



우유의
칼슘은
왜
이용성이
높은가?

李 (서울대학교 농과대학 조교수)
連
淑

1. 체내에서의 칼슘의 중요성

칼슘은 인체에 가장 풍부하게 포함되어 있는 미네랄로써 체중의 1.5~2.2%를 차지하고 있으며 성인의 체내에는 약 1kg의 칼슘이 포함되어 있다.

그중 99%가 뼈와 치아의 구성 성분으로 주로 인산염 또는 탄산염의 형태로써 존재하고 있으며, 나머지 1%가 혈액, 근육, 그의 조직에 칼슘이온의 형태로써 존재하고 있다.

이 칼슘이온은 혈액의 응고, 근육의 수축, 신경의 흥분, 신경 자극 전달, 효소의 활성화, 골분의 분비, 세포막의 유지와 기능 등의 생리적, 생화학적으로 극히 중요한 역할을 하고 있다.

혈액 중에 칼슘은 9~11mg/100ml의 농도로 항상 일정하게 유지되고 있는데, 이러한 칼슘의 평형유지는 칼슘의 장관(腸管)으로부터의 흡수, 뼈에의 침착과 용출, 신장에서의 배설 등에 의하여 조절되며, 여기에는 부갑상선호르몬(Parathyroid hormone), 칼시토닌(Calcitonin), 비타민 D 등이 관여하고 있다. 즉, 장관으로부터 칼슘의 흡수가 충분할 경우에는 칼슘의 거대한 저장고인 뼈에 칼슘을 축적하게 하고, 부족할 경우에는 뼈로부터 칼슘이 용출되어 혈액의 칼슘농도를 일정하게 유지하는 것이다.

뼈와 혈액 사이에는 칼슘의 동적평형 관계에 있으며, 뼈에의 칼슘 침착과 용출은 끊임없이 활발히 일어나고 있으며 뼈는 항상 새로운 칼슘으로 교체되고 있다고 보겠다.

성인에 있어서는 평형유지량 만의 칼슘을 섭취하면 되겠으나 발육기에는 평형유지량 외에도 뼈의 발육에 필요한 칼슘을 섭취하지 않으면 안되므로 더욱 많은 칼슘을 섭취할 필요가 있다.

만약 이들 필요량이 충족되지 않으면 뼈의 발육이 정상적으로 이루어질 수 없음은 당연한 일

이다.

또한 임신부, 수유부의 경우에도 각자의 칼슘, 평형유지량 외에도 태아의 발육 및 모유 분비에 필요한 분량까지 섭취하지 않으면 안된다. 노년기에는 칼슘의 흡수율 저하 등으로 뼈가 약해지는 경우가 많다.

그러므로 칼슘의 영양은 일생을 통하여 부족함이 없어야 한다.

칼슘 평형유지량은 각 연령을 통해서 체중 1kg 당 10mg으로 평가되고 있다.

2. 장관으로부터의 칼슘 흡수

식이 중에 칼슘은 대부분이 여러가지 화합물 또는 복합체로써 존재하며, 섭취하면 위에서는 위산에 의해서 이것들 대부분이 용해되어 해리하게 된다. 십이지장에서는 장내용물이 산성이기 때문에 대부분의 칼슘은 가용 상태로써 존재하고 신속하게 흡수된다.

그러나 소장 상부에서는 식이의 이동 속도가 빠르기 때문에 흡수되지 못한 많은 칼슘이 소장 하부에 축적하게 된다(소장의 하부 쪽에 내려갈수록 식이의 이동 속도는 늦다).

그러나 소장 하부에서는 내용물이 중성에서 약 알칼리성이기 때문에 칼슘 이온은 다른 음이온, 예를 들면 인산이온 등과 불용성 염을 형성하기 쉽게 되어 흡수되지 못하고 배설되어 버리고 만다.

이러한 장관(腸內)에서의 칼슘의 거동을 중심으로 칼슘의 흡수에 영향을 미치는 인자에 대하여, 또는 칼슘의 흡수 메카니즘에 대하여 무수한 연구가 행하여져 왔으나 아직 명확히 규명되어 있지 않다.

지금까지의 연구 성적을 종합하여 보면, 장관 칼슘 흡수에 영향을 미치는 인자로는 연령, 요구량, 이전의 칼슘 흡수 정도, 식사 중의 칼슘

수준, 칼슘과 인의 비율, 장내의 산도, 비타민D, 우유 및 유제품, 수산, 피틴산(Phytic acid), 지방, 부갑상선호르몬, 칼시토닌 등등을 들고 있으며 연령이 어릴수록, 성장기, 임신부와 같이 체내 요구량이 클 수록, 칼슘의 흡수율이 증가하며, 음식물 중 칼슘과 공존하는 다른 성분에 의해서는 칼슘의 흡수가 촉진되기도 하고 저해되기도 한다는 것이다.

칼슘 흡수 메카니즘으로는 소장 상부에서는 주로 능동적수송(Active transport)에 의해서, 소장 하부에서는 주로 수동적 확산(Passive diffusion)에 의해서 소장 점막을 통과하는 것으로 생각하고 있다.

3. 우유의 칼슘의 이용성

식품의 칼슘원으로써의 가치는 많은 경우 그 식품의 칼슘 함량보다는 칼슘의 이용성에 의존하고 있다.

예를 들면 우유의 칼슘 함량은 평균 118mg%이고 그 이용성은 87%로 평가되고 있다. 한편 시금치의 칼슘 함량은 우유와 거의 비슷한 95mg%이지만 그 이용성은 14%로 평가되고 있다.

또한 계란 껍질이나 생선뼈 등은 칼슘 함량이 굉장히 많지만 그것들은 먹을 수 있는 부분에 존재하지 않는 경우가 많다.

그러므로 단순히 식품 중 칼슘 함량이 많다고 해서 칼슘원으로 평가될 수 없는 것이다.

우유, 유제품은 예로부터 가장 좋은 칼슘 급원 식품으로 들고 있다.

우유의 칼슘의 이용율이 높음을 증명한 대표적인 연구를 들면, Wasserman 등에 의하여 이루어진 칼슘 출납법 또는 뼈에의 칼슘의 침착 등의 실험을 통해 얻어진 결과이다.

즉, 송아지에게 우유-건초와 곡류의 사료-우유의 순서로 바꾸어 먹었을 때 칼슘의 이용율은

90%—37.5%—90%로 사료의 전환과 함께 대단히 빨리 칼슘의 이용률도 변하였다.

이 실험 성적에서 그들은 우유의 칼슘의 이용성이 높은 원인이 동물의 어떤 생리적 변화에 의한 것이 아니고, 우유 중의 어떤 성분이 장관에서의 칼슘 흡수에 직접 관여하고 있을 가능성을 시사하였다.

그 성분으로써 유당(Lactose), 라이신(Lysine) 등이 제안되어, 그후 많은 연구자들이 우유 성분과 칼슘 흡수와의 관계에 대해서 흥미를 가져왔다.

지금까지의 연구에서 유당, 라이신, 카제인(Casein) 등의 우유 성분이 칼슘 흡수의 촉진인자으로써 보고되어 왔다.

4. 우유의 칼슘의 이용성이 높은 원인

식품의 칼슘의 흡수율이 낮은 원인에 대해서는 여러가지로 규명되어 왔는데, 식품 중 칼슘이 수산, 피틴산, 과량의 인산 등의 여러 성분과 혼재하고 있을 경우, 장관에서 칼슘과 이들 성분이 불용성 염을 형성하여 배설되어 버리기 때문이라고 설명되고 있다(칼슘이 장관으로부터 흡수되기 위해서는 필히 가용 상태여야 한다).

예를 들면 시금치의 경우 흡수율이 낮은 원인은 시금치 중 수산을 많이 함유하고 있기 때문이며, 곡류의 칼슘이 이용되기 어려운 점도 곡류 중 피틴산, 인산 등을 많이 함유하고 있기 때문이라고 생각된다.

그러나 칼슘의 흡수율이 높은 원인에 대해서는 주로 우유의 성분을 가지고 많은 연구가 계속되어 왔으나 아직 불분명한 점이 많다.

여기서는 우유의 칼슘의 흡수율을 높이는 인자으로써 유당, 라이신, 카제인에 대한 연구를 소개 설명하겠다.

① 유당(Lactose)

우유의 주요 탄수화물 성분인 유당의 장내 칼슘 흡수 촉진 효과에 대해서는 가장 많이 연구가 되어 있고, 일반적으로 크게 인정되어 왔다.

즉 많은 연구자들에 의해서 칼슘과 유당의 혼합물을 경구 투여하거나 장관내에 직접 투여했을 때, 장에서의 칼슘 흡수는 물론 뼈에의 칼슘의 침착이 현저하게 증가되었다.

유당의 촉진 효과는 칼슘과 동시에 투여했을 때, 특히 회장 부위에 직접 투여했을 때, 현저하게 나타났으며 그것도 30분 이내라는 단시간에 효과가 나타났다.

그러나 유당과 칼슘 혼합물을 복강내에 주사하거나, 장관의 인접 부위에 유당과 칼슘을 따로 따로 투여했을 때에는 효과가 없었다.

이러한 여러가지 실험 결과에서 유당의 효과는 칼슘의 장내 흡수를 촉진하는 것이고 특히 소장 하부에 크게 작용하는 것으로 결론지었다.

그러면 칼슘 흡수에 대한 유당의 작용 메카니즘은 어떤 것일까?

첫째, 유당 섭취에 의한 “장내 pH 저하설”이 제창되어 왔다.

즉 유당은 서서히 흡수되기 때문에 소장 하부에 많이 존재하게 되고 그곳에서 유당을 기질로 하는 미생물 등의 발효에 따라 장내의 pH가 저하되어 칼슘의 흡수를 증가시킨다는 이론이다.

그러나 이 장내 pH 저하설에 대해서는 반론도 많다.

왜냐하면 유당의 효과가 칼슘과 유당의 투여 후 장내 세균의 작용이 발현되기 이전, 즉 투여 후 단시간에 이미 칼슘의 흡수가 촉진된다던가,

장내 미생물의 기질로써 적당치 않은 당류(Xylose, Mannose, Cellobiose 등등) 들도 유당과 유사하게 장내 칼슘 흡수에 대해서 촉진 효과를 나타냈다면,

또는 항생제를 투여한 후에도 유당의 촉진 효과는 저하되지 않았던가 등등의 이유로 충분한 지지를 받지 못하고 있다.

둘째, 유당과 칼슘의 “복합체 형성설”이다.

이것은 칼슘과 유당이 가용성 복합체를 형성하며, 그로 인해 불용성 탄산칼슘염의 형성을 방지하며 이 칼슘-유당 복합체가 막을 통과 흡수될 수 있다는 시험관내(in vitro)의 실험 성적에 기초를 둔 것이다.

그러나 이와 같은 칼슘-유당의 가용성 복합체를 형성하기 위해서는 상당량의 유당이 필요하며(칼슘과 유당의 몰비 1:40), 과연 유당을 섭취한 동물의 장내에서도 그러한 칼슘과 유당량의 존재비가 성립될 수 있을 것인가 하는 점, 이외에도 장내에서 불용성 칼슘 염을 형성하는 것은 주로 인산이온에 의해서 인테 칼슘-유당 복합체가 불용성 인산칼슘 염의 형성을 저지하는 데에는 아무런 효과를 나타내지 못했다는 점 등을 들어 칼슘-유당 복합체 형성설도 강력한 지지를 받지 못하고 아직도 검토해야 할 여지를 남기고 있다.

셋째가 유당의 “대사 저해설”이라 하겠다.

이것은 소장 하부의 점막 세포에는 본래 칼슘이온이 통과하기 어려운 대사적 장벽이 있으며, 이것은 대사적 저해제나 저해조건에 따라 칼슘의 점막 투과성을 증가시킬 수 있다는 데에 근거를 두고 있다.

즉 Fluoride, 2-4-dinitrophenol(DNP), Malic acid 등의 대사저해제에 의해서 칼슘의 장내 흡수가 촉진되었으며, 유당이 이들 대사저해제와 유사하게 작용한다는 것이다.

이 가설은 현재에도 활발하게 검토 연구 중에 있다.

이상을 요약하면 장내 칼슘 흡수에 대한 유당

의 촉진 효과는 일반적으로 인정되고 있으나, 그 작용 메카니즘에 대해서는 아직 설명한 3가지의 가설만으로써는 아직 충분히 설명될 수 없는 실정이며 앞으로도 더욱 많은 연구를 필요로 하고 있다.

② 라이신(Lysine)

각 종의 아미노산을 각각 칼슘과 함께 장관내에 직접 투여하여, 칼슘 흡수에 대한 아미노산의 효과를 검토했을 때, 라이신과 아아지닌(Arginine)은 촉진 효과를 나타냈으며 트레오닌(Threonine)과 구루타민산(Glutamic acid) 등은 저해 효과를 나타냈다.

특히 우유 단백질에는 라이신이 풍부하게 포함되어 있는 것으로 보아, 우유 칼슘의 이용성을 높이는 하나의 요인으로써 라이신에 대하여 검토가 행하여 졌다.

칼슘 흡수에 대한 라이신의 효과에 대해서도 유당과 거의 비슷하게 소장 하부에 직접 칼슘과 혼합물로써 투여했을 때 현저한 촉진 효과를 나타냈으며 이때 라이신이 촉진 효과를 나타내기 위해서는 칼슘의 2~3배의 몰농도가 필요하다고 하였다.

그러나 실제로 라이신은 장내에서도 빨리 흡수되는 아미노산 중의 하나이며, 우유 단백질의 소화과정에서 생성되는 라이신이 칼슘의 흡수를 촉진시킬만큼 많은 양으로 소장 하부에 존재할 것이라는 추측은 거의 신뢰성이 없다고 보겠다.

또한 장내 칼슘 흡수 촉진에 대한 라이신의 작용 메카니즘을 라이신과 칼슘의 착염 형성으로 설명하고 있으나 장내의 pH 상태하에서는 그러한 착염 형성은 이론적으로 거의 기대될 수 없다.

이러한 이유로 우유 칼슘의 장내 흡수에 대한 라이신의 촉진 효과는 거의 지지받지 못하고 있는 형편이다.

③ 카제인 (Casein Phosphopeptide)

최근 본인은 수년간 장내 칼슘 흡수에 대한 우유 단백질인 카제인의 효과에 대하여 검토해 온 결과, 카제인의 소화과정에서 생성되는 인펩타이드(Phosphopeptide)가 장내 칼슘 흡수를 촉진시키는 효과를 가졌음을 관찰하였다.

인단백질인 카제인의 인공소화로 인펩타이드가 분리되며, 이 인펩타이드가 칼슘, 철 등과 같은 금속이온과 강한 친화력을 가지며, 이들과 가용성 복합체를 형성함은 이미 오래 전에 시험관 내의 실험에 의해서 밝혀진 사실이다.

본인은 이 카제인 인펩타이드가 시험관 내에서 생성되는 것과 마찬가지로 카제인을 섭취한 동물의 장내에서도 생성될 수 있는가에 주목하여 실험한 결과, 카제인을 함유한 식이 또는 분유 등을 섭취한 흰쥐의 장내에서 인펩타이드를 분리하는데 성공하였다.

또한 장내에 인펩타이드가 존재하는 조건하에서는 가용성 칼슘량이 증가되고, 불용성 인산칼슘 염의 형성이 저지됨을 밝혔다.

아울러 인펩타이드에 의해서 증가된 가용성 칼슘으로 인해 장관으로부터의 칼슘의 흡수가 크게 촉진, 특히 소장 하부에서의 수동적 확산에 의한 칼슘 흡수가 크게 촉진됨을 규명해 냈다.

이상을 요약하면 카제인의 소화과정에서 인펩타이드가 생성되며 장관내에서 칼슘이온과 가용성 복합체를 형성(인펩타이드와 칼슘의 몰비는 1:40), 불용성 염의 형성을 방지하므로써, 장관의 가용성 칼슘의 절대량을 증가시키며 칼슘의 흡수를 촉진시킨다는 것이다.

이러한 새로운 제안에 대해서는 앞으로 더욱 많은 실험과 검토가 이루어져야 함은 물론이다.

이상에서 우유 및 유제품이 칼슘급원으로써 가치가 있는 것은, 우유의 칼슘의 장내 흡수율이 높는데 기인하며, 장내 흡수율이 높은 원인이 우유 속에 공존하고 있는 구성 성분에 있다는 것에는 거의 일치하고 있다.

우유 칼슘의 흡수에 영향을 미치는 인자로써 유당, 라이신, 카제인 인펩타이드 등이 검토되어 왔으며 그것들 모두가 칼슘의 장내 흡수에 촉진 효과를 가지며 특히 소장 하부에서 현저하게 효과를 나타내고 있다.

그리고 장내 칼슘 흡수에 대한 각각 성분들의 작용 메카니즘에 대해서는 아직 정설이 확립되어 있지 않은 실정이다.

그러나 이들 성분 중 어느 특정한 것만이 우유의 칼슘 흡수에 관여하고 있다기 보다는 이들 각각의 성분이 공동으로 작용하고 있을 가능성도 크다고 본다.

예를 들면 인펩타이드에 의해서 칼슘의 가용화가 촉진될 수 있으며, 이 가용성 칼슘이 소장 점막을 통과할 수 있도록 유당이 작용할 수도 있을 것이다.

이러한 우유 성분의 직접적인 관여 이외에도 배농을 수 없는 것은 우유 중의 칼슘과 인의 함유 비율이다.

많은 연구에서, 칼슘이 소장에서 가장 효율적으로 흡수되기 위한 칼슘과 인의 비율은 1~2:1로 보고되어 왔다.

우유 중의 칼슘과 인의 함유 비는 약 1.2:1로써 칼슘의 장내 흡수에 매우 적절한 비율임은 말할 것도 없다.

이와 같이 우유의 칼슘의 이용성이 높은 원인은 우유 자체에 있음을 재강조하여 둔다.