

여성에서 절식이 에너지 대사산물 및 혈청 PTH 수준과 무기질 배설에 미치는 영향*

박 현 서¹ · 이 은 옥^{2*}

경희대학교 생활과학대학 식품영양학과, 동서의학대학원 중앙학과^{**}

Effect of Complete Fasting on Energy Metabolites and Serum Parathyroid Hormone and Mineral Excretion in Women*

Park, Hyun-Suh¹ · Lee, Eun-Ok^{**}

Department of Foods and Nutrition, Kyung Hee University, Seoul 130-701, Korea
Graduate School of East-West Medical Science, Department of Oncology,^{**} Kyung Hee University, Suwon 449-701, Korea

ABSTRACT

This study was designed to observe the change of body composition and nutrient metabolites and the excretion of minerals during complete fasting for 10 days in thirty women. Average loss of body weight was 7.98kg and body fat was gradually reduced after 9 days fasting, but the loss of lean body mass was reduced after 7 days fasting. Serum glucose level was sustained at constant level, but serum levels of blood urea nitrogen, free fatty acid and β -hydroxybutyrate were significantly increased during fasting but decreased after re-feeding. Urinary excretions of 3-methylhistidine, total creatinine, and urea were high in the beginning of fasting but gradually decreased. Serum level of parathyroid hormone was significantly reduced by fasting but regained after re-feeding. Serum level of minerals was at the constant level throughout the experimental period. The urinary excretion of minerals(Ca, K, Mg, P) was significantly increased in the early stage of fasting and then reduced from 7 days, but the excretion of Zn was continuously increased until the late stage of fasting. These results showed that amino acid and fatty acid released from the breakdown of muscle protein and body fat, respectively, were utilized for energy during fasting. Body weight and BMI were reduced because of the increased muscle protein breakdown and body water excretion during early stage of fasting, but the significant body fat loss was after 9 days fasting. Therefore, it could be suggested to fast for longer than 10 days if the reduction of body fat was planned by fasting, and recommended to exercise and ingest more vitamins and minerals to replace the excreted minerals during fasting. (*Korean J Nutrition* 34(5) : 547~553, 2001)

KEY WORDS: fasting, body fat, energy metabolism, PTH, mineral excretion.

서 론

체중감량을 위한 한 방법으로 단기간에 음식을 전혀 섭취하지 않는 절식요법이 처음 소개된 이후 절식이 고도의 비만환자에게 체중감량을 위한 가장 빠르며 효과적인 치료법으로 알려졌다.¹⁾ 음식의 섭취가 극도로 부족한 생리적인 상태로 체내에서 여러 가지 변화가 일어나는데 특히 에너지대사가 주목할만 하다.^{2,3)} 절식으로 포도당의 공급이 낮아졌을

때 뇌와 신체의 여러 기관에서 근육단백질을 분해하여 포도당을 공급하여 줌으로서 질소손실이 나타나지만^{2,3)} 절식이 장기간 지속될 때에는 지방조직이 분해되어 지방산을 이용함으로써 ketone body 생성이 증가하여 acidosis를 유발시킨다.²⁾ 그런데 acidosis는 혈중의 Ca 농도를 조절하는 parathyroid hormone(PTH)에도 영향을 주어 무기질 대사에도 영향을 미친다고 하였다.⁴⁾ 그러므로 본 연구에서는 절식동안 체중 및 신체구성성분 등의 변화에 따른 현상을 관찰하고 에너지원의 변화와 대사과정을 살펴봄으로써 절식에 의한 체중감량의 문제점을 파악하여 건강에 무리가 가지 않는 효과적인 절식요법을 제안하고자 하였다.

접수일 : 2001년 4월 30일

채택일 : 2001년 7월 11일

*This work was supported by a grant from Kyung Hee University Research Foundation(2000).

¹To whom correspondence should be addressed.

재료 및 방법

1. 대상자

본 연구는 경희의료원 한방병원 재활의학과 비만 클리닉에 1997년 1월 20일에서 1997년 6월 21일 사이에 참여한 여자 30명을 대상으로 실시되었다. 비만 클리닉은 최소 3일간의 감식기, 10일간의 절식기 그리고 10주간의 회복기로 나누어지고, 이 중 감식기 1일(입원일), 절식기 10일과 회복기 2일은 병원에서 이루어지며, 입원당일과 회복기 2일 동안에는 현미·울무 미음이 제공되고 절식기 10일 동안에는 감잎 차와 물만 제공되었다. 비만 클리닉 프로그램에는 산책은 오전, 오후에 1시간씩, 냉온욕 및 사우나는 30분간, 광선요법, 전기요법, 부항요법, 수기요법등의 물리요법 1시간, 경사침대와 다리떨기등의 기기를이용한 도인안교 30분간을 실시하고 있었다.

2. 신체계측

신체계측은 절식전, 입원일, 절식 1일, 3일, 5일, 7일, 9일과 10일째, 회복기 2일째와 16일째에 각각 실시하였으며 (Fig. 1) 절식전과 회복기 16일에는 가벼운 옷차림으로, 입원기간에는 환자복을 입은 상태에서 측정하였다. 신장은 신장기를 이용하여 측정하였고 체중, 체지방량, 체질량지수와 체수분량은 생체 전기 임피던스법(Bioelectrical Impedance Analysis)의 원리를 이용한 체성분 분석기인 InBody 2.0(Biospace Co., Ltd)로 측정하였다.

3. 시료준비

혈액은 절식전, 절식 10일째와 회복식 16일째에 각각 공복상태에서 채혈하여 혈청을 분리하여 냉동 보관하였다. 소변은 부패를 방지하기 위하여 toluene 1ml를 넣은 플라스틱 채뇨용기를 사용하여 24시간 동안 수거하여 총부피를 측정한 후 50ml을 따서 냉동 보관하였다.

4. 생화학적 분석

혈청의 포도당 농도는 효소법⁹⁾으로 측정하였으며 유리지

방산은 Itaya의 방법⁶⁾에 의해 채혈당시 혈액 200 μ l를 취해 0.9% NaCl 0.7ml과 혼합후 3000rpm에서 10분간 원심분리하여 상층액을 0.5ml을 따서 분석에 이용하였다. β -hydroxybutyrate(β -HBA)농도는 Williamson의 방법⁷⁾을 이용하여 측정하였으며 blood urea nitrogen(BUN) 농도는 diacetylmonoxime법⁸⁾으로 측정하였다. 혈청의 PTH농도는 ¹²⁵I를 이용한 RIA kit(Radim사)로 측정하였다. 소변중 creatinine 함량은 Jaffe reaction법⁹⁾으로 측정하였고, ur-
ea 함량은 증류수로 20배 희석하여 diacetylmonoxime법⁸⁾으로 측정하고, 3-methylhistidine(3-MH) 함량은 internal standard인 histidinol을 첨가하여 high performance liquid chromatography(HPLC)로 정량하는 Wassner 등의 방법¹⁰⁾을 이용하였다.

혈청과 소변의 무기질(Ca, Mg, P, Zn, K)함량은 David 등의 방법¹¹⁾을 이용하여, 혈청은 증류수로 34배 희석하고 소변은 10배 희석하여 ICP(Inductively Coupled Plasma) Emission Spectroscopy(IRIS/AP, Thermo Jarrell Ash)를 이용하여 각각 측정하였다.

5. 통계처리

모든 실험결과의 통계처리는 SAS program(version 6.02)을 이용하였고, 결과는 평균 \pm 표준편차로 표시하였으며, 날짜별 평균간의 차이를 보기 위해 repeated measurement statement를 이용한 general linear model(GLM)로 유의수준 $p < 0.05$ 에서 Duncan's multiple range test로 검증하였다.

결 과

1. 체중 및 신체구성 성분의 변화

절식 10일후에 체중은 평균 7.98kg이 감소되었는데 절식 9일까지 유의하게 감소되었으며($p < 0.05$) 절식초기인 1일에서 5일 사이에 감소 폭이 컸으며, 회복식을 하였을 때 조금씩 증가하였으나 유의한 차이는 아니었다. BMI는 체중 감소와 비슷한 양상을 보였으나 회복식후에 점차 유의하게

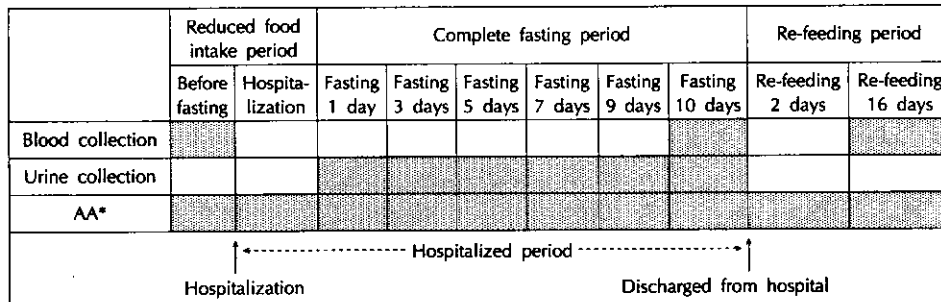


Fig. 1. Experimental design.
*AA: anthropometric assessment

Table 1. Effect of complete fasting and refeeding on body mass index and body composition in women

	BF ¹⁾	H ²⁾	F1 ³⁾	F3 ⁴⁾	F5 ⁵⁾	F7 ⁶⁾	F9 ⁷⁾	F10 ⁸⁾	R2 ⁹⁾	R16 ¹⁰⁾
Weight(kg)	77.69 ± 13.30 ^a	75.98 ± 12.52 ^b	75.31 ± 12.49 ^c	73.39 ± 12.39 ^d	71.79 ± 12.12 ^e	70.75 ± 11.97 ^f	69.98 ± 11.94 ^g	69.71 ± 11.90 ^h	69.81 ± 12.48 ⁱ	70.20 ± 10.35 ^h
BMI(kg/m ²)	29.76 ± 4.88 ^a	29.10 ± 4.56 ^b	28.85 ± 4.55 ^c	28.11 ± 4.54 ^d	27.50 ± 4.44 ^e	27.10 ± 4.37 ^f	26.80 ± 4.35 ^{gh}	26.73 ± 4.32 ^h	26.98 ± 4.48 ^{ik}	27.46 ± 4.09 ^e
fat(kg)	27.75 ± 8.04 ^{ab}	27.75 ± 8.17 ^{ab}	28.30 ± 8.13 ^a	28.27 ± 7.61 ^a	27.67 ± 7.35 ^{bc}	27.81 ± 7.80 ^a	27.05 ± 7.36 ^b	26.99 ± 7.57 ^b	27.31 ± 7.98 ^b	23.22 ± 4.60 ^c
LBM(kg)	49.94 ± 5.94 ^a	48.24 ± 5.23 ^b	47.01 ± 5.33 ^b	45.12 ± 5.45 ^c	43.64 ± 5.28 ^d	42.93 ± 5.48 ^d	42.45 ± 5.34 ^d	42.26 ± 5.26 ^d	40.78 ± 8.59 ^e	45.42 ± 6.19 ^c
TBW(l)	35.91 ± 4.61 ^a	34.76 ± 3.99 ^b	33.87 ± 3.94 ^c	32.37 ± 4.04 ^d	31.28 ± 3.98 ^e	30.61 ± 4.06 ^{ef}	30.28 ± 3.89 ^f	30.07 ± 3.80 ^f	30.20 ± 4.02 ^f	32.97 ± 4.81 ^d

Different superscripts in the same row are significantly different between days at p < 0.05. Values are mean ± SD.

- 1) BF: Before fasting, n = 30
- 2) H: Hospitalization, n = 30
- 3) F1: Fasting for 1 day, n = 30
- 4) F3: Fasting for 3 days, n = 30
- 5) F5: Fasting for 5 days, n = 30
- 6) F7: Fasting for 7 days, n = 30
- 7) F9: Fasting for 9 days, n = 30
- 8) F10: Fasting for 10 days, n = 30
- 9) R2: Re-feeding for 2 days, n = 30
- 10) R16: Re-feeding for 16 days, n = 10

LBM: lean body mass

TBW: total body water

증가하는 경향을 보였다(p < 0.05). 체지방량은 절식 7일까지 감소량이 적었지만 절식 9일 이후에는 점차 감소량이 증가하다 회복식 16일째에 급격히 감소하였다. Lean body mass(LBM)와 total body water(TBW)는 절식초기에 감소 폭이 컸고, 회복식 2일째까지 유의하게 감소하였으며 회복식 16일째에 다시 유의하게 증가하였다(p < 0.05)(Table 1).

2. 혈액중의 에너지대사산물과 PTH 및 무기질 농도의 변화

혈청의 포도당 농도는 절식 전에 비해 절식 10일째에 약간 감소되었으나 유의한 차이는 아니었으며, 회복식후에 다시 전과 같은 수준으로 증가되어 포도당 농도는 연구기간 동안 일정한 수준을 유지하였다. 혈청의 유리지방산 농도는 절식전에 비해 절식 10일째에 유의하게 증가되었으며, 회복식후에 유의하게 다시 감소되긴 하였으나 절식전에 비해서는 아직도 유의하게 높은 수준을 보였다(p < 0.05). β-HBA 농도는 절식으로 인해서 유의하게 높은 수준으로 증가하였다가 회복식후에 유의하게 다시 감소하여(p < 0.05) 절식전보다 높은 수준이었으나 절식전과 회복식후에 유의한 차이는 없었다. BUN 농도는 절식 10일째에 유의하게 증가하였다가 회복식후에는 유의하게(p < 0.05) 낮아져 절식전보다도 더 낮은 수준을 보였다(Table 2). PTH 농도는 절식전에 비해 절식 10일째에 유의하게 감소하였으며, 회복식후에 다시 유의하게 증가하여 절식전과 비슷한 수준을 보였다(p < 0.05). 혈중 Ca, K, Mg, P 농도는 일정하게 유지되었으며, Zn농도는 유의한 수준은 아니지만 절식후에 약간 증가되었고 회복식 후에는 절식전에 비해 오히려 더 높은 경향을 보였다(Table 3).

3. 소변중의 근육분해산물과 무기질배설량의 변화

대상자가 병원에 입원하기전에는 하루 소변량을 모두 수거하기가 어려워서 절식전과 회복식후에는 자료를 얻지를 못하였으나 입원하고 있는 기간동안 얻은 소변중 creatinine의 총 배설량은 유의한 차이는 아니었지만 절식이 진행

Table 2. Effect of complete fasting and refeeding on serum levels of glucose, free fatty acid, β-hydroxybutyrate and blood urea nitrogen in women

	BF ¹⁾	F10 ²⁾	R16 ³⁾
Glucose(mg/dl)	86.27 ± 9.99	82.67 ± 12.61	86.00 ± 12.76
FFA(mg/dl)	23.60 ± 7.05 ^c	36.72 ± 8.63 ^a	30.38 ± 13.13 ^b
β-HBA(ug/dl)	57.26 ± 35.29 ^b	192.19 ± 92.76 ^a	74.02 ± 63.19 ^b
BUN(mg/dl)	11.80 ± 2.82 ^b	14.60 ± 5.03 ^a	8.00 ± 2.49 ^c

Different superscripts in the same row are significantly different between days at p < 0.05. Values are mean ± SD.

- 1) BF: Before fasting, n = 30
- 2) F10: Fasting for 10 days, n = 30
- 3) R16: Re-feeding for 16 days, n = 10

되면서 7일째까지 점차 감소되는 현상을 보였으며, 절식 9일째에는 절식 1일째에 비해 유의하게($p < 0.05$) 낮아졌다. 하루에 배설된 urea 총량은 절식 3일째에 약간 증가하였으나 절식 1일째와는 유의한 차이는 아니었고 절식 5일째부터 배설량이 점차 감소하여 절식 9일째에 가장 낮았으며 creatinine 단위 g 당 배설된 urea 배설량을 urea/creatinine 비율로 비교해 보면 절식 1일째에 비해 절식 3일째에 유의하게 증가하였으나 절식 5일째 이후로는 유의하게($p < 0.05$) 다시 감소하였다. 3-MH의 총 배설량은 절식전의 자료는 알수가 없으나 절식 1일째에 가장 높았으나 절식이 진행되면서 배설량이 감소하는 경향을 보였으며 5일째부터는 유의하게 더 낮았고($p < 0.05$) 절식 9일째에는 가장 낮았다. 다시 이 자료를 3-MH/creatinine 비율로 표시해 보면 3-MH 배설량은 절식 3일째에 증가하였으나 절식 1일째와는 유의한 차이는 아니었고 점차 감소하여 절식 5

일 이후로 점차 감소하여 절식 3일째에 비해 9일째는 유의하게($p < 0.05$) 더 낮았다(Table 4). Ca과 K의 배설량은 절식 3일째에 가장 높았으며 그 이후에는 점차 감소되어 절식 1일에 비해 유의하게($p < 0.05$) 더 낮았다. P 배설량은 절식 5일째에까지 계속 높게 배설되다가 7일째에는 감소되기 시작하여 9일에는 유의하게($p < 0.05$) 낮았다. Mg 배설량은 절식이 진행될수록 점차 감소하였으나 Zn 배설량은 절식 5일째와 7일째까지 유의하게($p < 0.05$) 증가하다 절식 9일째에 감소하였다(Table 5).

고 찰

1. 체구성의 변화

비만 클리닉에서 여러 가지 프로그램을 실시하고 있었지만 프로그램을 제대로 지켜고 있는 참여자들은 드물었다. 특히 산책, 물리치료와 도인안교는 적당량의 활동을 요하는 프로그램이었지만 개개인에 따라 하지 않거나 대충하는 참여자들이 대부분이었고, 제대로 시간 맞춰서 하는 참여자들은 극히 적었다. 또한 절식이 진행될수록 어지러움증을 호소하며 침대에만 누워 있는 참여자들도 많아져서 활동량은 거의 미비한 편이었다. 이에 반해 체중이 절식 9일까지 유의하게($p < 0.05$) 점차 감소되어 10일후에는 평균 7.98kg이 감소되었다. 이때 감소된 내용을 살펴보면 절식초기인 1일에서 5일 사이에는 감소 폭이 컸으며, 회복식을 하였을 때는 유의한 차이는 아니었지만 조금씩 증가하였다. 절식 5일째까지 LBM 와 TBW의 손실이 컸으며 그 이후에는 점

Table 3. Effect of complete fasting and refeeding on serum levels of parathyroid hormone and minerals in women

	BF ¹⁾	F10 ²⁾	R16 ³⁾
PTH(pg/ml)	36.87 ± 18.91 ^a	23.37 ± 11.11 ^b	34.71 ± 13.63 ^a
Ca(mg/dl)	10.61 ± 1.33	10.81 ± 0.54	10.76 ± 0.81
K(mg/dl)	20.19 ± 4.58	19.49 ± 4.01	18.24 ± 3.53
Mg(mg/dl) ~	2.17 ± 0.30	2.21 ± 0.30	2.24 ± 0.23
P(mg/dl)	13.93 ± 2.21	13.50 ± 1.82	14.20 ± 1.46
Zn(mg/dl)	0.10 ± 0.02 ^{ab}	0.15 ± 0.03 ^{ab}	0.22 ± 0.29 ^a

Different alphabets in the same row are significantly different between days at $p < 0.05$. Values are mean ± SD.

1) BF: Before fasting, n = 30

2) F10: Fasting for 10 days, n = 30

3) R16: Refeeding for 16 days, n = 10

Table 4. Effect of complete fasting on urinary excretion of total-creatinine, urea and 3-methylhistidine in women

	F1 ¹⁾	F3 ²⁾	F5 ³⁾	F7 ⁴⁾	F9 ⁵⁾
Total-creatinine(mg/day)	819.92 ± 341.42 ^a	748.26 ± 317.06 ^{ab}	706.30 ± 359.11 ^{ab}	690.17 ± 291.66 ^{ab}	618.41 ± 337.50 ^b
Urea(g/day)	4.43 ± 3.34 ^a	5.23 ± 3.60 ^a	2.70 ± 1.58 ^b	2.29 ± 1.37 ^b	1.69 ± 1.24 ^b
Urea/Creatinine	4.98 ± 2.67 ^b	6.69 ± 3.83 ^a	4.09 ± 1.84 ^{bc}	3.48 ± 1.84 ^c	2.82 ± 1.37 ^c
3MH(mg/day)	210.91 ± 203.29 ^a	193.36 ± 136.84 ^{ab}	128.28 ± 70.02 ^{bc}	129.98 ± 77.60 ^{bc}	100.59 ± 86.20 ^c
3MH/Creatinine	0.22 ± 0.15 ^{ab}	0.26 ± 0.14 ^a	0.18 ± 0.07 ^{ab}	0.17 ± 0.06 ^{ab}	0.15 ± 0.08 ^b

Different superscripts in the same row are significantly different between days at $p < 0.05$.

Values are mean ± SD, n = 30

1) F1: Fasting for 1 day

2) F3: Fasting for 3 days

3) F5: Fasting for 5 days

4) F7: Fasting for 7 days

5) F9: Fasting for 9 days

Table 5. Effect of complete fasting on urinary excretion of minerals in women

	F1 ¹⁾	F3 ²⁾	F5 ³⁾	F7 ⁴⁾	F9 ⁵⁾
Ca(mg/day)	52.41 ± 31.24 ^{bc}	73.56 ± 32.20 ^a	56.09 ± 27.92 ^b	41.07 ± 23.06 ^{cd}	31.07 ± 18.44 ^d
K(g/day)	0.64 ± 0.37 ^b	0.85 ± 0.46 ^a	0.83 ± 0.50 ^a	0.53 ± 0.28 ^b	0.32 ± 0.22 ^c
Mg(mg/day)	31.99 ± 20.11 ^a	28.98 ± 15.15 ^{ab}	22.27 ± 12.22 ^b	13.56 ± 11.97 ^c	8.29 ± 8.54 ^c
P(g/day)	0.29 ± 0.19 ^{ab}	0.35 ± 0.19 ^a	0.37 ± 0.21 ^a	0.24 ± 0.15 ^{bc}	0.17 ± 0.11 ^c
Zn(mg/day)	0.44 ± 0.28 ^c	0.47 ± 0.28 ^c	0.78 ± 0.62 ^b	1.09 ± 0.75 ^a	0.81 ± 0.6 ^b

Different superscripts in the same row are significantly different between days at $p < 0.05$.

Values are mean ± SD, n = 30.

1) F1: Fasting for 1 day

2) F3: Fasting for 3 days

3) F5: Fasting for 5 days

4) F7: Fasting for 7 days

5) F9: Fasting for 9 days

차 손실량이 감소되었으나 절식기간인 10일까지 계속 적은 량이지만 손실되고 있었다. 그러나 회복식 후에는 TBW량은 증가되기 시작하였으나 LBM량은 2일째에는 감소되었으나 16일째에는 유의하게($p < 0.05$) 증가하였다(Table 1). 반면 체지방량은 절식 7일까지 거의 변화가 없다가 절식 9일과 10일째에 유의하게($p < 0.05$) 감소되었으며 회복식 16일째에 급격히 감소하였다. 이는 Faintuch 등¹²⁾의 연구와 유사한 경향으로 특히 체지방은 43일간 절식후에 60%까지 감소되었다고 보고하고 있다. 본 연구대상자들의 활동량이 미비했던 점을 고려할때에 절식기간에 프로그램에 맞춰 운동이 잘 병행했다라면 체지방의 감량이 더 많이 이루어졌을것이라고 사료된다. 본 연구에서 체중의 변화는 LBM와 체수분의 변화에 의해 영향을 받은 것으로 절식초기에 체중 감소가 높았던 것은 LBM와 체수분의 감소가 초기에 높았기 때문이며, 절식후기에는 체수분과 LBM 손실량이 감소되면서 체중감소량도 같이 줄었다.

2. 절식기간중 체단백질과 체지방의 분해

절식 후에도 혈청의 포도당 농도는 일정수준을 유지하였으나 BUN 농도 및 유리지방산과 β -HBA의 농도가 모두 유의하게($p < 0.05$) 증가하였다(Table 2). 이미 보고된 것³⁾과 같이 절식시에는 간에 저장된 glycogen에서 포도당을 공급하나 절식이 진행되면서 glycogen도 고갈된다. 따라서 체단백질의 분해로 나온 아미노산을 이용하여 포도당을 생합성함으로써 혈중 포도당 농도가 일정하게 유지할 수 있다고 본다. 이때 혈액 채취를 주기적으로 할수가 없었기 때문에 절식 마지막 10일째의 자료를 검토하면 혈청의 BUN 농도가 절식전보다 유의하게($p < 0.05$) 더 높았으며(Table 2), 소변에 배설된 urea량은 절식 3일째까지 유의하게($p < 0.05$) 증가하였다가 점차 감소되었다(Table 4). 혈청과 소변의 자료를 연결하여 보면 혈중 BUN 농도도 절식 1일에서 3일까지는 11.8mg/dl 보다 더욱 높았다가 점차 감소되었을 것이라고 예상되며, 절식 10일에도 아직 절식전보다는 유의하게 더 높은 것을 보면 소변의 urea 배설량도 절식 1일에 이미 많은 양의 체단백질이 분해되어 높은 수준을 보였을 것이라고 본다.

절식이 진행되면서 체단백질의 분해도 차츰 감소되면서 포도당 생합성도 감소되므로 이미 알려진 것³⁾과 같이 체지방이 분해되어 지방산이 유출되어 절식전(23.6mg/dl)에 비해 절식 10일(36.7mg/dl)에는 유의하게($p < 0.05$) 더 높았으며(Table 2). 이에 따라 ketone body중의 하나인 β -HBA 농도도 절식전(57.3 μ g/dl)에 비해 절식 10일에는 192.2 μ g/dl로서 유의적으로($p < 0.05$) 3배 이상 증가된 것

을 보면 절식이 진행되는 동안 지방산이 주된 energy원으로 사용된다는 것을 알 수 있었다. 이는 절식으로 인해 혈중 포도당이 고갈되고 β -HBA이 점차 증가하면서 뇌의 에너지원으로 β -HBA를 사용한다는 보고¹³⁾와 일치한다. 회복식을 한 후에는 포도당 공급이 가능하여 혈청의 BUN 농도와 유리지방산 및 β -HBA 농도가 다시 유의하게($p < 0.05$) 낮아졌다. 유리지방산의 농도는 회복식 16일후에도 절식전에 보다 유의하게($p < 0.05$) 더 높은 수준을 보였는데 이것은 아마 회복식 16일에도 체지방이 아직도 분해되어 혈액으로 유출되고 있을 것이라고 사료된다.

3. 근육대사산물의 소변 배설량 변화

Creatinine은 절식 1일에서 부터 점차 배설량이 감소되면서 절식 9일에는 유의하게($p < 0.05$) 더 낮은량을 배설하였는데(Table 4) 이는 creatinine의 배설량은 근육량과 비례한다는 Crim 등³⁾의 보고로 보아 절식이 진행되면서 체단백질의 분해가 감소되어 근육량이 감소한데 기인된 것이다. 근육단백질의 분해가 일어나면 아미노산이 유출되어 나오고 유출된 아미노산은 간으로 가서 다시 이용되는데 3-MH은 다른 아미노산처럼 재사용이 불가능하여 소변으로 배설되므로써 근육단백질의 분해율을 측정할 수 있다.¹⁴⁾ 본 연구에서 절식이 진행되면 근육단백질의 분해가 왕성한 3일 까지는 3-MH 배설도 증가되지만 절식 3일후에는 급격히 배설이 감소되었으며 urea의 배설도 같이 감소되었는데 이는 10일동안 절식 실험을 한 Lowry 등¹⁵⁾의 실험결과와 동일한 결과이다. 즉 절식으로 근육단백질이 분해되어 나오면서 질소화합물의 배설량이 초기에는 많았지만 점차 분해율이 적어지면서 배설량도 감소된 것이다.

3. 혈청의 PTH 수준과 무기질 농도 및 배설량 변화

Ca은 이온화형태(Ca^{2+})가 47.5%와 단백질 결합형태가 46%인데 특히 혈중 Ca 농도를 유지하기 위해 작용하는 PTH는 이온화형태(Ca^{2+})의 Ca에 의해 조절된다고 하며¹⁶⁾ Ca^{2+} 는 acidosis상태에서 총 Ca중에 차지하는 비율이 증가한다는 보고도 있었다.¹⁷⁾ 따라서 acidosis 자체가 Ca대사에 중요한 영향을 미칠 것이라고 제안되어 왔는데,¹⁸⁾ in vitro 실험에서 acidosis가 osteoclast activity를 증가시키고 osteoblast기능을 방해하여 골격에서 Ca의 유출을 유도하거나 acidosis가 osteoclast activity와 상관없이 직접 무기질 용해를 증가시킨다는 결과도 보고되었다.¹⁹⁾ 또한 Grinspoon⁴⁾이 사람을 대상으로 한 4일간의 절식실험에서 acidosis를 방지하기위해 bicarbonate를 섭취시킨 군보다 대조군에서 Ca의 총량과 Ca^{2+} 농도가 증가하였고 PTH 농도는 감소하는 결과를 나타내어 4일동안의 절식으로 인한 ac-

idosis가 골격대사에 영향을 미친다는 것을 확인하였으며, Chan 등²⁰⁾의 보고에서도 혈청의 Ca^{2+} 농도가 증가되면 PTH 농도가 감소하였다는 음의 상관관계를 보고하였다.

본 연구에서도 혈청의 Ca 농도는 절식전·후와 회복식후에도 일정한 농도를 유지하였으나 혈청의 PTH 농도는 오히려 절식후에 낮아졌고(Table 3) Ca의 배설은 절식 3일째까지 증가하였으나 그 이후에는 배설량이 점차 감소하는 결과(Table 5)로 Grinspoon⁴⁾의 결과와 유사하게 나타났다. 이는 절식과정중에 생성되는 ketone body로 체내가 산성화되고 이에 따라 단백질과 결합한 형태의 Ca에서 분리가 일어나면서 이온화형태(Ca^{2+})의 Ca이 증가하여 혈중의 PTH 농도를 낮춤으로써 골격에서 Ca유출이 더 이상 되는 것을 막아서 Ca의 배설량이 점차 줄어들을 것이다. 또한 P도 PTH 농도의 감소와 함께 신장에서 평형을 유지하려는 기능으로 배설량이 점차 감소되었다. Rude 등²¹⁾이 보고된 바에 의하면 Mg이 결핍되면 PTH 농도가 감소하며 Mg주사를 놓게 되면 PTH 농도가 빠르게 상승한다고 하였는데, 본 연구에서도 절식으로 인한 Mg의 결핍이 PTH의 농도감소에 영향을 주었으리라고 사료된다. 한편, 절식초기에 Mg 배설량이 더 높았던 것은 근육단백질에 유입되어 있던 Mg이 LBM가 감소될 때 Mg이 유리되어 혈액으로 유출되어 신장으로 배설되었지만 Mg은 신장에서 평형유지에 중요한 역할을 하는 것으로 보고²¹⁾된 바 Mg의 혈청농도유지를 위해 배설량을 감소시켰을 것이라고 사료된다.

한편 Zn의 혈청 농도는 유의한 차이는 없었지만 절식을 하고 난 이후에 증가하는 경향이였다(Table 3). 소변으로 배설되는 Zn 함량도 절식 7일째까지 유의하게 계속 증가하다가 절식 9일째에 감소하였다(Table 5). 이 결과는 Elia 등²²⁾의 결과와 유사하게 나왔으며 이는 Zn가 다른 무기질과는 달리 LBM의 분해로 혈청에 증가되어 소변으로 유출된다고 밝히고 있으며 또한 Catabolic 상태에서 소변으로 배설되는 양이 증가된다는 보고²³⁾도 있다. 이에 본 연구에서도 절식으로 LBM의 분해가 증가되며 체내가 ketone body의 증가에 의해 산성화되어 Zn의 유출이 많아지는 것으로 생각된다. 그러나 다른 무기질에 비해 그 배설량이 더욱 장기간 지속되므로 Zn의 유출은 절식시에 나타날 수 있는 문제점중의 하나일 수도 있으며 Zn의 부족은 성장의 지연, 면역기능의 약화, 식욕부진, 생식기 발달의 저하 등²³⁾이 나타날 수 있으므로 절식 시에 Zn의 배설량이 잘 관찰되어야 할 것이며 Zn의 보충도 필요할 것으로 사료된다. 본 연구에서는 골밀도를 측정하지 않아서 연결시키기는 어려우나 혈청의 무기질 농도는 혈흔에 의해서 정상적인 수준으로 유지되었어도 소변으로 상당기간 배설량이 증가함으로써 절

식요법을 이용해서 반복해서 체중감소를 한다면 골밀도가 낮아져서 연령이 들어가면서 골다공증이 생길 가능성이 더 높을 수도 있다고 사려된다. 그러므로 절식으로 체중을 줄이려면 비타민과 무기질 보충을 할 것을 권장하고 싶다.

요약 및 결론

본 연구는 경희대 한방병원 비만클리닉에서 10일간의 절식요법에 의한 체중조절 프로그램에 참여하는 여자 30명에서 절식이 체구성의 변화, 체단백질과 체지방의 분해, 혈중의 PTH 농도와 무기질 배설량에 미치는 영향을 살펴보고자 하였다.

1) 연구대상자들의 평균체중은 77.69kg이었으며 BMI는 29.76kg/m²이었다. 절식후에 체중이 평균 7.98kg이 감량되었고 체지방은 9일이후에 감소되기 시작하였다.

2) 절식후에 혈청의 포도당 농도는 일정하게 유지되었으나 FFA, β -HBA, BUN농도는 절식후에 증가하였다가 회복식후에 감소되었다.

3) 소변으로 배설된 total creatinine, urea와 3-MH량은 모두 절식이 진행되면서 유의하게 점차 감소되었으며, urea와 3-MH 배설량은 절식 3일째까지 증가하여 체단백질의 분해가 왕성함을 보였으나 점차 감소하는 경향을 보였다.

4) 혈청의 PTH농도는 절식후에 유의하게 감소하였으며 혈액중의 Ca, K, Mg와 P농도는 일정수준으로 유지되었으나 Zn의 농도는 유의한 수준은 아니지만 점차 증가하는 경향을 보였다.

5) Ca과 K은 절식 3일째까지 P은 절식 5일째까지 배설량이 유의하게 증가하다 점차 감소하였으며, Mg배설량은 절식이 진행될수록 점차 유의하게 감소하였으나 Zn의 배설량은 절식 7일째까지 유의하게 증가하다 절식 9일째에 감소하였다.

완전 절식동안 절식초기 3~5일간에 주로 근육단백질이 분해되고 체수분이 손실되어 체중과 BMI가 감소되었다. 그러나 절식이 진행되면서 근육단백질의 분해가 억제되는 현상으로 creatinine, urea와 3-MH의 배설량이 감소되었고, 체지방은 절식 9일 이후에 감소되기 시작하였다. 장기간의 절식으로 체내가 acidosis현상이 일어나 절식후 PTH의 농도가 낮아져 Ca의 유출은 막았지만 장기적인 acidosis는 체내에 많은 영향을 주리라 생각된다. 또한 Zn의 계속적인 유출도 장기간의 절식시 고려하여야 할점이다. 그러므로 체중감량의 최대 목표인 체지방을 줄이기 위해서는 절식기간을 조금 더 길게 연장하되 반복해서 절식요법으로 체중감량을 시도하려면 무기질 배설을 감안하여 비타민과 무기질 보충

을 고려해야 한다고 사료된다. 또한 이 연구에서 절식기간 중에 활동량이 미비했다는 것을 고려할때에 무리한 절식으로만 체중을 감량할 것이 아니라 운동을 함께하면 더 좋은 결과를 가져오리라고 기대된다.

Literature cited

- 1) Benedict FG. Dramatic treatment for obesity. Diseased patients test starvation diet. *JAMA Medical News* 197(1): 22-31, 1966
- 2) Hoffer LJ. Starvation. *Modern nutrition in health and disease*. Shils ME, Olson JA, Shike M. 8th edit., pp.927-949, 1994
- 3) Crim MC, Munro HN. Proteins and amino acids. *Modern nutrition in health and disease*. Shils ME, Olson JA, Shike M. 8th edit., pp.3-35, 1994
- 4) Grinspoon SK, Baum HB, Kim V, Coggins C, Klibanski A. Decreased bone formation and increased mineral dissolution during acute fasting in young women. *J Clin Endocrinol Metab* 80(12): 3628-33, 1995
- 5) Raabo E, Terkildsen TC. On the enzymatic determination of blood glucose. *Scand J Clin & Lab Invest* 12: 402-407, 1960
- 6) Itaya K. A more sensitive and stable colorimetric determination of free fatty acids in blood. *J Lipid Res* 18: 663-665, 1977
- 7) Williamson DH, Mellanby J. D-(-)-3-hydroxybutyrate. *Methods of enzymatic analysis* 2nd edit., 4: 1836-1843, 1974
- 8) Coulombe JJ, Favreau L. A new simple semimicro method for colorimetric determination of urea. *Clin Chem* 9: 102-108, 1963
- 9) Bonsnes RW, Taussky HH. On the colorimetric determination of creatinine by the Jaffe reaction. *J Biol Chem* 158: 581-589, 1945
- 10) Wassner SJ, Schlizer JL, Li JB. A rapid, sensitive method for the determination of 3-methylhistidine levels in urine and plasma using high-pressure liquid chromatography. *Anal Biochem* 104: 284-289, 1980
- 11) David E, Nixon et al. Routine measurement of calcium, magnesium, copper, zink and iron in urine and serum by Inductively Coupled Plasma Emission Spectroscopy. *Clin Chem* 32: 9, 1986
- 12) Faintuch J, Soriano FG, Ladeira JP, Janiszewski M, Velasco IT, Gama-Rodrigues JJ. Changes in body fluid and energy compartments during prolonged hunger strike. *Rev Hosp Clin Fac Med S Paulo* 55(2): 47-54, 2000
- 13) Hasselbalch SG, Knudsen GM, Jakobsen J, Hageman LP, Holm S, Paulson OB. Blood-brain barrier permeability of glucose and ketone bodies during short-term starvation in humans. *Am J Physiol* 268: E 1161-6, 1995
- 14) Long CL, Harberg LN, Kinney JM, Young VR, Munro HN, Geiger JW. Metabolism of 3-methylhistidine in man. *Metabolism* 24: 929-935, 1975
- 15) Lowry SF, Horowitz GD, Jeevanandam M, Legaspi A, Brennan MF. Whole body protein breakdown and 3-methylhistidine excretion during brief fasting, starvation and intravenous repletion in man. *Ann Surg* 202(1): 21-27, 1985
- 16) Vander AJ, Sherman JH, Luciano DS. Section C. Calcium regulation. *Human physiology* 6: 546-551, 1994
- 17) Czajka-Narins DM. Chapter 7. Minerals. *Food, Nutrition and Diet Therapy* 9: 124-130, 1996
- 18) Kocian J, Brodan V. Simultaneous correction of Ca deficiency and acidosis in fasting obese patients as prevention of bone demineralization. *Nutr Metab* 23: 391-398, 1979
- 19) Krieger NS, Sessler NE, Bushinsky DA. Acidosis inhibits osteoblastic and stimulates osteoclastic activity in vitro. *Am J Physiol* 262: F442-F 448, 1992
- 20) Chan ELP, Ho CS, McDonald D, Ho SC, Chan TYK, Swaminathan. Interrelationships between urinary sodium, calcium, hydroxyproline and serum PTH in healthy subjects. *Acta Endocrinol* 127: 242-245, 1992
- 21) Rude RK, Oldham SB, Sharp CF. Parathyroid hormone secretion in magnesium deficiency. *J Clin Endocrinol Metab* 47: 800-806, 1978
- 22) Elia M, Crozier C, Neale G. Mineral metabolism during short-term starvation in man. *Clin Chim Acta* 139(1): 37-45, 1984
- 23) Marrice ES. *Modern Nutrition in Health and Disease*. Shils ME, Olson JA, Shike M. 8th ed., pp.164-184, 1994