

투스래의 무기성분강화염이 본태성 고혈압쥐와 정상쥐의 혈압과 미네랄대사에 미치는 영향

김영명* · 변지영 · 한찬규 · 성기승 · 남궁배
한국식품연구원

Effects of the *Hizikia* Mineral Salts on Blood Pressure and Mineral Metabolisms in Spontaneously Hypertensive Rats and Normotensive Rats

Young-Myoung Kim*, Jee-Young Byun, Chan-Kyu Han, Ki-Seung Sung, and Bae NamGung
Korea Food Research Institute

Abstract This study was conducted to evaluate the effects of the salts fortified with *Hizikia* component on blood pressure and mineral composition in spontaneously hypertensive rats (SHR/NCrj) and normotensive rats (WKY/NCrj). The two species rats were assigned to three groups and were fed with drinking water to which *Hizikia* salts were added for 6 weeks. The final blood pressures (BP) among groups of SHR were increased to 12, 4, and 21%, respectively. In terms of urine and fecal minerals, the Na⁺ contents in two species were significantly higher in the control than in the salt groups, and vice versa with regard to the K⁺ contents. The amount of excretion mineral was higher in urine than in feces. The Na⁺, Ca⁺⁺ and Mg⁺⁺ contents of the liver in SHR were higher in the control than in the salt groups ($p < 0.05$). The Na⁺ content of the kidney in SHR was higher in the control than in the salt groups, but the content was shown an opposite trend in WKY. The K⁺ contents were higher in the low salt group ($p < 0.05$). These results may indicate that the salts fortified with the *Hizikia* component may be useful in lowering systolic blood pressure owing to the maintenance of positive mineral metabolism.

Key words : *hizikia* mineral salts, blood pressure, minerals, spontaneously hypertensive rats

서론

나트륨은 체내 세포외액의 주요 양이온으로 약 11% 정도가 136-145 mEq/L의 농도로 혈장에 존재하며, 체내 삼투압 유지와 산·염기, 평형에 의한 항상성 유지, 영양소 흡수와 수송, 혈액량과 혈압유지와 같은 다양한 생리적인 기능을 갖는 필수 영양소인 전해질이다(1). 나트륨은 대부분 식염(NaCl)의 형태로 섭취되고 있고, 우리가 섭취하는 소금의 종류로는 암염, 천일염, 정제염, 재제염이 있으며, 식염은 오래전부터 식생활에서 짠맛을 내거나 식품의 발효와 저장을 위하여 널리 사용되어 왔다(2). 이처럼 식염은 식생활에서 중요한 기능을 하지만 만성적인 과잉섭취는 고혈압을 비롯하여 건강상 많은 피해를 유발하는 것으로 보고되었다(3-8). 우리나라에서는 장류, 절임식품, 김치, 젓갈류와 같은 고염식의 과다섭취와 함께 간을 맞추기 위한 소금첨가로 인하여 나트륨의 과잉섭취가 우리 식사의 가장 큰 문제점 중의 하나로 지적되고 있다(9).

나트륨의 일일 권장량은 매우 낮지만 식습관에 의한 과잉섭취는 혈압을 상승시켜서 고혈압을 유발한다고 알려져 있어 오랫동안

안 나트륨의 섭취에 대해 많은 연구가 이루어져 왔다(10-16). 나트륨이 고혈압을 유발하는 원인으로는 나트륨의 과잉섭취 시 동맥의 나트륨 저류로 동맥벽의 신장성이 변화하기 때문이라는 학설(17)과 세포외액량 증가로 인한 혈액학적 변화가 만성고혈압의 원인이 된다는 보고가 있다(18). 또한 나트륨의 과잉섭취는 고혈압뿐만 아니라 심혈관의 aldosterone 과잉분비로 울혈성 심부전, 심장발작을 초래할 수 있으며(19), 위암발생의 증가와도 관련이 있는 것으로 보고되었다(20). 한편, 국내에서는 식품성분 중 혈압강화 효과를 나타내는 물질에 관한 연구(21-23)가 보고된 바 있지만 본태성 고혈압과 나트륨 섭취의 상관관계를 직접적으로 연구한 사례는 많지 않다.

본태성 고혈압쥐(spontaneously hypertensive rat, SHR)는 유전적으로 정상혈압쥐(normotensive rats, WKY)보다 혈압이 높아서 고혈압의 연구에 많이 이용되고 있는 질환모델(24,25)로 Singer 등(26)은 고혈압쥐가 정상쥐에 비해 혈청 중 중성지방과 유리지방산 함량이 높고, 성장기간 중 palmitic acid는 계속적으로 증가하나 linoleic acid(LA)와 arachidonic acid(AA)는 감소하고 특히, 고혈압 유발시기 직전에 급격한 감소를 보인다고 보고하였다. 이러한 사실로 볼 때 필수지방산인 LA와 AA는 prostaglandin의 전구체로서 고혈압 발전단계에서 중요한 영향을 미치며, SHR은 일부 병인적 요인에서 고혈압 환자에 대한 적합한 모델이라고 보고하였다. 톡은 칼슘, 비타민 A 및 식이섬유소 함량이 풍부하여 당뇨병, 고혈압 예방, 대장암 및 변비 등에 효과가 좋으며 요오드 성분 함량이 많아 갑상선암 및 각기병 예방에 효과가 있다고 알려졌다(27). 본 연구에서는 투스래 무기성분강화염이 혈압강화에 미

*Corresponding author: Young Myoung Kim, Korea Food Research Institute, Seongnam, Gyeonggi 463-746, Korea
Tel: 82-31-780-9009
Fax: 82-31-780-9099
E-mail: ymkim@kfri.re.kr
Received November 20, 2008; revised December 11, 2008;
accepted December 22, 2008

치는 영향을 검토하고자 수컷 SHR과 WKY에게 톳의 기능성분을 함유한 식염을 음용수 형태로 6주간 급여하면서 고혈압의 진행 및 무기질 대사에 미치는 영향을 조사하였다.

재료 및 방법

실험동물과 식염공급량

실험동물은 생후 4.5주령 된 양성 본태성 고혈압쥐(SHR) 24마리와 정상혈압쥐(WKY) 18마리를 구입하여 동물실험실(온도 22±2°C, 상대습도 65±5%)에서 사육 상자에 두 마리씩 수용하여 10일 동안 물과 식이를 자유급이(*ad libitum*)하면서 사육실 환경에 적응시켰다. 실험처리는 *Hizikia mineral salt*(high/low dose), refined salt(대조군)의 3개의 처리군으로 하였고, 실험동물은 완전 임의배치법으로 SHR은 8마리씩, WKY는 6마리씩 배치하였다(Table 1). 식염공급량은 성인의 1일 나트륨섭취량인 6,817.9 mg(소금 상당량 17.3 g)을 참고하여(28) 16 g을 기준으로 하였고, 고·저염식군의 경우 기준량보다 각각 +20% 및 -20%로 설정하였다. 식염의 급여방법은 흰쥐의 1일 평균 음수량과 염도를 계산하여 물과 톳유래 무기성분 강화염을 일정비율로 희석한 음용수를 6주 동안 급여하였다. 대조군으로서 정제염(C)은 톳유래 무기성분 강화염과 염도를 맞추기 위하여 상업용 정제염(NaCl 99.9%)을 사용하였다. 실험식은 흰쥐용 고형사료(AIN-76 diet, American Institute of Nutrition, 1980)를 기본으로 하는 혼합분말 식이를 제조하여 자유급이(*ad libitum*) 하였다.

실험용 식염

실험용 무기성분강화염은 전보(29)에서와 같이 제조하였다. 즉, 원료 해조류인 양식톳(Wando, Korea)을 800°C에서 4시간 회화하여 얻은 회분을 열수추출한 다음 여과·농축하여 얻은 수용성 미네랄과 동일한 농도의 불순물을 제거한 천일염(Sogumyojung, Hanil Food Co., Seoul, Korea) 농축액을 1:1(w/w)로 혼합 용해하고 95±2°C에서 가열 농축한 다음 100±2°C에서 8시간 건조 후 분쇄하여 톳유래 무기성분강화염(염도: 92.5%)을 제조하였다(29). 대조군으로 사용한 소금은 톳유래 무기성분강화염과 염도를 맞추기 위하여 염도 99.9% 이상의 정제염(Hanju Co., Ulsan, Korea)을 사용하였다.

증체량과 식염섭취량

증체량은 흰쥐체중을 매주 1회 같은 시간에 측정하여 1주일 동안 증가한 체중을 일당증체량으로 산출하였고, 식이섭취량은 매주 1회 같은 시간에 측정하였다. 식이효율(FER)은 체중증가량을 식이섭취량으로 나누어 산출하였다. 식염섭취량은 톳유래 무기성분강화염을 일정비율로 희석한 음용수의 투여량과 섭취량을 미리 계산한 다음 희석비율에 따른 무기성분강화염의 섭취량을 산출하였다.

Table 1. Experimental design

Group ¹⁾	Treatment (drinking water)	Concentration	
		I ²⁾	II ³⁾
A	<i>Hizikia mineral salt</i> (NaCl 92.5%, High dose)	0.09	0.08
B	<i>Hizikia mineral salt</i> (NaCl 92.5%, Low dose)	0.06	0.05
C	Control (NaCl 99.9%, commercial salt)	0.08	0.08

¹⁾ Number of test animals: 8(SHR) and 6(WKY)

²⁾ Concentration of functional seaweed salt in water intake(w/w, %)

³⁾ Concentration of NaCl in water intake(w/w, %)

혈압 측정

실험기간 동안 혈압은 실험동물의 안정화가 종료된 후부터 매주 1회 측정하였다. 혈압측정 시 실험동물은 37±1°C로 조절된 항온상자에서 10분간 체온을 따뜻하게 한 후 비관혈혈압측정기(IITC Inc., Woodland Hills, CA, USA)를 이용하여 미동맥측정법(tail-pulse pick up)으로 수축기혈압을 3회 반복 측정하여 그 평균값을 사용하였다.

시료 채취

요와 분변은 실험종료 3일 전부터 SHR과 WKY를 대사 케이지에 수용해서 24시간 동안 수집하였다. 요는 총 부피를 측정하는 다음 1,500 ×g에서 10분간 원심분리하여 이물질질을 제거하였고, 변은 이물질질을 제거하고 총 무게를 측정하는 다음 60°C dry oven에서 12시간 수분을 증발시켜 보관하였다. 혈액은 실험동물을 24시간 동안 절식시킨 후 ether로 가볍게 마취시켜 복부대동맥에서 채혈하여 2,500 rpm에서 20분간 원심분리하여 혈청을 분리하였고, 장기는 적출하여 0.89% saline으로 지방 및 이물질 등을 제거한 후 물기를 여과지로 잘 닦아 무게를 측정하여 petri dish에 보관하였다. 각각의 시료는 분석 전까지 -80°C에서 냉동보관하였다.

미네랄 분석

미네랄 분석은 녹색자의료재단(Green Cross Reference Lab., Yongin, Korea)에 의뢰하여 분석하였다. 즉, 혈청과 요의 Na⁺과 K⁺ 함량은 HITACHI 7180 전용 Internal solution(Hitachi, Tokyo, Japan) 시약을 사용하여 ISE Undiluted direct방법으로 측정하였고, Ca⁺⁺함량은 Clinimate CA(Daichi, Tokyo, Japan) 시약으로 적정 후 발색된 흡광도를 측정하여 정량하였다. Mg⁺⁺함량은 MG (Roche, Mannheim, Germany) 시약으로 적정 후 생성된 Mg-CPZIII Complex의 흡광도 값과 Mg-CPZIII Complex에 EDTA 첨가 후 흡광도 값의 차이로 정량하였다. 대변의 Na⁺, K⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺ 함량은 냉동 보관한 시료를 균질화시킨 후 그 일부를 취하여 550°C에서 건식 회화법으로 전처리한 후 원자흡광계(atomic absorption spectrophotometer)로 측정하였다.

통계처리

측정된 자료는 통계분석용 프로그램인 SAS Package(Statistical Analysis System, version 8.1, SAS Institute Inc. Cary, NC, USA)를 이용하여 Duncan's multiple range test 방법으로 각각 5%와 1% 유의수준에서 처리군 간의 유의성을 검증하였다(30).

결과 및 고찰

증체량과 식염섭취량

톳유래 무기성분강화염을 급여한 본태성 고혈압쥐(SHR)와 정상혈압쥐(WKY)의 체중변화는 Fig. 1에 나타내었다. SHR는 시험 3주 이후부터 말기까지 다소간 차이가 있었으나 WKY는 시험 초기부터 중기까지 실험군 간 차이를 나타내다가 시험 말기에는 거의 비슷하였다. 증체량은 SHR에서는 C군이 2.06 g인데 비해 무기성분강화염군은 1.91-1.97 g으로 낮았고, WKY에서는 큰 차이가 없이 비슷하였다. 식이효율(FER)은 SHR에서는 차이가 없이 전반적으로 낮았으나 WKY에서는 A군이 C군보다 높았다(Table 2). 실험기간 동안 무기성분강화염의 섭취량은 SHR과 WKY에서 모두 통계적인 차이가 있었고, 두 동물 중에서 동일하게 A군, C군 및 B군의 순으로 감소하는 경향이 있었다($p < 0.05$).

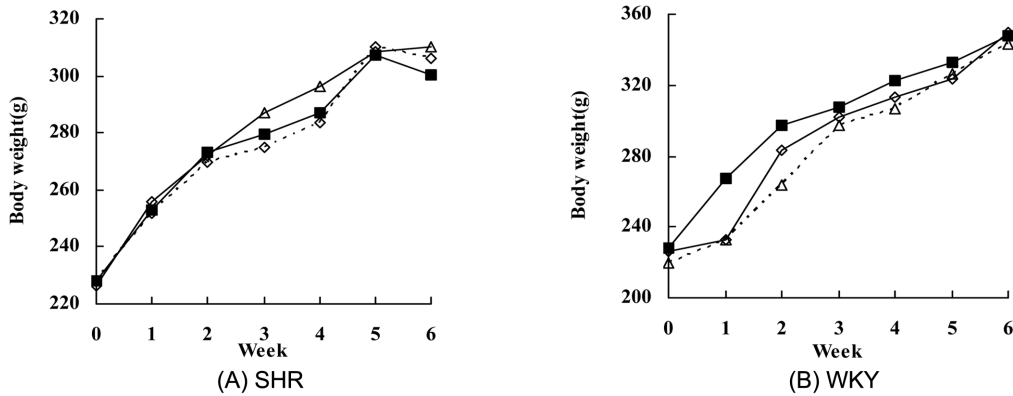


Fig. 1. Effect of the *Hizikia* mineral salt on body weight of SHR and WKY during the 6 weeks of experimental period(-◇-, A; -■-, B; ··△··, C). Number of test animals were 8 and 6 heads in (A) SHR and (B) WKY, respectively.

Table 2. Daily gain, FER and salt intake of SHR and WKY fed the *Hizikia* mineral salts during the 6 weeks of experimental period

Group ¹⁾	SHR ²⁾			WKY ²⁾		
	Gain (g/day)	FER	Salt intake (g/day)	Gain (g/day)	FER	Salt intake (g/day)
A	1.97±1.20 ^a	0.11±0.08 ^a	0.075±0.01 ^a	2.72±2.23 ^a	0.15±0.14 ^a	0.069±0.02 ^a
B	1.91±1.61 ^a	0.10±0.08 ^a	0.046±0.02 ^b	2.69±1.65 ^a	0.12±0.08 ^a	0.042±0.01 ^b
C	2.06±1.60 ^a	0.12±0.12 ^a	0.066±0.01 ^a	2.72±1.39 ^a	0.13±0.06 ^a	0.065±0.00 ^a

¹⁾ Values are mean±S.D.

²⁾ Number of test animals: 8(SHR) and 6(WKY)

Means in the same column not sharing a common letter are significantly different (Duncan's multiple range test, α=0.05).

혈압

투스레 무기성분강화염이 실험기간 중 수축기혈압(systolic blood pressure, SBP)에 미치는 영향을 본 결과 SHR의 0일차 기준혈압(reference blood pressure, RBP)은 191-197 mmHg로 비슷하였다 (Fig. 2). *Hizikia* mineral salt 고염식군(A)의 SBP는 시험 3주에 220 mmHg로 상승한 후 다소 감소하여 시험 6주에는 214 mmHg로 RBP 대비 24 mmHg 증가하였다. *Hizikia* mineral salt 저염식군(B)의 SBP는 시험 3주까지 증가하다가 이후 비슷한 수준을 유지하고 시험 6주에 205 mmHg로 RBP 대비 8 mmHg 증가하는데 그쳤다. 정제염군(C)의 SBP는 시험초기 191 mmHg에서 시험 3주에 230 mmHg로 상승하여 이후 6주까지 비슷한 수준을 유지하여 최종 231 mmHg로 RBP 대비 41 mmHg 증가하였다. 시험 6주의 SBP를 비교했을 때 정제염군(C)에 비해 *Hizikia* mineral salt군(A,

B)은 각각 17, 24 mmHg 낮았고, RBP 대비 시험 6주의 혈압상승율은 A군, B군, C군에서 각각 12, 4, 21%로 나타나 *Hizikia* mineral salt 저염식군(B)에서 혈압상승율이 가장 낮았다. 한편, WKY의 RBP는 138-141 mmHg로 나타났다. 실험기간동안 A군과 C군의 혈압변화는 비슷한 경향을 나타냈다. 즉, *Hizikia* mineral salt 고염식군(A)은 시험 3주에 161 mmHg로 상승하여 비슷한 수준을 유지하다 시험 6주에 165 mmHg로 RBP 대비 24 mmHg 증가하였고, 정제염군(C)은 시험 3주에 161 mmHg로 상승하여 비슷한 수준을 유지하다가 시험 6주에 164 mmHg로 RBP 대비 26 mmHg 증가한 반면, *Hizikia* mineral salt 저염식군(B)은 시험 3주에 150 mmHg로 이후 비슷한 수준으로 시험 6주에 148 mmHg로 RBP 대비 9 mmHg 증가하였다. 시험 6주의 SBP를 비교했을 때 고염식군(A)과 정제염군(C)은 각각 165, 164 mmHg로 비슷하였고, 저

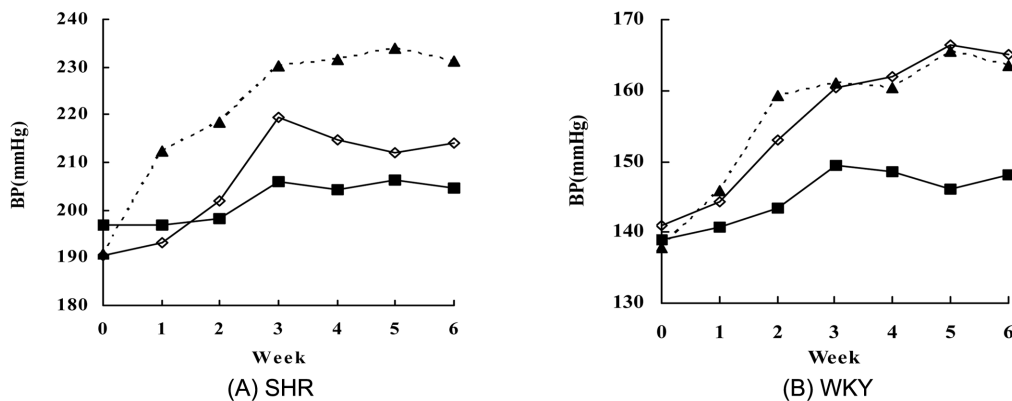


Fig. 2. Effect of the functional *Hizikia* mineral salt on systolic blood pressure of SHR and WKY during the 6 weeks of experimental period(-◇-, A; -■-, B; ··△··, C). Number of test animals were 8 and 6 heads in (A) SHR and (B) WKY, respectively.

염식군(B)은 148 mmHg로 A군과 C군에 비해 17 mmHg 정도 낮았다. RBP 대비 시험 6주의 혈압상승율은 A군, B군, C군에서 각각 17.0, 6.5, 18.8%로 나타나 *Hizikia* mineral salt 저염식군(B)에서 혈압상승율이 가장 낮았다. 이는 전보(29)와 같이 제조된 *Hizikia* mineral salt의 미네랄 성분 분석에서 정제염에 비하여 나트륨의 함량은 낮고 칼륨과 마그네슘의 함량이 월등히 높게 나타난 것과 관련이 있을 것으로 추정되었다. 특히 칼륨은 혈관확장효과, aldosteron, renin 분비의 저해, angiotensin의 기능 억제작용을 갖는 것으로 알려져 칼륨이 혈압강하효과를 보인 것으로 추측되었다(29). 또한 혈압과 소금섭취량의 연관성에 관한 나라별 또는 지역별 역학조사에서 소금섭취량이 높으면 혈압이 높아진다는 보고(31-33)와 비교해 볼 때 톡유래 무기성분강화염은 일반식염과 비교해서 같은 섭취량일 경우보다 효과적인 강압(降壓)활성을 나타내는 것으로 사료되었다.

요 중 미네랄함량

톡유래 무기성분강화염이 요 중 주요 미네랄함량에 미치는 영향은 Table 3과 같이 SHR에서는 Na⁺은 C군(332.02 mmol/L)이 A군과 B군(287.00, 234.74 mmol/L)에 비해 유의하게 높았다($p<0.05$). 염 섭취량이 많을수록 요 중 Na⁺ 배설량이 증가하는데 이는 총 나트륨 섭취량의 85-87%가 요를 통해서 배설된다는 DeWardner(34)와 총 섭취량의 85-95%는 24시간 소변으로 배설된다는 Kirkendall 등(35) 및 체내에서 Na⁺ 섭취가 많으면 혈압을 떨어뜨리기 위해 자연적으로 요를 통한 Na⁺ 배설이 촉진된다는 Kim(36)의 보고와 일치하는 것으로 생각되었다. 항고혈압 성분으로 알려진 K⁺ 함량은 유의한 차이는 없었으나 C군에 비해 A, B군이 높았다. Ca⁺⁺ 함량은 C군(7.92 mmol/L)과 A군(10.22 mmol/L)이 각각 가장 낮거나 높았다. Mg⁺⁺ 함량은 통계적인 차이는 없었고 A군과 B군이 각각 10.00, 11.32 mmol/L로 C군(8.11 mmol/L)보다 높았다. 한편

WKY의 미네랄함량은 SHR과 비슷한 경향이었고, 실험군 간에 통계적인 차이가 있었다($p<0.05$). Na⁺ 함량은 B군과 C군, K⁺함량은 A군과 B군, Ca⁺⁺ 함량은 C군, Mg⁺⁺ 함량은 A군과 B군이 통계적으로 유의하게 높았다($p<0.05$).

분변 중 미네랄함량

톡유래 무기성분강화염이 분변의 주요 미네랄함량에 미치는 영향은 Table 4와 같이 대변 중 미네랄은 소변에 비해 매우 적은 양이 배설되는데(37), 본 실험에서 SHR의 Na⁺ 함량은 정제염을 급여한 C군(5.68 mg/g)이 무기성분강화염군인 A군과 B군(2.21, 2.70 mg/g)에 비해 통계적으로 유의하게 많았고, K⁺ 함량은 A군과 B군이 각각 14.18, 13.75 mg/g로 C군(4.46 mg/g)보다 통계적으로 많았다($p<0.05$). 특히 본 실험에서 K⁺이 Na⁺보다 배설량이 많았는데 이는 Na⁺과 달리 K⁺은 대변을 통해 많은 양이 배설된다는 Kim 등(37)의 결과와 일치하였다. Ca⁺⁺ 함량은 21.00-26.40 mg/g으로 실험군 간 차이가 없었고, Mg⁺⁺ 함량 또한 5.38-6.61 mg/g으로 차이가 없었다. 한편 WKY의 미네랄함량은 실험군간에 통계적인 차이가 있었다($p<0.05$). Na⁺과 K⁺ 함량은 C군이 통계적으로 유의하게 높았고, Ca⁺⁺은 B군과 C군, Mg⁺⁺은 B군이 유의하게 높았다($p<0.05$). 고혈압을 일으키는 식이적인 요인으로서 나트륨의 과잉섭취에 대하여 주로 연구되어 왔고(38) 다른 무기질에 대해서는 특별한 관심이 없었으나 식수로써 칼슘과 마그네슘 함유량이 높은 경수를 마시는 지역이 연수를 마시는 지역보다 고혈압과 순환기계 질환으로 인한 사망률이 낮았다는 역학조사 결과가 보고된 바 있다(39). Altura 등(40)은 정상쥐에게 식이마그네슘의 결핍정도가 심해질수록 혈압이 유의적으로 상승하여 마그네슘 결핍이 고혈압을 초래할 가능성을 시사한 반면, Itokawa 등(41)은 동물실험에서 마그네슘 결핍 시 혈압이 강해되었다고 상반되게 보고하였다. Overlack 등(42)은 정상쥐와 고혈압

Table 3. Contents of minerals in urine of SHR and WKY rats fed with *Hizikia* mineral salts during the 6 weeks of experimental period

Group ²⁾	Content (mmol/L) ¹⁾				
	Na	K	Ca	Mg	
SHR	A	287.01±43.87 ^{ab2)}	148.31±36.52 ^a	10.22±2.60 ^a	10.00±2.24 ^a
	B	234.74±52.68 ^b	156.32±52.02 ^a	9.63±2.60 ^a	11.32±4.05 ^a
	C	332.02±85.97 ^a	113.64±53.35 ^a	7.92±4.24 ^a	8.11±3.69 ^a
WKY	A	418.00± 8.49 ^b	245.23±22.06 ^a	6.72±0.28 ^{ab}	26.71±1.66 ^a
	B	496.00±28.28 ^a	250.41±41.86 ^a	4.43±4.17 ^b	22.20±0.88 ^b
	C	517.00±60.81 ^a	165.00±4.24 ^b	8.21±0.78 ^a	15.23±2.53 ^c

¹⁾ Values are mean±S.D.

²⁾ Number of test animals: 8(SHR) and 6(WKY)

Means in the same column not sharing a common letter are significantly different (Duncan's multiple range test, $\alpha=0.05$).

Table 4. Contents of minerals in feces of SHR and WKY rats fed with *Hizikia* mineral salts during the 6 weeks of experimental period

Group ²⁾	Content (mg/g) ¹⁾				
	Na	K	Ca	Mg	
SHR	A	2.70±0.81 ^{b2)}	14.18±3.02 ^a	26.40±2.35 ^a	6.61±0.35 ^a
	B	2.21±0.64 ^b	13.75±4.98 ^a	21.70±1.52 ^a	5.80±0.24 ^a
	C	5.68±0.32 ^a	4.46±0.75 ^b	21.00±2.17 ^a	5.38±0.62 ^a
WKY	A	5.85±0.67 ^b	8.42±1.24 ^b	36.43±5.68 ^b	10.06±3.84 ^{ab}
	B	3.91±0.24 ^c	8.13±0.95 ^b	45.05±4.57 ^a	10.15±2.54 ^a
	C	8.67±0.87 ^a	13.07±1.52 ^a	45.12±4.69 ^a	9.55±2.66 ^b

¹⁾ Values are mean±S.D.

²⁾ Number of test animals: 8(SHR) and 6(WKY)

Means in the same column not sharing a common letter are significantly different (Duncan's multiple range test, $\alpha=0.05$).

쥐에서 마그네슘 섭취량과 혈압과는 상관관계가 없지만 식이마그네슘 결핍은 SHR에서 혈압강화제인 Nifedipine의 혈압강화효과를 감소시켰다고 보고하였다. 본 실험에서 분노 중 Mg⁺⁺ 함량은 SHR에서 유의적이지는 않지만 A군과 B군이 C군보다 높았고, WKY에서도 B군이 C군보다 통계적으로 유의하게 높았다($p<0.05$).

장기 중 미네랄함량

뚫유래 무기성분강화염이 간장의 주요 미네랄함량에 미치는 영향은 Table 5에 나타난 바와 같다. 본 실험에서 SHR의 Na⁺ 함량은 정제염을 급여한 C군(0.99 mg/g)이 무기성분강화염군인 A군과 B군(0.62, 0.70 mg/g)보다 유의하게 많았고($p<0.05$), K⁺ 함량은 1.80-2.80 mg/g으로 차이가 없었다. Ca⁺⁺과 Mg⁺⁺함량은 대조군(C)이 무기성분강화염군(A, B)에 비해 통계적으로 유의하게 높았다($p<0.05$). WKY의 경우 Na⁺은 A군(0.55 mg/g), B군(0.41 mg/g) 및 C군(0.39 mg/g) 간에 통계적인 차이가 있었고, K⁺과 Mg⁺⁺함량은 B군과 C군이 A군에 비해 유의하게 높았다($p<0.05$). Ca⁺⁺은 0.03-

0.08 mg/g으로 차이가 없었다. 신장의 주요 미네랄함량에 미치는 영향은 Table 6과 같다. SHR에서 Na⁺은 C군(2.78 mg/g)이 가장 높았고, K⁺과 Ca⁺⁺ 함량은 차이가 없었으며, Mg⁺⁺함량은 B군과 C군이 A군에 비해 통계적으로 유의하게 높았다($p<0.05$). 한편 WKY의 경우 Na⁺은 무기성분강화염군(A, B)이 각각 2.06, 2.31 mg/g로 C군(1.61 mg/g)보다 통계적으로 유의하게 높았고, K⁺은 B군(14.43 mg/g)이 A군과 C군에 비해 유의하게 높았다($p<0.05$). Ca⁺⁺과 Mg⁺⁺ 함량은 실험군간 차이가 없었다. 본 실험에서 간장의 Mg⁺⁺ 함량은 두 동물종에서 모두 C군이 유의하게 높았고, 신장의 Mg⁺⁺ 함량은 SHR에서 B군과 C군이 A군보다 유의하게 높았고($p<0.05$), WKY에서는 차이가 없었지만 B군과 C군이 A군보다 높았다.

혈청 중 미네랄함량

뚫유래 무기성분강화염이 혈청 중 주요 미네랄함량에 미치는 영향은 Table 7과 같이 SHR에서 Na⁺은 B군과 C군이 A군에 비해 통계적으로 높았고, K⁺은 4.45-4.55 mg/g으로 차이가 없었다.

Table 5. Contents of minerals in liver of SHR and WKY rats fed with *Hizikia* mineral salts during the 6 weeks of experimental period

Group ²⁾		Content (mg/g) ¹⁾			
		Na	K	Ca	Mg
SHR	A	0.70±0.02 ^b	2.28±0.02 ^a	0.03±0.01 ^b	0.19±0.03 ^b
	B	0.62±0.05 ^b	1.80±0.04 ^a	0.04±0.00 ^b	0.20±0.02 ^b
	C	0.99±0.11 ^a	2.80±0.06 ^a	0.11±0.02 ^a	0.35±0.06 ^a
WKY	A	0.55±0.01 ^a	1.80±0.31 ^b	0.04±0.00 ^a	0.14±0.02 ^b
	B	0.41±0.03 ^b	3.88±0.54 ^a	0.08±0.01 ^a	0.31±0.01 ^a
	C	0.39±0.05 ^c	4.47±0.62 ^a	0.03±0.00 ^a	0.24±0.03 ^a

¹⁾ Values are mean±S.D.

²⁾ Number of test animals: 8(SHR) and 6(WKY)

Means in the same column not sharing a common letter are significantly different (Duncan's multiple range test, $\alpha=0.05$).

Table 6. Contents of minerals in kidney of SHR and WKY rats fed with *Hizikia* mineral salts during the 6 weeks of experimental period

Group ²⁾		Content (mg/g) ¹⁾			
		Na	K	Ca	Mg
SHR	A	1.93±0.68 ^{ab2)}	3.10±0.21 ^a	0.47±0.09 ^a	0.19±0.04 ^b
	B	1.87±0.54 ^b	3.53±0.32 ^a	0.30±0.07 ^a	0.28±0.08 ^a
	C	2.78±0.66 ^a	3.13±0.41 ^a	0.22±0.03 ^a	0.29±0.07 ^a
WKY	A	2.06±0.52 ^a	10.40±1.05 ^b	0.12±0.05 ^a	0.24±0.04 ^a
	B	2.31±0.38 ^a	14.43±1.85 ^a	0.10±0.01 ^a	0.27±0.05 ^a
	C	1.61±0.39 ^b	9.35±1.69 ^b	0.13±0.04 ^a	0.27±0.04 ^a

¹⁾ Values are mean±S.D.

²⁾ Number of test animals: 8(SHR) and 6(WKY)

Means in the same column not sharing a common letter are significantly different (Duncan's multiple range test, $\alpha=0.05$).

Table 7. Contents of minerals in serum of SHR and WKY rats fed *Hizikia* mineral salts during the 6 weeks of experimental period

Group ¹⁾		Content (mmol/L) ¹⁾			
		Na	K	Ca	Mg
SHR	A	144.00±0.63 ^{b2)}	4.45±0.36 ^a	10.30±0.36 ^a	2.06±0.08 ^b
	B	145.33±0.82 ^a	4.47±0.33	9.93±0.33 ^b	2.22±0.17 ^{ab}
	C	145.50±0.55 ^a	4.55±0.16	9.63±0.16 ^b	2.30±0.17 ^a
WKY	A	144.50±0.71 ^{as}	4.80±0.14 ^a	10.30±0.14 ^a	2.25±0.17 ^a
	B	144.50±2.12 ^a	4.70±0.00 ^a	9.75±0.78 ^a	2.08±0.27 ^{ab}
	C	145.00±0.00 ^a	4.55±0.35 ^a	10.00±0.14 ^a	1.94±0.07 ^b

¹⁾ Values are mean±S.D.

²⁾ Number of test animals: 8(SHR) and 6(WKY)

Means in the same column not sharing a common letter are significantly different (Duncan's multiple range test, $\alpha=0.05$).

Ca⁺⁺은 A군(10.30 mg/g)이 가장 높았고, Mg⁺⁺은 C군(2.30 mg/g)이 유의하게 높았다($p<0.05$). 한편, WKY에서는 Na⁺은 144.50-145.00 mg/g, K⁺은 4.55-4.80 mg/g, Ca⁺⁺은 9.75-10.30 mg/g의 범위로 차이가 없었으며, Mg⁺⁺은 A군(2.25 mg/g)이 C군(1.94 mg/g)보다 통계적으로 유의하게 높았다($p<0.05$). 이러한 결과는 남성(13명)을 대상으로 4주 동안 저칼슘과 고칼슘식을 섭취시켰을 때 혈청 Na⁺과 K⁺ 함량은 차이가 없었다는 기존의 보고(43-45)와 같은 결과로 전해질 급원으로서 톳유래 무기성분강화염이 생체내 항상성을 유지시키는 특성을 시사하는 것으로 사료되었다. 본 실험에서 혈청 중 Mg⁺⁺ 함량은 SHR은 C군이 유의하게 높았고, WKY에서는 B군이 C군보다 통계적으로 유의하게 높았다($p<0.05$).

요 약

본 연구는 톳유래의 무기성분강화염이 혈압과 무기질 대사에 미치는 영향을 검토하기 위하여 수행하였다. 실험처리는 고·저염식군(*Hizikia* mineral salt)과 대조군(정제염)의 세가지 처리군으로 하였고, 실험동물인 본태성 고혈압쥐(SHR/NCrj)와 정상쥐(WKY/NCrj)에 음용수의 형태로 식염을 급여하였다. SHR에서는 시험 6주째 수축기혈압(SBP)이 C군보다 고·저염식군(A, B)이 각각 17, 24 mmHg 낮았고, 기준혈압(RBP)대비 시험 6주째 혈압의 상승율은 A, B, C군에서 각각 12, 4, 21%로 B군이 가장 낮았다. WKY의 경우 시험 6주째 SBP는 A군과 C군에서 각각 165, 164 mmHg 인 반면, B군은 148 mmHg로 훨씬 낮았다. RBP 대비 시험 6주째 혈압의 상승율은 A, B, C군에서 각각 17, 7, 19%로 B군이 가장 낮았다. 소변과 분변 중의 미네랄은 SHR/WKY 종에서 무기성분강화염군이 정제염군보다 Na⁺ 함량은 유의하게 낮았지만 K⁺ 함량은 무기성분강화염군이 정제염군보다 유의하게 또는 대체로 높았다. 소변과 분변 중 미네랄함량은 다소간 차이가 있었지만 대변보다 소변으로 더 많이 배설된 것으로 나타났다. 간장의 경우 SHR은 K⁺을 제외한 Na⁺, Ca⁺⁺ 및 Mg⁺⁺ 함량은 무기성분강화염군보다 대조군이 통계적으로 높았다($p<0.05$). WKY에서 Na⁺ 함량은 고염식군(A)이 가장 높았고, 신장에서 SHR의 Na⁺ 함량은 정제염군이 무기성분강화염군보다 높았지만 WKY에서는 오히려 A군과 B군이 대조군보다 높았고, K⁺ 함량은 저염식군(B)이 가장 높았다($p<0.05$). 이상의 결과에서 톳유래의 저염식은 Na⁺ 함량은 낮추고 K⁺ 함량은 높이는 등의 체내 미네랄 대사에 긍정적인 영향을 미치기 때문에 혈압상승 억제작용이 있는 것으로 사료되었다.

문 헌

- Ekhrd EZ, Filer JR. Salt, water, and extracellular volume regulation. pp. 265-271 In: Present Knowledge in Nutrition. 7th ed. ILSL Press, Washington, DC, USA (1996)
- Fregly MJ. Sodium and potassium. Ann. Rev. Nutr. 1: 69-93 (1981)
- Goodhart RS. Nutrition, hypertension and kidney disease. pp. 274-275. In: Modern Nutrition in Health and Disease. 8th ed. Lea & Febiger, Philadelphia, PA, USA (1994)
- Battarbee HD, Neneely GR. Nutrient toxicities in animal and man: sodium p. 119. In: Effect of Nutrient Excesses and Toxicities in Animal and Man. Rchcigel M. Jr(ed). CRC Handbook Series in Nutrition and Food. CRC Inc., Boca Raton, FL, USA (1978)
- Tobin L. The relationship of salt to hypertension. Am. J. Clin. Nutr. 32: 2739-2748 (1979)
- Altschul AM, Grommet JK. Sodium intake and sodium sensitivity. Nutr. Rev. 38: 393-402 (1980)
- Krutz TW, Morris RC Jr. Hypertension and sodium salts. Science 228: 351-353 (1985)
- Houston MC. Sodium and hypertension: A review. Arch. Intern. Med. 146: 179-185 (1986)
- Kim YS, Pail HY. Measurement of Na intake in Korean adult females. Korean J. Nutr. 20: 341-349 (1987)
- Ambar L, Beaujard E. Causes de l'hypertension arterielle. Arch. Gen. Med. 1: 520-533 (1904)
- Allen FM, Sherill JW. The treatment of arterial hypertension. J. Metabol. Res. 2: 429-431 (1922)
- Saunders GM, Bancroft H. Blood pressure studies on negro and white men living in virgin Islands of United States. Am. Heart J. 23: 410-423 (1942)
- Kempner W. Treatment of hypertensive vascular disease with rice diet. Am. J. Med. 4: 545-577 (1948)
- Dahl LK. Salt and hypertensive. Am. J. Clin. Nutr. 25: 231-232 (1972)
- Blackwood AM, Sagnella GA, Cook DG, Cappuccio FP. Urinary calcium excretion, sodium intake, and blood pressure in multiethnic population: Results of the wandsworth heart and stroke study. J. Hum. Hypertens. 15: 229-237 (2001)
- Cirillo M, Lombardi C, Laurenzi M, de Santo NG. Relation of urinary urea to blood pressure: Interaction with urinary sodium. J. Hum. Hypertens. 16: 205-212 (2002)
- Tobian L. Artery wall electrolytes in renal and DCA hypertension. J. Clin. Invest. 33: 1407-1500 (1954)
- Ledingham JM. Distribution of water, sodium, and potassium in heart and skeletal muscle in experimental renal hypertension in rats. Clin. Sci. 12: 237-244 (1953)
- Takeda Y, Yoneda T, Demura M, Furukawa K, Miyamori I, Mabuchi H. Effects of high sodium intake on cardiovascular aldosterone synthesis in stroke-prone spontaneously hypertensive rats. J. Hypertens. 19: 635-639 (2001)
- Ngoan LT, Mizoue T, Fujino Y, Tokui N, Yoshimura T, Yamakawa H. Dietary factors and stomach cancer mortality. Brit. J. Cancer 87: 37-42 (2002)
- Jang AR, Cho YJ, Lee JI, Shin JH, Kim IS, Lee MH. The effect of beef peptide on blood pressure and serum lipid concentration of spontaneously hypertensive rat(SHR). J. Anim. Sci. Technol. 46: 107-114 (2004)
- Han CK, Lee OH, Kim KI, Park JM, Kim YC, Lee BY. Effect of powder, 50% ethanol and hot water extracts of *Gastrodiae* rhizoma on serum lipids and blood pressure in SHR fed high-fat diet. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 32: 1095-1101 (2003)
- Lee JS, Park SJ, Sung KS, Han CK, Lee MH, Jung CW, Kwon TB. Effect of germinated-buckwheat on blood pressure, plasma glucose and lipid levels of spontaneously hypertensive rats. Korean J. Food Sci. Technol. 32: 206-211 (2000)
- Kozo O, Yukio Y, Alira Q, Toshinari T. Development of substrains in spontaneously hypertensive rats: Geneology, isozymes and effect of hypercholesterole-mice diet. Jnp. Circ. J. 36: 461-469 (1972)
- Yukio Y, Yasuo N, Motoki T, Masayuki M, Masahiro K, Keigo F, Ryoichi H, Kohtaro K. Common cellular disposition to hypertension and atherosclerosis. J. Hypertens. 2: 213-215 (1984)
- Singer P, Voigh S, Moritz V, Baumann R. The fatty acid pattern of triglyceride and FFA in serum on spontaneously hypertensive rats. Atherosclerosis 33: 227-238 (1979)
- Park KE, Jang MS, Lim CW, Kim YK, Seo YW, Park HY. Antioxidant activity on ethanol extract from boiled water of *Hizikia fusiformis*. J. Korean Soc. Appl. Biol. Chem. 48: 435-439 (2005)
- Korea centers for disease control and prevention. Korean National Health and Nutrition Surveys(3rd report). Available from: <http://knhanes.cdc.go.kr>. Accessed Mar. 24, 2009.
- Kim YM, Byun JY, Namgung B, Jo JH, In JP. Studies on functional salt fortified with seaweed components. Korean J. Food Sci. Technol. 39: 152-157 (2007)
- SAS Institute. SAS User's Guide. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA (1998)
- Joossens JV. Dietary salt restriction. The case in favour. p. 243. In: The Therapeutics of Hypertension. Robertson JIS, Pickering GW, Caldwell ADS(eds). Congress and Symposium Series, No. 26. Academic Press and the Royal Society of Medicine. London,

- UK. (1980)
32. Gleibermann L. Blood pressure and dietary salt in human populations. *Ecol. Food Nutr.* 2: 143-146 (1973)
 33. Froment A, Milon H, Gravier C. Relationship of sodium intake and arterial hypertension. Contribution of geographical epidemiology. *Rev. Epidemiol. Sante Publiqu.* 27: 437-442 (1979)
 34. Dewardner HE. *The Kidney; An Outline of Normal and Abnormal Structure and Function.* Little, Brown and Co., Boston, MA, USA. p. 50 (1958)
 35. Kirkendall AM, Connor WE, Abboud F. The effect of dietary sodium chloride on blood pressure, body fluids, electrolytes, renal function and serum lipids of normotensive man. *J. Lab. Clin. Med.* 87: 411-415 (1976)
 36. Kim SY. Diabetes and High blood pressure. pp. 83-94. In: Korean Diabetes Association Training Lecture. May 18, Kangnam St. Mary's hospital, Seoul, Korea. Korean Diabetes Association. Seoul, Korea (1997)
 37. Kim HS, Yu CH. The effect of Ca supplementation on the metabolism of sodium and potassium and blood pressure in college women. *Korean J. Nutr.* 30: 32-39 (1997)
 38. Meneely GR, Batrarbee HD. High sodium-low potassium environmental and hypertension. *Am. J. Cardiol.* 38: 768-785 (1976)
 39. Schroeder HA. Relation between mortality from cardiovascular disease and treated water supplies. *J. Am. Med. Assoc.* 172: 1902-1908 (1960)
 40. Altura BM, Altura BT, Gebrewold A, Lsing H, Gunther T. Magnesium deficiency and hypertension: Correlation between magnesium-deficient diets and microcirculatory changes *in situ*. *Science* 223: 1315-1317 (1984)
 41. Itokawa Y, Tanaka C, Fujiwara M. Changes in body temperature and blood pressure in rats with calcium and magnesium deficiencies. *J. Appl. Physiol.* 37: 835-839 (1974)
 42. Overlack A, Zenzen JG, Ressel C, Muller HM, Stumpe KO. Influence of magnesium and blood pressure and the effect of nifedipine in rats. *Hypertension* 9: 139-143 (1987)
 43. Kynast-Gales S, Massey L. Effect of dietary calcium from dairy products on ambulatory blood pressure in hypertensive men. *J. Am. Diet. Assoc.* 92: 1497-1501 (1992)
 44. Ayachi S. Increased dietary calcium lowers blood pressure in the spontaneously hypertensive rat. *Metabolism* 28: 1234-1238 (1979)
 45. Hatton D, Muntzel M, Absalon J, Lashley D, McCarron D. Dietary calcium and iron: Effects on blood pressure and hematocrit in young spontaneously hypertensive rats. *Am. J. Clin. Nutr.* 53: 542-546 (1991)