

식이 섭취량의 제한과 회복으로 인한 골격근육내 성분변화

이 재 훈 · 김 숙 희

이화여자대학교 식품영양학과

The Changes of Electrolytes Composition in Skeletal Muscles by Food Restriction and Rehabilitation

Lee, Jae-Hoon, Kim, Sook-He

Department of Food & Nutrition, Ewha Womans University

=ABSTRACT=

Fiftysix male weanling rats of the Sprague-Dawley strain weighing 52.6 ± 0.9 g were fed with 77% starch-15% casein diet by ad libitum for four days to get them adapted and divided into eight groups. For three weeks, the body weight gain of rats was controlled in three different ranges. After the period of food restriction, the rats were recovered by being fed by ad libitum for seventeen days.

During the experimental period, the amount of food intake and body weight were measured. And the experimental groups were compared when they reached at the same age and at the same body weight.

Anterior Tibialis, Extensor Digitorum Longus, Soleus, Plantaris, Gastrocnemius were used as analytic items of skeletal muscle. Wet weight of muscle, muscle protein, water content were measured from each of five skeletal muscles. Sodium, potassium, magnesium content were measured from Anterior Tibialis, Extensor Digitorum Longus, Soleus and Plantaris. Phosphorus was measured only from Gastrocnemius. The whole carcass protein except the skeletal muscles was also measured.

During the period of food restriction, food intake was 311.7 ± 19.5 g for the control group, 130.2 ± 1.5 g for the second group and 161.7 ± 2.1 g for the third group. During the period of food restriction, body weight gain was 106.8 ± 12.7 g for the control group, 3.6 ± 2.1 g for the second group and 18.9 ± 3.3 g for the third group. Comparing the body weight when they reached at the age 66 days, the control group showed higher value than the other groups.

In the concentration of electrolytes of skeletal muscles sodium and magnesium tend to increase and potassium and phosphorus tend to decrease by food restriction. But after their recovery, there was no significant difference between the groups. By the degree of food restriction, there was time difference in reaching at the same body weight. But when they reached at the same body weight, there was no significant difference in the value of electrolytes concentration.

Regarding all the results of this study, the ages of rats which reached the same body weight were different by food restriction level during weanling. Once food-restricted rats reached the same body weight by recovery, the concentration of electrolytes and protein tend to become almost the same.

서 론

인구증가 속도가 식량증산 속도를 능가하여서 1인당 식품 할당량이 감소되기 때문에 이런 현상이 계속된다면 지구상에서는 영양불량 내지는 기아로 인해서 인류가 2005년경에는 망한다는 Roma Club의 보고¹⁾가 있는 후로부터, 인류의 식량난을 보다 더 피부로 느끼게 되었다. 특히 영양불량으로 인해 가장 많이 고생하는 연령이 이유 직후의 어린이이며, 그때부터 시작하여 성장기 어린이에게 미치는 영향이 크다고 보

고되어져 있다²⁾³⁾. 우리 나라의 경우 지역적으로 어린이의 성장에 차이가 있어서 농촌 어린이가 도시 어린이보다 영양불량으로 인해서 신장과 체중에서 열등하다는 여러 보고가 있었다⁴⁾⁵⁾.

또한 한창 성장이 왕성한 시기에 식이섭취량의 제한에 의해서 성장제한을 일정한기간동안 당한 후에 회복시켜 주면 체중의 증가가 제한시기에 비해서 빠르다는 여러 보고가 있었다⁶⁾⁷⁾⁸⁾.

영양상태 관정을 위한 방법은 학자에 따라서 관점이 다르나, 본인은 체중의 증감에 따라 여러 부위의 골격 근육이 체중과 같은 경향으로 변화하는지에 대해서 흥

Table 1. Classification of Experimental Groups

	Adaption Period (4 days)	Weight Control Period (3wks)	Recovery Period (17 days)
*Control—49 days—A	ad lib. feeding of 77% starch +15% casein diet	ad lib. feeding of same diet	—
Control—66days	"	"	ad lib. feeding of same diet till 66 days old
Wt. Increase 30%—49days—B	"	Purposely Restriction of amount of same diet	—
Wt. Increase 30%—61days—A	"	"	ad lib. feeding of same diet till 61 days old
Wt. Increase 30%—66days	"	"	ad lib. feeding of same diet till 66 days old
Wt. Increase 0%—49days	"	"	—
Wt. Increase 0%—54days—B	"	"	ad lib. feeding of same diet till 54days old
Wt. Increase 0%—66days—A	"	"	ad lib. feeding of same diet till 66 days old

* Weight Increase 30% : The groups restricted body wt. to 30% by diet amount restriction.

Weight Increase 0% : " " " " 0% " "

49 days, 54 days, 61 days, 66 days. : The age of animals killed.

A : Body Wt. 174.53~176.57g at the day of being killed.

B : Body wt. 81.66~84.48g at the day of being killed.

미를 가졌다. 그리고 최근 문헌에서 보고된 바에 의하면 심한 Proten-Calorie Malnutrition의 경우 세포내외의 전해질의 변화가 있음이 밝혀졌다^{9,10}. 즉 영양결핍 동물에서 근육은 수분, sodium, chloride, calcium의 증가와 total nitrogen, potassium, phosphorus, magnesium의 감소를 나타내었다. 이에 골격근육 무게의 변화에 따라 근육내 함유된 전해질 특히 그중에서도 sodium, potassium, magnesium, phosphorus의 변화도 같은 경향인지에 대해서 관심을 갖게 되었다.

따라서 본 연구는 성장이 왕성한 시기인 이유식 직후에 식이섭취량의 감소로 체중증가를 제한하였다가 회복시켰을 때 회복되는 과정을 관찰하기 위하여, 실험동물들이 같은 몸무게일 때와 같은 나이일 때를 각각 비교해서 골격근육내 전해질의 변화를 분석해 보는 것에 그 목적을 두었다.

실험재료

1. 실험동물의 사육

생후 21일된 체중이 평균 48.2g인 Sprague-Dawley 종 수컷 흰쥐 56마리를 실험시작전 3일간 환경에 적응시키기 위하여 고형사료(제일사료)로 사육시킨 후 체중에 따라 Complete Randomized Block Design에 의하여 7만리씩 8군으로 7주간 표 1과 같은 내용으로 사육하였다.

2. 실험동물의 식이

전 실험기간동안 표 2와 같이 77% starch-15% casein 식이를 섭취시켰다. 체중증가를 제한시켰던 3주간은 식이 섭취량을 임의로 조절하였다. 즉 처음에는 0% 체중 증가군은 매일 5g, 30% 체중 증가군은 매일 7g을 주다가, 체중 증감에 따라서 임의로 식이 섭취량을 증감시켜서 체중증가 비율을 유지시켰다.

3. 실험 방법

전 실험기간을 통하여 각 군마다 체중을 측정하였고, 뒷다리에서 5가지 근육 즉 Anterior Tibialis (A. T.), Extensor Digitorum Longus (E.D.L.), Soleus, Plantaris, Gastrocnemius를 채취하여 Gastrocnemius를 제외한 오른쪽 다리의 근육에서 Atomic Absorption Spectrometer로 Na, K, Mg의 함량을 측정했다¹¹. Gastrocnemius에서는 Spectrophotometer로 P의 함량을 측정했다¹². 왼쪽 다리의 5가지 근육에서는 수분함유율과 Micro-kjeldahl 법¹³을 사용하여 단백질 함량을 측정하였다.

Table 2. Composition of Experimental diet

	/kg diet
	77% starch 15% casein } diet
Corn-starch	770g
Casein	150g
Cotton seed oil	40g
① Salt Mixture	40g
② Vitamin A.D. Mixture	1ml
③ Fat Soluble Vitamins	1ml
④ Water Soluble Vitamins	2.86g
⑤ Vitamin B ₁₂	1ml
Sum	1kg

- ① g/kg salt mixture: CaCO₃ 300; K₂HPO₄ 322.5; Mg SO₄·7H₂O 102; Ca (H₂PO₄)₂·2H₂O 75; NaCl 167.5; FeC₂H₃O₇·6H₂O 27.5; KI 0.8; ZnCl₂ 0.25; CuSO₄·5H₂O 0.3; Mn SO₄·H₂O 5
- ② mg/ml corn oil: Vitamin A 0.1; Vitamin D 0.01
- ③ g/200ml corn oil: Vitamin E 5; Menadion (Vitamin K) 0.2
- ④ mg/kg diet: Choline Chloride 2,000; Thiamin hydrochloride 10; Riboflavin 20; Nicotinic acid 120; Pyrdoxine 10; Calcium Pantothenate 100; Biotin 0.05; Folic acid 4; Inositol 500; Para-amino benzoic acid
- ⑤ Vitamin B₁₂ 5mg/500ml 증류수

4. 통계처리 및 표정리

본 연구의 모든 실험 분석 결과는 통계처리를 하여 각 실험군당 평균치와 표준 오차를 계산하였고, $\alpha=0.05$ 수준에서 Scheffe's test로 각 실험군당 평균치간의 유의성을 검정하였다. 유의성 검정시에는 8군을 모두 함께 검정하였으며, 표정리할 때에는 용이하게 비교하기 위해서, 동일 체중인 것은 동일 체중끼리, 동일 나이군인 것은 동일 나이군끼리 나누어서 표를 정리하였다. Alphabet의 표기는 8군을 함께 검정했을 때의 Alphabet을 그대로 사용하였다.

실험결과

1. 식이 섭취량

<표 3>에 나타난 식이 섭취량은 각 군의 전체 실험 기간 동안의 섭취량을 일주일 단위로 계산하여 비교한 것이다.

Table 3. Food Intake

Age (days)	Period	Weight Control Period			
		1st wks.	2nd wks.	3rd wks.	4th wks.
groups		24~28	29~35	36~42	43~49
Control-49 days-A		35.1±2.4*NS	88.9±4.7a**	119.7±7.2a	107.2±6.7ab
Control-66 days		37.5±2.1	82.2±4.9ab	11.56±7.8ab	109.5±7.7a
Wt. Increase 30%-49days-B		31.4±2.8	56.6±1.7 c	64.5±0.4 c	41.3±0.2 c
Wt. Increase 30%-61days-A		36.2±3.5	54.4±2.1 c	64.2±0.6 c	41.3±0.1 c
Wt. Increase 3%-66days		36.9±3.1	57.6±0.4 c	64.0±0.6 c	41.4±0.2 c
Wt. Increase 0%-49days		36.9±2.1	43.6±1.3 c	51.8±0.3 c	34.4±0.2 c
Wt. Increase 0%-54 days-B		34.0±1.9	44.6±0.9 c	50.2±1.0 c	34.4±0.2 c
Wt. Increase 0%-66 days-A		37.1±2.8	45.0±0.3 c	51.1±0.3 c	34.5±0.1 c

Age (days)	Period	Recovery Period				
		5th wks.	6th wks.		7th wks.	
groups		50~54	55~56	57~61	62~63	64~64
Control-49 days-A						
Control-66 days		115.2±6.4a	39.8±2.1N.S.	97.8±4.0 N.S.	41.2±1.7N.S.	62.1±3.3N.S.
Wt. Increase 30%-49 days-B						
Wt. Increase 30%-61 days-A		81.7±4.8b	31.0±2.3	82.6±8.1		
Wt. Increase 30%-66 days		82.9±5.1b	33.3±2.1b	79.9±8.3	35.4±3.1	55.6±3.6
Wt. Increase 0%-49 days						
Wt. Increase 0%-54 days-B		56.0±3.4b				
Wt. Increase 0%-66 days-A		57.6±1.8b	31.4±0.7	74.2±3.1	33.6±1.3	52.4±2.5

* Mean ± S.E.M.

** Means not followed by same symbol are significantly different (P<0.05) by Scheffe's test

실험 초기 4일간은 실험 식이에 적응을 시켰다. 실험 5,6주째 같은 체중군간의 비교를 위해서 1주간이 되기 전에라도 비교 체중이 되었을 때 죽었으므로, 그 날짜에 맞추어서 1주간을 둘로 나누어 비교하였다.

실험 1주와 회복기간인 실험 6, 7주에는 전체 실험군의 식이 섭취량에 유의적인 차이가 없이 비슷하였다. 식이 섭취를 제한한 3주동안 표준군은 주당 103.9±6.5g을 섭취했고 반면 30% 체중 증가군은 53.9±0.7g, 0% 체중 증가군은 43.4±0.5g 섭취하였다.

회복 후 첫 5일동안 식이를 제한했던 군들이 표준군에 비해 식이 섭취량이 낮았으나, 그후부터는 유의적인 차이가 없었다.

2. 체중의 변화와 체중 증가량

표 4는 전 실험기간 동안의 체중변화를 나타내며, 체중 증가량은 표 4에 나와 있다.

식이 섭취량의 제한으로 인해 3주동안 체중 증가율이 0%, 30%였던 두 군을 무제한 식이 섭취로 회복시킨 결과, 몸무게 증가에 제한을 안 받은 표준군이 나이 49일에 도달했을 때의 체중에 30% 체중 증가군은 나이 61일일 때, 0% 체중 증가군은 나이 66일일 때 도달하였다. 또 한편 30% 체중 증가군의 나이 49일 때의 몸무게에 0% 체중 증가군의 몸무게는 54일 때 도달하였다.

체중 증가량은 표 4에서 보듯이 실험 1주에는 각군간에 유의적인 차이가 없었다.

식이 섭취 제한기간 중에는 표준군이 주당 35.6±4.19g, 30% 체중 증가군이 6.3±1.1g, 0% 체중 증가군이 1.2±0.7g 늘어났다.

회복기간중 처음 5일간에는 30% 체중 증가군들이 표준군보다 오히려 체중 증가량이 약간 더 큰 경향을 나

Table 4. Body Weight Increase

Age (days)	Period	Weight Control Period			
		1st. wks.	2nd wks.	3rd wks.	4th wks.
groups		24~28	29~35	36~42	43~49
Control—49 days—A		14.13±1.08*N.S	28.67±3.88ab**	45.86±3.45a	33.66±3.28ab
Control—66 days		14.10±1.22	29.90±5.06a	39.40±3.59ab	36.08±5.88a
Wt. Increase 30%—49 days—B		9.79±3.14	8.87±2.92abc	12.56±3.72 c	-4.16±2.01 c
Wt. Increase 30%—61 days—A		12.33±1.68	7.74±2.89abc	16.82±1.50 c	-5.75±0.84 c
Wt. Increase 30%—66 days		10.76±2.27	10.48±2.90abc	15.02±2.06 c	-4.58±3.18 c
Wt. Increase 0%—49 days		13.54±1.84	-1.81±2.23 c	7.32±1.61 c	-2.92±0.98 c
Wt. Increase 0%—54 days—B		12.20±1.37	-1.53±2.40 c	8.82±1.61 c	-0.78±0.52 c
Wt. Increase 0%—66 days—A		12.89±1.25	-2.21±1.74 c	7.87±1.83 c	-2.03±1.18 c

Age (days)	Period	Recovery Period				
		5th wks.	6th wks.		7th wks	
Groups		50~54	55~56	57~61	62~63	64~66
Control—49 days—A						
Control—66days		40.28±2.13abc	9.06±1.45N.S	26.34±4.18N.S	12.68±2.81N.S	11.02±6.91N.S
Wt. Increase 30%—49days—B						
Wt. Increase 30%—61days—A		45.65±3.33a	10.93±3.32	34.78±3.72		
Wt. Increase 30%—66days		43.90±4.80ab	14.28±0.76	31.34±6.15	14.06±2.75	14.72±1.41
Wt. Increase 0%—49days						
Wt. Increase 0%—54days—B		16.12±2.57				
Wt. Increase 0%—66days—A		18.10±1.10	21.37±3.73	37.50±5.31	14.03±1.52	15.30±2.34

* Mean±S.E.M.

** Mean not followed by same symbol are significantly different (P<0.05) by scheffe's test

타내었으며, 0% 체중 증가군은 훨씬 적게 체중이 증가되었다. 그후부터는 각 군들사이에서 체중 증가량에는 유의적인 차이가 없었으며 0% 체중 증가군들이 약간 더 큰 체중 증가를 보여주는 경향이였다.

3. 동일 나이에서 각 근육내 수분 함유율

표 5에서 보듯이 각 근육의 6군 사이에서 통계상의 유의적인 차이는 없었으나, 제한 직후 나이 49일일 때 죽인 군끼리 비교해 보면, 표준군이 체중 제한군보다 낮은 경향이였다. 반면 회복시켜 나이 66일이 되었을 때 죽인 군끼리 비교해 보면, 오히려 표준군이 체중 제한군보다 약간 높은 경향이였다.

4. 동일 나이에서 각 근육내 단백질양

근육내 단백질양 측정은 sample 양의 부족으로 각 군마다 sample 을 모두 합하여 (pooled sample) 분석하였다. 표 6에서 보듯이 체중증가 제한 직후에는 E. D.L.을 제외하고는 표준군이 체중증가 제한군보다 높은 단백질량을 나타내었다. 회복시켜 나이 66일이 되었을 때 A.T., plantaris, gastrocnemius 내 단백질량은 여전히 표준군이 더 높은 경향이였다.

5. 동일 체중에서 각 근육내 수분 함유율

표 7에서 보듯이 체중 81.66~84.48g 인 경우에는 A.T.와 E.D.L.인 경우 30% 체중 증가군이 0% 체중 증

Table 5. Water concentration of each muscle at the same age (%)

muscle	Age (days)	level of body wt. restriction before recovery		
		no restriction	30% increase	0% increase
A.T.	49	77.45 ± 2.11* N.S	78.59 ± 1.89	80.14 ± 0.71
	66	77.76 ± 1.84	75.98 ± 1.56	75.32 ± 0.74
E.D.L.	49	72.71 ± 8.18 N.S	89.89 ± 17.78	74.77 ± 3.96
	66	77.77 ± 1.53	72.28 ± 2.13	75.89 ± 2.37
Sol.	49	54.03 ± 13.14 N.S	66.19 ± 8.06	77.89 ± 3.09
	66	76.00 ± 0.37	70.87 ± 2.61	75.17 ± 4.59
Pla.	49	74.46 ± 3.75 N.S	78.85 ± 1.82	76.20 ± 2.73
	66	75.70 ± 0.44	74.83 ± 1.20	74.79 ± 2.47
Gas	49	77.75 ± 0.50 N.S	77.30 ± 0.48	76.91 ± 0.39
	66	77.25 ± 1.42	74.71 ± 2.23	75.12 ± 1.04

* Mean ± S.E.M.

Table 6. Protein content of each muscle at the same age (g protein/g organ powder)

Muscle	Age (days)	level of body wt. restriction before recovery		
		no restriction	30% Increase	0% Increase
A.T.	49	0.859*	0.718	0.784
	66	0.847	0.697	0.708
E.D.L.	49	0.770	0.925	0.926
	66	0.781	0.810	0.706
Sol.	49	0.737	0.707	0.699
	66	0.813	0.831	0.850
Pla.	49	0.711	0.709	0.668
	66	0.841	0.819	0.794
Gas.	49	0.834	0.787	0.761
	66	0.906	0.814	0.780

* Protein content of each muscle was analyzed by pooled sample.

가군보다 조금 높은 경향이었고 soleus 는 오히려 30% 체중증가군이 조금 낮은 경향이였다. 체중 174.53~176.57g 인 경우에도 서로 비슷한 경향이였다.

6. 동일 체중에서 각 근육내 단백질양

표 7에서 보듯이 동일 체중일 때의 각 근육내 단

백질량은 근육에 따라 차이가 있었다. 체중 81.66~84.48g 인 경우, A.T.와 plantaris 는 0% 체중증가군이 30% 체중증가군보다 높은 경향이였고, E.D.L.과 soleus, gastrocnemius 는 0% 체중증가군이 오히려 낮은 경향이였다. 체중 174.53~176.57g 인 경우, A.T.와 gastrocnemius 는 0% 체중증가군이 30% 체중증가군보다 낮은 경향이였고, E.D.L.과 soleus, plantaris 는 0% 체중증가군이 더 높은 경향이였다.

7. 동일 나이에서 각 근육내 Electrolytes 의 농도

1) Sodium 의 농도

표 8에서 보듯이 체중증가 제한직후 골격 근육내 sodium 의 농도는 표준군이 체중증가 제한군보다 낮은 경향이였으며, 회복시켜 나이 66일이 되었을 때도 여전히 표준군이 약간 낮은 경향이였다.

2) Potassium 의 농도

표 9에서 보듯이 potassium 의 농도는 체중증가 제한 직후에는 A.T.와 E.D.L., plantaris 에서는 표준군이 체중증가 제한군보다 높은 경향이였다. 회복시켜 나이 66일이 되었을 때는 soleus 만 표준군이 30% 체중증가군들보다 낮았고, 다른 세 근육에서는 비슷하거나 높은 경향이였다.

3) Magnesium 의 농도

Magnesium 의 농도는 표 10에서 보듯이 체중증가 제한 직후에는 plantaris 만 제외하고는 표준군이 체중증가 제한군보다 낮은 경향이였다. 회복시켜 나이 66일이 되었을 때도 같은 경향이였다.

Table 7. Water concentration and protein content of each muscle at the same body wt.

Muscle	level of body wt. restriction before recovery	Age (days)	body wt. (g)	water concentration (%)	g protein/g organ powder
A.T.	30% Increase	49	81.66	78.59±1.89*N.S.	0.718
	0% Increase	54	84.48	67.58±10.88	0.784
	no restriction	49	174.74	72.45±2.11	0.859
	30% Increase	61	176.57	75.72±0.47	0.800
	0% Increase	66	174.53	75.32±0.74	0.708
E.D.L.	30% Increase	49	81.66	89.89±17.78 N.S	0.775
	0% Increase	54	84.48	81.61±5.78	0.719
	no restriction	49	174.74	72.71±8.18	0.781
	30% Increase	61	176.57	70.68±2.39	0.810
	0% Increase	66	174.53	75.98±2.37	0.926
Soleus	30% Increase	49	81.66	66.19±8.06 N.S	0.707
	0% Increase	54	84.48	78.02±7.13	0.689
	no restriction	49	174.74	54.03±13.14	7.737
	30% Increase	61	176.57	66.44±3.06	0.910
	0% Increase	66	174.53	75.17±4.59	0.850
Plantaris	30% Increase	49	81.66	78.85±1.82 N.S	0.709
	0% Increase	54	84.48	79.56±3.07	0.738
	no restriction	49	174.74	74.46±3.75	0.711
	30% Increase	61	176.57	74.62±0.95	0.670
	0% Increase	66	174.53	74.79±2.47	0.794
Gastrocnimius	30% Increase	49	81.66	77.30±0.48 N.S.	0.787
	0% Increase	54	84.48	77.28±0.51	0.662
	no restriction	49	174.74	77.75±0.50	0.834
	30% Increase	61	176.57	76.90±0.15	0.814
	0% Increase	66	174.53	75.12±1.04	0.780

* Mean±S.E.M.

Table 8. Na concentration of each muscle at the same age (ppm)

Muscle	Age (days)	level of body wt. restriction before recovery		
		no restriction	30% Increase	0% Increase
A.T.	49	178.4±11.1* N.S.	203.0±46.4	231.0±26.7
	66	114.0±7.2	158.0±10.5	173.4±17.5
E.D.L.	49	210.7±31.2 N.S.	248.7±19.7	187.0±34.9
	66	241.6±21.6	268.3±17.1	285.0±29.1
Sol.	49	211.6±28.4 N.S.	267.4±10.2	355.9±62.4
	66	252.8±22.3	521.1±170.1	233.7±39.3
Pla.	49	202.2±15.4 N.S.	338.5±60.5	209.6±3.88
	66	177.6±9.2	251.7±25.3	186.8±26.9

* Mean±S.E.M.

Table 9. K concentration of each muscle at the same age (ppm)

Muscle	Age (days)	level of body wt. restriction before recovery		
		no restriction	30% Increase	0% increase
A.T.	49	147.2±23.0*abcdef**	61.7±12.3 f	149.9±22.4 abcdef
	66	252.1±11.0 a	217.6±36.5 abcd	213.3±26.2 abcde
E.D.L.	49	161.4±25.8 N.S.	141.4±58.2	219.5±38.2
	66	245.2±28.6	205.7±28.8	269.6±28.7
Soleus	49	188.0±36.6 N.S.	272.9±80.2	249.6±50.8
	66	232.7±15.3	270.4±63.0	206.9±24.0
Plantarig	49	203.8±20.8 N.S.	139.8±38.2	214.6±7.9
	66	289.6±13.6	244.7±21.5	245.2±24.7

* Mean±S.E.M.

** Among six groups of same kind of muscle, mean not followed by same symbol are significantly different ($P < 0.05$) by Scheffe's test.

8. 동일 체중에서 각 근육내 **Electrolytes**의 농도
표 11에서 보듯이 동일 체중일 때 네 종류의 근육 모두에서 각각의 Electrolytes의 농도에서 비교군끼리 통계적으로 유의적인 차이가 없었다.

1) Sodium의 농도

체중 81.66~84.48g인 경우 sodium의 농도는 A.T., E.D.L., plantaris의 농도는 서로 비슷하였고 soleus만 30% 체중증가군이 0% 체중증가군보다 높은 경향이 있었다. 체중 174.53~176.57g인 경우에는 네 근육 모두에서 sodium의 농도가 비슷하였다.

2) Potassium의 농도

체중 81.66~84.48g인 경우 potassium의 농도는 네 근육 모두 30% 체중증가군이 0% 체중증가군보다 낮은 경향이 있었다. 반면 체중 174.53~176.57g인 경우에는 네 근육 모두 서로 비슷한 경향이 있었다.

3) Magnesium의 농도

동일 체중인 경우의 근육내 Magnesium의 농도는 네 근육 모두에서 표준군이 체중증가 제한군보다 낮은 경향이 있었다.

9. **Gastrocnemius**내 phosphorus의 농도

표 12-I에서 보듯이 제한 직후 나이 49일이 되었을 때 죽인군끼리 비교해 보면 Phosphorus의 농도

Table 10. Mg concentration of each muscle at the same age (ppm)

Muscle	Age (days)	level of body wt. restriction before recovery		
		no restriction	30% Increase	0% Increase
A.T.	49	25.3±1.7* c**	31.1±4.4 c	28.7±5.5 c
	66	43.0±2.2 abc	41.0±1.7 abc	57.6±2.3 ab
E.D.L.	49	35.5±4.3 b	50.9±3.4 ab	196.1±72.1 a
	66	55.4±5.1 ab	50.8±4.4 ab	76.1±6.5 ab
Soleus	49	56.6±11.7 N.S.	115.1±37.6	78.7±20.4
	66	59.6±2.7	78.5±15.3	64.7±5.7
Plantaris	49	49.3±4.1 N.S.	33.1±6.1	44.3±9.8
	66	53.3±2.3	55.4±0.4	65.2±9.5

* Mean±S.E.M.

** Among six groups of same kind of muscle, mean not followed by same symbol are significantly different (P<0.05) by Scheffe's Test.

Table 11. Electrolytes concentration of each muscle at the same body wt.

(ppm)

Muscle	level of body wt. restriction before recovery	Age (days)	body wt. (g)	Electrolytes		
				Na	K	Mg
A.T.	30% Increase	49	81.66	203.0±46.4 *N.S.	61.7±12.3 f**	31.1±4.4 c
	0% Increase	54	84.48	204.1±17.1	226.8±36.8 abc	62.2±6.5 a
	no restriction	49	174.74	178.4±11.1	147.2±23.0 abcdef	25.3±1.7
	30% Increase	61	176.57	136.7±12.0	251.0±13.8 a	30.0±1.6
	0% Increase	66	174.53	173.4±17.5	213.3±26.2 abcde	57.6±2.3
E.D.L.	30% Increase	49	81.66	248.7±19.7 N.S.	141.4±58.2 N.S.	50.9±3.4 N.S.
	0% Increase	54	84.48	318.8±19.7	238.5±45.6	75.5±9.3
	no restriction	49	174.74	210.7±31.2	161.4±25.8	35.5±4.3
	30% Increase	61	176.57	215.6±13.0	176.4±15.5	46.2±6.9
	0% Increase	66	174.53	235.0±29.1	269.6±28.7	76.1±6.5
Soleus	30% Increase	49	81.66	267.4±10.2 N.S.	272.9±80.2 N.S.	115.1±37.6 N.S.
	0% Increase	54	84.48	567.4±98.0	441.4±146.8	137.4±29.9
	no restriction	49	174.74	211.6±28.4	188.0±36.6	56.6±11.7
	30% Increase	61	176.57	235.6±34.4	239.1±24.1	72.1±7.2
	0% Increase	66	174.53	233.7±39.3	206.9±24.0	64.7±5.7
Plantaris	30% Increase	49	81.66	338.5±60.5 N.S.	139.8±38.2 N.S.	33.1±6.1 N.S.
	0% Increase	54	84.48	265.2±22.6	242.7±46.6	79.6±10.6
	no restriction	49	174.74	202.2±15.4	203.8±20.8	49.3±4.1
	30% Increase	61	176.57	251.7±25.3	291.9±27.3	62.1±7.2
	0% Increase	66	174.53	186.8±26.9	245.2±24.7	65.2±9.5

* Mean±S.E.M.

Table 12— I Phosphorus concentration of Gastrocnemius at the same age

Electrolyte	Age (days)	level of body wt. restriction before recovery		
		no restriction	30% Increase	0% Increase
		(ppm)		
P	49	20.3±1.2*N.S.	16.0±1.2	17.5±1.6
	66	18.8±0.6	20.8±1.2	20.9±0.8

* Mean±S.E.M.

Table— II Phosphorus concentration of Gastrocnemius at the same body wt.

level of body wt. restriction before recovery	Age (days)	body wt. (g)	P	
30% Increase	49	81.66	16.0±1.2	N.S.
0% Increase	54	84.48	20.6±2.3	
no restriction	49	174.74	20.3±1.2	
30% Increase	61	176.57	206.±0.8	
0% Increase	66	174.53	20.9±0.8	

* Mean±S.E.M.

는 체중증가를 제한했었던 군이 표준군보다 낮은 경향이였다. 회복시켜서 나이 66일이 되었을 때 측인 군끼리 비교해 보면, Phosphorus의 농도가 세 군 모두 비슷한 경향이였다.

표 12— II에서 보듯이 체중이 81.66~84.48g인 경우 Phosphorus의 농도는 0% 체중증가군이 30% 체중증가군보다 약간 높았고, 몸무게 174.53~176.57g인 경우 Phosphorus의 농도는 세 군에서 서로 유의적인 차이가 없었다.

고찰 및 결론

본 연구에서는 흰 쥐에게 이유직후 식이섭취를 제한하여 몸무게 증가율을 0%, 30%로 3주동안 억제시켰다가, 무제한 식이를 섭취시켜서 몸무게가 증가되는 것을 회복으로 보고 이 과정 동안에 변화되는 현상을 관찰하기 위하여 골격 근육들—A.T., E.D.L., Soleus, Plantaris, Gastrocnemius에서 Sodium, Potassium,

Magnesium, Phosphorus의 함량 변화를 비교하여 보았다.

본 연구에서 시도하였던 표준군과 실험군간의 비교는 두가지 관점에서 하였는데 동일 체중일 때와 동일 나이일 때를 각각 비교하였다.

본 연구결과 30% 체중증가만을 시켰던 제한군에서는 무제한 식이공급으로 인한 회복 초기 5일동안에 체중 증가량이 급속히 증가하여서 표준군보다도 더 높았고 그 이후는 거의 같은 증가율을 유지하였다. 이 결과는 Howarth & Baldwin¹⁴⁾, Dickerson & McAnulty¹⁵⁾, McAnulty & Dickerson¹⁶⁾들의 실험에서 보여준 바와 같이, 식이섭취 제한으로 인해 체중 증가율을 감소시킨 경우, 즉 체중 증가량이 적지만 느린 성장을 하였을 때에 무제한 공급으로 회복시키면 회복 초기에는 성장율이 표준군에 비해서 더 빨랐다는 보고와 일치하였다.

그러나 0% 체중증가를 유지시켰던 군에서는 심한 체중증가 제한을 당했기 때문에 회복을 시켜도 회복초기에 30% 체중증가군이 보여주었던 것과 같은 높은 증가율을 보이지 못한 것은 흥미로운 결과이다.

본 논문에서 본인은 성장을 체중증가가 있는 것으로 보았으므로, 0% 체중증가군에서는 식이제한 기간동안 실제 성장이 거의 없었다고 본다. 제한의 정도에 따라 회복초기 그 과정이 다르다는 사실은 흥미롭다.

본 연구에서 시도하였던 골격근육의 성분분석에서 수분 함유율은 식이섭취 제한에 따라 통계적으로 유의적인 차이가 없었으나, 골격 근육간에 조금씩 다른 경향을 나타내었다. Anterior Tibialis와 Soleus와 Plantaris는 표준군이 체중증가를 제한했던 군보다 약간 높은 경향을 보였으나, Extensor Digitorum Longus와 Gastrocnemius는 그렇지 않았다. 회복 후에도 수분함유율에는 실험군간에 통계상 유의적인 차이가 없었다.

골격근육내 Potassium의 농도도 근육간에 약간씩 다른 경향을 나타내었는데, 식이섭취량을 제한시킨 직후에는 Anterior Tibialis와 Extensor Digitorum Longus, Plantaris에서 표준군이 체중증가 제한군들보다 Potassium의 농도가 높은 경향이였으나, 회복시킨 후에는 Soleus만 낮고 Anterior Tibialis, Extensor Digitorum Longus, Plantaris세 근육에서는 표준군과 비슷하거나 높은 경향이였다. 영양결핍 아동에서 몸진체 Potassium의 감소는 잘 알려진 사실이며¹⁷⁾¹⁸⁾, 심한 영양결핍시 근육내 Potassium의 농도감소를 보여준 Metcoff, Frenz, Artonowicz, Gordillo & Lopez¹⁹⁾의 보고와도 일치

한다.

Scribner & Birnell에 의하면, 체내 Potassium 농도의 감소는 세포가 Potassium ion을 보유할 수 있는 capacity가 줄어들거나, potassium ion에 대한 세포 자체의 capacity가 불포화될 때 일어난다고 보고했다²⁰⁾. 세포의 Potassium capacity의 감소는 세포의적 구조는 변화하지 않고 세포내 단백질이 감소되므로써 일어나며, Potassium Capacity의 불포화는 세포막의 투과력과 Na^+-K^+ exchange 대사가전이 변화되었을 때 일어난다고 보고되었다²⁰⁾.

본 연구에서 근육내 단백질이 감소하는 경향을 나타내었으므로, Anterior Tibialis와 Extensor Digitorum Longus와 Plantaris내 Potassium 농도의 감소는 Potassium capacity의 감소 때문이 아닌가 사려된다.

골격근육내 Sodium의 농도는 본 연구결과에서 표준군이 체중증가를 제한했던 군보다 낮은 경향을 보였다. 회복후에도 비슷한 경향을 나타내었다. Widdowson, Dickerson & McCance²¹⁾는 영양결핍시 쥐의 근육에서 수분, Sodium, Chloride가 증가하고, total Nitrogen, Potassium, Phosphorus, Magnesium의 감소를 보고했다. 세포내 Potassium 농도의 감소와 Sodium 농도의 증가가 일어나는 원인에 대해서 또 다른 가능한 대사는 Na^+-K^+ pump의 손상과 세포막의 permeability의 변화를 들 수 있겠다²²⁾.

본 연구에서 체중증가를 제한시켰던 결과, 골격근육내 Magnesium의 농도는 Plantaris에서만 조금 감소되는 경향이었고, Anterior Tibialis, Extensor Digitorum Longus, Soleus에서는 증가하였다. 회복시킨 후에는 4가지 골격근육에서 체중증가를 제한시켰던 군들이 표준군보다 높거나 같은 경향을 보여 주었다.

Widdowson, Dickerson & McCance²¹⁾은 영양결핍시 근육내 Magnesium의 농도가 감소했다고 보고했으며, Montgomery et al.^{23,24)}도 영양결핍시 근육내 Magnesium의 농도가 감소했다고 보고했으며, Alleyne, Millard & Scullard¹⁸⁾은 영양결핍시 근육내 Potassium의 감소에 따라 Magnesium의 농도도 감소했다고 보고했다. 그러나 본 연구결과에서 Plantaris의 경우만 제외하고는 상반된 결과를 나타내었다.

Gastrocnemius내 Phosphorus의 농도도 본 연구결과 식이섭취량 제한직후 표준군이 체중증가를 제한했던 군보다 증가되었고 회복 후에는 비슷한 경향을 보였다. 이 결과는 Metcalf, Frenk, Artonowicz, Gordillo & Lopez¹⁹⁾과 Montgomery²³⁾의 실험에서 유아의 영양

결핍시 근육내 Phosphorus의 농도가 감소했다는 보고와 일치하고 있다.

식이제한에 의해서 나이 49일에 나타났던 Sodium, Potassium, Magnesium, Phosphorus 농도의 차이는 회복이 된 66일에는 약간의 예외를 제외하고는 거의 비슷해졌다. 그러나 식이를 제한했던 동물체중은 여전히 표준군보다 낮았다. 그러므로 이유후 영양상 stress를 받았던 동물은 회복시켜서 나이 66일이 되었을 때 체중의 감소를 제외하고는 전해질의 농도면에서 회복이 된 상태라고 해도 타당할 것 같다.

동일 체중을 가진 군끼리는 비록 나이가 다르더라도 근육내 Sodium, Potassium, Magnesium, Phosphorus, 단백질의 농도가 비슷하였다.

동일 체중이라도 회복 5일후 체중이 81.66~84.46g이 되었을 때는 0% 체중증가군이 30% 체중증가군보다 전해질과 단백질 농도에서 더 높은 경향을 나타내었는데, 이 결과로 미루어 보면 아주 심한 영양결핍후 회복될 때 회복초기에는 조금 덜 영양결핍을 받은 군보다 빨리 근육내 성분이 회복하려는 경향이 있는 것이 아닌가 사려된다. 그러나 본 연구에서 시도했던 체중증가의 제한수준인 0%, 30%의 차이로써는 식이섭취 제한이나 회복시켜서 나이 66일이 되었을 때 근육내 전해질의 농도에는 큰 차이가 없었다.

동일한 동물의 다른 종류의 근육내 Potassium 함량은 15% 이상의 차이가 있었다는 보고²⁵⁾와 근육해부시 같은 근육이라도 다른 부위로부터의 sample은 상당한 차이가 있었다는 보고²⁶⁾가 있다. 본 연구결과에서도 식이섭취의 제한과 그 회복되는 과정을 보면, 본 연구에서 관찰했던 5가지 근육들에서 근육마다 전해질과 단백질, 수분의 변화가 같은 경향이 아니었음을 보여 주었다.

동일 체중인 경우에는 성장초기 제한수준에 따라서 동일 체중에 도달하는 시기가 다르며, 일단 동일 체중이 되면 근육의 무게도 거의 같아지며 내부의 전해질과 단백질 농도도 같아진다고 볼 수 있다.

그런데 동일 나이에서는 근육에 있어서나 체중에 있어서 회복이 되지 않고 있어서 초기 성장제한의 정도에 따라 회복후에도 차이를 나타내었다. 그러나 근육내 함유된 전해질의 농도는 17일간의 회복후 표준군과 같아지는 결과를 나타내었다고 본다.

참 고 문 헌

1. Meadows, D.H., Meadows, D.L., Randers, J. & Beherens, W.W.: *The Limits to Growth. A Potomac Associates Book*, 1972.
2. Goodhart, R.S. & Shils, M.E.: *Modern Nutrition in Health and Disease. 6th ed., Philadelphia: Lea & Fabiger, Chap. 24, pp.697-720, 1980.*
3. Robinson, C.H. & Lawler, M.R.: *Normal and Therapeutic Nutrition. 15th ed., Chap. 30, 419-425, Macmillan. 1975.*
4. 김화중, : 「일부 농촌지역 어린이들의 젖배기 실시 방법, 시기 및 보충식이 음식에 대한 조사」 최신의학, Vol. 17, No.6, pp.828-834, 1974.
5. 이기열, 김숙희 : 「한국인의 식생활 향상을 위한 종합 연구」, 서울 이대출판부, pp.42-59, 1974.
6. Panemangalore, M., Clark, A.J. & Clark, H.E.: *Effects of Dietary Restriction and Rehabilitation on Growth and Tissue Composition in Growing Rats. J. Nutr. 108 : 1297-1305, 1978.*
7. Ogata, E.S., Foung, S.K.H. & Holliday, M.A.: *The Effects of Starvation and Refeeding on Muscle Protein Synthesis and Catabolism in the Young Rat. J.Nutr. 108 : 759-765, 1978.*
8. Cheek, D.B., Hill, D.E., Cordano, A. & Graham, G.G.: *Malnutrition in Infancy: Changes in Muscle and Adipose Tissue Before and After Rehabilitation. Pediat. Res. 4 : 135-144, 1970.*
9. Gomez, F., Ramos-Galyan, R., Frenk, S., Cravioto, J. & Chavez, R.: *Mortality in Second and Third Degree Malnutrition. J. Trop. Pediat. 2 : 77-83, 1956.*
10. Waterlow, J.C. and Mendes, C.B.: *Composition of Muscle in Malnourished Human Infants. Nature 180 : 1361-1362, 1957.*
11. Park, J.H.Y.: *Mineral Content of Skeletal Muscles from Undernourished Rats. U. of Minnesota, March, 1980.*
12. A.O.A.C.: *Association of Official Analytical Chemists, Washington, 1980.*
13. Hawk, P.B., Oser, B.L. & Summerson, W.H.: *Practical Physiological Chemistry. New York, McGraw-Hill Book, pp.1219-20, 1965.*
14. Howarth, R.E. & Baldwin, R.L.: *Synthesis and Accumulation of Protein and Nucleic Acid in Rat Gastrocnemius Muscles during Normal Growth, Restricted Growth and Recovery from Restricted Growth. J.Nutr. 101 : 477-484, 1971.*
15. Dickerson, J.W.T. & McAnulty, D.A.: *The Response of Hind-limb Muscles of the Weanling Rat to Undernutrition and Subsequent Rehabilitation. Br.J. Nutr. 33 : 171, 1975.*
16. McAnulty, D.A. & Dickerson, J.W.: *The Development of the Weanling Rat during Nutritionally Induced Growth Retardation and during Early Rehabilitation. Br. J. Nutr. 32 : 301-312, 1974.*
17. Alleyne, G.A.O., Halliday, D., Waterlow, J.C. & Nichols, B.L.: *Chemical Composition of Organs of Children who died from Malnutrition. Br.J. Nutr. 23 : 783-790. 1969.*
18. Alleyne, G.A.O., Millard, D.J. & Scullard, G.H.: *Total Body Potassium, Muscle Electrolytes and Glycogen in Malnourished Children. J. Pediat. 76 : 75-81, 1970.*
19. Metcalf, J., Frenk, S., Artonowicz, I., Gordillo, G. & Lopez, E. *Relations of Intracellular Ions to Metabolite Sequences in Muscle in Kwashiorkor. Pediatrics 26 : 960-972, 1960.*
20. Scribner, B.H. & Burnell, J.M.: *Interpretation of the Serum Potassium Concentration. Metabolism 5 : 468-479, 1956.*
21. Widdowson, E.M., Dickerson, J.W.T. & McCance, R.A.: *Severe Undernutrition in Growing and Adult Animals. 4. The Impact of Severe Undernutrition on Chemical Composition of the Soft tissues of Pig. Br. J. Nutr. 14 : 457-471, 1960.*
22. Patrick, J.: *Interrelations between the Physiology of Sodium, Potassium and Water, and Nutrition. J.Hum. Nutr. 32 : 405-418, 1978.*
23. Montgomery, R.D.: *Magnesium Metabolism in*

- Infantile Protein Malnutrition. Lancet* II 74—75, 1960.
24. Montgomery, R.D.: *Magnesium Balance Studies in Marasmic Kwashiorkor. J. Pediat.* 59: 119—123, 1961.
25. Sim, D.W. & Wellington, G.H.: *Potassium Concentration in Bovine Muscle as Influenced by Carcass Location, Breed, Sex, Energy Intake, Age and Shrunken Body Weight. J. Anim. Sci.* 42: 84—91, 1976.
26. Flear, C.T.G., Carpenter, R.G. & Florence, I.: *Variability in the Water, Sodium, Potassium and Chloride Content of Human Skeletal Muscle. J. Clin. Pathol.* 18: 74—81, 1965.