

# 성인 남성에서 모발 조직 내 칼슘 및 마그네슘 농도와 인슐린 민감도

아주대학교 의과대학 가정의학교실

공미희 · 박섯별 · 김광민 · 김범택 · 주남석 · 이태영 · 최승화

## Calcium and Magnesium Levels of Hair Tissue and Insulin Sensitivity

Mi-Hee Kong, Sat-Byul Park, Kwang-Min Kim, Bom-Taek Kim, Nam-Seok Joo,  
Tae-Young Lee, Seung-Hwa Choi

Departments of Family Medicine and Community Health, College of Medicine, Ajou University

### 요 약

**연구배경:** 세포 내의 칼슘과 마그네슘이 서로 길항적 역할을 하면서 포도당과 인슐린의 작용에 영향을 준다는 연구들이 보고되고 있다. 세포 내의 미네랄 측정은 주로 혈구 내 측정법이 사용되었으나 방법이 복잡한 것이 단점으로 알려져 있다. 본 연구에서는 쉽게 채취가 가능한 모발조직을 이용하여 조직 내 칼슘, 마그네슘의 농도와 인슐린 민감도 사이에 어떠한 연관성이 있는지 알아보하고자 하였다.

**방법:** 모발조직 내 미네랄 검사와 공복 혈당 및 인슐린 농도를 측정한 성인 남성 107명을 대상으로 하였다. 공복 혈당과 인슐린 농도를 이용하여 인슐린 민감도를 반영하는 QUICKI를 계산하여 모발조직 내 칼슘, 마그네슘 농도와의 연관성을 알아보았다.

**결과:** 모발조직 내 칼슘과 마그네슘의 농도는 각각 QUICKI와 유의한 상관관계가 없었으나(칼슘,  $r = 0.040$ ,  $P = 0.684$ , 마그네슘,  $r = 0.092$ ,  $P = 0.348$ ), 칼슘/마그네슘 농도비와 QUICKI 사이에는 유의한 역의 상관관계를 보였다( $r = -0.193$ ,  $P = 0.049$ )

**결론:** 모발조직 내 칼슘/마그네슘 농도비가 증가할수록 인슐린 민감도는 감소하였다.

**중심단어:** 모발, 칼슘, 마그네슘, 인슐린 민감도

### 서 론

인슐린은 칼슘(calcium, Ca) 의존적인 과정을 통하여 분비되므로 칼슘통로에 장애가 발생하면 당뇨병의 발생과 관련이 있다고 하였다.<sup>1-3)</sup> 또한 마그네슘(magnesium, Mg)의 경우도 당의 항상성과 인슐린 작용에 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있다.<sup>4,5)</sup> 이렇게 인슐린 작용에 연관되어 있는 Ca과 Mg은 세포 내에서 서로 길항적 역할을 한다.<sup>6,7)</sup> 즉, 세포 내 Mg이 Ca과 결합하는 단백질이나 막 등에 경쟁적으로 결합하여 Ca의 생화학적 작용에 길항적 역할을 하는 것이다. 과거 연구에서 보면 인슐린저항성이 있는 환자들의 세포 내 Ca의 농도는 높은 경향을 보이는

반면, 세포 내 Mg의 농도는 낮은 경향을 보였다고 하였다.<sup>8-10)</sup>

세포 내 미네랄 농도의 측정은 혈구 내 측정법 등이 사용되나 방법이 복잡하여 최근에는 쉽게 조직을 얻을 수 있는 모발을 이용하고 있다. 모발조직은 채취 시 환자에게 고통을 주지 않을 뿐 아니라 저장 또한 간편하다는 장점을 가지고 있다.<sup>11)</sup>

본 연구에서는 모발조직 내 Ca과 Mg의 농도와 인슐린 민감도를 나타내는 지표 사이에 어떠한 연관성이 있는지 알아보하고자 하였다.

교신저자: 공미희, 경기도 수원시 영통구 원천동 산 5번지 아주대학교 의과대학 가정의학과  
Tel: 031-219-5309, Fax: 031-217-2418, E-mail: mdoc@nate.com

**Table 1.** Basal characteristics of participants (N = 107)

	Mean	SD
Age (years)	47.8	7.5
Body mass index (kg/m <sup>2</sup> )	25.5	2.9
Waist circumference (cm)	89.3	8.0
Systolic blood pressure (mmHg)	123.3	12.6
Diastolic blood pressure (mmHg)	81.5	9.8
Fasting plasma glucose (mg/dL)	107.4	28.9
Total cholesterol (mg/dL)	192.8	30.1
Triglyceride (mg/dL)	180.7	107.3
HDL-cholesterol (mg/dL)	48.3	10.7
Insulin (μU/mL)	9.1	4.9
QUICKI	0.345	0.032
Ca in hair (mg%)	80.79	43.79
Mg in hair (mg%)	6.21	4.34
Ca/Mg in Hair	14.48	3.79

SD, standard deviations; HDL, high density lipoprotein; QUICKI, quantitative insulin sensitivity check index.

## 방 법

### 1. 연구대상

2004년 4월부터 2006년 5월까지 경기도 소재 일개 대학 병원 건강검진센터에서 모발조직 내 미네랄 검사와 공복혈당 및 인슐린 농도를 측정된 성인 남성 107명의 결과를 이용하였다.

### 2. 모발조직 내 Ca과 Mg 농도 측정

약 2주 정도 염색제 및 퍼머를 시행하지 않고 모발 채취 48시간 이내에는 세척을 피하도록 하였다. 주로 후두부와 목덜미 여러 군데에서 두피에서 가까운 약 5 cm 이내의 모발을 건조중량으로 약 150 mg 이상 채취하여 한국 TEI (Trace Elements, Inc)에 분석을 의뢰하였다. 한국 TEI에서는 수거한 모발을 미국 TEI (Dallas, TX, USA) 검사소로 보냈다. 검사소에서는 먼저 채취한 모발을 탈 이온수로 2회 세척하고, 3 mm 이하의 길이로 더욱 가늘게 자른 후 금속 측정용 질산과 함께 시험관에 넣어 마이크로파 오븐(CEM Mars 5 Plus Microwave Digestion apparatus, CEM corporation, Matthew, NC, USA)을 이용하여 70도에서 20분간 방치 후 온도를 천천히 올린 다음 115도에서 15분간 더 방치하여 가열분해 하였다. 분해된 표본을 냉각하고 탈 이온수로 희석하여 유도 결합 플라즈마 질량 분석기(Sciex Elan 6100, Perkin-Elmer corporation, Foster, CA, USA)를 이용하여 포함된 미네랄의 양을 분석 하였다.<sup>12)</sup> 측정된 미네랄 농도는 mg% (mg/100g of hair)로 보고하였다.

### 3. 인슐린 민감도 지표

인슐린 민감도 지표로는 quantitative insulin sensitivity check index (QUICKI)를 계산하여 사용하였다. QUICKI는 공복혈당(fasting plasma glucose, FPG)과 공복인슐린(insulin)을 이용하여  $1/[\log \text{insulin } (\mu\text{U/mL}) + \log \text{FPG } (\text{mg/dL})]$ 의 공식으로 나오는 수치로, 인슐린 민감도를 측정하는 인슐린 클램프법의 대안적인 간접지수로 받아들여지고 있다.<sup>13)</sup>

공복혈당과 인슐린 농도의 측정은 8시간 이상의 공복 후 정맥혈을 이용하였다. 공복혈당은 enzymatic colorimetric method (TBA-200FR, Toshiba, Tokyo, Japan)를 이용하였고 인슐린 농도는 IRMA kit (Immunoradiometric assay, Dainabot, Japan)를 이용하였다.

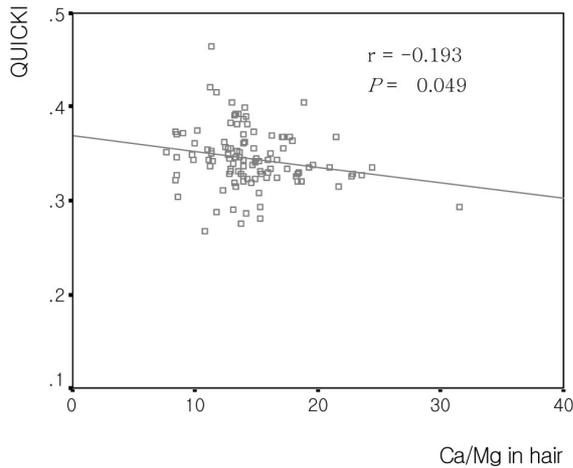
### 4. 통계학적 분석 방법

통계학적 분석은 SPSS window version 11.5를 이용하였다. 모발조직 내 Ca, Mg농도와 Ca/Mg 농도비와 QUICKI와의 연관성은 단순상관분석(Pearson correlation)을 이용하였고, 나이와 체질량지수의 영향을 보정 할 때는 편상관관계(partial correlation)를 이용하였다. 모든 분석은 P value < 0.05일 때 통계학적으로 유의하다고 보았다.

## 결 과

### 1. 일반적 특징

연구대상자들의 일반적 특징은 Table 1과 같다.



**Fig. 1.** The correlation between Ca/Mg ratio in hair tissue and QUICKI. QUICKI; quantitative insulin sensitivity check index, r & P; correlation coefficient & P by partial correlation after adjusting for age and BMI.

## 2. 모발조직 내 Ca, Mg 농도와 인슐린 민감도 지표(QUICKI)

모발조직 내 Ca농도와 QUICKI는  $r = 0.040$  ( $P = 0.681$ )로 연관성이 없었으며, 모발조직 내 Mg농도와 QUICKI도  $r = 0.092$  ( $P = 0.348$ )로 연관성이 없었다. 그러나 모발조직 내 Ca/Mg의 농도비는 QUICKI와  $r = -0.196$  ( $P = 0.043$ )으로 유의한 역의 상관관계를 보였으며, 이는 나이와 체질량지수를 보정한 후에도 여전히 유의한 역의 상관관계를 보였다( $r = -0.193$ ,  $P = 0.049$ , Fig. 1).

## 고 찰

본 연구 결과 성인남성에서 모발조직 내 Ca/Mg농도비가 증가할수록 인슐린 민감도는 감소하였다.

과거 연구에서 보면 인슐린저항성이 있는 환자들의 세포 내 Ca의 농도는 높은 경향을 보이는 반면, 세포 내 Mg의 농도는 낮은 경향을 보였다고 하였다.<sup>9,10</sup> 국내에서도 인슐린저항성을 갖는 다낭성난소증후군 여성의 혈소판 세포 내 Ca농도가 증가되었다는 보고가 있다.<sup>8</sup> 비록 본 연구에서는 모발조직 내 Ca과 Mg 각각의 농도는 인슐린 민감도와 연관성이 없었으나 Ca/Mg 농도비와 인슐린 민감도가 역의 상관관계를 보였으므로 과거 연구결과와 동일선상의 결과를 보였다고 할 수 있다.

세포 내 Ca은 인슐린 수용체의 친화력과 인슐린 민감도에 영향을 주어<sup>14</sup> 인슐린 분비에 영향을 준다.<sup>1,2</sup> 또한 Ca통로가 근육세포에서의 당 섭취에 영향을 주는 것으로 알려져 있다.<sup>15,16</sup> 인슐린저항성이 있는 환자에서 세포 내 Ca농도가 높은 경향을 보였으며<sup>8-10</sup> 지방세포 내의 Ca은 체중증가를 유도하여 오랜 시간 이후 인슐린저항성을 악화시킨다고 하였다.<sup>17</sup>

세포 내 Mg은 Ca과 길항적 관계로 인슐린 민감도와와의 관계도 Ca과는 상반된 결과를 보인다. 인슐린저항성 환자의 세포 내 Mg농도는 Ca과는 반대로 낮은 경향을 보이며<sup>9,10</sup> 세포 내 Mg섭취의 장애가 발생하면 인슐린저항성 증후군 발생과 연관된다고 하였다.<sup>18-20</sup> 더 나아가 외부에서 Mg을 섭취하는 경우 인슐린 민감도가 좋아지며<sup>21-24</sup> 결국 충분한 Mg의 섭취는 당뇨병의 발생위험도 낮춘다고 하였다.<sup>25</sup>

본 연구는 모발조직 내 Ca, Mg 농도도 과거 혈구 등의 다른 세포를 이용한 연구처럼 인슐린 민감도와의 연관성을 가질 수 있음을 보여준 연구로서 그 가치를 가진다고 할 수 있다. 그러나 이는 경기도 일부 지역 한국인 성인 남성만이 대상이므로 전체를 대표할 수 없다는 단점을 가지고 있다. 또한 다른 과거질환 및 약물복용력, 식이섭취, 신체활동량에 대한 조사가 되지 않았다는 단점도 가지고 있다. 특히 당뇨병환자여부, Ca, Mg농도에 영향을 미칠 수 있는 기저질환 및 인슐린 민감도에 영향을 주는 약제의 복용여부가 조사되지 못했다는 제한점을 가지고 있다. 추후 대표성이 있는 적절한 연구대상자를 선정하여 본 연구의 단점을 보완한 추가 연구가 필요하겠다.

## ABSTRACT

### Calcium and Magnesium Levels of Hair Tissue and Insulin Sensitivity

**Background:** Calcium (Ca) and magnesium (Mg) have been suggested to play a role in glucose and insulin action. Mg can function as a mild Ca antagonist. This study was conducted to study the association between Ca and Mg levels in hair tissue with insulin sensitivity.

**Method:** Hair tissue of adult men were analyzed for mineral content and fasting plasma glucose and insulin were also measured. Quantitative insulin sensitivity check index (QUICKI) was measured as insulin sensitivity marker.

**Results:** Ca and Mg levels are not associated with QUICKI (Ca:  $r = 0.040$ ,  $P = 0.684$ , Mg:  $r = 0.092$ ,  $P = 0.348$ ). The Ca/Mg ratio showed a significant inverse correlation with QUICKI ( $r = -0.193$ ,  $P = 0.049$ ).

**Conclusion:** The Ca/Mg ratio in hair tissue is inversely correlated with insulin sensitivity.

**Key words:** Hair, Calcium, Magnesium, Insulin sensitivity

## 참 고 문 헌

1. Curry DL, Bennett LL, Grodsky GM. Requirement for calcium ion in insulin secretion by the perfused rat pancreas. *Am J Physiol* 1968;214:174-8.
2. Henquin JC, Ravier MA, Nenquin M, Jonas JC, Gilon P. Hierarchy of the beta-cell signals controlling insulin secretion. *Eur J Clin Invest* 2003;33:742-50.
3. Jing X, Li DQ, Olofsson CS, Salehi A, Surve VV, Caballero J, et al. CaV2.3 calcium channels control second-phase insulin release. *J Clin Invest* 2005;115:146-54.
4. Saris NE, Mervaala E, Karppanen H, Khawaja JA, Lewenstam A. Magnesium. An update on physiological, clinical and analytical aspects. *Clin Chim Acta* 2000;294:1-26.
5. Barbagallo M, Dominguez LJ, Galioto A, Ferlisi A, Cani C, Malfa L, et al. Role of magnesium in insulin action, diabetes and cardio-metabolic syndrome X. *Mol Aspects Med* 2003;24:39-52.
6. Iseri LT, French JH. Magnesium: nature's physiologic calcium blocker. *Am Heart J* 1984;108:188-93.
7. Zhang A, Cheng TP, Altura BM. Magnesium regulates intracellular free ionized calcium concentration and cell geometry in vascular smooth muscle cells. *Biochim Biophys Acta* 1992;1134:25-9.
8. 오지영, 이혜진, 홍영선, 정혜원, 성연아. 다낭성난소증후군에서 세포내 칼슘농도와 인슐린저항성의 관련성. *당뇨병* 2004;28:101-10.
9. Resnick LM. Cellular calcium and magnesium metabolism in the pathophysiology and treatment of hypertension and related metabolic disorders. *Am J Med* 1992;93:11S-20S.
10. Barbagallo M, Novo S, Licata G, Resnick LM. Diabetes, hypertension and atherosclerosis: pathophysiological role of intracellular ions. *Int Angiol* 1993;12:365-70.
11. Klevay LM, Bistran BR, Fleming CR, Neumann CG. Hair analysis in clinical and experimental medicine. *Am J Clin Nutr* 1987;46:233-6.
12. Miekeley N, de Fortes Carvalho LM, Porto da Silveira CL, Lima MB. Elemental anomalies in hair as indicators of endocrinologic pathologies and deficiencies in calcium and bone metabolism. *J Trace Elem Med Biol* 2001;15:46-55.
13. Katz A, Nambi SS, Mather K, Baron AD, Follmann DA, Sullivan G, et al. Quantitative insulin sensitivity check index: a simple, accurate method for assessing insulin sensitivity in humans. *J Clin Endocrinol Metab* 2000;85:2402-10.
14. Williams PF, Caterson ID, Cooney GJ, Zilkens RR, Turtle JR. High affinity insulin binding and insulin receptor-effector coupling: modulation by Ca<sup>2+</sup>. *Cell Calcium* 1990;11:547-56.
15. Ojuka EO. Role of calcium and AMP kinase in the regulation of mitochondrial biogenesis and GLUT4 levels in muscle. *Proc Nutr Soc* 2004;63:275-8.
16. Wright DC, Hucker KA, Holloszy JO, Han DH. Ca<sup>2+</sup> and AMPK both mediate stimulation of glucose transport by muscle contractions. *Diabetes* 2004;53:330-5.
17. Zemel MB. Regulation of adiposity and obesity risk by dietary calcium: mechanisms and implications. *J Am Coll Nutr* 2002;21:146S-51S.
18. Paolisso G, Ravussin E. Intracellular magnesium and insulin resistance: results in Pima Indians and Caucasians. *J Clin Endocrinol Metab* 1995;80:1382-5.
19. Resnick LM, Gupta RK, Gruenspan H, Laragh JH. Intracellular free magnesium in hypertension: relation to peripheral insulin resistance. *J Hypertens Suppl* 1988;6:S199-201.
20. Hwang DL, Yen CF, Nadler JL. Insulin increases intracellular magnesium transport in human platelets. *J Clin Endocrinol Metab* 1993;76:549-53.
21. Ma J, Folsom AR, Melnick SL, Eckfeldt JH, Sharrett AR, Nabulsi AA, et al. Associations of serum and dietary magnesium with cardiovascular disease, hypertension, diabetes, insulin, and carotid arterial wall thickness: the ARIC study. *Atherosclerosis Risk in Communities Study. J Clin Epidemiol* 1995;48:927-40.
22. Rodriguez-Moran M, Guerrero-Romero F. Oral magnesium supplementation improves insulin sensitivity and metabolic control in type 2 diabetic subjects: a randomized double-blind controlled trial. *Diabetes Care* 2003;26:1147-52.
23. Paolisso G, Sgambato S, Gambardella A, Pizza G, Tesaro P, Varricchio M, et al. Daily magnesium supplements improve glucose handling in elderly subjects. *Am J Clin Nutr* 1992;55:1161-7.
24. Guerrero-Romero F, Tamez-Perez HE, Gonzalez-Gonzalez G, Salinas-Martinez AM, Montes-Villarreal J, Trevino-Ortiz JH, et al. Oral magnesium supplementation

improves insulin sensitivity in non-diabetic subjects with insulin resistance. A double-blind placebo-controlled randomized trial. *Diabetes Metab* 2004;30: 253-8.

25. Colditz GA, Manson JE, Stampfer MJ, Rosner B, Willett WC, Speizer FE. Diet and risk of clinical diabetes in women. *Am J Clin Nutr* 1992;55:1018-23.