

## 단백질의 제한과 회복으로 인한 골격 근육내의 성분변화

김 지 현·김 숙 희

이화여대 식품영양학과

### The Change of Electrolytes Composition in Skeletal Muscles by Protein Restriction and Rehabilitation

Jee Hyun Kim, Sook He Kim

*Dept. of Food & Nutrition, Ewha Womans University,  
Seoul, Korea*

#### =ABSTRACT=

The objective of this study was to compare the electrolytes contents in skeletal muscles of two different groups of rats, one for control fed 20% casein diet, and the other experimental group recovered from 7% casein diet as protein restriction feeding for two weeks at the beginning of this experiment. Two different comparison criteria were used in this study, one for comparison between animals at the same age groups and the other between groups weighing same body weight as the control groups.

Food consumption of animals for experimental and control groups were ad libitum. Following measurement and samples were collected: body weight, five different muscles-anterior tibialis (A.T.) extensor digitorum longus (E.D.L.) soleus, plantaris, gastrocnemius-for electrolytes and protein analysis.

The experimental groups showed lower body weight than that of control group. Same trend was shown in protein content in five different muscles. Magnesium and potassium content in four muscles except gastrocnemius showed lower and sodium higher in experimental groups than those in control group at fourteenth day, after recovery from protein restriction, electrolytes content change showed differently in four muscles.

Magnesium and potassium contents were increased as protein content in diet. Sodium content decreased as one week intake of recovery diet started, thereafter it was rather slowly increased. Phosphorus content in gastrocnemius at the second week in experimental group was slightly lower than that of control group, and it recovered rapider while at the same body weight group it was higher in experimental group.

접수일자 : 1981년 7월 22일

서 론

인구의 계속적인 증가와 이를 따르지 못하는 세계식량생산 능력의 차이로 빚어지는 식량부족은 인류의 존속에까지 위협을 느끼게 하는 큰 관심사가 되고 있다<sup>1)2)3)</sup>.

특히 개발도상국가나 저개발국가에서는 높은 인구밀도와 더불어 더한층 문제의 심각성을 느끼게 하고 있다. 특히 성장기에 있는 어린이들이 충분한 영양공급을 받지 못해서 받은 자국이 후에 성인이 될 때까지의 성장과정에 미치는 영향은 이 분야에서 종사하는 많은 사람들의 관심거리라고 생각한다.

본 논문에서는 성장초기에 단백질의 섭취수준을 저하시킴으로써 성장에 제한을 가한 후 일정기간 뒤에 식이내 단백질의 함량을 증가시켜서 성장초기에 성장제한을 받지 않았던 군과 성장과정을 비교 관찰하는데 그 목적을 두었다.

특별히 신체구성 성분중 수분을 제외한 몸무게의 60%<sup>4)</sup>나 점유하는 골격근육의 발달과정에 흥미를 느껴 골격근육에 포함되어 있는 전해질 —Na, K, Mg, P—과 단백질의 함량을 측정하여서 성장제한 기간과 회복기간을 통하여 전기간 7주에 걸쳐 비교 관찰하였다.

본 연구에서는 성장을 나이의 증가에 따르는 성장과 나이의 상관없이 몸무게 증가에 따르는 성장 두가지 각도로 생각하였다.

실험재료 및 방법

생후 21일된 체중이  $54 \pm 0.5g$ 인 Wistar 종 수컷 흰쥐 75마리를 체중에 따라 Randomized Complete Block Design에 의하여 5마리씩 15군으로 나누어 3일간 적응식으로 환경에 적응시킨 후 표1과 같은 내용으로 사육하였다.

실험군은 실험식이를 2주간 섭취시킨 후에 표준식으로 회복을 시키면서 각각 표준군의 나이와 같을 때와 또한 표준군의 체중과 같아지는 때를 조사하여 단계적으로 희생시켰다(그림 1 참조).

실험동물의 사료는 탄수화물급원으로 corn-starch, 지방으로는 면실유, 단백질로는 casein을 사용하였다. 표준식이는 corn-starch 72%, casein 20%이고, 단백질을 제한한 실험식이는 corn-starch 85%, casein 7%로 하였으며, 사료의 구성성분은 표 2와 같다.

식이와 물은 자유로 먹도록 하였다. 전 실험기간을 통하여 각 군마다 체중을 측정하였고, 뒷다리에서 5가

Table 1. Experimental design

| Rat number    | Experimental period (days)    |                           |    |
|---------------|-------------------------------|---------------------------|----|
|               | 7% Casein diet (Experimental) | 20% Casein diet (Control) |    |
| Control group | 5                             | 14                        |    |
| 5             | 5                             | 21                        |    |
| 5             | 5                             | 28                        |    |
| 5             | 5                             | 35                        |    |
| 5             | 5                             | 42                        |    |
| Age           | 5                             | 14                        | 0  |
| Control group | 5                             | 14                        | 7  |
| 5             | 5                             | 14                        | 14 |
| 5             | 5                             | 14                        | 21 |
| 5             | 5                             | 14                        | 28 |
| Weight        | 5                             | 14                        | 7  |
| Control group | 5                             | 14                        | 17 |
| 5             | 5                             | 14                        | 23 |
| 5             | 5                             | 14                        | 30 |
| 5             | 5                             | 14                        | 32 |

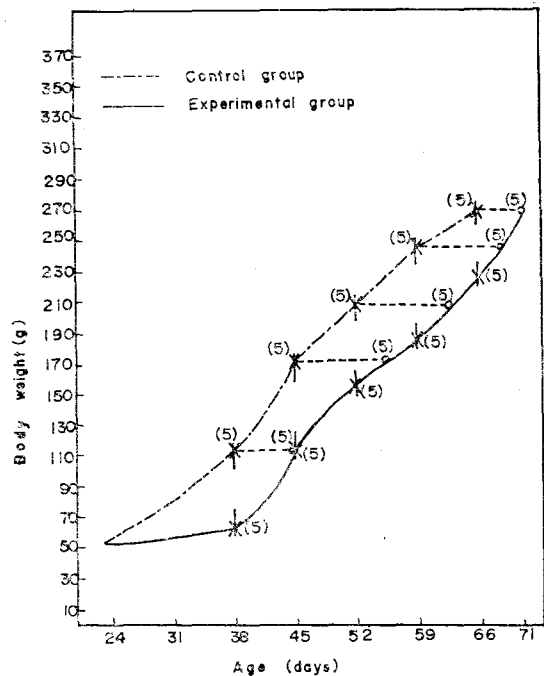


Fig. 1. Body weight.

Table 2. Composition of diet

| Content                 | /kg of diet         |                 |
|-------------------------|---------------------|-----------------|
|                         | Diet 7% Casein diet | 20% Casein diet |
| Corn-starch             | 850g                | 720g            |
| Casein                  | 70g                 | 200g            |
| Corn oil                | 45ml                | 45ml            |
| ① Vit.A.D. mixture      | 1ml                 | 1ml             |
| ② Salt mixture          | 40g                 | 40g             |
| ③ Fat soluble Vitamin   | 2ml                 | 2ml             |
| ④ Water soluble Vitamin | 2.8g                | 2.8g            |
| ⑤ Vit.B <sub>12</sub>   | 1ml                 | 1ml             |

① Vitamin A.D. mixture

<mg/cc corn oil>

|           |                |
|-----------|----------------|
| Vitamin A | 0.1 (850 I.U.) |
| Vitamin D | 0.01 (85 I.U.) |

② Salt mixture

<g/kg salt mixture>

|  |       |
|--|-------|
| Calcium Carbonate                      | 300   |
| Dipotassium Phosphate                  | 322.5 |
| Monocalcium Phosphate·H <sub>2</sub> O | 75    |
| Magnesium Sulfate·7H <sub>2</sub> O    | 102   |
| Sodium Chloride                        | 167.5 |
| Ferric Citrate·6H <sub>2</sub> O       | 27.5  |
| Potassium Iodide                       | 0.8   |
| Manganous Sulfate·H <sub>2</sub> O     | 5.0   |
| Zinc Chloride                          | 0.25  |
| Copper Sulfate·5H <sub>2</sub> O       | 0.3   |

③ Fat soluble Vitamin mixture

|                                   |       |
|-----------------------------------|-------|
| Alpha Tocopherol acetate (Vit. E) | 5g    |
| Menadion (Vik. K)                 | 200mg |
| Corn oil                          | 200ml |

지의 근육, 즉 Anterior tibialis (A.T.) Extensor digitorum Longus (E.D.L.), Soleus, Plantaris, Gastrocnemius를 채취하여서 오른쪽 다리의 Gastrocnemius를 제외한 근육에서 Na, K, Mg의 함량을 측정하였으며<sup>4)</sup> Gastrocnemius에서는 P의 함량을 측정하였다. 왼쪽 다리의 5근육에서는 수분함유율과 단백질 함량을 보았다. 이때 Na, K, Mg의 함량은 Atomic Ab-

④ Water Soluble Vitamin Mixture

<mg/kg diet>

|                         |       |
|-------------------------|-------|
| Choline Chloride        | 2,000 |
| Thiamin hydrochloride   | 10    |
| Riboflavin              | 20    |
| Nicotinic acid          | 120   |
| Pyridoxine              | 10    |
| Calcium Pantothenate    | 100   |
| Biotin                  | 0.05  |
| Folic acid              | 4     |
| Inositol                | 500   |
| Para-amino benzoic acid | 100   |

⑤ Vitamin B<sub>12</sub> solution

Vitamin B<sub>12</sub> 5mg을 증류수 500ml에 녹인 것.

sorption Spectrophotometer (Pye Unicam SP 192)로 측정하였고 단백질 함량은 Micro-Kjeldahl 법<sup>5)</sup>을 사용하였다.

P의 함량측정은 다음과 같이 하였다<sup>6)</sup>.

준비한 crucible에 오른쪽 다리의 Gastrocnemius를 넣어 무게를 chemical balance로 전후 110°C로 유지되는 oven에서 24시간 건조시켜서 furnace에 넣어 500°C에서 12시간 회화시켰다. crucible을 식힌후 1ml의 H<sub>2</sub>O와 5ml의 HNO<sub>3</sub>(1:2 diluted HNO<sub>3</sub>)을 넣고 50°C로 유지되는 oven에서 데웠다. 그런 다음 50ml flask에 넣고 증류수로 채운후 여과한 다음 그중 25ml를 취하여 15ml\* Vanadate reagent와 합한다. 30분후 발색이 되면 Spectrophotometer (Beckman Model 25)로 450nm에서 읽었다.

\* Vanadate Reagent

- ① 100ml HNO<sub>3</sub> (진한질산 : 증류수 = 1 : 2)
  - ② 80ml H<sub>2</sub>O에 5g NH<sub>4</sub>-molybdate를 녹인 후 100ml까지 증류수로 채운다.
  - ③ 80ml H<sub>2</sub>O에 0.25 NH<sub>4</sub>-Vanadate를 녹인 후 4ml의 진한 질산을 넣고 증류수로 100ml까지 채운다.
- ①과 ②를 섞은 후 ③을 조심스럽게 첨가하여 어두운 곳에 보관한 것.

본 연구의 모든 실험 분석결과는 통계처리를 하여 각 실험군당 평균치와 표준오차를 계산하였고,  $\alpha = 0.05$  수준에서 linear contrast로 각실험군당 평균치간의 유의성을 검정하였다.

실험결과

- 1) 체중은 앞의 그림 1에서 보는 바와 같이 실험군

Table 3-1. Muscle water content at the same age (%)

| Age (days) | Body Weight (g) |      | A.T.       |          | E.D.L.                |                       | Soleus                |                       | Plataris              |                       | Gastrocnemius         |                       |
|------------|-----------------|------|------------|----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|            | Control         | Exp. | Control    | Exp.     | Control               | Exp.                  | Control               | Exp.                  | Control               | Exp.                  | Control               | Exp.                  |
| 38         | 114             | 64   | 75.1±0.8** | 75.9±0.6 | 71.8±0.8 <sup>a</sup> | 73.9±7.2 <sup>b</sup> | 70.1±1.3 <sup>a</sup> | 71.4±3.4 <sup>b</sup> | 74.0±0.6 <sup>a</sup> | 75.3±1.8 <sup>b</sup> | 75.2±0.3 <sup>a</sup> | 75.8±0.4 <sup>b</sup> |
| 45         | 172             | 113  | 76.6±0.3   | 74.4±1.3 | 72.8±0.5 <sup>a</sup> | 73.0±3.7 <sup>b</sup> | 77.7±1.1 <sup>a</sup> | 72.8±4.3 <sup>b</sup> | 79.1±1.2 <sup>a</sup> | 73.8±2.3 <sup>b</sup> | 78.7±1.2 <sup>a</sup> | 74.8±1.1 <sup>b</sup> |
| 52         | 210             | 158  | 76.7±0.2   | 76.1±0.3 | 81.8±1.0 <sup>a</sup> | 83.3±3.9 <sup>b</sup> | 75.6±1.5 <sup>a</sup> | 76.9±1.4 <sup>b</sup> | 77.0±0.5 <sup>a</sup> | 77.9±0.6 <sup>b</sup> | 76.9±0.2 <sup>a</sup> | 77.3±0.2 <sup>b</sup> |
| 59         | 245             | 184  | 76.2±0.1   | 74.7±0.5 | 77.5±0.9 <sup>a</sup> | 75.9±1.4 <sup>b</sup> | 79.8±2.0 <sup>a</sup> | 76.8±2.6 <sup>b</sup> | 78.0±0.4 <sup>a</sup> | 79.3±0.9 <sup>b</sup> | 76.9±0.1 <sup>a</sup> | 78.3±0.2 <sup>b</sup> |
| 66         | 270             | 224  | 61.5±1.5   | 76.6±0.2 | 75.9±1.5 <sup>a</sup> | 74.9±0.3 <sup>b</sup> | 72.5±1.6 <sup>a</sup> | 71.4±1.3 <sup>b</sup> | 76.0±0.3 <sup>a</sup> | 73.4±2.8 <sup>b</sup> | 76.8±0.3 <sup>a</sup> | 76.5±0.2 <sup>b</sup> |

Table 3-2. Muscle water content at the same body weight (%)

| Body weight (g) | Age (days) |      | A.T.                   |                        | E.D.L.                |                        | Soleus                |                       | Plataris              |                       | Gastrocnemius         |                       |
|-----------------|------------|------|------------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|                 | Control    | Exp. | Control                | Exp.                   | Control               | Exp.                   | Control               | Exp.                  | Control               | Exp.                  | Control               | Exp.                  |
| 114             | 38         | 45   | 75.1±0.8 <sup>a</sup>  | 76.9±0.8 <sup>b</sup>  | 71.8±0.8 <sup>a</sup> | 79.9±0.8 <sup>b</sup>  | 70.1±1.3 <sup>a</sup> | 80.9±1.8 <sup>b</sup> | 74.5±0.6 <sup>a</sup> | 79.7±0.7 <sup>b</sup> | 75.2±0.3 <sup>a</sup> | 77.2±0.5 <sup>b</sup> |
| 172             | 45         | 55   | 76.6±0.3 <sup>a</sup>  | 63.0±15.8 <sup>b</sup> | 72.8±0.5 <sup>a</sup> | 80.9±3.1 <sup>b</sup>  | 77.7±1.1 <sup>a</sup> | 85.1±1.0 <sup>b</sup> | 79.7±1.2 <sup>a</sup> | 80.9±0.2 <sup>b</sup> | 78.7±1.2 <sup>a</sup> | 77.6±0.2 <sup>b</sup> |
| 210             | 52         | 62   | 76.7±0.2 <sup>a</sup>  | 60.0±15.2 <sup>b</sup> | 81.8±1.0 <sup>a</sup> | 67.2±14.5 <sup>b</sup> | 75.6±1.5 <sup>a</sup> | 70.9±4.3 <sup>b</sup> | 77.1±0.5 <sup>a</sup> | 74.8±1.5 <sup>b</sup> | 76.9±0.2 <sup>a</sup> | 76.3±0.3 <sup>b</sup> |
| 245             | 59         | 68   | 76.2±0.1 <sup>a</sup>  | 75.1±0.8 <sup>b</sup>  | 77.5±0.9 <sup>a</sup> | 72.7±2.6 <sup>b</sup>  | 79.8±2.0 <sup>a</sup> | 72.4±2.9 <sup>b</sup> | 78.9±0.4 <sup>a</sup> | 74.3±1.1 <sup>b</sup> | 76.9±0.1 <sup>a</sup> | 76.1±0.3 <sup>b</sup> |
| 270             | 66         | 71   | 61.5±15.3 <sup>a</sup> | 76.7±0.5 <sup>b</sup>  | 75.9±1.5 <sup>a</sup> | 77.6±1.5 <sup>b</sup>  | 72.5±1.6 <sup>a</sup> | 77.1±0.6 <sup>b</sup> | 76.2±0.3 <sup>a</sup> | 76.9±0.6 <sup>b</sup> | 76.8±0.3 <sup>a</sup> | 76.6±0.2 <sup>b</sup> |

\* Mean ± standard error of means

\*\* Means not followed by same letter are significantly different (p<0.05)  
Linear contrast in the statistical method used.

Table 4-1. Muscle protein content at the same age (mg protein/g organ powder)

| Age (days) | Body weight (g) |      | A.T.    |      | E.D.L.  |      | Soleus  |      | Plantaris |      | Gastrocnemius |      |     |
|------------|-----------------|------|---------|------|---------|------|---------|------|-----------|------|---------------|------|-----|
|            | Control         | Exp. | Control | Exp. | Control | Exp. | Control | Exp. | Control   | Exp. | Control       | Exp. |     |
| 38         | 114             | 64   | 819     | 805  | 819     | 784  | 777     | 714  | 826       | 826  | 686           | 868  | 805 |
| 45         | 172             | 113  | 854     | 840  | 805     | 889  | 798     | 777  | 791       | 791  | 861           | 812  | 854 |
| 52         | 210             | 158  | 896     | 847  | 847     | 910  | 756     | 896  | 791       | 791  | 931           | 861  | 819 |
| 59         | 245             | 184  | 868     | 910  | 756     | 917  | 763     | 777  | 826       | 826  | 987           | 861  | 840 |
| 66         | 270             | 224  | 889     | 876  | 791     | 882  | 805     | 805  | 875       | 875  | 889           | 840  | 822 |

Table 4-2. Muscle protein content at the same body weight (mg protein/g organ powder)

| Body weight (g) | Age (days) |      | A.T.    |      | E.D.L.  |      | Soleus  |      | Plantaris |      | Gastrocnemius |      |
|-----------------|------------|------|---------|------|---------|------|---------|------|-----------|------|---------------|------|
|                 | Control    | Exp. | Control | Exp. | Control | Exp. | Control | Exp. | Control   | Exp. | Control       | Exp. |
| 114             | 38         | 45   | 819     | 784  | 819     | 812  | 777     | 728  | 826       | 819  | 868           | 847  |
| 172             | 45         | 55   | 854     | 742  | 805     | 749  | 798     | 735  | 791       | 847  | 812           | 861  |
| 210             | 52         | 62   | 896     | 742  | 847     | 840  | 756     | 742  | 791       | 812  | 861           | 847  |
| 245             | 59         | 68   | 868     | 798  | 756     | 756  | 763     | 756  | 826       | 868  | 861           | 931  |
| 270             | 66         | 71   | 889     | 882  | 791     | 896  | 805     | 798  | 875       | 885  | 840           | 966  |

Pooled samples were used.

Table 5-1. Muscle Na concentration at the same age (ppm)

| Age (days) | Body wt (g) |      | Na conc./g of A.T.        |                           | Na conc./g of E.D.L. |              | Na conc./g of Soleus |               | Na conc./g of Plantaris   |                           |
|------------|-------------|------|---------------------------|---------------------------|----------------------|--------------|----------------------|---------------|---------------------------|---------------------------|
|            | Control     | Exp. | Control                   | Exp.                      | Control              | Exp.         | Control              | Exp.          | Control                   | Exp.                      |
| 38         | 114         | 64   | *98.8 ± 5.9***            | 109.9 ± 8.5 <sup>b</sup>  | 168.2 ± 31.4         | 188.6 ± 26.0 | 249.3 ± 84.5         | 332.2 ± 194.3 | 117.2 ± 14.8              | 139.0 ± 30.9              |
| 45         | 172         | 113  | 174.9 ± 16.1 <sup>a</sup> | 182.6 ± 23.3 <sup>b</sup> | 269.0 ± 52.3         | 146.7 ± 26.0 | 252.0 ± 12.7         | 155.3 ± 22.9  | 203.9 ± 20.1 <sup>a</sup> | 100.8 ± 15.0 <sup>b</sup> |
| 52         | 210         | 158  | 182.2 ± 11.2 <sup>a</sup> | 193.0 ± 4.9 <sup>b</sup>  | 209.6 ± 34.6         | 177.1 ± 12.8 | 151.7 ± 9.0          | 207.8 ± 39.2  | 164.2 ± 7.5               | 193.0 ± 19.0              |
| 59         | 245         | 184  | 160.3 ± 2.5               | 159.3 ± 2.5               | 220.5 ± 14.9         | 175.4 ± 6.3  | 295.1 ± 42.9         | 194.1 ± 56.6  | 169.2 ± 9.5               | 162.1 ± 4.9               |
| 66         | 270         | 224  | 145.3 ± 5.0 <sup>a</sup>  | 158.8 ± 9.6 <sup>b</sup>  | 204.9 ± 29.6         | 289.2 ± 71.6 | 297.6 ± 58.2         | 184.8 ± 19.9  | 163.0 ± 5.1               | 164.1 ± 9.7               |

Table 5-2. Muscle Na concentration at the same body weight (ppm)

| Body wt. (g) | Age (days) |      | Na conc./g of A.T.      |                          | Na conc./g of E.D.L.      |                           | Na conc./g of Soleus |              | Na conc./g of Plantaris  |                          |
|--------------|------------|------|-------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------|--------------|--------------------------|--------------------------|
|              | Control    | Exp. | Control                 | Exp.                     | Control                   | Exp.                      | Control              | Exp.         | Control                  | Exp.                     |
| 114          | 38         | 45   | 98.5 ± 8.9 <sup>a</sup> | 164.7 ± 8.4 <sup>b</sup> | 168.2 ± 31.4              | 163.1 ± 36.0              | 249.3 ± 84.5         | 193.9 ± 49.4 | 117.2 ± 14.8             | 147.8 ± 8.2              |
| 172          | 45         | 55   | 174.9 ± 16.1            | 179.3 ± 13.7             | 269.0 ± 52.3 <sup>a</sup> | 514.3 ± 33.7 <sup>b</sup> | 252.0 ± 12.7         | 203.8 ± 41.3 | 203.9 ± 20.1             | 189.2 ± 32.4             |
| 210          | 52         | 62   | 182.2 ± 11.2            | 184.7 ± 10.9             | 209.6 ± 34.6              | 374.0 ± 57.8              | 151.7 ± 9.0          | 270.5 ± 14.9 | 164.2 ± 7.5 <sup>a</sup> | 222.6 ± 7.3 <sup>b</sup> |
| 245          | 59         | 68   | 160.8 ± 2.5             | 159.8 ± 5.7              | 220.5 ± 14.9              | 253.6 ± 37.1              | 295.1 ± 42.9         | 408.1 ± 90.1 | 169.2 ± 9.5              | 208.7 ± 35.1             |
| 270          | 66         | 71   | 145.3 ± 5.0             | 141.6 ± 7.9              | 204.9 ± 29.6              | 191.5 ± 16.6              | 297.6 ± 58.2         | 197.4 ± 16.1 | 163.0 ± 5.1              | 153.3 ± 1.8              |

\* Mean ± standard error of mean

\*\* Means not followed by same letter are significantly different (p < 0.05)

Linear contrast in the statistical method used.

Table 6-1. Muscle K concentration at the same age (ppm)

| Age (days) | Body wt. (g) |      | K conc./g of A.T.         |                           | K conc./g of E.D.L.       |                           | K conc./g of Soleus       |                           | K conc./g of Plantaris    |                           |
|------------|--------------|------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
|            | Control      | Exp. | Control                   | Exp.                      | Control                   | Exp.                      | Control                   | Exp.                      | Control                   | Exp.                      |
| 38         | 114          | 64   | *58.2 ± 7.7               | 101.1 ± 7.4               | 160.0 ± 30.4              | 112.3 ± 16.5              | 146.4 ± 65.8              | 63.5 ± 13.2               | 117.3 ± 10.2              | 64.1 ± 14.5               |
| 45         | 172          | 113  | 168.3 ± 9.9**a            | 85.4 ± 8.1 <sup>b</sup>   | 311.8 ± 37.2 <sup>a</sup> | 109.1 ± 33.4 <sup>b</sup> | 293.4 ± 69.8 <sup>a</sup> | 109.4 ± 11.4 <sup>b</sup> | 219.4 ± 36.1 <sup>a</sup> | 103.7 ± 23.8 <sup>b</sup> |
| 52         | 210          | 158  | 153.4 ± 7.3               | 163.6 ± 7.4               | 272.6 ± 30.7 <sup>a</sup> | 370.5 ± 54.7 <sup>b</sup> | 227.8 ± 15.7              | 251.1 ± 30.2              | 200.2 ± 29.4 <sup>a</sup> | 287.0 ± 18.8 <sup>b</sup> |
| 59         | 245          | 184  | 221.0 ± 21.5              | 179.0 ± 6.6               | 201.6 ± 10.8              | 209.4 ± 19.9              | 255.4 ± 28.9              | 232.9 ± 49.6              | 204.5 ± 20.3              | 202.7 ± 17.1              |
| 66         | 270          | 224  | 242.8 ± 31.6 <sup>a</sup> | 151.5 ± 16.9 <sup>b</sup> | 240.2 ± 31.1              | 301.3 ± 87.4              | 267.3 ± 12.7              | 239.6 ± 28.1              | 237.4 ± 14.4              | 242.0 ± 17.2              |

Table 6-2. Muscle K concentration at the same body weight (ppm)

| Body wt. (g) | Age (days) |      | K conc./g of A.T.       |                           | K conc./g of E.D.L.       |                           | K conc./g of Soleus |              | K conc./g of Plantaris    |                           |
|--------------|------------|------|-------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------|--------------|---------------------------|---------------------------|
|              | Control    | Exp. | Control                 | Exp.                      | Control                   | Exp.                      | Control             | Exp.         | Control                   | Exp.                      |
| 114          | 38         | 45   | 58.2 ± 7.7 <sup>a</sup> | 171.9 ± 10.4 <sup>b</sup> | 160.0 ± 30.4              | 212.8 ± 42.4              | 146.4 ± 65.8        | 224.8 ± 64.5 | 117.3 ± 10.2 <sup>a</sup> | 177.2 ± 11.3 <sup>b</sup> |
| 172          | 45         | 55   | 168.3 ± 9.9             | 172.9 ± 9.9               | 311.8 ± 37.2 <sup>a</sup> | 181.8 ± 20.5 <sup>b</sup> | 293.4 ± 69.8        | 201.9 ± 19.9 | 219.4 ± 36.1 <sup>a</sup> | 148.7 ± 4.4 <sup>b</sup>  |
| 210          | 52         | 62   | 153.4 ± 7.3             | 196.3 ± 26.9              | 272.6 ± 30.7              | 313.6 ± 51.4              | 227.8 ± 15.7        | 249.5 ± 20.7 | 200.2 ± 29.4              | 204.8 ± 10.8              |
| 245          | 59         | 98   | 221.0 ± 21.5            | 197.0 ± 22.4              | 201.6 ± 10.8              | 226.9 ± 13.0              | 255.4 ± 28.9        | 317.3 ± 51.7 | 204.5 ± 20.3              | 260.6 ± 19.7              |
| 270          | 66         | 71   | 242.8 ± 31.6            | 223.6 ± 24.9              | 240.2 ± 31.1              | 242.0 ± 22.5              | 267.3 ± 12.7        | 242.2 ± 12.5 | 237.4 ± 14.4              | 236.5 ± 16.0              |

\* Mean ± standard error of mean

\*\* Means not followed by same letter are significantly different (p < 0.05)

Linear contrast in the statistical method used.

Table 7-1. Muscle Mg concentration at the same age (ppm)

| Age (days) | Body wt. (g) |      | Mg conc./g of A.T.    |                       | Mg conc./g of Soleus  |                       | Mg conc./g of E.D.L.  |                       | Mg conc./g of Plantaris |                       |
|------------|--------------|------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|
|            | Control      | Exp. | Control               | Exp.                  | Control               | Exp.                  | Control               | Exp.                  | Control                 | Exp.                  |
| 38         | 114          | 64   | *15.9±0.8             | 13.4±0.4              | 24.7±1.2              | 28.8±6.9              | 18.2±2.0              | 28.1±11.0             | 16.9±2.0                | 21.5±1.8              |
| 45         | 172          | 113  | 26.5±2.7**a           | 18.8±2.9 <sup>b</sup> | 47.8±7.5 <sup>a</sup> | 28.6±7.6 <sup>b</sup> | 39.1±4.0              | 24.2±2.2              | 31.5±0.6 <sup>a</sup>   | 18.7±3.2 <sup>b</sup> |
| 52         | 210          | 158  | 17.3±3.3 <sup>a</sup> | 26.4±1.5 <sup>b</sup> | 29.4±2.1              | 41.4±5.0              | 28.0±0.9              | 35.4±5.0              | 31.2±0.8                | 34.7±2.8              |
| 59         | 245          | 184  | 44.4±4.8 <sup>a</sup> | 23.7±0.6 <sup>b</sup> | 45.8±4.0              | 34.2±4.5              | 58.9±7.2 <sup>a</sup> | 37.0±3.1 <sup>b</sup> | 46.0±4.3 <sup>a</sup>   | 31.9±1.5 <sup>b</sup> |
| 66         | 270          | 224  | 45.0±1.1              | 44.7±2.8              | 56.8±5.1              | 71.1±20.0             | 63.5±6.7              | 48.1±5.4              | 51.2±0.5                | 50.1±0.5              |

Table 7-2. Muscle Mg concentration at the same body weight (ppm)

| Body wt. (g) | Age (days) |      | Mg conc./g of A.T.    |                       | Mg conc./g of E.D.L.  |                       | Mg conc./g of Soleus  |                        | Mg conc./g of Plantaris |                       |
|--------------|------------|------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|-------------------------|-----------------------|
|              | Control    | Exp. | Control               | Exp.                  | Control               | Exp.                  | Control               | Exp.                   | Control                 | Exp.                  |
| 114          | 38         | 45   | 15.9±0.8 <sup>a</sup> | 23.9±0.5 <sup>b</sup> | 24.7±1.2              | 35.8±6.8              | 18.2±2.0              | 36.0±7.8               | 16.9±2.0 <sup>a</sup>   | 30.0±0.6 <sup>b</sup> |
| 172          | 45         | 55   | 26.5±2.7              | 31.5±4.8              | 47.8±7.5              | 34.0±6.6              | 39.1±4.0              | 38.7±4.0               | 31.5±0.6                | 37.4±7.7              |
| 210          | 52         | 62   | 17.3±3.3 <sup>a</sup> | 45.8±1.7 <sup>b</sup> | 29.4±2.1 <sup>a</sup> | 68.6±9.2 <sup>b</sup> | 28.0±0.9 <sup>a</sup> | 52.7±2.7 <sup>b</sup>  | 31.2±0.8                | 54.6±1.3              |
| 245          | 59         | 68   | 44.4±4.8              | 45.3±1.0              | 45.8±4.0              | 55.3±6.2              | 58.9±7.2 <sup>a</sup> | 82.3±16.9 <sup>b</sup> | 46.0±0.5 <sup>a</sup>   | 55.3±0.5 <sup>b</sup> |
| 270          | 66         | 71   | 45.0±1.1              | 40.8±0.9              | 56.8±5.1              | 49.0±3.9              | 63.5±6.7              | 50.1±5.0               | 51.2±0.5                | 54.1±3.5              |

\* Mean ± standard error of mean

\*\* Means not followed by same letter are significantly different (p<0.05)

<sup>a</sup>Linear contrast in the statistical method used.



은 회복식을 준후 급속한 성장을 보였지만, 실험기간이 끝날 때까지 표준군의 수준까지는 회복되지 않았다.

2) 근육내 수분함유율은 표 3-1, 표 3-2와 같이 모든 근육내에서 표준군과 실험군 사이에 통계적으로는 유의적인 차이가 있었다. 모든 군 사이에서의 수분함유율의 변화에서 어떤 경향을 찾아내기는 어렵다고 본다. 특히 같은 나이일 때를 비교한 군 사이에서는 더욱 경향을 찾기가 힘들다고 보며, 같은 체중일 때를 보면 체중이 114g 일 때는 실험군이 표준군보다 모두 높다가, A.T.와 Gastrocnemius는 체중이 245g까지는 낮아지고 270g일 때 다시 높아졌으며, 그의 근육에서는 172g까지 높다가 그 이후 낮아지고 다시 270g일 때 표준군보다 높게 나타났다.

3) 근육내의 단백질 함유율은 표 4-1, 표 4-2에서와 같다. 같은 나이일 때를 비교해보면 회복식을 준 후 2주, 3주가 되면 거의 표준군의 수준에 도달하는 경향이나 Gastrocnemius는 그렇지 않았다. 같은 몸무게일 때는 A.T.와 Solens는 본 실험기간이 끝날 때까지 표준군의 수준에 미치지 못하였고 E.D.L.은 체중이 270g일 때만 실험군이 높았으며, Plantaris는 단백질 회복식을 준 후 계속 표준군보다 높은 수치를 나타냈다. Gastrocnemius도 체중이 210g일 때를 제외하고는 체중에 따라 단백질 함유율이 증가하는 경향이 있으나 체중이 210g일 때는 표준군보다는 낮았다.

4) 근육내 Na 함유율은 표 5-1, 표 5-2에서 보는 바와 같다.

나이가 38일일 때는 실험군이 모두 표준군보다 높았다. 그러나 45일 때는 표준군이 오히려 모두 높았고, 그후는 일정한 경향을 찾기가 힘들다.

표 6-1, 표 6-2에서 보듯이 근육내의 K 함유율은 E.D.L.의 경우 38, 45일일 때 실험군이 낮다가 그후는 표준군이 낮았고, Soleus는 52일일 때만 제외하고는 표준군이 높았다. 38일일 때는 A.T.를 제외하고는 표준군이 높았다. 체중이 114g일 때는 실험군이 모두 높았고 그보다 많은 체중으로 갈수록 어떤 경향을 말하기는 어렵다. E.D.L.은 172g일 때만 제외하고는 실험군이 모두 높았으며 Soleus와 Plantaris는 똑같이 172g과 270g일 때 표준군이 높은 수치를 보였다. A.T.에서는 체중이 245g 이상에서 실험군이 낮았다.

Mg 함유율은 표 7-1, 표 7-2와 같다. 같은 나이를 비교해 볼 때 A.T.의 경우 52일일 때를 제외하고는 모두 표준군이 높았고, Soleus와 Plantaris는 38, 52일일 때 실험군이 높았다. A.T.를 제외하고는 38일

Table 8-1. Phosphorus concentration in gastrocnemius at the same age (ppm)

| Age (days) | Body wt. (g) |      | P conc./g of Gastrocnemius |                       |
|------------|--------------|------|----------------------------|-----------------------|
|            | Control      | Exp. | Control                    | Exp.                  |
| 38         | 114          | 64   | *15.4±1.3                  | 15.3±6.3              |
| 45         | 172          | 113  | 22.2±1.3                   | 22.7±4.3              |
| 52         | 210          | 158  | 22.4±0.3                   | 22.6±1.0              |
| 59         | 245          | 184  | 16.8±2.1                   | 18.8±2.8              |
| 66         | 270          | 224  | 15.3±0.7***                | 22.8±0.2 <sup>b</sup> |

Table 8-2. Phosphorus concentration in gastrocnemius at the same body weight (ppm)

| Body wt. (g) | Age (days) | P conc./g of Gastrocnemius |                       |                       |
|--------------|------------|----------------------------|-----------------------|-----------------------|
|              |            | Control                    | Exp.                  |                       |
| 114          | 38         | 45                         | 15.4±1.3              | 16.3±1.2              |
| 172          | 45         | 55                         | 22.2±1.3              | 24.1±0.7              |
| 210          | 52         | 62                         | 22.4±0.3              | 26.5±2.8              |
| 245          | 59         | 68                         | 16.8±2.1 <sup>a</sup> | 24.5±2.4 <sup>b</sup> |
| 270          | 66         | 71                         | 15.3±0.7 <sup>a</sup> | 23.2±0.5 <sup>b</sup> |

\* Mean ± standard error of mean

\*\* Means not followed by same letter are significantly different (p<0.05)

Linear contrast in the statistical method used.

일 때 실험군이 높았고, 45일일 때는 실험군이 낮았다가 그후 다시 높아지다 낮아지는 수치를 보였다. E.D.L.은 66일일 때 실험군이 높았다.

같은 몸무게일 때 A.T.는 실험군이 높다가 실험기간 마지막에 낮아졌고, Plantaris는 항상 실험군이 높았으며, Soleus와 Plantaris의 경우는 일정한 경향이 없었다.

Gastrocnemius 내의 P 함유율은 표 8-1, 표 8-2에서 보듯이 나이 66일 때와, 체중 245g, 270g일 때만 표준군과 실험군 사이에서 통계적으로 유의적인 차이가 나타났고, 그외는 비슷한 수치를 보이는 경향이 있었다. 같은 나이일 때를 보면 38일일 때만 표준군이 약간 높았다가 그 후는 모두 실험군이 높았고, 같은 몸무게일 경우는 실험군이 모두 높은 경향이 있었다.

### 고찰 및 결론

본 연구는 젓벌어진 쥐에게 성장초기에 있어서 저단백식으로 성장을 제한시킨 후에 식이내의 단백질 수준을 표준군과 같은 수준으로 증가시켜서 회복식을 주어 사육함으로써 성장제한에서부터 회복을 시켜보았다.

본 연구의 목적은 이렇게 성장제한으로부터 회복시켜 본 기간—5주—동안에 일어나는 체내의 근육내 변화를 관찰하고자 하는데 있다.

최근 문헌에 보고된 바에 의하면 성장제한이 나타났을 때 동물조직중에서 전해질에서의 변화가 있다는 보고가 있다<sup>7)</sup>.

그러므로 본 연구에서는 조직내 함유되어 있는 전해질인 Na, K, Mg, P 및 근육내의 단백질함량을 분석함으로써 회복과정을 관찰하였다. 회복과정을 크게 두 가지 관점으로 보아서, 첫째로는 동물의 나이가 증가될 때 성장초기에 성장제한을 받았던 군과 받지 않았던 군 사이에서 일어나는 변화를 보았고, 둘째로는 비록 나이는 달라도 표준군과 성장제한을 받았던 군이 동일 몸무게일 때 근육내의 전해질과 단백질의 함량을 비교함으로써 회복과정을 관찰하였다.

성장초기에 성장제한이 없었던 표준군의 체중에 단백질 제한식이에 의해 성장제한을 받았던 실험군은 1주일 내지 9~10일 후에야 도달하였다. 그리고, 본 연구에서 시도했던 5주간의 회복기간에서는 성장제한을 당했던 군이 표준군의 체중수준에 도달하지 못하였다.

이 결과는 Hansen<sup>8)</sup>의 실험에서 Sprague Dawley 수컷 쥐에게 27%, 15%, 8% casein diet를 준 후 체중을 측정해 본 결과 8% casein diet를 섭취한 쥐의 평균 체중이 가장 적었다는 보고와 일치한다.

또한 Dickerson et al<sup>9)</sup>의 실험에서 젖은 쥐를 5%, 25% casein diet를 52일까지 먹인 다음 140일까지 회복시킨 결과 단백질 결핍동안의 체중증가는 5% casein diet인 경우 7g, 25% casein diet인 경우 115g 이었고, 회복후 단백질이 결핍되었던 군이 체중증가는 급속하지만 표준군의 체중까지는 도달하지 못했다는 보고와 일치한다.

각 골격 근육내 함유되어진 단백질과 수분의 함량변화를 보면 저단백식이에 의해 성장제한을 받고 회복을 시작하지 않았던 때에는 대개 성장제한군의 조직내의 단백질함량은 표준군에 비해 모든 근육에서 낮았으며, 수분함량은 모든 근육내에서 높았다.

그런데 회복 1주 후에 같은 나이에서 이를 관찰해 보면 수분의 함유율은 각 근육에서 E.D.L.을 제외하고는 수분함유율이 성장제한을 받았던 군에서 낮아졌고 그 반면에 단백질의 함유율은 급속한 증가를 보이고 있음이 모든 근육에서 나타났다.

Young et al.<sup>10)</sup>의 실험에서 단백질 depletion과 repletion 동안에 근육단백질의 분해속도(rate of break-

down)를 조사한 결과 deplete된 쥐에게서 분해속도가 더 짧았다는 것을 말했고, 회복식을 주면 합성율은 빠른 반면 분해속도는 느려진다고 했다.

Funabiki et al<sup>11)</sup>도 쥐를 사용한 실험에서 근육단백질의 breakdown rate를 N-methylhistidine으로 측정하여 본 결과 무단백식을 섭취한 쥐는 체중이 높고 N-methylhistidine의 배설량이 감소하였으며 단백질의 합성율은 breakdown rate보다 더 빨리 감소하였다. 단백질 표준식으로 회복시킨 결과 합성율은 1일당 0.75에서 5.75%로 증가하였다. 근육내 단백질의 축적은 빠른 합성율과 느린 분해율의 결과라고 하였다.

근육내 함유되어 있는 전해질의 양을 보면 Na의 농도는 나이가 38일일 때, 즉 단백질을 제한한 후 회복을 시키지 않았을 때 실험군이 표준군보다 높은 경향이었고, K는 Na과는 반대로 표준군이 더 높았으나, A.T.는 그렇지 않았다. Mg도 이때 A.T.를 제외하고는 실험군이 표준군에 비해 약간 높았다. 그후는 일관성 있는 어떤 경향을 찾기는 힘들다. 단백질 제한시 나타나는 K 농도의 저하는 근육 세포의 capacity의 감소와 이 K ion에 대한 세포의 capacity의 불포화에 기인하는 것이라고 Mann은 보고하였다<sup>12)13)14)</sup>.

Cell capacity의 저하는 cellular protein의 감소에 기인한다. 그리고 cellular capacity의 불포화는 membrane permeability 또는 Na-K exchange mechanism이 변화되기 때문이다<sup>13)14)</sup>라고 한 학자도 있지만 본 실험으로는 거기까지는 설명하기 어렵다고 생각된다.

Malnutrition시 근육내에서의 K의 손실은 근육내 단백질의 손실과 더불어 온다<sup>15)</sup>.

회복식을 준 후부터 실험군의 K 농도가 차차 증가하는 경향이었고 A.T.와 Soleus를 제외한 근육내에서는 표준군의 수준넘어까지 회복되어졌다.

Mg은 undernutrition 때 근육내에서 현저히 정상치보다 농도가 떨어지는 이온이다<sup>15)</sup>.

Mg은 에너지대사에서 transphosphorylation에 참여하는 수많은 효소의 activator로서 작용함으로써 malnutrition 때의 농도의 저하는 있을 수 있는 일이라고 할 수 있다.

Gastrocnemius 내 P는 실험군에서 단백질 제한후 곧 같은 나이의 표준군과 비슷한 수치를 보이다가 회복식이 제공후에는 더욱 높은 수치를 보이는 경향이였다. 이는 Metcalf<sup>16)</sup>과 Montgomery<sup>17)</sup>의 실험에서 유아의 영양결핍시 근육내 P의 농도가 감소했다는 보고와 일치하고 있다.

모든 결과로 보아 성장초기에 저단백식에 의해 성장을 제한하고 회복을 시키지 않았을 때 체중과 근육내 단백질량이 감소하는 경향이었고, 전해질 중에서는 Na는 표준군에 비해 높았고, Mg와 K는 A.T.에서만 제외하고는 표준군에 비해 낮은 경향이였다.

단백질을 표준식으로 회복을 시킨 후에는 같은 나이끼리 비교했을 때나 같은 몸무게끼리 비교했을 때에 어떤 일관성 있는 경향을 찾아내기는 힘들다. 체중은 실험기간 말까지도 표준군의 수준에 못미쳤다. 또한 본 연구에서 본 모든 근육이 전해질의 농도에 있어서 같은 수준으로 변화를 나타낸 것도 아니다. 각 근육마다 전해질의 함량과 농도가 약간씩 차이가 났으며 특히 soleus가 다른 세 근육에 비하여 같은 나이일 때의 표준군에 비해 전해질의 농도가 회복되지 않았다.

### 참 고 문 헌

- 1) 보건사회부 : 국민영양조사보고, 보건사회부 1974.
- 2) 유정열 : 우리나라 영양섭취 현황. 한국영양학회지, 6(2) : 57—66, 1973.
- 3) 이기열, 김명호, 방 숙, 김경식 : 한국인 지역별 영양실태조사 한국영양학회지, 4(4) : 57—68, 1971.
- 4) Park, J.H.Y.: Mineral content of skeletal muscles from undernourished rats. University of Minnesota, March, 1980.
- 5) Hawk, P.B., Oser, B.L. Summerson, W.H.: Practical Physiological chemistry. pp. 1219—1220, McGraw Hill Book, New York, 1965.
- 6) A.O.A.C. 13th ed. p.365, Association of Official Analytical Chemists, Washington, 1980.
- 7) Goodhart. R.S. & Shils, M.E.: Modern nutrition in health and disease. 5th ed.: pp.618—619, Lea and Fabiger, Philadelphia, 1973.
- 8) Hansen, F.M., Maksud, M.G. & Van Horn, D. L.: Effect of dietary protein restriction or food restriction on oxygen consumption and mitochondrial distribution in cardiac and red and white

- muscle of rats. J.Nutr. 107: 525—533, 1977.
- 9) Dickerson. J.W.T., Hughes, P.C.R. & McAnulty. D.A.: The growth and development of rats given a low protein diet. Br. J.Nutr. 27:527—536, 1972.
- 10) Young, V.R., Stothers, S.C. & Vilair. G.: Synthesis and degradation of mixed proteins and composition changes in skeletal muscle of malnourished and refed rats. J.Nutr. 101 : 1379—1390, 1971.
- 11) Funabiki, R., Watanabe, Y., Nishizawa, N. & Hareyama, S.: Quantitative aspects of the myofibrillar protein turnover in transient state on dietary protein depletion and repletion revealed by urinary excretion of N-methylhistidine. Biochimica et Biophysica Acta 451 : 143—150, 1976.
- 12) Mann, M.D., Bowie, M.D. & Hansen, J.D.L.: Total body potassium, potassium retention and potassium intake in protein energy malnutrition. S.Afr. Med. J. 49 : 613—615, 1975.
- 13) Scribner, B.H. & Burnell, J.M.: Interpretation of the serum potassium concentration. Metabolism 5 : 468—479, 1956.
- 14) Alleyne, G.A.O.: Studies on total body potassium in malnourished infants. Br. J.Nutr. 24 : 205, 1970.
- 15) 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, 1959.
- 16) Metcalf, J., Frenk, S., Artonowicz, I., Gbrdillo, G. & Lopez, E.: Relations of intercellular ions to metabolite sequences in muscles in kwashiorkor. Pediatrics 26 : 960—972, 1960.
- 17) Montgomery, R.D.: Magnesium metabolism in infantile protein malnutrition. Lancet II : 74—75, 1960.