

비만도에 따른 모발 조직 내 미네랄 함량 연구

배 윤 경 · † 조 미 숙

이화여자대학교 건강과학대학 식품영양학과

Analysis of Hair Tissue Mineral Contents According to Body Mass Index

Yun-Kyung Bae and † Mi Sook Cho

Dept. of Nutrition Sciences & Food Management, Ewha Womans University, Seoul 120-750, Korea

Abstract

This study was carried out to compare the hair mineral status of obese, over-weighted and non-obese individuals, to gather basic data for customizing menu development and to create an education manual for the obese persons. Food preferences or various disease states could be suggested by different mineral patterns in TMA(tissue mineral analysis). The results indicated that Zn status was considerably lower in the obese individuals than in the non-obese($p<0.001$) whereas hair Na($p<0.0001$), K($p<0.01$) and Fe($p<0.05$) were at significantly higher levels in the obese individuals. The ratio of Ca/K($p<0.001$) was significantly lower in the obese than in the non-obese. But the levels of hair toxic minerals such as Sb, As, Hb, Al et al. were not differ according to BMI groups. The obtained data demonstrate the changes of hair mineral content in both overweight and obese individuals thus suggesting metabolic mineral disturbance in those groups.

Key words: hair tissue mineral content, obesity, Zn, Fe, body mass index.

서 론

과체중과 비만은 고지혈증, 고혈압, 제2형 당뇨, 간질환뿐만 아니라 암의 발생 위험을 증가시킨다. 비만의 경우, 열량의 과잉 섭취로 인해 미량 영양소 섭취가 상대적으로 부족한 영양 불균형 상태로 비만은 심각한 무기질 대사 장애를 일으킬 수 있다고 보고되고 있고, 체내 미량 무기질 함량은 비만이나 과체중으로 인한 대사 이상과 관련이 있음이 보고되고 있다^{1,2)}.

미네랄은 인체의 약 4% 정도 차지하고 있지만 체내에서 합성이 되지 않기 때문에 식품으로 섭취해야 한다. 대체로 미네랄의 배설은 대변과 소변, 피부로 일어나는데, 배설량 또한 생리적인 요구에 따른 호르몬의 분비와 신경의 조절, 식이 중의 정제 탄수화물과 단백질 섭취량, 미네랄과 관련된 비타민 간의 상호 균형, 섬유질 섭취와 중금속 오염, 정신적 긴장과 스

트레스 등에 의해 변화된다. 영양 미네랄과 중금속 및 약물농도의 측정은 혈액이나 소변 등의 검체보다는 손톱이나 모발을 이용하는 것이 장기간의 조직 내 농도를 더 정확히 반영하는 것으로 알려져 있다. 모발 미네랄 상태에 영향을 주는 것은 내부적 요인, 외부적 요인 그리고 환경적 요인으로 나눌 수 있는데, 식습관, 질병, 약물 복용, 스트레스, 수면 정도와 호르몬 불균형 등의 내부적 요인과 잦은 파마, 염색, 탈색, 드라이, 강한 알칼리성 샴푸 사용 및 다양한 모발용품 남용과 같은 인위적 요인 그리고 자외선, 바람, 습도, 계절, 대기오염 및 각종 공해 물질 등의 환경적 요인으로 구분할 수 있다.

모발 검사는 혈액 검사와는 달리 장기간 저장된 영양소의 상태를 반영하는 조직 검사의 특성을 지니고 있다. 모발 조직은 다른 생화학적 조직과는 달리 고통 없이 채취가 가능하며, 저장 및 운송이 간편하고 단기간의 변화가 적으며 미네랄의 연대기적 추적이 가능하다는 장점을 지닌다³⁾. 최근 일선의

† Corresponding author: Mi Sook Cho, Dept. of Nutrition Sciences & Food Management, Ewha Womans University, Seodaemongu, Daehyun-dong, Seoul 110-740, Korea.

Tel: +82-2-3277-2826, Fax: +82-2-3277-2862, E-mail: misocho@ewha.ac.kr

병원과 의원에서는 모발 미네랄 검사를 통한 영양 평가가 널리 행해지고 있는데, 대부분이 모발 내 미네랄의 균형 및 과부족을 확인하고 그 결과에 따라 보충제를 처방하는 모발 조직 미네랄 검사 클리닉의 형태로 운영되면서 임상에서 점차 활용도가 높아져 가고 있는 추세이다⁴⁾.

모발 미네랄 검사(Tissue Mineral Analysis, TMA)는 모발내의 30가지 미네랄과 8가지 중금속을 ICP-MS(inductive coupled plasma mass spectroscopy)로 측정하는 방법으로 George Watson 박사의 모델에 근거한 대사형 평가(slow type과 fast type), Selye 박사의 스트레스 단계 평가(alarm stage, resistant stage, exhaustion stage), 갑상선/부신 반응성 평가 및 인슐린 저항성 등을 평가하고, 납, 수은과 카드뮴 등 중금속 폭로 상태를 평가 분석하는 방법이다. 모발 미네랄 검사의 임상적 의의는 아직 논란이 있지만^{5,6)} 그럼에도 불구하고 이미 수십 년 전부터 국제원자력기구인 IAEA와 영양학 분야에서 시도되고 있고 활용되고 있다^{7,8)}.

미네랄들의 결핍 및 과잉은 혈액검사나 소변검사에서보다 모발 미네랄 검사(TMA)에서 보다 쉽게 관찰된다. 그러므로 모발 미네랄 검사는 대사 이상을 파악하는 데 있어서 혈액검사나 소변검사에 비하여 조기 지표가 될 수 있을 것으로 생각된다. 현재까지 모발의 미네랄 농도에 관한 국내의 연구로는 독성 금속 및 미네랄 평형에 관한 연구⁹⁾와 조직 미네랄 농도에 따른 생리전 증후군¹⁰⁾, 인슐린 민감도에 관한 연구¹¹⁾ 및 흡연자 모발에 함유한 미네랄 함량 분석에 관한 연구¹²⁾와 위암 환자에서 위절제술 전후의 미네랄 함량에 대한 연구가 있다¹³⁾. 서 등은¹⁴⁾ 모발 조직 내 Mg 농도와 비만과는 유의적인 관계가 없다고 보고하였으며, 학령 전 아동의 신장과 체중은 모발의 Zn 함량과 정의 상관관계가 있다는 보고도 있으나¹⁵⁾, 현재까지 모발 미네랄과 BMI의 관련에 대한 연구는 많지 않은 실정이다. 최근 일선 병원에서 비만인을 대상으로 모발 분석과 이에 따른 식사와 영양처방 등이 많이 행해지고 있지만, 비만은 장기간의 잘못된 생활습관이 원인으로 단기간의 보충제 복용을 통한 효과를 기대하기 보다는 식습관을 포함한 생활습관의 지속적인 개선 노력을 통해 해결하는 것이 권장되며, 모발 분석과 비만에 대한 보다 과학적인 근거를 바탕으로 한 처방이 요구된다. 따라서 본 연구에서는 모발 내 미네랄의 함량과 비율이 비만도에 따른 차이가 나타나는지를 조사하여 비만도에 따른 미량 영양소의 불균형과의 관련성을 관찰하고 향후 모발 미네랄 상태에 따른 균형식 처방을 위한 메뉴 개발의 기초 자료를 수집하는 것을 목적으로 실시하였다.

재료 및 방법

1. 조사대상 및 자료수집

본 조사의 대상은 서울 지역에 거주하는 성인으로 특별한 질병이 없는 148명(남자 38명, 여자 110명)을 대상으로 하였으며, 2006년 3월부터 2008년 3월까지 훈련된 조사원에 의해 채취 측정과 모발을 수집하여 미네랄 함량을 분석하였다. 모발 조직을 채취할 때는 미네랄 검사는 오차를 줄이기 위하여 파마, 염색, 코팅을 한 경우 최소한 8주가 경과한 사람에 한하여 실시하였고, zinc pyrithione이 함유되어 아연(Zn)과 같은 특정 미네랄의 수치에 영향을 줄 수 있는 비듬 전용 샴푸를 사용한 경우와 염소 소독을 하는 수영장을 다니는 사람도 모발의 중금속 수치를 상승시킬 수 있기 때문에 연구대상에서 제외시켰다. 또한, 최근 3개월 이상 약물을 복용해 온 사람도 대상자에 포함시키지 않았다. 모발을 검체하기 위하여 깨끗한 스테인레스 가위를 사용하였으며, 두부의 후면에 왼편부터 오른편으로 군데군데 모근과 가장 가까운 쪽에서 약 4 cm 정도 길이의 모발을 채취하고 최소 150 mg 이상 충분한 양을 채취하였다.

2. 조사내용

신장과 체중은 정확도가 검증된 간이 신장계와 체중계를 이용하여 훈련된 조사원이 측정하였고, 비만도는 체질량지수(Body Mass Index, BMI(kg/m²))로 평가하였다. 평가기준은 세계보건기구 서태평양지역에서 제시한 아시아-태평양 비만치료지침에 따라 18.5 kg/m² 미만은 저체중, 18.5 kg/m² 이상 23 kg/m² 미만은 정상, 23 kg/m² 이상 25 kg/m² 미만은 과체중, 25 kg/m² 이상을 비만으로 판정하였다.

모발 분석은 검사의 정확성을 위해 모발내 미네랄 전문 분석기관인 TEI 한국지사(의뢰하여 원자 흡수 분광기를 사용하여 분석하였으며, 측정단위는 칼슘(calcium: Ca), 마그네슘(magnesium: Mg), 나트륨(sodium: Na), 칼륨(potassium: K), 구리(copper: Cu), 아연(Zinc: Zn), 인(phosphorous: P), 철(iron: Fe), 몰리브덴(molybdenum: Mo), 황(sulfur: S) 등의 15가지 영양원소와 안티모니(antimony: Sb), 우라늄(uranium: U), 비소(arsenic: As), 베릴륨(beryllium: Be), 수은(mercury: Hg), 카드뮴(cadmium: Cd), 납(Lead: Pb), 알루미늄(Aluminum: Al) 등의 독성 미네랄 그리고 바륨(barium: Ba), 비스무스(bismuth: Bi), 루비듐(rubidium: Rb), 리튬(lithium: Li), 니켈(nickel: Ni), 플래티늄(platinum: Pt), thallium(Tl), vanadium(V), strontium(Sr), tin(Sn), titanium(Ti), tungsten(W), zirconium(Zr) 등의 기타 원소 14종을 포함하여 총 37종의 미네랄에 대하여 성분 및 함량 분석을 실시하였고, 영양 미네랄 중 길항작용을 하는 Ca/P, Na/K, Ca/K, Zn/Cu, Na/Mg, Ca/Mg, Fe/Cu 등 주요 미네랄의 비율을 분석하였으며, Ca/Pb, Fe/Pb, Fe/Hg, Se/Hg, Zn/Cd, Zn/Hg, S/Hg, S/Cd, S/Pb 등 영양 미네랄과 독성 미네랄의 비율을 분석하였다(Trace Elements, Inc. Dallas, TX, USA).

3. 자료분석

자료분석은 SPSS for Windows(ver 12.0)를 이용하였고, 연구 대상자의 특성은 기술통계를 사용하였다. 영양 미네랄과 독성 미네랄, 기타 미네랄의 정량 분석 결과와 비만도와 상관성은 나이와 성별의 교란요인을 배제한 편상관분석을 사용하여 실시하였으며, 분석결과 유의성이 있다고 판단된 결과는 비만도 정도에 따른 집단별로 유의한 차이를 보이는 것을 알아보기 위해 일원배치 분산분석(One-way ANOVA)을 사용하고, 사후분석(Post Hoc)은 Scheffe test로 하였으며, BMI와 각 미네랄과의 상관관계는 피어슨 상관계수(Pearson correlation coefficient)를 이용하였다.

결과 및 고찰

1. 조사대상자의 특성

총 대상자는 148명이었으며, 이 중 남자는 38명(25.7%), 여자는 110명(74.3%)이었다. 이들 중 43.2%가 정상체중이었고, 과체중은 13.5%, 그리고 비만 이상은 43.2%로 나타났다. 정상군의 평균 나이는 34.38±9.72세였고, 키는 159.84±20.1 cm, 체중은 54.25±5.62 kg이었으며, 과체중군에서는 나이가 46.45±13.96세, 체중과 신장이 각각 64.60±8.40 kg와 164.10±8.65 cm 이었고, 비만군에서는 각각 46.94±13.85세, 162.16±8.41 cm, 72.89±9.79 kg으로 나타났다. BMI의 평균은 정상군 20.56±1.27 kg/m², 과체중군은 24.17±0.63 kg/m², 비만군은 27.72±9.79 kg/m²이었으며, 정상체중군에 비해 과체중과 비만군이 유의적으로 키가 크고 체중도 높게 나타났다($P<0.001$).

2. BMI에 따른 모발 조직 내 미네랄 함량

BMI에 따라 모발 조직 내 Ca, Mg, Na, K, Cu, Zn, P, Fe, Mn, Cr, Se, B, Co, Mo 및 S의 함량을 비교한 결과는 Table 2와 같았다. 모발 조직 내 Mg, Na, K, Fe 및 아연(Zn)에서는 BMI에 따른 유의적인 차이가 나타났는데, 마그네슘(Mg)은 정상군과 비만군에 비해 과체중군이 높은 경향을 보였으며, 나트륨(Na)은 체중이 증가함에 따라 모발 내 농도도 증가하는 경향을 보여주었다($p<0.0001$). 모발 조직의 칼륨(K)도 Na과 같은 경향을 보여서 비만도가 높을수록 많아졌으며 특히 정상

체중군에 비해 비만군에서 유의하게 높았다($p<0.01$). 철분 역시 체중이 증가함에 따라 유의적으로 증가하는 경향을 보였다($p<0.05$).

이와는 달리 모발의 아연(Zn) 함량은 비만도가 높을수록 감소하는 경향을 보였는데 즉, 비만도가 높을수록 모발 조직 내 아연 농도가 감소하였으며, 정상체중군에 가까울수록 높았다($p<0.001$). Margarita¹⁶⁾는 모스크바 지역의 46~60세 여성 1,470명을 대상으로 모발 조직의 미네랄을 분석한 결과, BMI> 30 kg/m²인 여성의 경우 모발 조직의 Na과 K 수준이 높았으며, 반면 아연과 구리 농도는 저하된 것으로 보고하여서 본 조사결과와는 일치하는 결과를 나타내었다. Chen¹⁷⁾은 타이완에서 비만군과 정상군간의 모발과 혈액내 아연(Zn) 농도를 비교한 결과, 정상군에 비해 비만군에서 아연(Zn)이 유의하게 낮게 검출되었다고 보고하였으며, 이러한 결과는 본 조사의 결과와 일치한다. 칼슘(Ca), 마그네슘(Mg)의 비율은 과체중군에서 다소 높아지는 경향을 보였으나, 정상 체중군과 비만군 사이에서는 변화가 없었다. 모발 조직 내 아연의 감소는 대사 위험인자와의 관련성이 높은 것으로 보고되었는데, 이와 김¹⁸⁾은 모발 조직의 아연이 중성지방, HDL-콜레스테롤, 공복 혈당, 공복 인슐린, 인슐린 저항성지표와 음의 상관관계가 있음을 보고하였다. 즉, 모발 아연이 낮을수록 대사 위험요인의 항목수가 증가하는 것을 관찰하여서 비만환자에서 모발 아연이 아연의 필요량과 섭취량 사이의 불균형을 반영하는 지표로 사용할 수 있음을 보여주었다. 본 연구에서도 BMI가 증가할수록 모발의 아연 수준이 감소하였으며, 이러한 현상은 비만과 과체중군에서 대사 위험요인이 증가하였음을 보여주는 결과라고 하겠다.

크롬(Cr)은 체내에 신장, 심근, 간의 순서로 많이 존재하며, 금속업 종사자와 현미, 채식주의자에서 생체내 농도가 높게 나타나고 백미, 백설탕, 흰빵 등 정제곡물을 섭취하는 경우에 감소하는 것으로 보인다⁹⁾. 본 연구 결과, 모발 조직내 크롬은 정상체중군보다 과체중과 비만군에서 낮은 경향을 보였으나, 유의적인 차이는 나타나지 않았다. 붕소(B)와 셀레늄(Se)은 비만도가 높을수록 증가하는 경향을 보였고, 구리(Cu)는 과체중군에서 특이하게 높은 경향을 보였다.

Table 1. Distribution of the subjects by BMI group¹⁾

	NW(n=64)	OW(n=20)	OB(n=64)	F
Height(cm)	159.84±20.1 ²⁾	164.10±8.65	162.16±8.71	0.767
Weight(kg)	54.25± 5.62 ^a	65.56±8.43 ^b	72.89±9.80 ^c	86.39***
BMI ³⁾	20.56± 1.27 ^a	24.17±0.63 ^b	27.72±2.55 ^c	228.97***

¹⁾ BMI group: NW(normal weight): 18.5<BMI<23, OW(overweight): 23<BMI<25, OB(obese): 25<BMI, ²⁾ Mean±SD,

³⁾ BMI: Body Mass Index(kg/m²), ⁴⁾ a-c: different letter indicate significant difference at $\alpha=0.05$ in a row, ⁵⁾ *** $p<0.001$.

Table 2. Comparison with the nutritional minerals in hair tissue by BMI group

(unit: mg%)

	NW(n=64)	OW(n=20)	OB(n=64)	F value	Normal range ⁴⁾
Calcium	111.36 ± 75.33 ¹⁾	127.8 ± 110.26	102.5 ± 75.92	0.765	22~97
Magnesium	7.98 ± 4.95 ²⁾	12.24 ± 13.16 ^b	7.80 ± 6.95 ^a	3.021	2~11
Sodium	11.17 ± 13.61 ^a	29.4 ± 27.46 ^b	35.25 ± 33.69 ^b	14.288**** ³⁾	4~36
Potassium	10.52 ± 28.64 ^a	14.45 ± 14.95 ^{ab}	20.80 ± 35.52 ^b	6.667**	2~24
Copper	3.07 ± 3.25	5.41 ± 15.52	3.16 ± 6.23	0.864	0.9~3.9
Zinc	17.17 ± 2.62 ^b	13.8 ± 2.69 ^a	12.3 ± 3.0 ^a	49.427***	10~21
Phosphorus	15.28 ± 2.32	15.35 ± 2.94	14.83 ± 2.62	0.627	11~20
Iron	0.77 ± 0.25	0.88 ± 0.46	1.03 ± 0.68	4.392*	0.5~1.6
Manganese	0.03 ± 0.03	0.03 ± 0.03	0.04 ± 0.07	1.764	0.01~0.13
Chromium	0.11 ± 0.49	0.06 ± 0.08	0.05 ± 0.02	0.481	0.02~0.08
Selenium	0.06 ± 0.02	0.06 ± 0.25	0.07 ± 0.03	1.600	0.03~0.18
Boron	0.05 ± 0.05	0.06 ± 0.08	0.08 ± 0.12	1.805	0.24~0.91
Cobalt	0.003± 0.007	0.001± 0.00	0.017± 0.125	0.557	0.001~0.003
Molybdenum	0.004± 0.003	0.004± 0.002	0.005± 0.009	0.984	0.003~0.008
Sulfur	4,290.53 ± 358.46	4,191 ± 247.79	4,305 ± 321.73	0.936	2,651~4,441

¹⁾ Mean±SD, ²⁾ a,b: Different letter indicate significant difference at $\alpha=0.05$ in a row, ³⁾ * $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$, **** $p<0.0001$,

⁴⁾ Adapted from ref. 13).

3. BMI에 따른 모발 조직 내 독성 금속 함량

모발 내 독성 금속은 1970년대부터 분석되었으며, 영양 미네랄 분석보다 더 광범위하게 이용되고 있다. 모발 조직은 혈액이나 소변과 비교해서 장기간의 독성 금속에 의한 오염을 반영할 수 있는 가장 좋은 지표로 알려져 있다¹⁹⁾. Kopito²⁰⁾는 모발 조직 내에 Pb 함량이 만성 및 아급성의 중독지표가 될 수 있다고 하였으며, Airey²¹⁾는 모발 조직의 수은 함량은 모발이 자라면서 축적되는 축적량으로 체내 수은 축적량을 나타낸다고 하였다. BMI에 따라서 중금속 미네랄인 안티모니(antimony: Sb), 우라늄(uranium: U), 비소(arsenic: As), 베릴륨(beryllium: Be), 수은(mercury: Hg), 카드뮴(cadmium: Cd), 납(lead: Pb)과 알루미늄(aluminum: Al)의 모발 조직 내 함량에

차이가 있는지를 비교해 본 결과는 Table 3과 같았다. 이들 독성 금속들은 BMI에 따른 유의적인 차이가 관찰되지 않았다. 따라서 이들 중금속 미네랄이 오염에 의한 체내 축적 정도를 나타낼 수 있으나 BMI에 따른 차이는 없는 것으로 보였다. 납의 경우 체중이 증가할수록 모발 조직 내 Pb 농도가 증가하는 경향을 보였으나 유의적인 차이는 없었다. 모든 독성 미네랄의 평균값이 정상 범위에 속했으며, 다만 비만군의 경우 우라늄이 정상 수준보다 높은 값을 나타냈다.

4. BMI에 따른 모발 조직내 기타 원소들의 함량

체내 미네랄은 영양 미네랄과 독성 미네랄 그리고 기타 원소들로 구분된다. 모발 조직에서 기타 원소인 게르마늄(ger-

Table 3. Contents of the toxic minerals by BMI group

(unit: mg%)

	NW(n=64)	OW(n=20)	OB(n=64)	F value	Normal range
Antimony(Sb)	0.0110±0.056 ¹⁾	0.045 ±0.0095	0.0010±0.0015	0.407	<0.007
Uranium(U)	0.0099±0.0309	0.0051±0.0100	0.0368±0.1020	2.887	<0.017
Arsenic(As)	0.0120±0.0170	0.0.011±0.0056	0.0098±0.0059	3.277	<0.02
Beryllium(Be)	0.0010±0.0000	0.0011±0.0002	0.0009±0.0001	2.597	<0.001
Mercury(Hg)	0.1276±0.1400	0.1337±0.700	0.1315±0.9854	3.311	<0.18
Cadmium(Cd)	0.0018±0.0020	0.0028±0.0051	0.0029±0.0034	2.065	<0.014
Lead(Pb)	0.0989±0.0264	0.1205±0.0945	0.1341±0.1936	1.122	<0.3
Aluminum(Al)	0.5350±0.7061	0.5300±0.3197	0.6910±0.4587	1.403	<01.8

¹⁾ Mean±SD.

Table 4. Contents of the trace elements by BMI group

(unit: mg%)

	NW(n=64)	OW(n=20)	OB(n=64)	F value
Germanium(Ge)	0.0053±0.0016 ¹⁾	0.0055 ±0.0016	0.0073±0.098	1.605
Barium(Ba)	0.1688±12.21	0.1319 ±0.1367	0.6072±3.0455	0.401
Bismuth(Bi)	0.0119±0.0312	0.0100 ±0.0133	0.0153±0.0329	0.326
Rubidium(Rb)	0.0114±0.0284	0.01490±0.0142	0.0368±0.0641	5.08*
Lithium(Li)	0.0029±0.0075	0.0013 ±0.0009	0.026 ±0.143	1.136
Nickel(Ni)	0.0343±0.0467	0.0399 ±0.0481	0.0336±0.0363	0.174
Platinum(Pt)	0.0010±0.0002	0.0510 ±0.2234	0.0166±0.1249	1.449
Thaillium(Tl)	0.0005±0.0003	0.0005 ±0.0000	0.0007±0.0012	0.917
Vanadium(V)	0.0178±0.0771	0.0057 ±0.0029	0.0074±0.0135	0.809
Strontium(Sr)	0.5692±1.3020	0.6075 ±0.6380	0.3749±0.3309	0.910
Tin(Sn)	0.0247±0.552	0.0310 ±0.0472	0.0176±0.0192	0.911
Titanium(Ti)	0.1002±0.0937	0.1115 ±0.0659	0.0928±0.0402	0.552
Tungsten(W)	0.0017±0.0016	0.0016 ±0.0014	0.0020±0.0017	0.699
Zirconium(Zr)	0.0270±0.1239	0.0105 ±0.0022	0.0139±0.0167	0.532

¹⁾ Mean±SD.

manium: Ge), 바륨(barium: Ba), 비스무스(bismuth: Bi), 루비듐(Rubidium: Rb), 리튬(lithium: Li), 니켈(nickel: Ni), 플라티늄(platinum: Pt), 타리움(Thaillium, Ti), 바나듐(vanadium: V), 스트론튬(strontium: Sr), 틴(Tin: Sn), 티타늄(Titanium: Ti), 텅스텐(tungsten: TW), 지코늄(zirconium: Zr)를 조사한 결과는 Table 4와 같았다. BMI에 따른 차이를 비교해 본 결과, 체중이 증가할수록 루비듐(Rb)이 증가하였으나, 다른 미량 미네랄에서는 차이가 없는 것으로 나타났다. 78명의 정상 아동들을 대상으로 한 국내의 연구에서 아동들의 연령이 증가할수록 모발 내의 루비듐 함량이 감소하는 것으로 보고되었으나²²⁾, 비만과의 관련성은 불분명하다. 모발 조직의 기타 원소들에 대한 비교 자료가 충분하지 못하므로 향후 비만과 모발 내 루비듐 함량과의 관계에 대한 보다 광범위한 조사가 필요한 것으로 보인다.

5. BMI에 따른 영양 미네랄의 상대적 비율

미네랄간의 상대적 비율은 단일 미네랄의 농도와는 달리 미네랄 간의 체내 상호작용을 반영한 결과로 나타날 수 있다. 따라서 모발 조직내 영양 미네랄의 비율을 BMI 그룹별로 비교해 보았다. 서 등¹⁴⁾은 성인 여성을 대상으로 한 연구에서 정상군과 비만군의 모발 조직내 Ca/Mg 비율은 통계적인 차이가 없음을 보고하였는데, 본 연구의 결과에서도 BMI에 따른 모발 조직내 Ca/Mg 비율의 차이는 관찰되지 않았다. 공 등¹¹⁾은 성인 남성에서 모발 내 칼슘과 마그네슘 농도의 각각은 인슐린 민감도와 상관성이 없으나 Ca/Mg 농도비는 역의 상관관계가 있음을 보고하여서 차이를 보였다.

Table 5. The relative ratio of the nutritional minerals by BMI group

(unit: mg%)

	NW(n=64)	OW(n=20)	OB(n=64)	F value
Ca/P	7.47± 5.42 ¹⁾	8.38± 7.23	7.2 ± 5.47	0.317
Na/K	2.58± 2.77	2.75± 2.62	2.06± 4.06	0.519
Ca/K	60.78±75.80 ^{b2)}	18.34±22.73 ^a	11.77±19.64 ^a	15.087*** ³⁾
Zn/Cu	0.17± 0.17	0.40± 1.11	0.24± 0.37	1.688
Na/Mg	6.38±35.51	4.72± 5.97	10.83±16.09	0.672
Ca/Mg	16.44±19.30	12.88± 3.60	15.85± 5.66	0.553
Fe/Cu	0.43± 0.31	0.59± 0.57	0.69± 0.91	2.465

¹⁾ Mean±SD,²⁾ ^{ab}: Different letter indicate significant difference at $\alpha=0.05$ in a row,³⁾ *** $p<0.001$.

모발 조직의 Ca/K 비율은 정상군과 비만군 사이에서 뚜렷한 차이를 나타냈다($p<0.001$). Ca/K 비율은 비만도가 높을수록 낮아지는 경향을 보였으며, 과체중군에 비해 비만군에서 더욱 뚜렷하게 낮아졌다. 이것은 BMI에 따른 Ca 함량에는 유의적인 차이가 없었으나, 비만군의 모발 조직에서 K 농도가 높았기 때문인 것으로 보인다.

6. BMI와 영양 미네랄간의 상관성

BMI와 모발 미네랄과의 상관관계를 분석한 결과(Table 6), BMI가 높을수록 Na와 K가 유의적으로 양의 상관관계를 보였다($P<0.01$), 모발 조직내 Fe 함량도 같은 경향을 보였다($P<0.05$). 그러나 아연의 경우, BMI가 증가함에 따라 모발

Table 6. Correlation of BMI and hair mineral contents

	BMI	Ca	Mg	Na	K	Cu	Zn	Fe	Hg	Cd	Pb	Al
BMI	1											
Ca	-0.122	1										
Mg	-0.015	0.826**	1									
Na	0.482**	-0.156	-0.083	1								
K	0.357**	-0.237**	-0.170*	0.702**	1							
Cu	-0.062	0.058	-0.001	-0.051	-0.087	1						
Zn	-0.634**	0.152	0.051	-0.392**	-0.418**	0.121	1					
Fe	0.191*	0.412**	0.372**	0.089	0.084	0.010	-0.095	1				
Hg	-0.002	-0.072	-0.070	-0.010	-0.023	-0.024	-0.038	-0.085	1			
Cd	0.191*	0.038	0.091	0.282**	0.304**	0.356**	-0.273**	0.080	-0.033	1		
Pb	0.079	-0.094	-0.113	0.223**	0.074	0.299**	-0.123	-0.055	0.004	0.315**	1	
Al	0.121	-0.055	-0.091	0.071	0.115	-0.050	-0.225**	0.057	-0.031	0.090	-0.017	1

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$.

조직의 아연이 음의 상관관계를 보이며 감소하였다($P < 0.05$). 유독성 미네랄의 경우 BMI가 증가할수록 모발내의 Cd 함량이 증가하여 양의 상관관계를 나타냈으며, 중금속인 납의 함량이 높을수록 카드뮴 함량도 증가하였다. 또한, BMI가 증가할수록 모발 내 Mg와 Na 함량이 증가하였으며, Zn 함량은 감소하였다($P < 0.01$).

요약 및 결론

이 연구는 BMI에 따른 미량 영양소의 불균형과 비만과의 관련성을 관찰하고 향후 모발 미네랄 상태에 따른 균형식 처방을 위한 메뉴 개발의 기초 자료 수집을 목적으로 수행되었으며, 건강한 성인 148명을 대상으로 BMI에 따른 모발 미네랄의 차이를 비교 분석한 결과는 다음과 같았다.

1. BMI의 평균은 정상군 $20.56 \pm 1.27 \text{ kg/m}^2$, 과체중군은 $24.17 \pm 0.63 \text{ kg/m}^2$, 비만군은 $27.72 \pm 9.79 \text{ kg/m}^2$ 이었으며, 정상체중군에 비해 과체중과 비만군이 유의적으로 키가 크고 체중도 높게 나타났다($P < 0.001$).
2. BMI에 따른 모발 조직 내 미네랄 함량을 분석한 결과, 모발의 아연(Zn) 함량은 비만도가 높을수록 감소하는 경향을 보여서 비만도가 높을수록 모발의 아연 농도가 감소하였으며, 정상체중군에서 가장 높았다($p < 0.001$). 이와는 달리 모발의 Na($p < 0.0001$)와 K($p < 0.01$) 함량은 체중이 증가함에 따라 모발 내 농도도 증가하는 경향을 보여주면서 비만군에서 유의적으로 높았다. 철분 역시 체중이 증가함에 따라 유의적으로 증가하는 경향을 보였다($p < 0.05$).
3. 독성 미네랄인 안티모니(antimony: Sb), 우라늄(uranium:

U), 비소(arsenic: As), 베릴륨(beryllium: Be), 수은(mercury: Hg), 카드뮴(cadmium: Cd), 납(lead: Pb)과 알루미늄(aluminum: Al)의 모발 조직 내 함량은 BMI에 따른 유의적인 차이가 관찰되지 않았다.

4. BMI에 따른 모발 조직내 기타 원소들의 함량은 체중이 증가할수록 루비듐(Rb)이 증가하였으나, 다른 미량 미네랄에서는 차이가 없는 것으로 나타났다.
5. BMI에 따른 모발 조직내 Ca/Mg 비율의 차이는 관찰되지 않았지만 Ca/K 비율은 비만도가 높을수록 낮아지는 경향을 보였으며, 과체중군에 비해 비만군에서 더욱 뚜렷하게 낮아졌다($p < 0.001$).

본 연구의 제한점으로는 비교 분석이 가능한 모발 미네랄 자료가 불충분하여 외국인의 기준을 적용하였다는 점과 모발 미네랄 사이의 상호관련성을 비교하여 해석하기 어려운 점, 혈액 등 다른 생화학적 지표를 동시에 측정하지 못하여 비교를 하지 못한 점 등이 있으나, BMI에 따른 분명한 차이를 나타낸 Na, K, Fe, Zn 등은 비만에 따른 미네랄 불균형의 결과로 볼 수 있을 것으로 생각된다. 정상체중군은 과체중이나 비만군에 비해 모발 조직의 아연(Zn)이 높고 나트륨(Na), 칼륨(K), 철(Fe) 등이 낮은 특징을 갖고 있는데, 비만군에게 이들 미네랄이 조정된 메뉴를 제공하여 음식물로 섭취하도록 권장할 필요가 있다. 또한, 현재의 연구 결과를 특정 미네랄의 불균형과 비만을 직접적으로 연관지어 해석하는데 무리가 있지만 모발 미네랄의 불균형을 조정하여 정상체중군과 비슷한 수치로 변화시킬 경우, 비만이 해소될 가능성도 고려해 볼 수 있다. 그러므로 이 연구를 통하여 개인별로 서로 다른 비만의 요인을 평가하는 도구로 모발 미네랄의 활용 가능성을 탐색할 수 있었으며, 비만과 연관성이 있는 미네랄을 조절할 수

있는 음식을 섭취하거나 과잉으로 평가된 미네랄을 제한하는 등의 개인별 맞춤 식사 처방의 근거자료로 활용할 수 있는 가능성을 제시했다. 향후 이러한 미네랄 불균형이 이루어지게 되는 의학적, 개인적, 환경적 그리고 심리적 문제점을 파악하여 일반적 비만관리 지침이 아닌 개인별로 세분화된 통합적 관점에서의 접근이 필요한 것으로 보인다.

참고문헌

- Chandra, RK. Cell-mediated immunity in genetically obese (C57BL/6J ob/ob) mice. *Am. J. Clin. Nutr.* 33:13-16. 1980
- Luque-Diaz, MJ, Dean-Guelbenzu, M and Culebras-Poza, JM. Changes in the metabolism of iron, copper and zinc in obesity. *Rev. Exp. Fisiol.* 38:155-158. 1982
- Jang, SI, Kim, KG, Lee, BK, Kim, HJ, Yoo, SH and Kang, HC. Hair mineral analysis in diabetes. *Family Medicine.* 23:1133-1140. 2002
- 김경수. 모발 조직 미네랄 검사클리닉(Hair Tissue Mineral Analysis Clinic), 새로 쓰는 가정의. 2003
- Kruse-Jarres, JD. Limited usefulness of essential trace element analysis in hair. *Am. Clin. Lab.* 31:477-481. 2000
- Watts, DL, Mercola, JM, Kaminski, Jr MV, Glade, MJ and Seidel, S. Accuracy of hair mineral analysis. *J. Am. Med. Assoc.* 285:1576-1578. 2001
- Erten, J, Arcasoy, A, Cavdar, AO and Cin, S. Hair zinc levels in healthy and malnourished children. *Am. J. Clin. Nutr.* 31:1172-1174. 1978
- Laker, M. On determining trace element levels in man: the use of blood and hair. *Lancet.* 31:260-262. 1982
- Kim, HS. Toxic metal and mineral balance in human hair. *Institute of Global Environment Journal.* 7:186-198. 1996
- Cho, HH, Jung, IC, Jung, JE, Choi, SK, Kim, SY, Kim, MR, Lim YT, Kim EJ and Kim, JH. Clinical symptom of premenstrual syndrome in Korean women according to tissue mineral concentration. *Kor. J. Obstet Gynecol.* 51:60-67. 2008
- Kong, MH, Park SB and Kim, KM, Kim, Joo, NS, Lee, TY and Choi, SH. Calcium and magnesium levels of hair tissue and insulin sensitivity. *Kor. J. Obes.* 16:111-115. 2007
- Lee, JY, Lee, MZ and Choi, WC. Aspect of minerals in the hair of smokers. *Kor. J. Env. Health.* 31:107-114. 2005
- 김종관. 위암환자에서 위절제술 전후의 미네랄(무기질)함량의 분석, 연세대학교 대학원 의학과 석사학위 청구논문. 2003
- Suh, HS, Chang, SY, Choi, JY, Lee, SN and Lee, KR. The association of hair tissue magnesium level with obesity related variables. *Kor. J. Obes.* 14:22-28. 2005
- Park, HS and Sin, GO. Hair zinc and lead: relationship to nutrient intake and height and body weight in Korean preschool children. *Kor. J. Nutr.* 37:193-201. 2004
- Margarita, GS and Vasily, AD. Hair trace element contents in women with obesity and type 2 diabetes. *J. Trace Element in Med. and Biol.* 21:59-61. 2007
- Chen, MD, Lin, PY and Cheng, V. Zinc in hair and serum of obese individuals in Taiwan. *Am. J. Clin. Nutr.* 48:1307-1309. 1988
- Lee, EJ and Kim, SM. The association of hair zinc with metabolic risk factors for selected women in Korea. *J. Kor. Soc. Study Obes.* 14:170-177. 2005
- Campbell, JD. Lifestyle, minerals and health. *Medical Hypotheses.* 57:521-531. 2001
- Kopiyo, L. Chronic plumbism in children. *J. Am. Med. Assn.* 209:14. 1969
- Airey, D. Mercury in human hair due to environment and diet. *Env. Health Perspectives.* 52:303-316. 1983
- Kim, JN and Song, HJ. Hair mineral analysis of normal Korean children. *Kor. J. Dermatol.* 40:1518-1526. 2002

(2008년 5월 20일 접수; 2008년 6월 21일 채택)