

한국 성인 여자에 있어서, 나트륨 섭취 수준이 체내 칼슘대사에 미치는 영향

김 양 애·승 정 자

숙명여자대학교 식품영양학과

The Effect of Dietary Sodium on Calcium Metabolism in Healthy Young Adult Women

Kim, Yang Ae and Sung, Chung Ja

Department of Food & Nutrition Graduate School Sookmyung Women's University

= ABSTRACT =

The present study was conducted to examine the effect of an increased level of dietary sodium on calcium excretion in 8 healthy young adult Korean women on a controlled diet.

After adaptation period of 2 days, each subject received 2811.8 ± 68.1 mg Na/day during the initial period of 5 days (low sodium period) and 6417.1 ± 248.6 mg Na/day during the following period of 5 days (high sodium period).

Calcium intake was 593.7 ± 15.7 mg Ca/day during the low sodium period and 596.1 ± 25.1 mg Ca/day during the high sodium period.

When the low sodium period is compared with the high sodium period, the results were as following:

1) Mean urinary sodium excretion was significantly higher during the high sodium period (5760.1 ± 156.5 mg) than during the low sodium period (2272.2 ± 108.6 mg) ($P < 0.001$).

Fecal sodium excretion of the high sodium period was also significantly higher than that of the low sodium period ($P < 0.001$).

Mean value of sodium balance during the high sodium period was higher than that of the low sodium period. However, the difference was not significant.

2) Mean urinary calcium excretion was significantly higher during the high sodium period than during the low sodium period: mean value of the low sodium period was 124.7 ± 11.3 mg and that of the high sodium period was 202.6 ± 17.2 mg ($P < 0.001$).

Fecal calcium excretion was higher during the high sodium period (284.9 ± 31.0 mg) than during the low sodium period (253.9 ± 15.3 mg), but there was no significance.

Mean value of calcium balance during the high sodium period was significantly lower than that of the low sodium period ($P < 0.001$).

The above results show that high sodium intake increases calcium excretion as well as sodium excretion.

서 론

매일 500~600mg의 칼슘을 섭취하는 정상성인의 24시간 소변 칼슘배설량은 약 100~300mg이며¹⁾, 흡수불량이거나 섭취수준이 낮을 때도 parathyroid hormone (PTH)의 영향으로 골격에서 칼슘이 유출되기 때문에 소변으로의 칼슘배설은 여전히 지속된다. 소변중의 칼슘배설은 완전한 평형 상태에 있을 때는 진정흡수량과 똑같다. 그러나 흡수와는 관계없이 고단백질 섭취, renal leak, 고나트륨 섭취, $1,25-(OH)_2$ Vitamin D의 치료 등 제요인들이 소변 칼슘배설에 영향을 준다.

그 중에서도 고나트륨의 섭취는 오래전부터 신장으로의 칼슘배설에 영향을 주는 중요한 요인중의 하나로 인식되어 왔는데, 1961년에는 Walser²⁾가 개를 대상으로 한 연구에서 칼슘과 나트륨의 renal clearances 사이에 직접적인 관계가 있음을 제시했으며, 1964년에는 건강한 사람을 대상으로 한 두 보고서^{3,4)}에서 식이 나트륨의 섭취를 증가시키면, 소변으로 나트륨배설뿐아니라 칼슘의 배설도 증가된다고 보고하는 등 그외 여러연구^{5~9)}에서 재확인되었다.

이와같이 고나트륨 섭취가 소변중으로 칼슘배설을 증가시키는 원인은 신장에서 나트륨과 칼슘간의 transport mechanism이 매우 밀접하게 관련되어 있기 때문인 것으로 보고되고 있으나²⁾, 그 기전은 아직 확실치 않다.

1985년 우리나라 보건사회부의 국민영양조사 보고서¹⁰⁾에 의하면, 1일 지역별 칼슘섭취량은 전국 평균이 569.01mg이고, 도시평균이 592.99mg, 농촌이 530.20mg으로 권장량의 약 93% 수준에 이르고 있는 것으로 나타났으나, 이것은 과다한 양을 섭

취하는 소수의 인구로 인해 평균섭취량이 높게 책정된 것으로 여겨지며, 실제로 전체 조사대상자 중 소요량의 75%이하밖에 섭취못하는 인구의 비율은 상당히 높은 것으로 나타났다¹⁰⁾.

반면 우리나라 사람들의 하루 평균 식염섭취량은 약 15~25g정도로^{11~13)}, WHO의 권장량 10g, 미국인의 평균섭취량 10g¹⁴⁾에 비해 거의 2배에 가까운 수치를 보이고 있다. 또한 이웃 일본의 경우를 보더라도 국민 1인 1일 평균식염섭취량은 '72년에 14.5g에서 '84년에는 12.2g으로 감소되고 있는 실정이다¹⁵⁾.

따라서 우리나라의 이러한 나트륨의 과다섭취와 저칼슘섭취는 나트륨에 의한 소변으로의 칼슘배설을 더욱 더 유도하는 결과를 초래할 것으로 생각되며, 나트륨 및 칼슘과 관련된 다른 무기질 즉 칼륨과 인도 영향을 받을 것으로 여겨진다. 때문에 본 연구에서는 성인여자 8명을 대상으로, 칼슘의 섭취량은 권장량수준으로 일정하게 섭취시 키고, 나트륨수준을 WHO의 권장량수준(약 식염 10g에 해당하는 나트륨의 양 : 저염식이기간)과 우리나라 사람들의 평균섭취량수준(약 식염 20g에 해당하는 나트륨의 양 : 고염식이기간)으로 달리 공급했을 때, 나트륨섭취량이 칼슘배설에 미치는 영향 및 인, 나트륨, 칼륨배설에 미치는 영향을 연구하고자 하였다.

실험대상 및 방법

1) 실험설계

1986년 5월 19일 아침부터 5월 31일 아침까지 12일 동안 건강한 성인여자 8명을 대상으로 식단 내용은 똑같고 나트륨함량만 달리한 식이를 섭취

—한국 성인 여자에 있어서, 나트륨 섭취 수준이 체내 칼슘대사에 미치는 영향—

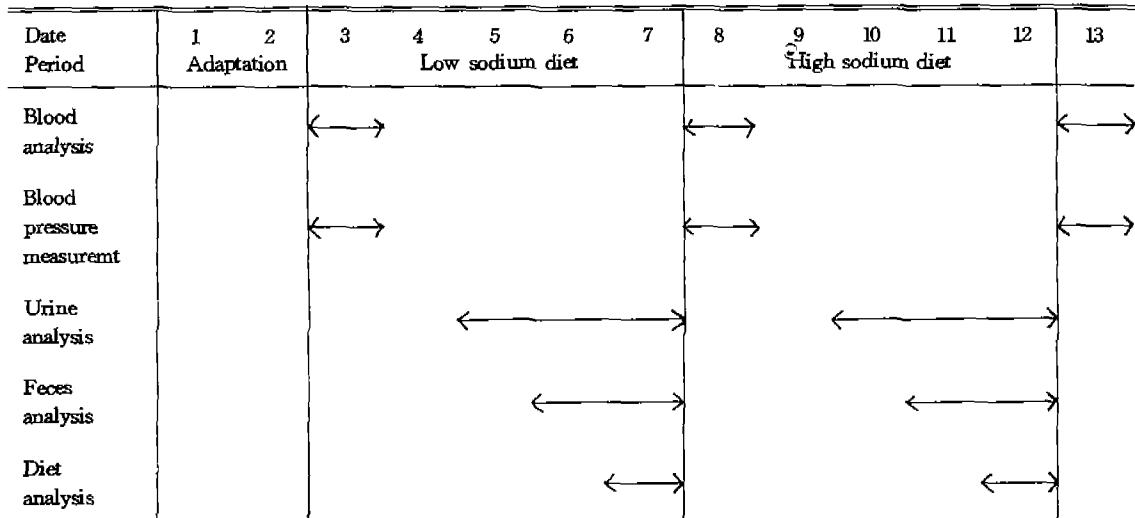


Fig. 1. Experimental design.

시키고, 소변과 대변으로 배설되는 칼슘의 양을 비교하였다. 실험시작전에는 각 대상자의 3일간의 식이섭취를 식품기록법(food record)으로 조사해서 이를 토대로 평소의 식이섭취량과 유사하도록 식이구성을 하였는데, 나트륨함량만 Dewardnaer¹⁶⁾와 서¹⁷⁾의 섭취된 나트륨의 87%가 소변으로 배설된다는 연구를 토대로 하여 3일간의 소변을 받아, 소변분석결과 얻어진 1일 나트륨배설량으로 1일 섭취량을 추정하였다. 전 실험기간 12일중 2일간은 적응기간, 그 다음 5일간은 저염식이기간 그리고 마지막 5일간은 고염식이기간으로 구성했으며, 대상자들은 매일 아침 일어나자마자 편안한 자세로 체온을 측정한 후 공복상태로 등교해서 체중을 챜 후 아침식사를 제공받았다.

실험설계는 그림 1과 같았다.

2) 실험대상

실험기간 동안 월경기간이 아니고 자의에 의해 선정된 21~24세의 건강한 성인여자 8명을 대상으로 하였다. 실험기간 동안 대상자들 모두는 동일한 실험식이를 섭취하였으며, 실험식이외 어떤 약제나 식품도 전혀 섭취하지 않았다. 또한 각 대상자는 심한 운동이나 활동은 피하고 가능한한 규

칙적인 생활을 하였다.

3) 실험식이

각 대상자들의 실험시작전 식이섭취조사결과, 한국인 영양권장량¹⁷⁾, 김¹⁸⁾과 박¹⁹⁾의 연구 그리고 일본 식품분석표²⁰⁾를 토대로 하여, 저염식이 및 고염식이 두 기간 모두 매일 매일 똑같은 내용의 식단으로 하루 총열량 1749.6Kcal, 단백질 65.1g, 칼슘 632.3mg으로 조정하였고, 나트륨함량만 저염식 이때 3135.6mg(식염으로 약 8g), 고염식이때는 9g의 정제염을 각 음식에 추가하여 약 2배되는 6585.6mg(식염으로 약 17g)으로 작성하였다. 식단 작성의 어려움으로 인과 칼륨의 섭취량은 조정하지 않았으나, 그 양을 정확히 측정하였다. 식단내용에 있어서도 5가지 기초식품군 및 대상자의 기호에 맞게 구성하였으며, 계산과 분석상의 나트륨수치의 오차를 배제하기 위해 가공식품은 사용하지 않았다.

실험기간에 사용된 모든 식품은 변질되기 쉬운 야채나 우유 등을 제외하고는 영양소함량과 electrolyte 함량의 변동을 막기 위해 필요한 전량을 한꺼번에 큰 냉어리로 구입, 냉장·냉동보관하였다가 필요시에 꺼내 사용하였다. 또한 식기류 및

조리기구들은 가능한 플라스틱 그릇과 유리그릇으로 사용하였으며, 항상 4g/l EDTA 용액에 12시간 이상 담근 다음 사용하기 직전 이온제거수로 5번 이상 헹구어 사용하였고, 식품조리수 및 음료수도 역시 이온제거수를 사용하였다. 실험대상자에게 음료수로서의 이온제거수 공급을 제한하지 않았으나 섭취한 양은 기록케 하였다. 식품조리는 8인분을 한꺼번에 조리한 다음 총량을 측정하여 동일하게 8로 나눠 다시 각각을 재서 공급하였으며, 국은 건데기와 국물을 따로 재서 공급하였고, 밥은 솔에 끓여 붙은 것을 고려하여 9인분을 조리한 다음 9로 나눠 솔에 끓여 붙은 나머지 1인분 빼고 공급하였다. 또 각 식이기간의 마지막날은 1인분을 더 조리하여 식이분석을 위해 수거하였다. 제공된 식이는 모든 대상자로 하여금 남기지 않고 전부 섭취하도록 하였으며, 가능한 일정한 시간에 섭취하도록 하였다.

4) 시료수집 및 시료분석

시료수집 및 시료분석에 필요한 용기 및 기구는 플라스틱 제품의 경우 4g/l EDTA 용액에 12시간 이상 담구고 유리기구일 경우 0.4N HNO₃에 24시간 동안 담근 다음 이온제거수로 5번 이상 헹구어 사용하였다.

(1) 소변

각 식이섭취기간의 3일째되는 날에 대상자별로 24시간 소변(각 날의 아침식사후 소변부터 다음날 아침식사전 소변까지)을 toluene이 약 1ml 들어있는 2l용 polyethylene 채뇨용기에 수집하였다. 채뇨용기는 수집시 이외에는 항상 냉장고에 보관하였다. 수집된 24시간 소변은 실온(20~25°C)에 약 1시간 동안 방치시킨 다음, mass cylinder로 총량을 측정하고 잘 섞은 후 정확히 총량의 1/10을 취하여 냉동보관하였다가 동일한 방법으로 수집된 4일째와 5일째 소변의 각각 1/10과 합쳐서 잘 섞은 다음 냉동보관후 분석에 사용하였다.

냉동보관된 소변시료는 상온에 방치하여 녹인

후, 칼슘은 chloranilic acid를 이용한 칼슘의 침전을 기초로 한 비색분석법²⁰⁾으로, 인은 녹인 소변시료를 3,000rpm에서 15분간 원심분리한 후 상등액을 취해 몰리브덴산 암모늄 비색분석법²¹⁾으로 분석하였다. 나트륨, 칼륨도 원심분리한 소변의 상등액을 Shimadzu AA /Flame emission spectrophotometer AA -670으로 분석하였는데, 나트륨은 wavelength : 589nm, air -C₂H₂: oxidant 8 fuel 1.6 burner 10의 조건에서 칼륨은 wavelength : 766.5 nm, air -C₂H₂: oxidant 8 fuel 1.9 burner 10의 조건에서 분석하였다.

(2) 대변

각 식이섭취기간 중 최종 연 2일간의 대변을 한용기에 합하여 수집하였다. 대변 수집은 뚜껑이 있는 플라스틱 채변용기내에 2중 vinyl 막을 깔고 수집하여 냉장고에 비치하였다가, 총량을 정확히 측정한 후 고무장갑을 끼고 vinyl 막 외부로 부터 잘 주물러 혼합하여 균질화시킨 다음 그 일부를 취하여 냉동보관하였다가 분석에 사용하였다.

냉동보관된 대변시료는 상온에 방치하여 녹인 후 약 5g을 600°C에서 전식회화법으로 전처리하여 이온제거수로 녹인 후, 소변과 같은 방법으로 칼슘, 인, 나트륨, 칼륨을 분석하였다.

(3) 식이

각 실험기간 마지막날에 각 실험기간 동안 섭취한 식이와 동일한 내용의 식이를 따로 준비하여 mixer에 전량을 넣고 갈아 총 총량을 젠다음, 그 일부를 취하여 냉동보관하였다가 분석에 사용하였다.

냉동보관된 식이시료는 상온에 방치하여 녹인 후 600°C에서 전식회화법으로 전처리하여 이온제거수에 녹인 후, 칼슘, 인, 나트륨, 칼륨은 역시 소변과 같은 방법으로 분석하였고, 식이의 일반성분에 있어서는 단백질은 micro-kjeldhal법^{22), 23)}으로, 지방은 soxhlet 추출법²⁴⁾으로, 수분은 105~110°C 전조평량²⁴⁾으로, 회분은 600°C에서 전식회화법²⁴⁾으로 정량하였으며, 탄수화물은 여전상의

-한국 성인 여자에 있어서, 나트륨 섭취 수준이 체내 칼슘대사에 미치는 영향-

어려움으로 한국인 영양권장량¹⁷⁾의 식품분석표에 의해서 계산하였다. 열량은 단백질, 지방, 탄수화물함량으로부터 계산하였다.

(4) 혈액 및 혈압

혈액은 각 식이섭취기간의 첫날과 모든 실험이 끝나는 날 아침식사하기 전에 약 10~12시간 정도 공복상태에서 진공채혈관으로 7ml 채취하였다. 채취한 혈액은 3,000rpm에서 15분간 원심분리하여 혈청을 얻은 후 냉동보관 하였다가 분석에 사용하였다.

냉동보관된 혈청은 상온에 방치하여 녹인 후 칼슘은 chloranilic acid를 이용한 칼슘의 침전을 기초로 한 비색분석법²⁰⁾으로, 인은 몰리브덴산 암모늄 비색에 의한 적접법²⁵⁾으로, 나트륨, 칼륨은 역시 소변과 같은 방법으로 분석하였다.

혈압은 혈액과 마찬가지로 각 식이섭취기간의 첫날과 모든 실험이 끝나는 날 측정하였다.

(5) 통계분석

저염식과 고염식이간의 식이섭취량의 차이와 소변·대변배설량의 차이는 paired t-test로 유의성을 검정하였고, 적응기간, 저염식이기간, 고염식이기간 간의 혈청내 성분수준의 차이와 혈압의 변화는 variance analysis로 전체적 유의차를 보았으며, 각 평균간의 유의성 검정을 the least significant difference(L.S.D.) test²⁶⁾로 5% 및 1% 수준에서 실시하였다.

실험결과 및 고찰

실험대상자의 평균연령은 23세, 평균체중은 49.8 \pm 4.8kg 이었다. 저염식이기간과 고염식이기간의 평균체중은 각각 49.0 \pm 5.9kg, 49.9 \pm 4.6kg으로 고염식이기간이 저염식이기간보다 약간 증가하였는데, 이것은 물섭취량이 저염식이기간 64.0 \pm 56.5g에서 고염식이기간에는 303.8 \pm 193.2g으로 증가했기 때문에 세포외액량이 증가했기 때문에 사료된다. 소변량도 저염식이기간 974.7 \pm 313.2ml에서

고염식이기간 1,286.5 \pm 315.6ml로 약 300ml 증가했다.

1) 영양소섭취량

실험식이의 일반성분분석결과는 표 1에 기록하였고, 실험대상자들의 실험전 식이섭취조사결과, 각 실험식이의 식품분석표상의 함량과 식이시료로부터 분석한 결과를 비교한 것은 표 2와 같다.

표 1, 2에서 알 수 있듯이 저염식이기간과 고염식이기간에 각 대상자들이 섭취한 영양소함량은 나트륨을 제외하고는 실험전 식이섭취조사결과와 거의 비슷함을 알 수 있다. 또한 식품분석표상의 계산치와 분석결과에 의한 분석치와의 비교에 있어서는, 단백질, 칼슘, 칼륨함량의 분석치가 계산치보다 약 4g, 40mg, 330mg 정도 낮았으며, 저염식이기간에 있어 나트륨함량도 300mg 정도 낮은 것으로 나타났으나 반대로 열량은 분석치가 계산치보다 약 50kcal 정도 증가했으며, 특히 인함량에 있어서는 약 150mg 정도가 높은 것으로 나타났다. 이런 차이는 식품분석표상에 나타나 있는 영양소함량의 부정확성, 식이를 만드는 데 있어서의 계량의 오차, 야채나 우유 등 한꺼번에 구입하지 못한 식품에서 올 수 있는 영양소함량의 차이에서 오는 결과라고 생각된다.

2) 칼슘

소변중의 하루 평균 칼슘배설량은 저염식이 때

Table 1. Composition of experimental diets

Period Composition	Low sodium diet	High sodium diet
Moisture (%)	72.8 \pm 0.7 [#]	70.4 \pm 0.4
Crude ash(g)	9.2 \pm 0.7	10.8 \pm 0.4
Crude protein(g)	61.7 \pm 0.9	61.8 \pm 1.4
Crude fat(g)	43.3 \pm 2.1	42.7 \pm 1.1
Carbohydrate(g) [#]		292.5

[#] Mean \pm S.E.

[#] Calculated from food composition tables.

Table 2. Pre-experimental dietary intake of subjects and comparison of two experimental diets

Pre-experimental [#] dietary survey	Experimental diet		
	By food composition tables	By chemical analysis	
		Low sodium diet	High sodium diet
Energy (Kcal)	1,705.1±41.4 [#]	1,749.6	1,806.8±32.9
Protein (g)	65.8±2.6	65.1	61.7±0.9
Ca (mg)	639.9±30.7	632.3	593.7±15.7
P (mg)	785.0±50.8	740.8	904.9±67.2
Na (mg)	3,198.2±237.8	3,135.6 ^{a)} 6,585.5 ^{b)}	2,811.8±68.1
K (mg)	1,755.2±111.6	2,254.6	1,916.9±40.8
			1,920.8±112.6

Food intake records of 8 subjects were conducted by 3-day. The values are Mean±S.E. of 8 subjects.

[#] Mean±S.E.

^{a)} The value of low sodium diet.

^{b)} The value of high sodium diet.

*** p<0.001.

124.7±11.3mg에서 고염식이 때 202.6±17.2mg으로 매우 유의적인 증가를 보였으나($p < 0.001$), 대변중의 하루 평균 칼슘배설량은 저염식이 때 253.9±15.3mg에서 고염식이 때 284.9±31.0mg으로 유의적인 차이가 없었다(표 3 참조). 이와 같이 나트륨 섭취를 증가시켰을 때 소변중으로 칼슘배설량이 증가한다는 결과는 Matzkies 등²⁷과 Castenmiller 등²⁸의 연구보고와 일치하는데, Matzkies 등²⁷의 연구에서는 14일 동안 22~34세의 건강한 여자 6명을 대상으로 나트륨섭취량을 4,000mg/day에서 8,000mg/day로 증가시켰을 때 소변으로 칼슘배설량이 4.43±1.75mmol/day에서 5.32±1.85mmol/day로 유의적인 증가를 나타냈다($p < 0.05$)고 보고했으며, Castenmiller 등²⁸은 정상혈압의 건강한 남학생 12명을 대상으로 해서 저칼슘군 (3.2 mmol Ca/MJ. day)과 고칼슘군(4.1mmol Ca/MJ. day)으로 나눈 다음 처음 2주간은 적용기간으로 100mmol Na/day을, 그 다음 2주간은 12명을 반으로 나눠 각각 22mmol Na/day, 178mmol Na/day을 공급한다음 마지막 2주간은 바꿔서 연구했을 때, 저칼슘군에서는 0.250±0.064mmol / mmol

creatinine에서 0.309±0.138mmol / mmol creatinine로, 고칼슘군에서는 0.281±0.163mmol / mmol creatinine에서 0.334±0.161mmol / mmol creatinine로 소변칼슘배설량이 각각 유의적인 증가를 보였다($p < 0.05$)고 보고했다.

나트륨과 칼슘과의 관계는 1961년 Walser²⁹가 개를 대상으로 한 연구에서 나트륨과 칼슘의 renal clearances는 거의 비슷하며, 어떤 요인으로 인해 나트륨배설이 증가하면 이것은 직접적으로 칼슘 배설을 증가시킨다고 하여 나트륨과 칼슘간의 renal clearances사이에 직접적인 관계가 있음을 결정적으로 제시한 이래 1964년 Kleeman 등³⁰이 정상인에서도 그와 같은 현상이 관찰됨을 보여 주었고, 1966년에는 Modlin²⁹이 46명의 정상백인남자, 50명의 정상 Bantu남자 그리고 개별적으로 Bantu남자 3명을 대상으로 한 연구에서, 소변으로의 칼슘 배설과 나트륨배설간에 유의적인 정상관관계가 존재함을 제시하는 등 여러연구^{6,20)~32)}에서 관찰되어 왔다. 나트륨섭취 증가에 의한 칼슘배설의 증가는 저칼슘식이^{5,33)}, 고혈압환자⁷⁾, Idiopathic hypercalciuria 환자³⁴⁾에게서 더 촉진되는 것으로 나타났다.

- 한국 성인 여자에 있어서, 나트륨 섭취 수준이 체내 칼슘대사에 미치는 영향 -

Table 3. Balance of Ca, P, Na and K

	Low sodium period				High sodium period			
	Intake	Urinary excretion	Fecal excretion	Balance	Intake	Urinary excretion	Fecal excretion	Balance
Ca(mg/day)	593.7±15.7*	124.7±11.3	233.9±15.3	215.1±21.0	596.1±25.1	202.6±17.2***	284.9±31.0	108.5±38.4***
P (mg/day)	904.9±67.2	558.7±16.4	221.5±18.8	124.7±31.5	908.4±41.5	585.9±13.6	245.6±26.6	76.9±29.5
Na (mg/day)	2,811.8±68.1	2,272.2±108.6	475.5±6.5	492.1±108.8	6,417.1±248.6***	5,780.1±156.5***	804.4±75***	576.7±151.3
K (mg/day)	1,916.9±40.8	1,520.1±54.5	150.5±18.8	246.3±62.9	1,920.8±112.6	1,583.3±63.3	161.5±29.4	166.1±68.0

* Mean±S.E. of 8 subjects.

** p < 0.01.

*** p < 0.001.

이와같이 고나트륨섭취가 소변중으로 칼슘배설을 증가시키는 원인은 신장에서의 나트륨과 칼슘간의 상호관련된 transport mechanism에 의해 설명될 수 있다. Walser²⁾는 신세뇨관은 세뇨관액(tubular fluid)내에 칼슘이온에 대한 나트륨이온의 비율을 일정하게 유지하려고 하며, 칼슘은 나트륨 transport와 관련된 공통의 재흡수 수송기전(reabsorptive transport mechanism)을 공유한다고 제안했다. 또한 Lassiter 등³⁶⁾은 쥐를 대상으로 한 micropuncture 실험결과에서 칼슘의 재흡수는 세뇨관의 모든 부위에서 능동적으로 일어나며, 여과된 칼슘의 60%는 근위세뇨관의 곡부에서, 20%는 Henle씨 고리에서, 10%는 원위세뇨관의 곡부에서 그리고 나머지는 집합관에서 재흡수됨을 밝혔는데, 마찬가지로 나트륨의 재흡수도 대부분 근위세뇨관에서 일어나며³⁶⁾ 능동적으로 일어나는 것으로 나타났다³⁷⁾. 따라서 나트륨섭취량이 증가하게 되면 근위세뇨관 곡부에서 나트륨과 칼슘의 재흡수율을 평행하게 억제시켜 원위세뇨관으로의 전달을 증가시킴으로써, 나트륨과 칼슘의 배설량을 증가시킨다^{37~39)}고 보고되고 있다.

대변중의 칼슘배설량은 두 실험기간에서 유의적인 차이가 보이지 않았다. 현재까지 나트륨섭취에 따른 대변칼슘에 관한 연구는 일부로 제한되고 있어 이것에 대해 언급하는 것은 어려운 일이라고 생각된다. 하지만 본 연구에서 소변과 대변중의 칼슘배설량을 섭취량에 대한 비율로 환산해 볼 때, 두기간 모두 섭취량이 약 590mg/day 정도로 거의 일치했음에도 불구하고 저염식이기간에는 소변으로 섭취량의 21.0%가 대변으로 42.7%가 배설되어 총 63.7%가 배설되었으며, 고염식이기간에는 소변으로 33.9%가 대변으로는 47.8%가 배설되어 총 81.7%의 배설량을 나타낸 것으로 보아, 소변으로의 칼슘증가는 대변으로의 칼슘배설량의 감소에 의한 결과는 아니라는 것이 확실한 것으로 여겨진다.

이와같이 나트륨섭취의 증가는 칼슘배설의 촉진으로 말미암아 체내 칼슘대사에 큰 영향을 미

Table 4. Data on serum composition and blood pressure

	Adaptation period	Low sodium period	High sodium period
Serum composition			
Ca (mg / dl)	10.2 ± 0.9	10.8 ± 0.9	10.7 ± 0.6
P (mg / dl)	3.0 ± 0.2	3.07 ± 0.3	2.9 ± 0.1
Na (mg / ml)	3.30 ± 0.04	3.32 ± 0.03	3.32 ± 0.04
K (mg / ml)	0.18 ± 0.01 ^a	0.17 ± 0.02 ^a	0.16 ± 0.01 ^b
Blood pressure			
Systolic (mmHg)	108.7 ± 11.2	105.0 ± 10.6	106.2 ± 11.8
Diastolic (mmHg)	66.2 ± 7.4	64.0 ± 8.7	65.0 ± 7.5

The values are means ± S.E. of 8 subjects.

Serum values were determined from sample collected at the end of each period and blood pressure was also measured once at the end of each period.

Means with a common superscript are not significantly different ($p < 0.05$).

칠 것으로 생각되는데, 혈청의 칼슘수준도 그 영향을 받을 것으로 생각된다. 그러나 본 연구에서는 혈청 칼슘수준의 변화는 없는 것으로 나타났다(표 4 참조). 하지만 본 연구가 단기간의 연구이기 때문에 이것에 대해 언급하기는 어렵다고 생각된다. 이렇게 혈청 칼슘수준이 변화되면 체내에 다른 여러 가지 영향들이 나타날 것으로 생각된다. Goulding⁹은 성장기 취를 대상으로 한 연구에서 나트륨을 구강투여한 다음(8g/100g diet) bone composition, 칼슘 balance, 인 balance 등을 연구했는데, 나트륨을 보충받은 군은 각각 소변으로 칼슘과 인 배설의 증가와 함께 cyclic AMP와 hydroxyproline의 유의적인 증가를 보였으며($p < 0.001$), 또한 경골(tibiae)과 대퇴(femora)에 회분과 칼슘, 인 함량이 더 유의적으로 적음을 발견했다. 따라서 Goulding⁹은 이와같이 골격에 칼슘과 인함량이 낮은 것은 소변으로 이러한 무기질배설의 증가에 의한 것으로 여겨지며, 아마도 증가된 PTH가 신장과 골격에 영향을 미친 탓인 것 같다고 설명했다. 또 1982년 Breslau⁴⁰는 같은 식사에 나트륨을 10 meg에서 240meg로 증가시켜 주었더니, 정상적인 소변 칼슘배설량이 110 ± 14mg/day에서 167 ± 16mg/day로 유의적인 증가를 보였으며($p < 0.001$), 혈

청 PTH수준과 혈청 1,25-(OH)₂Vitamin D 수준도 20 ± 1uleg에서 22 ± 1uleg/ml로, 38 ± 4pg/ml에서 51 ± 7pg/ml로 각각 유의적인 증가를 보였고($p < 0.05$), 소장내 ⁴⁷Ca 흡수율도 0.39 ± 0.03에서 0.49 ± 0.03으로 유의적인 증가를 보였다($p < 0.01$)고 보고했다. 따라서 나트륨 섭취증가에 의한 칼슘배설의 증가는 이차적으로 PTH를 증가시켜, 1,25-(OH)₂Vitamin D의 합성증가와 소장내 칼슘흡수의 증가를 수반한다고 제시했다.

저염식이 때와 고염식이 때의 칼슘평형의 평균값은 각각 215.1 ± 21.0mg, 108.5 ± 38.4mg으로 고염식 때가 유의적인 감소를 보였다($p < 0.001$)(표 3 참조). 대상자 중 1명만이 고염식이 때 음의 평형을 나타내고 있는데, 이것은 그 대상자가 칼슘배설량 뿐 아니라 인배설량과 칼륨배설량도 음의 평형을 나타내고 있는 것으로 미루어 보아 개인차에 의한 것이라 짐작된다.

3) 인

소변과 대변으로의 하루 평균 인배설량은 저염식이 때 각각 558.7 ± 16.4mg, 221.5 ± 18.8mg에서 고염식이 때 585.9 ± 13.6mg, 245.6 ± 26.6mg으로 증가하였으나 유의적인 차이는 없었다(표 3 참조). 이러

한 결과는 Meyer ⁴⁾의 연구와 일치하였다.

또 배설량을 섭취량에 대한 비율로 환산해 보면, 저염식이기간에는 소변중으로 섭취량의 61.7%가 대변중으로는 24.5%가 배설되었고, 고염식이기간에는 소변중으로 64.5%가 대변중으로는 27.0%가 배설되어 두기간 모두 비슷함을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서는 소변과 대변중의 인배설량은 나트륨섭취량에 의해 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 하지만 Castenmiller 등²⁸⁾의 연구에 의하면 나트륨을 22mmol /day에서 178mmol /day로 증가시켰을 때 저칼슘식이군에서는 2.31 ± 0.27 mmol /day에서 2.44 ± 1.56 mmol /day로, 또 고칼슘식이군에서는 2.44 ± 0.44 mmol/day에서 2.52 ± 0.28 mmol /day로 소변으로 인배설량이 각각 유의적인 증가를 보였다($p < 0.10$)고 보고했고, Goulding⁹⁾도 성장기 쥐를 대상으로 한 16일간의 연구에서 나트륨을 보충(8g /100g diet)시켰을 때, A군(25% casein)과 B군 (25% casein + NaCl)은 인섭취가 각각 25.2 ± 0.5 mg /day, 25.4 ± 0.1 mg /day으로 거의 일치했음에도 불구하고 소변으로 인배설량은 1.49 ± 0.16 mg /day에서 8.26 ± 0.47 mg /day으로 매우 유의적인 증가를 보였으며($p < 0.001$), C군(60% casein)과 D군(60% casein+NaCl)도 각각 인섭취량이 34.3 ± 0.2 mg /day, 34.5 ± 0.3 mg /day 인데도 불구하고 소변중의 인배설량은 25.57 ± 1.26 mg /day에서 31.26 ± 1.11 mg /day으로 유의적인 증가를 나타냈다($p < 0.005$)고 보고했는데, 이와같이 위 두연구결과와 본 연구결과가 다른 원인을 확실히하는 알 수 없으나 본 실험의 연구기간이 12일로 Castenmiller 등²⁸⁾의 연구기간 42일이나 Goulding⁹⁾의 연구기간 16일에 비해 짧은 기간이었기 때문으로 생각된다.

저염식이때와 고염식이때 인평형의 평균값은 각각 124.7 ± 31.5 mg, 76.9 ± 29.5 mg으로 고염식이때가 감소했으나 유의적인 차이는 없었다(표 3 참조).

혈청 인수준에 있어서도 유의적인 변화는 없었다(표 4 참조).

4) 나트륨

소변중의 평균 나트륨 배설량은 저염식이 때 $2,272.2 \pm 108.6$ mg /day에서 고염식이 때 $5,760.1 \pm 156.5$ mg /day으로 약 2.54배의 유의적인 증가를 나타냈는데($p < 0.001$), 이것은 식이섭취량의 증가(저염식이 때 $2,811.8 \pm 68.1$ mg /day에서 고염식이 때 $6,417.1 \pm 248.6$ mg /day로 약 2.28배)에 비례하는 결과이다(표 3 참조). 그러나 섭취량에 대한 비율로 환산해보면 저염식이때는 섭취량의 $80.8 \pm 5.6\%$ 가 소변중으로 배설되었고 고염식이때는 $89.7 \pm 3.5\%$ 로 증가된 값을 보이고 있으나 유의적인 차이는 없었다. 이러한 결과를 Dewardner¹⁶⁾와 서¹¹⁾의 섭취된 나트륨의 87%가 소변으로 배설된다는 연구 결과와 비교해 보면, 저염식이때는 87% 보다 낮은 약 81%였고, 고염식이때는 87% 보다 높은 약 90%를 나타냈지만, 저염식과 고염식이때의 평균비율로 따져보면 약 85%로 비슷한 결과라고 생각된다.

대변중의 나트륨배설량은 저염식이 때 47.6 ± 6.5 mg에서 고염식이 때 80.4 ± 7.5 mg으로 유의적인 증가를 나타냈으나 ($p < 0.001$), 섭취량에 대한 비율로 보면, 저염식이기간 1.7%, 고염식이기간 1.3%로 비슷함을 알 수 있다. 저염식이기간과 고염식이기간의 나트륨 평형의 평균값은 저염식이기간에 492.1 ± 108.8 mg에서 576.7 ± 151.3 mg으로 증가했으나 유의적인 차이는 없었다(표 3 참조).

혈청 나트륨수준에 있어서도 유의적인 변화는 없었다(표 4 참조).

이와같은 결과로 보아, 체내 나트륨함량의 조절은 주로 신장에서 이루어지고 있음을 알 수 있다. 즉 나트륨섭취량이 증가하더라도 신장에서는 나트륨배설량을 증가시켜 체액내 나트륨함량을 일정하게 유지시킴을 알 수 있다.

5) 칼륨

소변과 대변으로의 하루 평균 칼륨배설량은 각각 저염식이 때 $1,520 \pm 54.5$ mg, 150.5 ± 18.8 mg에서

고염식이 때 $1,593.3 \pm 63.3\text{mg}$, $161.5 \pm 29.4\text{mg}$ 으로 증가했으나 유의적인 차이는 없는 것으로 나타났다. 이런 결과는 Castenmiller 등²⁸⁾의 나트륨을 22mmol/day 에서 178mmol/day 로 증가시켰을 때 저칼슘군과 고칼슘군의 소변 칼륨배설량이 각각 $6.82 \pm 1.10\text{mmol/day}$ 에서 $7.47 \pm 0.96\text{mmol/day}$ 로, $7.92 \pm 1.09\text{mmol/day}$ 에서 $7.95 \pm 1.14\text{mmol/day}$ 로 유의적으로 증가되었다 ($p < 0.025$)는 연구와는 다르게 나타났다. 그러나 본 실험의 소변 칼슘배설량의 수치는 5% 이하 수준에서는 유의적인 차이가 없었지만 10% 수준에서는 유의적인 차이가 있기 때문에 실험기간을 Castenmiller 등²⁸⁾의 실험처럼 연구기간을 연장시키면 나트륨섭취증가에 따른 소변 칼륨배설량의 증가가 나타날 것으로 생각된다. 또한 본 실험에서 혈청 칼륨수준의 변화를 보면 고염식이 기간에 혈청 칼륨함량은 $0.16 \pm 0.01\text{mg/ml}$ 으로 저염식이 기간의 $0.17 \pm 0.02\text{mg/ml}$, 적응기간의 $0.18 \pm 0.01\text{mg/ml}$ 보다 유의적으로 감소하였다 ($p < 0.05$) (표 4 참조). 이렇게 혈청 칼륨수준이 낮아진 원인은 원위세뇨관에 도달하는 나트륨 및 물의 양의 증가로 세뇨관내 유속이 증가하고 전위차도 증가하여 칼륨의 분비가 촉진되기 때문¹²⁾인 것으로 생각된다. 따라서 나트륨섭취량의 증가로 나트륨배설량이 증가하면 위와 같은 이유로 칼륨배설량도 증가하게 될 것으로 생각된다.

소변과 대변중의 칼륨배설량을 섭취량에 대한 비율로 환산해 보면, 저염식이 기간에는 소변중으로 섭취량의 79.3%가 대변으로는 7.9%가 배설되어 총 87.2%가 배설되었고, 고염식이 기간에는 소변으로 82.9%가, 대변으로는 8.4%가 배설되어 총 91.3%가 배설되었다.

저염식이 기간과 고염식이 기간의 칼륨평형의 평균값은 저염식이 기간에 $246.3 \pm 62.9\text{mg}$ 에서 고염식이 기간에 $166.1 \pm 68.0\text{mg}$ 으로 감소되었으나 유의적인 차이는 없었다(표 3 참조).

6) 혈 압

각 기간 동안의 수축기혈압이나 확장기혈압은

전 실험기간 동안 유의적 차이가 없는 것으로 나타났으나(표 4 참조), 본 실험이 짧은 기간에 이루어졌기 때문에 나트륨과 혈압과의 관계에 대해서 논의하는 것은 어렵다고 사료된다.

이상과 같은 결과를 종합해보면, 나트륨섭취량의 증가는 소변중으로 나트륨배설뿐만 아니라 칼슘배설량도 증가시키는 것으로 나타났다. 따라서 우리나라 사람들의 높은 석염섭취량은 WHO에서 권장하는 10g 수준보다 칼슘배설량의 증가에 더 큰 영향을 미칠 것으로 사료된다. 그러므로 이와 같은 실험이 나트륨 및 칼슘대사와 연관을 갖고 계속 연구되어져야 하며, 또 장기간에 걸친 연구도 다각적으로 이루어져야 할 필요성이 있다고 생각된다.

결 론

본 연구는 건강한 성인여자 8명을 대상으로 해서, 다른 영양소는 일정하게 하고 나트륨의 수준만을 달리한 두 식이(저염식 : $2,811.8 \pm 68.1\text{mg Na/day}$, 고염식 : $6,417.1 \pm 248.6\text{mg/day}$)를 각각 5일 간씩 연속해서 공급하여 나트륨이 체내 칼슘, 인, 나트륨, 칼륨배설에 미치는 영향을 연구하였는데, 그 결과는 다음과 같다.

1) 소변중의 칼슘배설량은 저염식이 때 $124.7 \pm 11.3\text{mg/day}$ 에서 고염식이 때 $202.6 \pm 17.2\text{mg/day}$ 으로 매우 유의적인 증가를 보였고($p < 0.001$), 대변중의 칼슘배설량은 저염식이 때 $253.9 \pm 15.3\text{mg/day}$ 에서 고염식이 때 $284.9 \pm 31.0\text{mg/day}$ 으로 증가하였으나 유의적인 차이는 없었다. 칼슘 Balance는 저염식이 때 $215.1 \pm 21.0\text{mg/day}$ 에서 고염식이 때 $108.5 \pm 38.4\text{mg/day}$ 으로 유의적인 감소를 보였다 ($p < 0.01$).

2) 소변과 대변중의 인배설량은 각각 저염식이 때 $558.7 \pm 16.4\text{mg/day}$, $221.5 \pm 18.8\text{mg/day}$ 에서 고염식이 때 $585.9 \pm 13.6\text{mg/day}$, $245.6 \pm 26.6\text{mg/day}$ 으로 증가하였으나 유의적인 차이는 없었다. 인 Balance에 있어서는 저염식이 때 $124.7 \pm 31.5\text{mg/day}$

-한국 성인 여자에 있어서, 나트륨 섭취 수준이 체내 칼슘대사에 미치는 영향-

에서 고염식이 때 76.9 ± 29.5 mg/day으로 감소했으나 유의적인 차이는 없었다.

3) 소변중의 나트륨배설량은 저염식이 때 $2,272.2 \pm 108.6$ mg/day에서 고염식이 때 $5,760.1 \pm 156.5$ mg/day으로 매우 유의적인 증가를 보였으나 ($p < 0.001$) 섭취량에 대한 비율로 환산해 본 결과 $80.8 \pm 5.6\%$ 에서 $89.7 \pm 3.5\%$ 로 유의적인 차이가 없었다. 대변 중의 나트륨배설량은 저염식이 때 47.5 ± 6.5 mg/day에서 고염식이 때 80.4 ± 7.5 mg/day으로 유의적인 증가를 나타냈고 ($p < 0.001$), 나트륨 Balance는 저염식이 때 492.1 ± 108.8 mg/day에서 고염식이 때 576.7 ± 151.3 mg/day으로 증가했으나 유의적 차이는 없었다.

4) 소변과 대변중의 칼륨배설량은 각각 저염식이 때 $1,520.1 \pm 54.5$ mg/day, 150.5 ± 18.8 mg/day에서 1593.3 ± 63.3 mg/day, 161.5 ± 29.4 mg/day으로 증가했으나 각각 유의적인 차이는 없었다. 칼륨 Balance는 저염식이 때 246.3 ± 62.9 mg/day에서 166.1 ± 68.0 mg/day으로 감소했으나 유의적인 차이는 없었다.

이상과 같은 결과에서, 나트륨섭취량의 증가는 소변중으로 나트륨배설량을 증가시킬 뿐 아니라 칼슘배설량도 증가시키는 것으로 나타났다.

REFERENCES

- 1) Alpers DH, Clouse RE, Stenson WF. *Manual of Nutritional Therapeutics*. Little, Brown and Company, Boston 69-70, 1984
- 2) Walser M. *Calcium clearances as a function of sodium clearances in the dog*. Am J Physiol 200(5): 1099-1104, 1961
- 3) Kleeman CR, Bohannan J, Bernstein D, Ling S, Maxwell MH. *Effect of variations in sodium intake on calcium excretion in normal humans*. Proc Soc Exp Biol Med 115: 29-32, 1964
- 4) King Jr JS, Jackson R, Ashe B. *Relationship of sodium intake to urinary calcium excretion*. Invest Urol 1: 555-560, 1964
- 5) Massry SB, Coburn JW, Champman LW, Kleeman CR. *Role of serum Ca, parathyroid hormone, and NaCl infusion on renal Ca and Na clearances*. Am J Physiol 215: 1403-1409, 1968
- 6) Wills MR, Gill Jr JR, Bartter FC. *The interrelationships of calcium and sodium excretion*. Clin Sci 37: 621-630, 1969
- 7) Ackerman GL. *Increased calcium excretion after saline administration to hypertensive subjects*. J Lab Clin Med 77: 298-306, 1971
- 8) Goulding A. *Effects of dietary NaCl supplements on parathyroid function, bone turnover and bone composition in rats taking restricted amounts of calcium*. Mineral Electrolyte Metab 4: 203-208, 1980
- 9) Goulding A, Campbell DR. *Effects of oral loads of sodium chloride on bone composition in growing rats consuming ample dietary calcium*. Mineral Electrolyte Metab 10: 58-62, 1984
- 10) 보건사회부. 국민영양 조사 보고서, 1985
- 11) 서순규. Sodium 섭취 및 배설과 고혈압. 인간과학 4(12): 45-74, 1980
- 12) 이세연. 한국인의 전해질 및 질소대사에 관한 연구. 한국내과학회지 8(12): 27-41, 1965
- 13) 이기열. 함정례. 김형후. 김형수. 어촌지역의 영양조사. 한국영양학회지 8: 109-117, 1975
- 14) Dahl LK. Salt and hypertension. Am J Clin Nutr 25: 231-244, 1972
- 15) 후생성 보건의료국 보건증진 영양과. 일본인의 영양소요량-소화59년 국민영양조사, 1986
- 16) Dewardner HE. *The Kidney*. Little, Brown and Company, Boston, 1958
- 17) 한국인구 보건 연구원. 한국인 영양권장량, 제4차 개정 1985.
- 18) 김정자. 한국식품의 Na^+ 와 K^+ 함량에 관한 연구. 이대 대학원 석사논문 1979
- 19) 박정애. 한국 가공식품중의 Na^+ 및 K^+ 함량에 관한 연구. 이대 교육대학원 석사논문 1980
- 20) 과학기술청 자료조사회. 일본 식품 표준성분 표, 1985
- 21) Ferro PV, Ham AB. *A simple spectrophotometric method for the determination of*

- calcium. *Am J Clin Pathol* 28:689-693, 1957
- 22) Fiske CH, Subbarow Y. *The colorimetric determination of phosphorus*. *J Biol Chem* 66:375-400, 1925
- 23) Scale FM, Harrison AP. *Boric acid modification of kjeldahl method for crops and soil analysis*. *J Ind Eng Chem* 12:350-352, 1920
- 24) 남궁석. 심상석. 최신 식품화학 실험, 신광 출판사 1982
- 25) Bauer TD. *Clinical Laboratory Methods* 9th, The CV. Mosby Company, 506-510, 1982
- 26) 장남기. 생물통계학, 보진제 1983
- 27) Matzkies F, Webs B, Gärtner J. *Wirkung von protein und natrium auf die urinelektrolytausscheidung*. *Akt Ernähr* 9:140-142, 1984
- 28) Castenmiller J, Mensink RP, Heijden L, Kouwenhoven T, Hautvast J, Leeuw P, Schaafsma G. *The effect of dietary sodium on urinary calcium and potassium excretion in normotensive men with different calcium intakes*. *Am J Clin Nutr* 41:52-60, 1985
- 29) Modlin M. *The interrelation of urinary calcium and sodium in normal adults*. *Invest Urol* 4(2):180-189, 1966
- 30) Blythe WB, Gitelman HJ, Welt LG. *The effect of expansion of extracellular space on the rate of urinary calcium*. *Clin Res* 14:372, 1966
- 31) Massry SG, Coburn JW, Chapman LW, Kleeman CR. *Effect of NaCl infusion on urinary Ca⁺⁺ and Mg⁺⁺ during reduction in their filtered loads*. *Am J Physiol* 213: 1218-1224, 1967
- 32) McCarron DA, Rankin LI, Bennett WM, Krutzik S, McClung ME, Luft FC. *Urinary calcium excretion at extremes of sodium intake in normal man*. *Am J Nephrol* 1:84-90, 1981
- 33) Goulding A. *Effects of sodium chloride supplements on tibial calcium content in rats taking a low-calcium diet with a moderate or high protein intake*. *Proc Univ Otago med Sch* 58:13-14, 1980
- 34) Phillips MJ, Cooke JNC. *Relation between urinary calcium and sodium in patients with idiopathic hypercalciuria*. *Lancet June* 24:1354-1357, 1967
- 35) Lassiter WC, Gottschalk CW, Mylle M. *Micropuncture study of renal tubular reabsorption of calcium in normal rodents*. *Am J Physiol* 204: 771-775, 1963
- 36) Lassiter WE, Gottschalk CW, Mylle M. *Micropuncture study of net transtubular movement of water and urea in nondiuretic mammalian Kidney*. *Am J Physiol* 200: 1139, 1961
- 37) Ullrich KJ, Schmidt-Nielsen B, O'Dell R, Pehling G, Gottschalk CW, Lassiter WE, Mylle M. *Micropuncture study of proximal and distal tubular fluid in rat Kidney*. *Am J Physiol* 204:527, 1963
- 38) Duarte CG, Watson JF. *Calcium reabsorption in proximal tubule of the dog nephron*. *Am J Physiol* 212:1355-1360, 1967
- 39) Edwards B, Baer P, Sutton R, Dirk JH. *Micropuncture study of diuretic effects on sodium and calcium reabsorption in the dog nephron*. *J Clin Invest* 52:2418-2427, 1973
- 40) Breslau NA, McGuire JL, Zerwekh JE, Pak CYC. *The role of dietary sodium on renal excretion and intestinal absorption of calcium and on vitamin D metabolism*. *J. Clin Endocrinol Metab* 55(2):369-373, 1982
- 41) Meyer III WJ, Transbol Ib, Bartter FC, Delea C. *Control of calcium absorption: Effect of sodium chloride loading and depletion*. *Metabolism* 25(9): 989-993, 1976
- 42) 강두희. 생리학, 신광출판사 1983