행속도를 30m/min으로 고정하여 전기 자극을 주며 완전히 지칠 때까지 달리게 하여 각 실험 동물의 최대 주행 거리를 측정하였다.

### 8. 통계 처리

모든 실험 결과는 SPSS 프로그램을 이용하여 평균과 표준 오차를 구하였으며, 각 실험 군간의 평균치간의 유의성은 분산 분석 후 Duncan's multiple range test로  $\alpha=0.05$  수준에서 검증하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 체중 증가, 식이 섭취 열량 및 식이 효율

실험 종료 후 체중 증가량, 섭취 열량 및 식이 효율은 Table 1과 같았다. 각 실험군의 체중 증가량은 대조군이 가장 높았고 우유군, 두유군, 혼합군의 순서였으며 두유군과 혼합군간의 체중 증가량에는 유의적인 차이가 없었다.

실험에 사용된 식이는 모두 비정제 식이로 각 식이의 영양 성분은 Table 2에 표시하였다. 각 식이의 철분 함량은 대조군 37.5, 두유군 6.6 우유군 3.1, 혼합군 4.7 mg/100g으로 대조군이 월등히 높았고, 우유군이 가장 낮았다. 이들 식이는 식이 간의 열량 밀도가 차이가 있어 식이 효율을 계산하기 위해 식이 섭취량을 열량으로

**Table 1.** Body weight gain, intake calories and feed efficiency ratio(FER) in rats consuming different diets

Group	n	Body weight gain(g/day)	Intake calories(kcal/day)	FER(body wt gain/intake calories)
Control	5	5.81 ± 0.25 <sup>a</sup>	92.62 ± 1.99 <sup>a</sup>	0.0626 ± 0.0013 <sup>a</sup>
SOY	5	4.29 ± 0.15 <sup>b</sup>	61.81 ± 1.27 <sup>b</sup>	0.0693 ± 0.0012 <sup>a</sup>
COW	5	4.99 ± 0.26 <sup>c</sup>	68.50 ± 1.29 <sup>b</sup>	0.0729 ± 0.0011 <sup>a</sup>
MIX	5	4.25 ± 0.09 <sup>b</sup>	50.31 ± 5.21 <sup>c</sup>	0.0881 ± 0.0118 <sup>b</sup>

All values are means ± SE

Values within a column with different superscript letters are significantly different at  $p < 0.05$  by Duncan's multiple range test

**Table 2.** Analytical nutritional values of experimental diets

Items		Diets			
		Control	SOY	COW	MIX
Total solid	%	89.2 ± 0.0 <sup>1)</sup>	97.5 ± 0.0	95.2 ± 0.3	93.8 ± 0.1
Protein	%	22.7 ± 0.2	26.1 ± 0.0	24.6 ± 0.0	31.3 ± 0.0
Fat	%	4.88 ± 0.0	28.2 ± 0.3	19.3 ± 0.0	14.1 ± 0.2
Carbohydrate	%	55.3	37.6	46.0	42.8
Ash	%	6.35 ± 0.00	5.55 ± 0.00	5.26 ± 0.00	5.51 ± 0.00
Calories	kcal/100g	356	509	456	424
Na	mg/100g	414 ± 8	996 ± 6	362 ± 20	612 ± 6
K	mg/100g	654 ± 45	1056 ± 40	1078 ± 25	1346 ± 4
Fe	mg/100g	37.5 ± 0.3	6.6 ± 1.5	3.1 ± 0.0	4.7 ± 2.1
Mg	mg/100g	818 ± 20	620 ± 0	336 ± 6	636 ± 0
Zn	mg/100g	9.9 ± 0.1	2.45 ± 0.00	2.9 ± 0.0	3.0 ± 0.1
Ca	mg/100g	1358 ± 20	430 ± 8	940 ± 40	432 ± 17
Cu	mg/100g	2.25 ± 0.00	0.95 ± 0.00	0.11 ± 0.00	0.65 ± 0.0
P	mg/100g	69.7 ± 1.0	57.4 ± 2.2	52.4 ± 8.9	50.6 ± 0.4
Vit A	IU/100g	3190 ± 13	ND <sup>2)</sup>	1074 ± 8	363 ± 14
Vit B <sub>1</sub>	mg/100g	0.84 ± 0.00	ND	ND	ND
Vit B <sub>2</sub>	mg/100g	0.89 ± 0.00	ND	ND	ND
Vit C	mg/100g	ND	ND	ND	ND
Vit D <sub>3</sub>	IU/100g	23.5 ± 0.0	ND <sup>3)</sup>	ND	ND <sup>3)</sup>
Vit E	mg/100g	5.88 ± 0.00	1.30 ± 0.00	ND	0.61 ± 0.00

1) Means ± SE

2) Not Detected

3) Since the peaks of vitamin D<sub>3</sub> and  $\gamma$ -tocopherol were overlaid, values were not calculated

환산하였다. 섭취 열량은 체중 증가량과 같은 순서였으며 두유군과 혼합군간의 유의적인 차이는 역시 없었다. 그러나, 단위 섭취 열량당 체중 증가량, 즉 식이 효율은 대조군, 두유군, 우유군 모두 차이가 없었으나 혼합군만이 유의적으로 높았다.

**2. 철분 영양 상태**

체내의 철분 영양 상태를 평가하는 방법으로는 헤모글로빈 농도, 적혈구 용적률, 혈청 ferritin 농도, 혈청 철분, 혈청 총 철분 결합능, free erythrocyte protoporphyrin(FEP) 농도, 평균 적혈구 용적, 혈청 transferrin receptor 농도 측정 등이 사용되고 있다<sup>18)</sup>. 본 실험에서는 이중 가장 많이 사용되고 있는 적혈구 용적률을 1차 지표로 하고 sensitivity와 specificity를 고려하여 혈청 철분 농도 및 혈청 총 철분 결합능을 체내 철분 영양 상태의 지표로 삼았다<sup>19)</sup>.

**1) 적혈구 용적률**

각 실험군의 적혈구 용적률은 Table 3과 같다. 대조군, 두유군, 혼합군은 유의적인 차이가 없었으나 우유군만이 유의적으로 낮은 수치를 보였다. Rat의 평균 적혈구 용적률이 46±3%라고 보고되고 있어, 우유군을 제외한 모든 실험군의 적혈구 용적률은 정상 범위에 해당하였다. 우유군의 적혈구 용적률은 두유군의 58%에 불과하였으며, 눈, 피부와 같은 외관 관찰로도 쉽게 매우 심한 빈혈 상태임을 알 수 있었다.

철분 결핍의 발전 단계는 크게 3단계로 나눌 수 있다<sup>20)</sup>. 1단계는 저장 철분의 결핍 단계로 저장 철이 감소하며 그 지표로 혈청 ferritin 농도가 감소한다. 2단계에서는 철분 결핍성 조혈(iron-deficiency erythropoiesis)이 진행되어 혈청 철분이 감소하고 총 철분 결합능이 상승하며 transferrin 포화도가 감소하게 된다. 3단계는 철분 결핍성 빈혈(iron-deficiency anemia) 단계로 헤모글로빈 생성이 감소한다. 이 때 소구성 빈혈 혹은 저색소성 빈혈이 발생되며, 적혈구 용적률만을 측정했을 때는 이와 같은 최종 단계만을 확인할 수밖에

**Table 3.** Hematocrit, serum iron concentration and serum TIBC in rats fed four different diets

Group	n	Hematocrit (%)	Serum iron concentration (µg/dl)	Serum TIBC (µg/dl)
Control	5	44.2±1.2 <sup>a</sup>	163.6±11.9 <sup>a</sup>	544.5±12.9 <sup>a</sup>
SOY	5	45.4±0.9 <sup>a</sup>	257.6±21.0 <sup>b</sup>	481.3±10.7 <sup>b</sup>
COW	5	26.5±0.8 <sup>b</sup>	43.2± 4.7 <sup>c</sup>	836.8±20.3 <sup>c</sup>
MIX	5	45.6±0.4 <sup>a</sup>	181.5±21.2 <sup>b</sup>	605.3±35.6 <sup>a</sup>

All values are means±SE  
Values within a column with different superscript letters are significantly different at p<0.05 by Duncan's multiple range test

었다. 따라서 체내 철분 영양 상태의 단계를 자세히 규명하기 위해 혈청 철분 농도와 혈청 총 철분 결합능을 측정하였다. 일단 우유군은 헤모글로빈의 생성이 매우 감소한 상태로 철분 결핍성 빈혈의 3단계에 해당하여 매우 심하게 빈혈이 진행되었다고 할 수 있었다.

**2) 혈청 철분 농도와 혈청 총 철분 결합능**

Table 3에서 나타난 것과 같이 혈청 철분 농도는 두유군이 257.6±21.01µg/dl로서 가장 높았고 혼합군, 대조군, 우유군 순이었다. 우유군의 혈청 철분 농도는 43.2±4.71µg/dl로서 철 결핍이 심하였다. 혼합군과 대조군은 적혈구 용적률은 정상이었지만 혈청 철분 농도는 낮게 나타났다. Wistar rat의 정상 혈청 철분 농도는 239.7±27.7µg/dl로 보고되어 두유군의 혈청 철분 농도가 정상임을 확인할 수 있었다<sup>21)</sup>.

혼합군과 대조군이 체내 철분 상태가 정상보다는 약간 낮게 나타났는데, 우선 혼합군의 경우는 식이중 철분 함량이 4.7mg/100g으로 두유군의 식이에 비해 철분 함량이 적기 때문인 것으로 생각되었다. 그러나, 대조군의 식이중 철분 함량은 37.5±0.3mg/100g으로 매우 높음에도 불구하고 혈청 철분 농도가 두유군에 비해 유의적으로 낮았으며, 이는 체중 증가 속도가 타 실험군에 비해 매우 높아 조절 속도가 이에 못 미쳤거나<sup>22)</sup>, 식이 중의 철분 이용률이 매우 낮아 이와 같은 결과를 초래한 것으로 추측할 수 있다.

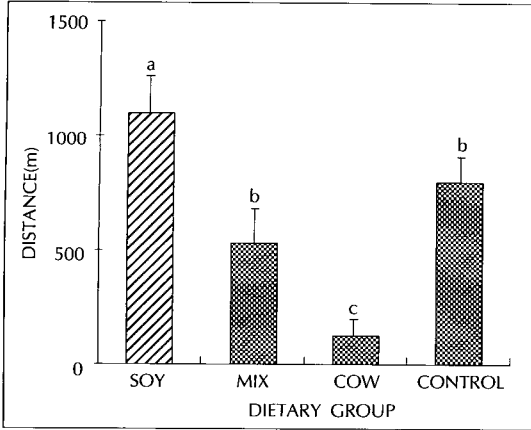
혈청 총 철분 결합능은 Table 3에 표시하였으며, 우유군, 혼합군, 대조군, 두유군 순으로 높았다. 혈청 철분 농도와 마찬가지로 두유군은 정상적인 체내 철분 영양 상태이었으나, 우유군은 철분 결핍이 매우 심각하였다.

적혈구 용적률, 혈청 철분 농도, 혈청 총 철분 결합능의 측정에서 두유군은 모두 정상적인 수치를 보였으며, 우유의 철분은 함량과 생체이용률면에서 적절함을 알 수 있었다. 대두의 성분이 철분의 생체 이용률을 미치는 영향에 대해서는 많은 보고가 있었다<sup>23)24)25)26)</sup>. 대두 단백질과 phytate는 철분의 생체 이용을 저해한다고 보고되었으나, 저해 정도는 실험 조건과 대두의 가공 방법에 따라 차이가 있었으며<sup>27)28)</sup>, 본 실험에서도 두유군의 혈청 철분 농도가 우유군에 비해 높았다.

**3. 체내 철분 영양 상태와 운동 능력**

각 실험군의 최대 주행 거리는 Fig. 1에 나타났다. 주행 거리는 두유군이 1086.23±123.86m로 가장 길었고, 우유군은 115.07±36.16m로 가장 짧았으며 두유군의 약 10% 정도였다. 또한, 두유군에 비해 대조군과 혼합군의 주행 거리도 유의적으로 작았다.

체내 철분 영양 상태가 지구력 혹은 운동 능력에 미



**Fig. 1.** Work Capacity in rats fed four different diets(SOY ; commercial soy milk, MIX ; commercial mixed soy and cow milk, COW ; commercial cow milk, CONTROL ; commercial feed for rats). Work capacity was evaluated by measuring maximum running distances of rats at 30m/min running speed on a dual treadmill. Each value represents the mean±SE of 5 rats. Unlike letters denote significant differences( $p < 0.05$ ).

치는 영향을 많이 연구되어 왔다. 철분 결핍이 운동 능력의 저하를 유발한다는 사실은 이미 잘 알려져 있지만 운동 능력의 직접적인 저하 원인에 대해서는 여러 측면에서 연구되고 있다.

산소를 운반하는 혈액의 기능이 헤모글로빈 농도에 의해 조절되기 때문에 철분 결핍으로 인해 헤모글로빈이 감소하면 운동 능력이 자연히 저하된다<sup>29)</sup>. 그러나, 철분 결핍으로 인한 저색소성 빈혈 상태의 흰쥐에게 치환 수혈을 통해 헤모글로빈 농도를 정상으로 복귀시키더라도 그 운동 능력은 완전하게 정상으로 복구되지 않았다<sup>30)</sup>. 결국 철분 결핍성 빈혈로 인한 운동 능력의 저하의 원인은 헤모글로빈의 감소와 더불어 다른 요인이 존재한다.

철분 결핍성 빈혈의 흰쥐에게 철분을 투여함으로써 상승되는 운동 능력은 철분 투여 후 즉각적으로 상승되는 경우와<sup>31)</sup> 일정 기간 경과 후 상승되는 경우의 두 가지로 나눌 수 있다<sup>32)</sup>. 첫째, 일정 기간 경과 후 상승되는 경우를 보면 다음과 같다. 운동 능력의 증가와 연관되는 산소 전달 능력의 정상화를 위해서는 헤모글로빈의 농도 증가와 적혈구의 생성이 이루어져야 하는데 이와 같은 조절 작용은 일정 기간을 수반한다. 또한, 일정 기간 경과 후의 운동 능력 향상에 관여하는 인자로는 철분을 함유하는 미토콘드리아 전자전달계의 생성성을 생각할 수 있다. 즉, 근육에서 운동에 필요한 에너지의 생산에 관여하는 산화적 인산화에서 cytochrome이나 iron-sulfur protein인 NADH-dehydrogenase 및 succi-

nate-dehydrogenase는 철분을 구성 인자로 필요로 하며, 이들이 생합성된 후에야 운동 능력이 향상되기 때문에 일정한 기간이 요구된다<sup>32)</sup>.

둘째, 철분 투여 후의 즉각적인 운동 능력 향상은 철분이 유리 이온 상태로 효소의 cofactor로 작용하기 때문이라고 제시되고 있다. 철분 결핍성 빈혈 상태인 흰쥐에 철분을 투여한 후 16시간만에 운동 능력의 향상을 가져왔는데, 이는 유리 철이온이 cofactor로 작용하는 TCA cycle의 aconitase hydratase나 gluconeogenesis의 속도를 조절하는 phosphoenolpyruvate carboxykinase의 활성을 증가시켰기 때문이라고 보고되었다<sup>31)</sup>.

결국 장기적인 철분 결핍성 빈혈은 운동 능력에 관계되는 모든 인자를 감소시키며, 비록 적혈구 용적률이 정상이라 할지라도 운동 능력에 관여하는 iron-sulfur protein 및 cofactor로 작용하는 유리 철이온의 양에 따라 운동 능력의 차이를 유발할 수 있다.

본 실험에서도 적혈구 용적률은 두유군, 혼합군, 대조군 간에 유의적인 차이가 없었으나 혈청 철분 농도와 운동 능력은 차이를 보였다. 실험군간의 운동 능력은 혈청 철분 농도와 유사한 경향을 보였다. 따라서, 운동 능력의 차이는 우유군은 헤모글로빈의 감소와 iron-sulfur protein 및 유리 철이온의 결핍으로 사료되며, 대조군과 혼합군의 경우는 iron-sulfur protein과 유리 철이온의 감소에 기인한 것으로 생각할 수 있으며, 이에 대해서는 향후 연구가 더 이루어져야 할 것이다.

## 결론

본 연구는 우유를 과량 섭취하였을 때 발생하는 영유아의 철분 결핍 현상과 이로 인한 현저한 운동 능력 감소가 발생될 수 있다는 것을 실험 동물을 통해 확인하였고, 이에 대한 대안으로써 두유의 가능성을 제시하였다.

시판 두유, 우유 및 두유 우유 혼합 제품을 실험용 식이로 사용하여 8주간 사육한 후 dual treadmill을 이용하여 운동 능력을 측정하였고 이 결과를 혈액 중의 철분 상태와 비교하였다. 이상의 결과는 다음과 같다.

1) 체중 증가량은 우유군, 두유군, 두유 우유 혼합군 순서였으며, 대조군에 비해 모두 유의적으로 낮았다.

2) 두유군, 두유 우유 혼합군은 정상적인 적혈구 용적률을 보였으나 우유군만이 두유군의 58% 정도로 낮았다.

3) 혈청 철분 농도는 실험군간에 차이가 있었으며, 두유군이 정상 범위에 해당한 가장 높은 수치를 보였고 두유 우유 혼합군, 우유군 순서이었다.

4) 혈청 총 철분 결합능 역시 실험군에 따라 차이를 보였으며, 우유군, 두유 우유 혼합군, 두유군 순서이었다.

5) Dual Treadmill을 이용한 운동 능력 측정치는 혈청 철분 농도 및 혈청 총 철분 결합능과 유사한 경향을 보였고, 두유군, 두유 우유 혼합군, 우유군 순서로 높았다.

6) 이상의 결과는 실험 식이로 상업용 두유, 우유, 두유 우유 혼합물만을 사용하여 각 실험군 간에 체중 증가량의 차이를 보였고, 대조군의 식이가 비경제 식이여서 충분한 대조군의 역할을 수행하지 못했다는 연구상의 제한이 있었으나, 실험 동물에 있어서 과량의 우유 섭취는 심한 빈혈을 유발하고, 운동 능력이 현저하게 감소함을 보였다. 또한, 심한 체내 철분 결핍 상태가 아니더라도 운동 능력은 혈청 철분 농도에 의해 상당히 영향을 받았다. 두유 섭취군은 우유 섭취군에 비해 우수한 체내 철분 영양 상태와 운동 능력을 보유하고있으며, 영유아에게 있어 적당한 철분 공급용 식품으로서의 두유의 가능성을 제시하였다.

### Literature cited

- 1) Golbitz T. Traditional soyfoods : processing and products. *J Nutr* 125 : 570-572, 1995
- 2) Messina M and Messina V. The simple soybean and your health. Avery Publishing Group, New York, 1994
- 3) Kendall PA and Gloeckner JW. Managing food allergies and sensitivities. *Top Clin Nutr* 9 : 1-10, 1994
- 4) Messina M. Modern applications for an ancient bean : soybean and the prevention and treatment of chronic disease. *J Nutr* 125 : 567-569, 1995
- 5) 함태규 · 전정삼 · 최규철 · 최용목 · 안창일. 소아임원환자에서의 빈혈에 관한 고찰. *소아과* 31 : 1338-1345, 1988
- 6) 안홍석. 영유아의 영양소 요구량 산정. *한국영양학회지* 28 : 190-216, 1995
- 7) Ekhard EZ, Samuel JF, Steven EN, Charles JR, Babara BE, Ronald RR and Linda JL. Cow milk feeding in infancy : further observations on blood loss from the gastrointestinal tract. *J Pediatr* 116 : 11-18, 1990
- 8) 강의자 · 박하신 · 최혜진 · 최규형. 모유영양의 기간과 철 결핍성 빈혈과의 관련성. *소아과* 38 : 1453-1458, 1995
- 9) Fernando P, Ray Y, Peter RD, Manuel O, Eva H and Tomas W. Iron status with different infant feeding regimens : relevance to screening and prevention of iron deficiency. *J Pediatr* 118 : 687-692, 1991
- 10) 전인상 · 한현석 · 안효섭 · 김진규. 생우유 과량 섭취와 관련된 소아 철결핍성 빈혈의 고찰. *소아과* 33 : 1374-1379, 1990
- 11) Walter WT and Frank AO. Consequences of starting whole cow milk at 6 months of age. *J Pediatr* 118 : 813-816, 1987
- 12) Albert F. Minerals and trace elements in milk. *Adv Food Nutr Res* 36 : 209-302, 1992
- 13) 홍창의. 소아과학, pp870-872, 대한교과서주식회사, 서울, 1993
- 14) Allan KS and Sidney JC. Soybeans : chemistry and technology. 2nd ed, AVI publishing Co, Inc, Connecticut, 1985
- 15) Weaver CM and Rajaram S. Exercise and iron status. *J Nutr* 122 : 782-787, 1992
- 16) 한국식품공업협회. 식품공전, 1995
- 17) AOAC. Official methods of analysis of AOAC, 1995
- 18) 광충일 · 김정숙 · 최혜미. 동물성과 식물성 단백질이 한국인 젊은 여성의 체내 철 이용도에 미치는 영향. *한국영양학회지* 27 : 451-459, 1994
- 19) 계승희 · 백희영. 우리나라 젊은 성인 여성의 철분 영양상태와 이에 영향을 미치는 식이 요인 분석(1) : 혈액의 철분 영양 상태 평가 지표의 비교 및 분석. *한국영양학회지* 26 : 692-702, 1993
- 20) Johnson MA. Iron : nutrition monitoring and nutrition status assessment. *J Nutr* 120 : 1485-1491, 1990
- 21) Sadaki F, Naoko K and Akira O. Nonenzymatic glycation of transferrin : decrease of iron-binding capacity and increase of oxygen radical production. *Biol Pharm Bull* 18 : 396-400, 1995
- 22) Gallaher DD. Animal models in human nutrition research. *Nutr Clin Prac* 7 : 37-39, 1992
- 23) Bodnell CE. Effects of soy protein on iron and zinc. *Cereal Foods World* 28 : 342-348, 1983
- 24) Young VR and Janghorbani M. Soy proteins in human diets in relation to bioavailability of iron and zinc : a brief overview. *Cereal Chem* 58 : 12-18, 1981
- 25) Erdman JW. Oilseed phytate : nutritional implications. *Food Technol* 56 : 736-741, 1979
- 26) Maga JA. Phytate : its chemistry, occurrence, food interactions, nutritional significance, and methods of analysis. *J Agr Food Chem* 30 : 1-9, 1982
- 27) Picciano MF, Weingartner KE and Erdman JW. Relative bioavailability of dietary iron from three processed soy product. *J Food Sci* 49 : 1558-1561, 1984
- 28) Macfarlane BJ, Riet WB, Bothwell TH, Baynes RD, Siegenberg D, Schmidt U, Tal A, Taylor JRN and Mayet F. Effect of traditional oriental soy products on iron absorption. *Am J Clin Nutr* 51 : 873-880, 1990
- 29) Finch CA, Miller LR, Inamdar AR, Person R, Seiler K and Mackler B. Iron deficiency in the rat. *J Clin Invest* 58 : 447-453, 1976
- 30) Davies KJA, Donovan CM, Refino CJ, Brooks GA, Packer

910 / 철분 영양 상태와 운동 능력

- L and Dallman PR. Distinguishing effects of anemia and muscle iron deficiency on exercise bioenergetics in the rat. *Am J Physiol* 246 : 535-543, 1984
- 31) Willis WT, Gohil K, Brooks GA and Dallman PR. Iron deficiency : improved exercise performance within 15 hours of iron treatment in rats. *J Nutr* 120 : 909-916, 1990
- 32) Peter RD. Biochemical basis for the manifestations of iron deficiency. *Ann Rev Nutr* 6 : 13-40, 1986