

식이단백질과 비만

강북삼성병원 영양실, 연세대학교 식품영양학과⁽¹⁾

김은미* · 이종호⁽¹⁾

Dietary Protein and Obesity

Eun Mi Kim*, Jong Ho Lee⁽¹⁾

Department of Dietetic, Kangbuk Samsung Hospital; and Department of Food and Nutrition, Yonsei University⁽¹⁾

요 약

여러 연구들에서 고단백식이 체중감량 및 감량된 체중을 유지하는데 도움이 되는 것으로 보고하고 있다. 체중 감량에 있어 단백질의 역할은 확실히 규명되지는 않았으나 포만감 증진, 에너지 소비 증가 등이 관계하는 것으로 생각되고 있다. 특히 고단백식사 시 동반되는 포만감 증진은 열량섭취를 감소시키는데 도움이 될 수 있다. 또한 고 단백질은 체지방 감량 및 체지방조직 보존에 도움이 될 수 있으며, 체중감량 및 신체조성 개선을 통해 비만과 관련된 대사적인 문제의 개선을 기대할 수 있다. 비록 고단백식이 비만의 치료에 유익한 영향을 미칠 수 있으나 일반적인 식생활 양식이나 개인의 상태를 고려한 개별적이 접근이 필요하다.

중심단어: 단백질, 체중조절, 포만감, 에너지소비, 단백질 대사

서 론

전 세계적으로 비만은 건강을 위협하는 중요한 문제이다. 우리나라에서도 비만 인구가 급속히 증가되고 있는데 2005년 국민건강영양조사 결과 20세 이상 성인 인구의 31.8%가 체질량지수가 25 kg/m² 이상으로, 비만에 해당하는 것으로 나타났다.¹⁾ 비만이 각종 만성질환 증가의 한 요인이 이미 잘 알려져 있는 사실이며, 현재 우리나라의 주요 사망원인인 심혈관계 질환, 암, 당뇨병 등은 비만과 밀접한 관련이 있다. 비만의 발생기전은 매우 복잡하며, 다양한 요인들이 상호 복합적으로 작용하지만, 크게 두 가지 생활습관과 관련된 요인(과다한 열량섭취와 신체활동 부족)이 그 원인으로 제시되고 있다. 특히 비만의 예방 및 치료를 위해서 식사 조절을 할 것을 강조하고 있다.

초기 비만의 식사조절은 열량섭취를 줄이는데 초점을 두었으나, 비만과 관련된 다양한 연구들이 이루어지면서 단지 총 열량섭취량만이 아니라 열량을 공급하는 대량영양소에

대해 관심이 모아지게 되었다.^{2,3)} 일련의 연구결과들이 발표되면서 아직까지는 저당질식사에 대한 관심이 높은 상태이기는 하지만^{4,5)}, 식사 중 단백질 함량을 증가시키는 것이 체중 및 체지방 감량, 그리고 감량된 체중을 유지하는데 효과가 있음을 보고하는 연구들도 계속 발표되고 있어 고단백식사에 대한 관심도 계속 높아지고 있다.⁶⁻¹⁰⁾ 고단백식이 체중감량에 미치는 이러한 효과는 포만감 증진, 에너지 소비 증가 등과 관련된 것으로 생각되며¹¹⁾, 신체조성 및 혈당조절에도 긍정적인 효과를 줄 수 있을 것으로 생각된다.¹²⁾

고단백식사의 효과에 대한 연구들에서 사용한 단백질의 수준은 일정하지 않으며, 일부 연구에서는 단백질의 종류에 따라 그 효과에 차이를 보이고 있다.^{10,11)} 또한 Weight Control Registry의 자료에 의하면 장기간 성공적으로 감량된 체중을 유지하는 사람들은 저지방식사를 하고 있는 것으로 나타났으며¹³⁾, 근래의 보고에 따르면 중정도의 지방을 함유한 식사도 효과적일 수 있는 것으로 보인다.¹⁴⁾ 따라서 비만의 예방 및 치료를 위해 식사 내 대량영양소, 특히 단백

교신저자: 김은미, (110-746) 서울시 종로구 평동 108번지 강북삼성병원 영양실
Tel: 02)2001-2724 Fax: 02)2001-2723, E-mail: em82.kim@samsung.com, Mobile: 011-9741-6510

질 섭취량을 어느 정도로 조절하는 것이 적절한지는 아직 명확하지 않으며, 어느 한 종류의 대량영양소 함량을 조절할 경우 다른 대량영양소 함량에 영향을 미치게 되므로 특정 대량 영양소의 독립적인 효과를 평가하기 어렵다는 문제가 있다.

우리나라 사람들의 식사 중에 단백질이 차지하는 비율은 계속 증가하고 있는데, 2005년 국민건강영양조사에 따르면 섭취 열량 중 단백질이 차지하는 비율이 15.4%로 나타났으며, 지역별·성별·연령별 단백질 차이를 보인다.¹⁵⁾ 우리나라 사람들의 단백질 섭취가 지속적으로 증가되고 있지만 서구에 비해서는 높지 않으며, 일부에서는 잘못된 영양지식으로 인해 단백질 섭취를 제한하여 단백질 영양상태가 불량한 경우를 볼 수 있다. 고단백식사와 관련된 연구들이 국내 연구가 많지 않고, 식생활 양식에 있어 비만 예방 및 치료에 주로 서구인을 대상으로 시행된 연구 결과들을 적용하기에는 한계가 있을 것이다. 본 중설에서는 비만과 식이 단백질 간의 관계에 대해 살펴보고자 하며, 추후 국내 연구들을 근거로 비만 치료를 위한 적정 수준의 단백질 비율 및 섭취량을 재정립할 필요가 있다.

본 론

1. 고단백식사의 체중감량효과

근래 여러 연구자들이 식사 중 단백질 비율을 높이는 것이 단순히 총 열량섭취를 제한하는 것 보다 신체조성 개선, 체지방 감소 및 감량 후 체중유지에 효과적이라는 연구결과를 보고하고 있다.¹⁰⁾ Skov 등⁷⁾이 비만한 성인 남녀를 대상으로 6개월간 시행한 연구에서 고단백식사군(당질 45%, 단백질 25%, 지방 30%)이 고당질식사군(당질 58%, 단백질 12%, 지방 30%)에 비해 체중 및 체지방 감소량이 유의적으로 많았으며(고단백식사군: 체중 8.6 kg, 체지방 7.6 kg 감소, 고당질식사군: 체중 5.1 kg, 체지방 4.3 kg), 10% 이상 감소한 비율도 고단백식사군이 38%로 고당질식사군의 10% 보다 높았다. 이 연구에서는 열량섭취를 엄격하게 제한하지 않고 기본적인 내용을 교육 후 대상자들이 임의대로 식사를 하게 하였는데, 고단백식사군이 고당질식사군에 비해 열량 섭취량이 적은 것으로 나타났다. Layman 등⁸⁾이 과체중 또는 비만한 여성을 대상으로 10주간 시행한 연구에서는 동일한 열량을 섭취했을 때 고단백식사군(당질 41%, 단백질 30%, 지방 29%)과 고당질식사군(당질 58%, 단백질 16%, 지방 26%) 간에 체중 및 체지방 감소에는 유의적인 차이가 없었으나, 체지방 감소량과 제지방조직 감소량의 비율(fat loss/lean loss)이 고단백식사군에서 유의하게 높은 것으로 나타났다.

또한 체중감량뿐 아니라 체중감량 후 이를 유지하는데 고단백식사가 더 효과적이었음을 몇몇 연구자들이 보고하

고 있다.¹⁶⁻¹⁸⁾ Westernup-Plantenga 등¹⁷⁾이 초저열량식을 시행하여 체중 감량을 시킨 후 두 군으로 나누어 3개월간 체중 유지효과를 비교한 결과 1일 48.2 g의 단백질을 추가 섭취하게 한 군이 그렇지 않은 군에 비해 체중이 재증가하는 정도가 50% 이상 적었다.

Due 등¹⁸⁾은 고단백식사가 장기적으로 체중감량에 미치는 효과에 대한 연구를 시행하였다. 비만한 성인 남녀를 중등단백식사군(단백질 12%, 지방 30%)과 고단백식사군(단백질 25%, 지방 30%)의 두 군으로 나누고 처음 6개월간은 엄격히 식사를 제한하고 그 후 6개월간은 지속적으로 영양상담을 받아 식사를 조절하게 하였다. 시행 후 초기 6개월에는 고단백식사군의 열량섭취량이 더 적었으나, 12개월에는 두 군 간의 열량섭취량에는 유의적인 차이가 없었다. 시행 6개월 후 고단백식사군이 중등단백식사군보다 체중 및 체지방이 더 많이 감소되었고, 12개월 후 두 군 간의 체중 감소 정도에 유의적인 차이가 없었으나 복강 내 지방량이 고단백식사군에서 10% 이상 더 감소된 것으로 나타났다. 24개월에 대상자들을 조사한 결과 두 군 모두 감량되었던 체중을 유지하고 있는 것으로 나타났다. Layman 등⁹⁾은 운동에 따른 체중감량효과에 식사 중 단백질 함량이 영향을 미치는을 보고하였다. 비만한 성인 여성을 식사조절만 하는 군(고단백식사군, 고당질식사군)과 운동과 함께 식사조절을 하는 군(고단백식사군, 고당질식사군)의 네 군으로 나누어 4개월간 중재를 시행하였다. 그 결과 식사조절만 한 군과 식사조절과 함께 운동을 한 군 모두에서 고당질식사에 비해 고단백식사를 하였을 때 체중 및 체지방이 더 많이 감소하였으며, 체지방 조직이 더 많이 보존되는 경향을 보였다. 이 외에도 여러 장단기 연구들에서 식사 중의 단백질 조성을 높이는 것이 체중감량 및 유지에 도움이 되며, 대사적 개선 효과가 있음을 보고하고 있다.^{10,16)}

많은 연구에서 고단백식사의 체중감량효과를 보고하고 있으나, 고단백식사가 더 효과적이지는 않았다는 결과를 보여주는 연구도 있다.¹⁰⁾ Luscombe 등¹⁹⁾은 비만한 여성을 두 군으로 나누어 열량을 동일하게 하고 각각 고단백식사(단백질 27%, 당질 45%)와 저단백식사(단백질 16%, 당질 57%)를 16주간 시행하게 한 결과 두 군 간 체중감량 정도에 유의적 차이가 없었다고 보고하였다. 또한 Luscombe 등²⁰⁾은 또 다른 연구에서 열량과 식사 내 당질 함량을 일정하게 하고 고단백 저지방식사(단백질 34%, 지방 29%)와 표준단백 고단일불포화지방식사(단백질 18%, 지방 45%, 단일불포화지방 23.6%)의 효과를 16주간 비교한 결과 두 군 간에 체중 및 체지방감량, 혈액 내 지질 개선정도에 차이가 없었음을 보고하였다. 이들은 동일한 대상자들을 대상으로 1년간 동일한 식사를 유지하게 한 후 그 결과를 보고하였는데, 체중감량 정도에는 유의적인 차이가 없었다는 결과를 보고하면서 여러 연구들에서 보였던 고단백식사의 체중감량효과

가 단백질 섭취 증가에만 의한 것이라고 단정하기는 어렵다는 의견을 제시하였다. 또한 고단백식사와 관련된 여러 연구들에서 고단백식사군과 대조군의 열량섭취량에 차이가 있어, 단백질 섭취에 따른 체중감량 효과를 밝히는데 있어 혼란변수로 작용할 수 있다. Krieger 등²¹⁾이 단백질과 당질 섭취 정도가 체질량 및 체조정에 미치는 효과를 알아보기 위하여 관련된 87개 연구들을 메타 분석한 결과 열량섭취량을 보정 시 단백질 섭취 정도는 체질량 및 체지방 감량 정도와 관련이 없었으나 1.05 g/kg 이하의 단백질을 섭취한 경우에 비해 이 보다 많은 양의 단백질을 섭취한 경우 제지방조각이 더 많이 보유했는 것으로 확인되었다. Halton 등¹⁰⁾은 고단백식의 효과를 알아보기 위해 관련 연구들을 검토한 결과 고단백식이 초기 단기간에는 체중감량을 촉진시킬 수도 있으나 장기적인 효과에 대한 연구가 충분하지 않은 관계로 단백질의 섭취 정도 및 급원에 대한 근거를 제시하기는 어렵기는 하지만 식사 중 정제된 당질은 포화지방이 적게 함유된 단백질 식품으로 대체하는 것이 도움이 될 수 있을 것이라는 의견을 제시하였다.

2. 단백질 섭취와 포만감

식사에 따르는 포만감은 체중 조절에서 중요한 의미를 갖는다. 같은 열량을 함유하고 있다라도 식후 포만감이 크면 식사량 조절에 많은 도움이 되며, 이는 열량섭취를 감소시키는 효과를 기대할 수 있다. Halton 등¹⁰⁾이 고단백식사와 포만감과의 관련성에 대한 무작위 실험연구들을 검토한 결과 14개의 연구 중에서 11개의 연구에서 고단백식을 하였을 때 포만감이 증가한 것으로 나타났다. 또한 단백질 섭취를 증가시켰을 때 그 이후의 열량섭취량이 감소하는 것이 여러 연구자들에 의해 보고되었다.¹⁰⁾ 단백질의 포만감 증진 및 열량섭취감소 효과를 보고한 연구 중 일부는 상당히 많은 양의 단백질을 공급하여(총 열량의 40~75%) 단백질 효과를 비교하였다. Roll 등²²⁾은 고단백음식(단백질 75%)과 고당질음식이 고지방음식, 고설탕음식, 혼합음식에 비해 섭취 후 2시간에 느끼는 포만감이 높았음을, Poppitt 등²³⁾은 당질, 지방 및 알코올에 비해 단백질을 섭취했을 때(단백질 60%) 섭취 90분 후 허기가 적었음을 보고하였다. Johnson 등²⁴⁾의 연구에서는 고단백식사(단백질 76%)와 고당질식사가 모두 고지방식사에 비해 섭취 90분 후 허기가 적은 것으로 나타났다. 일반적으로 총 열량 중 단백질 조성이 20~30% 정도이면 고단백식사에 해당하며, 이는 일상생활에서 어느 정도 도달 가능한 수준이다. 단백질 20~30% 정도로 구성된 고단백식사가 식후 포만감을 더 증가시키는 효과가 있음이 몇몇 연구자들에 의해 보고되었다.²⁵⁾

몇몇 연구자들은 대량영양소 조성의 섭취 24시간 후 공복감 또는 허기감과의 관련성에 대해 보고하였다. Stubbs 등²⁶⁾은 고단백식사가 고당질식사나 고지방식사에 비해 24

시간 후 느끼는 허기의 정도가 작았음을 보고하였으며, Westerterp-Plantenga 등의 연구에서는 고단백식사(단백질 29%, 당질 61%, 지방 10%)가 고지방식사(단백질 9%, 당질 30%, 지방 61%)에 비해 식사 중에 느끼는 포만감 및 식사 24시간 후 포만감이 더 높은 것으로 나타났다. 일부 연구들에서는 고단백식에 의한 포만감 증진 효과가 24시간에서 수일까지 지속됨을 보고하였다.^{10,11,16)}

단백질은 식후 바로 느끼는 포만감에도 영향을 미칠 수 있을 것으로 생각되는데 Vanderwater 등²⁷⁾은 고단백식사(단백질 43%, 지방 6%, 당질 51%)가 고당질식사(단백질 20%, 지방 6%, 당질 74%)에 비해 섭취 2분 후 포만감이 더 높았음을 보고하였고, Hill 등²⁸⁾도 고단백식사(단백질 41%, 지방 29%, 당질 52%)가 고당질식사(단백질 15%, 지방 3%, 당질 52%)에 비해 섭취 5분 후 음식섭취에 대한 욕구가 더 낮음을 보고하였다.

고단백식사를 할 때 포만감이 증진되는 원인이 확실하게 밝혀지지는 않았으나 포만 호르몬(satiety hormone)의 증가, 에너지 소비 증가, 아미노산 농도 증가 및 당신생 증가 등이 관여할 것으로 생각된다.²⁵⁾

1) 포만 호르몬

단백질 섭취에 따르는 포만감은 glucagon-like peptide-1 (GLP-1), 콜레시스토키닌, PYY 등의 식욕 억제 호르몬이 상대적으로 증가하거나 그렐린 등의 식욕 촉진호르몬 분비가 감소되는 것과 관계가 있는 것으로 생각되고 있다.²⁵⁾ 그러나 관련 연구들을 보면 연구자에 따라 서로 다른 결과를 보고하고 있다. Hall 등²⁹⁾은 고단백음료를 제공 시 포만감이 증진되고 혈중 콜레시스토키닌, GLP-1 농도가 증가함을 보고하였다. 그러나 최근 Smeets 등이 고단백식사의 급성적인 포만효과에 대해 보고하였는데, 고단백식사를 할 경우 보통 수준의 단백질이 함유된 식사를 하였을 때에 비해 사람들이 느끼는 포만감은 더 높았다. 그러나 혈중 콜레시스토키닌, GLP-1, PYY 수준이 두 식사 간에 차이가 없는 것을 나타냈으며 고단백식사를 했을 경우가 GLP-1 반응이 더 작았다.³⁰⁾ 보통 수준의 단백질식사를 하였을 때 GLP-1 반응이 더 높았던 것은 이 식사에 상대적으로 많이 함유되어 있는 당질에 의한 것으로 생각된다. 이러한 결과는 GLP-1 반응이 일차적으로 영양소와 관련된 것이며, 포만감은 이차적으로 관련이 있는 것임을 시사한다.²⁵⁾ Lejeune 등은 대상자들에게 단백질 30% 식사와 단백질 10% 식사를 며칠간 지속하게 하면서 포만감 및 포만 호르몬의 변화를 조사하였다. 그 결과 30% 단백질 식사를 하였을 때 더 포만감이 높고, 허기를 덜 느꼈으며, GLP-1 농도가 더 높은 것으로 나타났다. 그러나 이들의 연구에서 그렐린은 유의적인 차이를 보이지 않았다.³¹⁾ 이 외에도 몇몇 연구자들이 고단백식사 시 GLP-1이 증가됨을 보고하였다. 당질을 함유한 고단백식사

를 섭취하면 GLP-1 분비가 촉진되는 것으로 보이며, 당질은 체내에서 단백질 대사에 영향을 미치므로 식사 중 당질의 함량이 결과에 어느 정도 영향을 미칠 것으로 생각된다.²⁵⁾

Batterham 등³²⁾이 고단백식사 시 PYY 분비가 증가되었음을 보고하였으나, 사람에서의 고단백질 섭취가 PYY 분비에 미치는 영향에 대한 연구는 많지 않다. Wang 등³³⁾은 동물실험에서 지방에 비해 단백질 및 당질 섭취비율이 높을 때 식후 그렐린이 더 많이 감소되었다고 하였으나, 고단백식이 그렐린 분비에 영향을 미치지 않는 것으로 보고하는 연구도 있으며,³¹⁾ Moran 등³⁴⁾의 연구에서 단백질을 지방으로 대체하여도 그렐린의 항상성이 개선되는 효과는 동일한 것으로 나타났다. 여러 연구 결과들을 볼 때 고단백식의 포만효과는 그렐린과는 관련성이 없는 것으로 보인다. 한편 콜레스테롤과 관련된 연구는 많지 않은 실정이다.

고단백식을 섭취했을 때 포만감이 증진되는 것은 일부 포만 관련 호르몬의 변화에 영향을 받을 수는 있으나, 이 외에도 다양한 요인들이 관련될 것으로 생각된다.²⁵⁾

2) 에너지 소모 및 포도당신생

일부 연구자들은 단백질이 다른 대량영양소에 비해 식이성 열 발생이 높은 것이 고단백식의 포만효과와 관련이 있을 가능성을 제안하고 있다.^{16,25)} 고도가 높은 곳에 사는 사람들이나 만성 폐쇄성 폐질환 환자의 경우처럼 음식을 먹을 때 산소 부족을 빨리 느끼는 사람들의 경우에서 볼 수 있듯이 산소가 제약된 상태에서는 포만지수가 높다.³⁵⁾ 안정 시 에너지 소비 증가(resting energy expenditure)는 산소 소비량을 증가시키고 체온을 올리며, 이는 산소 부족을 느끼게 하여 포만감을 증진시킬 수 있다는 것이다.³⁵⁾ Westernup-Platenga 등의 연구에서 고단백식에 의한 포만감이 24시간 동안의 식이성 에너지 소모량(diet-induced energy expenditure)과 양의 관계가 있음을 보고하였으며,³⁶⁾ Lejeune 등을 비롯하여 일부 연구자들이 총 에너지 소비증가는 고단백식사 시 나타나는 포만감과 관련성이 있음을 보고하였다.³¹⁾ 에너지 소모량과 단백질 섭취에 따르는 포만효과 간의 관계는 주로 고단백식사를 지속하고 있는 상태에서 나타나며, 이에 비해 한 끼 고단백 음식을 먹은 후에는 이러한 현상이 많이 관찰되지 않는다.

급식 또는 당질 제한 식사를 하는 경우에서처럼 체내에서 이용가능한 포도당이 감소하게 되면 여러 전구물질을 이용하여 포도당을 만드는 포도당신생이 이루어지는데, 고단백식은 포도당신생을 증가시킨다. 이러한 포도당신생 증가가 고단백식에 따르는 포만감 증진에 영향을 미칠 것이라는 의견이 제시되고 있다.²⁵⁾ 포도당신생은 주로 간에서 이루어지며 phosphoenolpyruvate carboxykinase (PEPCK)라는 효소가 관계하는데, 이 효소는 포도당신생 과정의 개

시를 조절한다. 동물실험에서 고단백식을 주었을 때 PEPCK가 증가되는 것이 확인되었다. 고단백식을 했을 때 PEPCK는 식이 섭취상태에 관계없이 증가하였으나 glucose 6-phosphatase (포도당신생 마지막 단계 조절효소)는 공복 시에는 증가하고 식후 상태에는 감소하였다.³⁷⁾ 이는 고단백식사가 공복 시 포도당신생을 증가시키는 효과가 있으며, 고단백식사의 포만효과는 체내 포도당항상성 개선과 관련이 있음을 시사한다. 그러나 아직 사람을 대상으로 한 관련 연구는 부족하다.

3) 아미노산

특정 대사산물이 식후 포만감 인식 정도에 영향을 미치는 것으로 알려져 있으며, 일부 아미노산이 이러한 대사산물에 해당한다. 1956년 Mellinkoff는 혈중 아미노산 농도가 식욕변화와 관련이 있음을 제안하였는데, 동물 실험에서 식사를 통해 단백질 또는 아미노산을 공급하거나 정맥으로 아미노산을 공급하여 혈중 아미노산 농도가 증가하면 식욕이 떨어지며, 시간 경과에 따라 아미노산 농도가 감소하면 식욕이 증가하는 것이 확인되었다.³⁸⁾ Mellinkoff는 혈중 아미노산 상승이 포만감을 느끼게 하는 하나의 신호로 작용할 것이라는 의견을 제시하였다. Veldhosrt 등은 혈중 아미노산의 증가 정도가 포만감에 미치는 영향을 알아보기 위하여 동량의 단백질을 카제인의 함량을 다르게 구성한 식사를 이용한 연구를 시행하였다. 카제인은 위배출 속도가 느린 특성을 가지고 있는 단백질이다. 이 연구에서 카제인 함량이 높은 식사를 시행한 군의 배부름의 정도 및 포만감 점수가 높고 혈중 아미노산 농도가 높았으나, 다음 끼니에서의 음식물 섭취정도는 두 군 간에 차이를 보이지 않았다.³⁹⁾ 혈중 아미노산 농도가 포만감에 미치는 영향을 알아보기 위해서는 좀 더 많은 관련 연구들이 필요하다.

3. 단백질 섭취와 열 발생

단백질의 식이성 열 발생(diet-induced thermogenesis)이 높은 것은 잘 알려져 있으며, 고단백식을 할 경우 1일 총 에너지 소비가 증가한다는 것이 보고되었다.⁴⁰⁾ 극단적으로 단백질 섭취가 많거나 적기는 하지만 Leblanc, Zed 등의 연구자들은 고단백식사 시 산소소모량이 증가됨을 보고하였다.^{41,42)} Tentolouris 등⁴³⁾은 비만한 여성과 정상체중인 여성 간에 고단백식을 했을 때 나타나는 식이성 발열 및 기질 산화의 변화 정도에 유의한 차이가 없다고 보고하였다. 고단백식에 따르는 에너지 소비 증가는 체중 감량에 부분적으로 도움이 될 수 있을 것이다.

총 에너지 소모량은 안정 시 에너지 소모량, 식이성 열 발생, 활동에 의한 에너지 소모량으로 구성되어 있다. 이 중 안정 시 에너지 소모량은 총 에너지 소모량의 상당 부분을 차지하고 있으며(65~75%), 근육대사로 인한 에너지 소비는

안정 시 에너지 소모량에 많은 영향을 미친다. 비록 총 에너지 소모량에 비하면 상대적으로 작은 부분을 차지하기는 하지만 근육량의 차이가 에너지 평형에 영향을 줄 수 있다. 그러나 비만 예방에 있어 근육조직의 역할에 대해서는 연구가 부족한 실정이다.

단백질은 당질, 지방에 비해 식이성 열 발생이 많다. 단백질의 Atwater 계수는 17 kJ/g이지만 단백질은 열 발생이 커서 실제 체내에서 대사 가능한 에너지는 13 kJ/g이다. 영양소 섭취에 따른 발열은 식후 소화, 흡수 및 대사과정에 에너지가 소모되기 때문인데, 대사 및 저장과정에 어느 정도 에너지가 필요한 지에 따라 식이성 발열의 정도가 달라진다. 지방은 0~3%, 당질은 5~10%, 단백질은 20~30%의 에너지가 소모되므로 고단백식사 섭취 시 체내의 발열반응이 증가된다.

단백질이 다른 영양소에 비해 식이성 발열이 많은 것은 식후 단백질 합성을 하는데 많은 양의 ATP가 필요하기 때문일 수 있다. 펩티드 결합의 생성, 요소 생성, 포도당신생 등은 단백질의 식이성 열 생성을 증가시키는 주요 요인으로 보고 있다. 또한 많은 양의 단백질을 섭취했을 때 초과된 단백질을 저장할 수 있는 저장고가 없으므로 과량의 아미노산이 체내로 유입되게 되면 이를 산화시키거나 다른 방법으로 제거하여야 하므로 아미노산 산화 증가가 열 발생을 증가시키는 요인으로 작용할 수 있다.^{11,12,25)} 연구자에 따라 다르기는 하지만 고단백식은 저단백식에 비해 식이성 발열 정도가 0.8~22% 정도 높은 것으로 보고되었다.¹⁰⁾ 단백질의 소화 속도는 식후 단백질 대사를 결정하는 중요한 인자인데, 유청(whey)과 같이 빠르게 소화되는 단백질은 카제인처럼 서서히 소화되는 단백질에 비해 단백질 합성 및 아미노산 산화가 더 많이 증가한다.^{12,39)}

아미노산에 따라 산화 효율에 큰 차이가 있으므로 단백질 중의 아미노산 조성은 단백질 산화 효율에 결정적인 영향을 미치는 요인이다. 아미노산이 이화되는 과정에서 다양한 탄소사슬과 보조인자들이 생성되는데 이들에 따라 산화 효율이 달라진다. 예를 들면 요소회로에서 요소로 전환되기 위해서는 4개의 APT가 필요한데 아미노산에 따라 아미노기의 수가 다르며, 이에 따라 대사적 효율에 차이가 나게 된다.^{25,44)} Mikkelsen 등을 비롯하여 몇몇 연구자들은 단백질의 급원에 따라 발열 정도에 차이가 있음을 보고하였다.⁴⁵⁾

고단백식은 식이성 열 발생이 클 뿐 아니라 uncoupling protein을 상향조절(up-regulation)하여 체내 열 생산 및 에너지 소비를 증가시키는 것으로 생각된다.^{45,46)} 동물 실험에서 단백질 섭취를 증가시키면 간의 uncoupling protein-2와 갈색지방조직에 있는 uncoupling protein-3가 증가되는 것으로 확인되었는데, 이는 열 생산을 증가시키게 된다.⁴⁶⁾

고단백식사 시 나타나는 에너지 소비증가 효과가 비만에 어느 정도 영향을 미칠지에 대해서는 향후 더 많은 연구가

필요하다.

4. 단백질과 인슐린 저항성

식이 단백질과 아미노산은 포도당 대사 및 인슐린 민감성에 중요한 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 고단백 식사가 포만감을 증가시키고 에너지 소비를 증가시킴으로써 에너지 평형에 긍정적인 영향을 줄 수 있지만, 인슐린 저항성을 개선하여 체내 포도당 항상성 유지에도 도움이 될 것으로 생각되고 있다.¹²⁾

단백질의 인슐린 분비자극 효과는 단백질 소화과정에서 생성된 특정 아미노산이 관여하는 것으로 생각된다. 일부 아미노산은 인슐린 분비를 자극할 수 있는데, 루이신, 아르기닌, 페닐알라닌 및 티로신 등의 몇몇 아미노산은 다른 아미노산에 비해 인슐린 분비를 자극하는 효과가 크다.^{41,42)} 아미노산 변화 정도 및 양과 체내의 이용 가능한 인슐린의 정도에 따라 체내에서의 동화작용의 정도가 달라진다. 그러나 혈중 아미노산의 급격한 증가가 인슐린 저항성을 유발할 수 있음을 보여주는 연구결과들도 많이 보고되었다.⁴⁶⁾ 특히 알라닌 및 분지형 아미노산(branched chain amino acids)의 증가가 인슐린 저항성과 관련이 있는 것으로 보고되고 있다. 분지형 아미노산인 루이신은 인슐린 분비를 촉진시키기는 하지만 세포 내로의 포도당 유입을 손상시키는 것으로 보고되었다.^{46,47)} 하지만 이들 아미노산이 어떻게 인슐린 저항성에 영향을 미치는지는 확실하지 않다. 또한 일부 연구에서는 섭취하는 단백질의 급원에 따라 인슐린 저항성에 미치는 영향이 다르다는 것을 보고하고 있으나, 그 기전 및 식이 단백질의 구성이 혈당 조절에 어떠한 영향을 미칠지는 아직 확실치 않음은 분명하다.⁴⁶⁾

여러 장·단기 연구에서 비만하지만 당뇨병이 없는 사람들에게서 식이 단백질이 인슐린 민감성을 개선하는 효과가 있음이 확인되었다. Piatti 등⁴⁸⁾은 고인슐린혈증이 있는 비만한 여성을 대상으로 연구를 시행하였는데, 고단백식사를 했을 경우 체중감량 후 인슐린 민감성이 상당히 개선되었으나 저단백식사를 한 경우 이러한 개선효과가 없는 것으로 나타났다. 이들은 인슐린에 의한 포도당 유입 정도가 개선된 것이 고단백식사를 시행한 군에서는 체중감량 후 체지방조직이 보존되었기 때문이라는 의견을 제시하였다. Baba 등⁴⁹⁾도 고인슐린혈증이 있는 남성에게 고단백식사를 시행하게 했을 때 공복 인슐린농도가 개선되었음을 보고하였다. 그러나 Layman 등⁵⁰⁾의 연구를 비롯하여 일부 연구들에서 고단백 식사 시 체지방조직의 손실이 적었음에도 불구하고, 고단백 식사의 독립적인 인슐린 저항성 개선효과는 관찰되지 않았다.

비교적 장기간 수행한 연구에서도 서로 다른 결과를 보고하고 있다. Samaha 등⁴⁾의 연구에서는 22% 단백질 식사를 한 군이 16% 단백질 식사를 한 군에 비해 인슐린 민감

성이 개선된 것으로 나타났으나, Fransworth 등⁵¹⁾을 비롯한 몇몇 연구에서는 공복 시 인슐린 농도와 HOMA가 단백질 수준에 관계없이 낮아졌음이 확인되었다. 고단백식사의 지속적인 체지방 감소 및 체지방조직 보존효과가 인슐린 저항성 개선에 영향을 미치는 것으로 생각된다. Brehm 등⁵⁾도 고단백식사를 한 군과 저단백식사를 한 군 간에 공복 시 인슐린 농도에 유의한 차이가 없었음을 보고하였다. 여러 연구 결과들을 볼 때 열량섭취제한 및 체중 감량은 모두 인슐린 민감성을 개선하는 효과가 있는 것은 확실하나, 단백질 섭취에 따른 개선효과를 명확히 언급하기는 어렵다.

5. 고단백식사의 안전성

체중감량에 있어 고단백식사의 효과에 대한 연구들이 많이 이루어지고 있지만 연구자에 따라 단백질의 비율이나 함량에 많은 차이가 있다. 이 중에서는 비현실적인 양의 단백질을 이용하여 시행한 연구들도 종종 볼 수 있다. 특별한 건강 문제가 없는 상태에서 일시적으로 단백질을 섭취를 증가시키는 것이라면 크게 우려할 사항은 아니지만, 체중 감량 또는 감량한 체중을 유지하기 위하여 고단백식사를 하는 경우 장기적으로 단백질 섭취가 증가되게 되므로 안전성에 대한 검토가 필요할 것이다.

현재 건강한 사람이 장기간 고단백식사를 할 경우에 초래될 수 있는 부작용과 관련된 정보는 드물다. Eisenstein 등⁵²⁾은 여러 실험연구 및 역학연구를 근거로 미국의 1일 권장량의 2~3배를 초과하는 양을 섭취 시 소변으로의 칼슘배설을 증가시켜 장기적으로 뼈의 건강에 좋지 않은 영향을 미칠 수 있음을 지적하였고, 특히 신장질환이나 신장결석이 있는 경우 단백질을 과다하게 섭취하지 않도록 주의할 것을 제안하였다.

절대적으로 많은 양의 단백질을 장기간 섭취할 경우 신장에 좋지 않은 영향을 미칠 수도 있을 것이다. 그러나 단백질에 존재하는 다양한 아미노산이 서로 다르게 작용하므로 단순히 단백질의 양뿐 아니라 종류에 대해 관심을 가질 필요가 있다. 포도당신생이나 요소생성에 관여하는 아미노산의 경우 혈압을 저하시키는 효과가 있을 것으로 생각되며, 산성화 아미노산(acidifying amino acid)는 반대로 혈압을 올리는 효과가 있을 것으로 생각된다. 노인, 신질량이 감소된 사람(예: 신장 공여자), 대사증후군 및 제2형 당뇨병이 있는 사람들의 경우 다른 사람들에 비해 혈압 상승 시 문제가 될 수 있다.²⁵⁾ 특히 함황 아미노산(시스틴, 호모시스틴, 메티오닌, 타우린 등)은 장기적으로 신장의 산-염기 평형 유지에 좋지 않은 영향을 미칠 수 있고 혈압을 상승시키는 요인으로 작용할 수 있다. 장기간 함황 아미노산을 다량 섭취할 경우 신장 구조에 손상을 초래하여 간접적으로 혈압을 상승시키고 궁극적으로는 네프론의 양이 감소되는 결과가 야기될 수도 있다.^{53,54)} 고단백식사의 효과를 기대할 수 있으

면서도 장기적으로 안전한 수준의 단백질 섭취 수준을 설정하기 위한 관련 연구들이 요구된다.

결 론

체중 감량에 있어 단백질의 효과는 포만감 증진, 에너지 소모 증가 등으로 설명될 수 있는데, 부분적으로 이들은 서로 관련이 있으며, 단백질의 종류와 양에 따라 차이를 보인다.

단백질의 포만감 증진효과는 특히 자유롭게 식사를 할 수 있는 상황에서 지속적으로 열량섭취량을 조절하는데 도움을 줄 수 있다. 이러한 효과는 열량이 음의 평형으로 이루어지는 상황에서도 효과가 있는 것으로 보인다. 포만감 증진 효과는 식후뿐 아니라 흡수 후 상태(post-absorptive state)에서도 지속되는 것으로 생각된다. 포만관련 호르몬 분비 변화, 열 생산 증가 등을 비롯한 여러 가지 요인들이 단백질의 포만효과에 관여하는 것으로 보인다. 또한 고단백 식사는 체내에서의 열 생산을 증가시키는데, 이는 총 에너지 소비량을 증가시키고 에너지 효율을 저하시키는 효과가 있을 뿐 아니라 포만감 증진효과와도 관련이 있다.

고단백식사는 체중 및 체지방 감량 효과 이외에도 인슐린 민감성 개선에 도움이 될 수도 있을 것으로 생각되는데, 비만한 사람의 경우 흔히 인슐린 저항성 문제가 동반되어 있으므로 대사적 이점을 기대할 수 있을 것이다. 그러나 고단백식사가 인슐린 민감성 개선에 직접적인 영향을 미치는 것으로 생각되지는 않는다.

단백질 섭취를 어느 정도로 증가시키는 것이 적절한지는 아직 확실하지는 않지만, 비만한 사람들의 경우 체중감량을 위해 열량섭취량이 감소됨에 따라 체내 단백질 손실이 증가될 수 있으므로 이를 방지하기 위해 적정수준의 단백질을 섭취할 필요가 있다. 고단백식사의 안전성과 관련된 연구들이 많지는 않지만 개인의 상태에 따라 지나친 단백질 섭취는 건강에 위대한 영향을 미칠 수 있다.

많은 연구들이 보고되고 있지만 비만 예방 및 치료에 있어 단백질이 미치는 영향이나 관련된 기전은 아직 확실하지 않은 상태이며, 좀 더 많은 관련 연구들이 요구된다. 또한 단백질 이외에도 여러 가지 요인들이 체중감량 및 비만과 관련된 대사적인 문제들에 영향을 미칠 수 있으므로 비만의 식사조절 시에는 다양한 요인들을 종합적으로 검토하여 접근할 필요가 있다.

Abstract

Several studies have suggested that high protein diets may be effective for weight loss and prevention of weight regain. Recent findings suggest that these effects of high

protein diets are related to increased satiety and energy expenditure, although underlying mechanisms are not well established. Satiating effect of protein may be helpful to control calorie consumption. Also high protein diets may increase loss of body fat and preservation of fat free mass during weight loss period. Positive changes in body composition and weight loss via high protein diets help to improve certain metabolic problems related to obesity. Although increased protein intake may be expected to be beneficial in obesity treatment, it is important to consider the adverse effects of excess protein intake. Therefore, individualized approach is necessary based on the evaluation of one's usual protein intake and health status of each individual.

Key word: Protein, Body weight regulation, Aatiety, Energy expenditure, Protein metabolism

참 고 문 헌

1. 보건복지부, 질병관리본부. 2005년 국민건강영양조사-검진결과 보고서;2006.
2. Buchhola AC, Schoeller DA. Is a calorie a calorie? *Am J Clin Nutr* 2004;79(S):899S-960S.
3. Wilkinson DL, McCargar L. Is there an optimal macronutrient mix for weight loss and weight management? *Best Prac Res Clin Gastrointestinol* 2004;18:1031-47.
4. Samaha FF, Iqbal N, Seshadri P, Chicano KL, Daily DA, McGrory J, et al. A low carbohydrate diet as compared with low fat diet in severe obesity. *N Engl J Med* 2003;348:2074-81.
5. Brehm BJ, Seeley RJ, Daniels SR, D'Alessio DA. A randomized trial comparing a very low carbohydrate diet and a calorie restricted low fat diet on body weight and cardiovascular risk factors in healthy women. *J Endocrinol Metab* 2003;88:1617-23.
6. Layman DK. Protein quantity and quality at levels above the RDA improves adult weight loss. *J Am Coll Nutr* 2004;23:631S-6S.
7. Skov AR, Toubro S, Ronn B, Holm L, Astrup A. Randomized trial on protein vs carbohydrate in ad libitum fat reduced diet for the treatment of obesity. *Int J Obes* 1999;23:528-36.
8. Layman DK, Boileau RA, Erickson DJ, Painter JE, Shiue H, Sather C, et al. Reduced ratio of dietary carbohydrate to protein improves body composition and blood lipid profiles during weight loss in adult women. *J Nutr* 2003;133:411-17.
9. Layman DK, Evans E, Baum JJ, Seyler J, Erickson DJ, Boileau RA. Dietary protein and exercise have additive effects on body composition during weight loss in adult women. *J Nutr* 2005;135:1903-10.
10. Halton TL, Hu FB. The effects of high protein diets on thermogenesis, satiety and weight loss: A critical review. *J Am Coll Nutr* 2002;23:373-85.
11. Paddon-Jones D, Westman E, Mitters RD, Wolfe RR, Astrup A, Westerterp-Plantenga M. Protein, weight management, and satiety. *Am J Clin Nutr* 2008; 87(S1):1558S-61S.
12. Westerterp-Plantenga MS, Luscombe-Marsh ND, Lejeune MPM, Diepvens K, Nieuwenhuizen A, Engelen MPKJ, et al. Dietary protein, metabolism, and body-weight regulation: dose-response effects. *Int J Obes* 2006;30(S3):S16-23.
13. Hill JO, Wyatt HW, Phelan S, Wing R. The National Weight Control Registry: is it useful in helping deal with our obesity epidemic? *J Nutr Educ Behav* 2005;37:206-10.
14. Phelan S, Wyatt HW, Hill JO, Wing R. Are the eating and exercise habits of successful weight losers changing? *Obesity* 2006;14:710-6.
15. 보건복지부, 한국보건산업진흥원. 국민건강영양조사 제 3기(2005)-영양조사부문;2006.
16. Westerterp-Plantenga MS, Lejeune MPM. Protein intake and body-weight regulation. *Appetite* 2005; 45:187-90.
17. Westerterp-Plantenga MS, Lejeune MPM, Nijl I van Ooijen M, Kovacs EMR. High protein sustains weight maintenance after body weight loss in humans. *Int J Obes* 2004;28:54-64.
18. Due A, Toubro S, Skov AR, Astrup A. Effect of normal-fat diets, either medium or high in protein, on body weight in overweight subjects: a randomised 1-year trial. *Int J Obes* 2004;28:1283-90.
19. Luscombe ND, Clifton PM, Noakes M, Fransworth E, Wittert G. Effect of a high protein, energy restricted diet on weight loss and energy expenditure after weight stabilization in hyperinsulinemic subjects. *Int J Obes* 2003;27:582-90.
20. Luscombe ND, Noakes M, Wittert G, Keogh JB, Foster P, Clifton PM. Carbohydrate-restricted diets

- high in either monounsaturated fat or protein are equally effective at promoting fat loss and improving blood lipids. *Am J Clin Nutr* 2005;81:762-72.
21. Krieger JW, Sitren HS, Daniels MJ, Langkamp-Henken B. Effects of variation in protein and carbohydrate intake on body mass and composition during energy restriction: a meta-regression. *Am J Clin Nutr*. 2006;83:260-74.
 22. Rolls BJ, Hertherington M, Burley VJ. The specificity of satiety: The influence of foods of different macronutrient content on the development of satiety. *Physiol Behav* 1988;43:145-53.
 23. Poppitt SD, McComack D, Bufferenstein R. Short term effects of macronutrient preloads on appetite and energy intake in lean women. *Physiol Behav* 1998; 65:279-85.
 24. Johnson J, Vickers Z. The effect of flavor and macronutrient composition of food servings on linking, hunger and subsequent intake. *Appetite* 1993; 21:25-39.
 25. Veldhorst M, Smeets A, Soenen S, Hochstenbach-Waelen A, Hursel R, Diepvens K, et al. Protein-induced satiety: Effects and mechanisms of different proteins. *Physio Behav* 2008;94:300-7.
 26. Stubbs RJ, O'reilly LM, Johnstone AM, Harrision CLK, Franklin MF: Description and evaluation of an experimental model to examine changes in selection between high protein, high carbohydrate and high fat foods in human. *Eur J Clin Nutr* 1999;53:13-21.
 27. Vanderwater K, Vickers Z. Higher protein foods produce greater sensory specific satiety. *Physiol Behav* 1996;50:579-83.
 28. Hill AJ, Brundell JE. Macronutrients and satiety: The effects of a high protein or high carbohydrate meal on subjective motivation to eat and food preferences. *Nutr Behav* 1986;3:133-44.
 29. Hall WL, Millward DJ, Long SJ, Morgan LM. Casein and whey exert different effects on plasma amino acid profiled, gastrointestinal hormone secretion and appetite. *Br J Nutr* 2003;89:239-48.
 30. Smeets AJ, Soenen S, Luscombe-Marsh ND, Ueland Ø, Westerterp-Plantenga MS. Energy expenditure, satiety, and plasma ghrelin, glucagon-like peptide 1, and peptide tyrosine-tyrosine concentrations following a single high-protein lunch. *J Nutr* 2008;138:698-702.
 31. Lejeune MP, Westerterp KR, Adam TC, Luscombe-Marsh ND, Westerterp-Plantenga MS. Ghrelin and glucagon-like peptide 1 concentrations, 24-h satiety, and energy and substrate metabolism during a high-protein diet and measured in a respiration chamber. *Am J Clin Nutr*. 2006;83:89-94.
 32. Batterham RL, Heffron H, Kapoor S, Chivers JE, Chandarana K, Herzog H, et al. Critical role for peptide YY in protein-mediated satiation and body-weight regulation. *Cell Metab*. 2006;4:223-33.
 33. Wang Z, Heshka S, Gallagher D, Boozer CN, Kotler DP, Heymsfield SB. Resting energy expenditure-fat-free mass relationship: new insights provided by body composition modeling. *Am J Physiol* 2000;279:E539-45.
 34. Moran LJ, Luscombe-Marsh ND, Noakes M, Wittert GA, Keogh JB, Clifton PM. The satiating effect of dietary protein is unrelated to postprandial ghrelin secretion. *J Clin Endocrinol Metab*. 2005 Sep;90(9): 5205-11.
 35. Westerterp-Plantenga MS, Westerterp KR, Rubbens M, Verwegen CR, Richelet JP, Gardette B. Appetite at "high altitude" [Operation Everest III (Comex-'97)]: a simulated ascent of Mount Everest. *J Appl Physiol*. 1999;87:391-9.
 36. Westerterp-Plantenga MS, Rolland V, Wilson SA, Westerterp KR. Satiety related to 24 h diet-induced thermogenesis during high protein/carbohydrate vs high fat diet measured in respiratory chamber. *Eur J Clin Nutr* 1999;53(6):495-502.
 37. Peret J, Chanez M. Effect of quantity and quality of dietary protein and variation in certain enzyme activities on glucose metabolism in the rat. *J Nutr* 1975;105:1525-34.
 38. Mellinkoff SM, Frankland M, Boyle D, Griepel M. Relationship between serum amino acid concentration and fluctuations in appetite. *J Appl Physiol* 1956; 8:535-8.
 39. Veldhorst MA, Nieuwenhuizen AG, Hochstenbach-Waelen A, Westerterp KR, Engelen MP, Brummer RJ, et al. Comparison of the effects of a high- and normal-casein breakfast on satiety, 'satiety' hormones, plasma amino acids and subsequent energy intake. *Br J Nutr* 2008 Jul 18:1-9.
 40. Raben A, Agerholm-Larsen L, Flint A, Holst JJ, Astrup A. Meals with similar energy densities but rich in protein, fat, carbohydrate, or alcohol have

- different effects on energy expenditure and substrate metabolism but not on appetite and energy intake. *Am J Clin Nutr* 2003;77:91-100.
41. LeBlanc J, Diamond P, Nadeau A. Thermogenic and hormonal responses to palatable protein and carbohydrate rich food. *Horm Metab Res* 1991; 23:336-40.
42. Zed C, James WP. Dietary thermogenesis in obesity. Response to carbohydrate and protein meals: the effect of beta-adrenergic blockade and semistarvation. *Int J Obes* 1986;10:391-405.
43. Tentolouris N, Pavlatos S, Kokkonos A, Perrea D, Pagoni S, Katsilambro N. Diet-induced thermogenesis and substrate oxidation are not different between lean and obese women after two different isocaloric meals, one rich in protein and one rich in fat. *Metabol* 2008;57:313-20.
44. van Milgen J. Modeling biochemical aspects of energy metabolism in mammals. *J Nutr* 2002;132:3195-202.
45. Mikkelsen PB, Toubro S, Aspstrup A. Effect of fat-reduced diets on 24 h energy expenditure: Comparisons between animal protein, vegetable protein, and carbohydrate. *Am J Clin Nutr* 2000; 72:1135-41.
46. Tremblay F, Lavigne C, Jacques H, Marette A. Role of dietary proteins and amino acids in the pathogenesis of insulin resistance. *Ann Rev Nutr* 2007;27:293-310.
47. Krebs M, Krssak M, Bernroider E, Anderwald C, Brehm A, Meyerspeer M, et al. Mechanism of amino acid-induced skeletal muscle insulin resistance in humans. *Diabetes* 2002;51:599-605.
48. Piatti PM, Monti F, Fermo I, Baruffaldi L, Santambrogio G, Librenti MC, et al. Hypocaloric high-protein diet improves glucose oxidation and spares lean body mass: comparison to hypocaloric high-carbohydrate diet. *Metabol* 1994;43:1481-7.
49. BaBa NH, Sawaya S, Torbay N, Habbal Z, Azar S, Hashim SA. High protein vs high carbohydrate hypo-energetic diet for the treatment of obese hyperinsulinemic subjects. *Int J Obes* 1999;23:1202-6.
50. Layman DK, Shiue H, Sather C, Erickson DJ, Baum J. Increased dietary protein modifies glucose and insulin homeostasis in adult women during weight loss. *J Nutr* 2003;133:405-10.
51. Frankworth E, Luscombe ND, Noakes M, Wittert G, Argyiou E, Clifton PM. Effect of a high protein, energy-restricted diet on body composition, glycemic control, and lipid concentrations in overweight and obese hyperinsulinemic men and women. *Am J Clin Nutr* 2003;78:31-9.
52. Eisentein J, Roberts SB, Dallal G, Saltzman E. High protein weight loss diet: are they safe and do they work? A review of experimental and epidemiological data. *Nutr Rev* 2002;60:18-20.
53. Frassetto LA, Morris Jr RC, Sebastian A. A practical approach to the balance between acid production and renal excretion in human. *J Nephrol* 2006;19(S9): S33-40.
54. Remer T. Influence of nutrition on acid-base balance- metabolic aspects. *Eur J Nutr* 2001;40:214-20.