

흰쥐에 있어서 펙틴이 식이의 상부소화관내 이동 속도에 미치는 영향

김 정 인

인제대학교 식품영양학과

The Effect of Dietary Pectin on the Upper Gastrointestinal Transit Rate in Rats

Jung-In Kim

Dept. of Food and Nutrition, Inje University, Kimhae 621-749, Korea

Abstract

The effect of dietary pectin on the upper gastrointestinal transit rate was studied. Rats fed fiber-free diet or 10% pectin diet were offered $^{51}\text{-CrCl}_3$, a transit marker. The movement of $^{51}\text{-Cr}$ dose through the gastrointestinal tract was measured at intervals from 20 minutes to 6 hours after dosing. Pectin significantly increased gastric emptying rate upto 3 hours after dosing. Pectin also increased small intestinal transit rate from 3 hours to 4 hours after dosing. The results suggest that delayed gastric emptying is not likely the important aspect of the mechanism by which pectin could flatten the post-prandial response of serum glucose and insulin.

Key words : pectin, gastric emptying, gastrointestinal transit rate

서 론

섬유(fiber)란 '식물성 식품에 존재하는 소화할 수 없는 성분의 총칭(the sum of the various indigestible components of plant origin in diet)'으로 정의된다¹⁾. 1974년 Burkitt 등²⁾이 당뇨병, 비만증, 심장병, 다발성 관절염 등 서구사회에서 흔히 볼 수 있는 질병의 발생 빈도와 섬유의 섭취량 감소 사이에 상관관계가 있다는 가설을 발표하였다. 그 후 섬유의 건강증진과 질병치유효과에 대한 많은 연구가 진행되어왔다.

섬유의 일종인 펙틴은 당뇨병의 예방과 치료에 도움을 줄 수 있는 가능성을 지닌 섬유로써 주목받고 있다³⁾.

이 논문은 1990년도 문교부 지원 학술진흥 재단의 자유공모과제 학술 연구 조성에 의하여 연구되었음

⁴⁾ 펙틴은 인간과 동물에 있어서, 포도당 부하 후 또는 식이 섭취 후에 혈청의 포도당 및 인슐린 농도가 급격히 증가하는 현상(post-prandial response of serum glucose and insulin)을 아주 효율적으로 억제하였다⁵⁻⁸⁾. 펙틴이 어떠한 기전으로 이러한 효과를 나타내는가에 대한 몇 가지 가설이 제시되었는데, 그 중 유력한 것은 펙틴이 식이의 위에서 소장으로 이동되는 속도(gastric emptying rate)를 지연시켜, 포도당이 천천히 흡수되게 한다는 가설이다.

그런데 펙틴이 식이의 위에서 소장으로 이동되는 속도에 미치는 영향을 조사한 연구보고는 서로 일치되지 않는 결론을 내리고 있다. 펙틴과 guar gum과 같은 점성(viscosity)이 강한 섬유는 gastric emptying rate를 증가시키거나 감소시키거나 또는 변화시키지 않았다⁹⁻¹⁴⁾.

이는 실험대상의 건강상태, 섭취한 식이의 종류와 형태, 사용한 펙틴의 종류와 gastric emptying rate의 측정 방법에 따라 서로 다른 결과가 나타났다. 따라서 적절한 실험계획에 의해서 펙틴이 식이의 상부소화관내 이동속도(upper gastrointestinal transit rate)에 미치는 영향을 연구할 필요성이 제기된다.

그러므로 본 연구에서는 일상적인 식이를 섭취하는 건강한 흰 쥐에 있어서, 펙틴이 상부소화관내 이동속도에 미치는 영향을 조사하고자 한다. 본 연구는 펙틴이 소화관의 중요한 생리현상인 이동속도에 미치는 영향을 이해하고, 또한 펙틴의 혈당치를 조절하는 효과가 펙틴이 gastric emptying rate를 변화시켜 초래하는 2차적인 효과인지 아닌지를 규명하는 데 도움을 줄 것이다.

재료 및 방법

실험동물 및 실험식이

체중 110~120g의 Sprague Dawley종 수컷 흰쥐 80 마리에게 10~25일간 무섬유식이 (fiber-free diet = FF diet)를 공급하였다. 무섬유식의 조성은 Table 1과 같으며, 식이와 물은 자유로이 섭취시켰다. 동물은 stainless steel wire-bottomed cage에 한 마리씩 수용하였으며, 동물사육실은 온도 (20~24°C)와 습도 상태 (55~65%)를 조절하였고, 명암은 12시간 cycle 조명 (0700~1900 light and 1900~0700 dark)으로 하였다. 무섬유식이 공

Table 1. Composition of the basal fiber-free diet

Ingredient	Amount (g/100g diet)
Soy protein ¹	20.0
Corn starch ²	70.0
Corn oil ³	5.0
Salt mix ⁴	3.5
Vitamin mix ⁵	1.0
D,L - methionine ¹	0.5

¹ Teklad Test Diets, Madison, WI, USA.

² Corn starch from Miwon Food Co.

³ Corn oil from Baeksul Food Co.

⁴ Rat mineral mix, provided : (in mg/100g of diet) CaCO₃, 725 ; CaHPO₄, 1130 ; Na₂HPO₄, 651 ; KCl, 730 ; MgSO₄, 230 ; MnSO₄.H₂O, 15.4 ; CuSO₄, 1.3 ; ferric citrate (16.7% H₂O), 15.1 ; ZnCO₃, 2.1 ; KIO₃, 0.1.

⁵ Vitamin mix prepared in glucose, provided : (in mg/100g diet) D-biotin, 0.20 ; choline bitartrate, 100 ; folic acid, 1.00 ; nicotinic acid, 5.00 ; D-calcium pantothenate, 5.00 ; pyridoxine HCl, 1.50 ; cyanocobalamin, 0.005 ; (in IU/100g of diet) retinyl acetate, 1,000 ; ergocalciferol, 125 ; D, L-α-tocopherol acetate, 5.00.

급기간 (10~25일)의 마지막 3일간, 밤동안은 동물에게 식이를 제공하지 않았으며 아침에 식이와 0.5ml의 10% 설탕용액을 공급하였다. 식이는 낮동안에만 자유로이 섭취하게 하였다 (daytime train-feeding). 소화관내 식이의 이동속도를 측정하기 전날, 동물을 같은 체중(평균체중 175g)을 가진 두 군으로 나누어서 한 군은 무섬유식이, 다른 군은 10% 펙틴식이 (10% pectin diet=10P diet)를 낮동안만 공급하였다. 펙틴식은 무섬유식이에 펙틴(pectin, grade I, from Citrus fruit : Sigma Chemical Co., St. Louis, Mo, USA)을 10% 수준으로 첨가하여 만들었다. 펙틴의 polygalacturonic acid 농도는 86%이었고 methoxy content는 9.9%였다.

식이의 상부소화관내 이동속도의 측정

이동속도를 측정하기 전날, 동물에게 무섬유식이 또는 펙틴식을 낮동안 공급한 뒤 밤동안에는 식이를 공급하지 않았다. 다음날 아침 2g의 무섬유식이 또는 펙틴식을 공급하였다. 동물이 2g의 식이를 섭취한 뒤 (약 40분 소요), 1μCi의 51-CrCl₃ (Chromium (III) chloride in 0.1M HCl, 400mCi/mg Cr, 10mCi/ml,

12 hours	12 hours	40 minutes	5 minutes	variable
Ad libitum access to assigned diet	Overnight fast	2 gram of assigned diet	1 μCi of 51 - CrCl ₃ dose	1g of assigned diet

Sacrifice

Fig. 1. Dosing protocol.

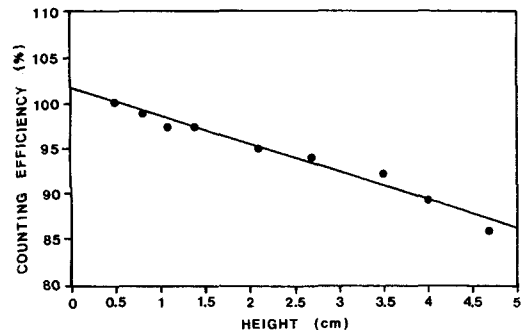


Fig. 2. 51-Cr counting efficiency at various heights.

Counting efficiency of 51-Cr standard solution of 0 5cm height was defined as 100%

$$\text{Efficiency (\%)} = 101.5892 - 3.06439 \times \text{height (cm)}$$

$$R^2 = 0.973478$$

Amersham Co., Arlington Heights, IL, USA)를 녹인 0.5 ml의 10% 설탕용액을 petri dish에 담아 제공하였다 (Fig. 1). 설탕용액의 섭취에 훈련된 동물들이 자발적으로 51-Cr 설탕용액을 섭취한 뒤 (약 5분 소요), 1g의 무섬유식이 또는 펙틴식이를 더 공급하였다. 동물이 51-Cr dose를 섭취한 뒤 petri dish에 잔류한 51-Cr을 5ml의 10% SCAT-20 × 용액(Nacalai Tesque, Inc., Kyoto, Japan)으로 24시간동안 추출하였다. 추출액을 시험관에 옮겨서 γ -counter (1282 CompuGamma CS Gamma Counter, LKB-Wallac Instrument, Turku, Finland)로 방사능을 측정하였다. 동물이 섭취한 51-Cr dose (consumed dose)는 동물에게 제공한 1 μ Ci의 51-Cr dose에서 petri dish에 잔류된 양을 뺀 값으로 정의하였다. 동물이 51-Cr dose를 섭취한 시점을 원점으로 하고, 20분, 40분, 60분, 90분, 120분, 3시간, 4시간, 그리고 6시간 후에 동물을 희생시켰다. 위, 소장, 맹장, 대장 그리고 대변을 채취하여 각각 시험관에 옮긴 후 그 높이를 측정하고 γ -counter로 방사능을 측정하였다. γ -counter로 시료의 방사능을 측정할 때, counting efficiency는 시료의 높이가 증가함에 따라 감소한다. 높이가 각기 다른 51-CrCl₃ 표준용액의 방사능을 측정하고, 0.5ml의 표준용액이 시험관에서 차지하는 높이는 0.5cm이었으므로 높이가 0.5cm인 용액의 counting efficiency를 100%로 간주하였다. 높이와 counting efficiency의 관계를 회귀분석법에 의해 계산한 결과는 다음과 같다 (Fig. 2).

$$\text{Counting efficiency (\%)} = 101.5892 - 3.06439 \times \text{height (cm)}$$

$$R^2 = 0.973478$$

따라서 모든 시료의 방사능은 높이에 따른 counting efficiency의 차이를 고려하여 수정하였다. 각 시료에 함유된 51-Cr dose의 양은 시료의 방사능을 동물이 섭취한 51-Cr dose의 백분율 (%)로 표시하였다.

통계처리

본 연구의 모든 결과는 평균±표준편차로 표시하였다. 펙틴이 식이의 상부소화관내 이동속도에 미치는 효과를 알아보기 위하여 각 군간의 유의성 검정은 two-way ANOVA를 사용하였다. Tukey's multiple range test ($\alpha=0.05$)를 follow-up procedure로 사용하였다.

결과 및 고찰

식이의 소화관내 이동속도를 측정하는 데 사용되는 이동속도 표시물질(transit marker)은 소화관에서 흡수되지 않고, 소화관에서의 이동을 양적으로 나타낼 수 있는 물질이어야 한다. 51-Cr은 체내에 거의 흡수되지 않으므로^{15,16}, 동물이 섭취한 51-Cr은 모두 소화관과 대변에서 회수될 것으로 믿어진다. 51-Cr을 섭취한 후 6시간까지 대변에서는 방사능이 검출되지 않았다. 20분부터 6시간까지 각 시점마다 무섬유식이군과 펙틴식이군에서 각각 한 마리의 동물을 선택하여 소변을 채취하고 remaining carcass (소화관을 제외한 동물사체)를 분쇄하였다. 소변과 분쇄된 사체를 시험관에 옮긴 후 방사능을 측정한 결과, 51-Cr이 거의 존재하지 않았다.

따라서 51-Cr은 적합한 이동속도 표시물질이라 할 수 있다. 펙틴이 소화관내 이동속도에 주는 영향을 조사하기 위해서는 소화관내에 펙틴이 이동속도 표시물질과 함께 존재하여야 한다. 그러므로 본 실험에서는 동물을 낮동안 식이를 섭취하게 훈련시킨 뒤, 동물이 일정량(3g)의 무섬유식이 또는 펙틴식을 섭취할 때 발생하는 이동속도의 차이에 대하여 조사하였다.

Table 2. 51-Cr dose past stomach¹

Group	n ²	51-Cr past stomach (% of consumed dose)
FF ³ - 20min	5	28.2± 4.8 (a)
FF - 40min	5	42.3±10.6 (ab)
FF - 60min	5	48.7± 8.0 (bc)
FF - 90min	5	50.4±15.8 (bc)
FF -120min	5	63.3±11.0 (cd)
FF - 3hr	5	70.8±11.7 (de)
FF - 4hr	5	99.2± 0.6 (g)
FF - 6hr	5	98.9± 1.5 (fg)
10P ⁴ - 20min	5	57.5± 7.7 (bcd)
10P - 40min	5	81.4± 5.8 (ef)
10P - 60min	5	87.5± 8.0 (efg)
10P - 90min	5	84.5± 9.1 (efg)
10P - 120min	5	90.2± 4.0 (fg)
10P - 3hr	5	95.8± 2.2 (fg)
10P - 4hr	5	98.3± 1.3 (fg)
10P - 6hr	5	99.1± 1.4 (g)

¹ Values are means ±SD
Values were analyzed by two-way ANOVA
Tukey's multiple range test was used as a follow-up test
Means differ significantly (p<0.05) if they do not share a common letter in parenthesis

² Number of rats per group

³ Fiber-free diet group

⁴ 10% pectin diet group

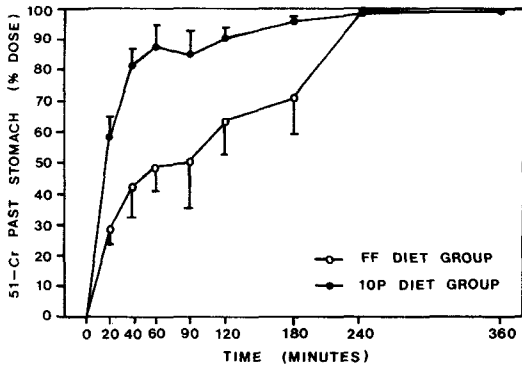


Fig. 3. 51-Cr dose past stomach. Each point shows mean \pm SD for the corresponding group of 5 rats.

식이의 상부소화관내 이동속도는 gastric emptying rate와 small intestinal transit rate로 표시하였다. Gastric emptying rate는 51-Cr dose를 섭취한 후 일정시간 동안에 위를 통과하여 소장으로 이동한 51-Cr(51-Cr past stomach)의 양으로 나타내었다. Small intestinal transit rate는 소장을 통과하여 맹장으로 이동한 51-Cr(51-Cr past small intestine)의 양으로 표시하였다. 51-Cr past stomach는 소장, 맹장과 대장에 함유된 51-Cr dose의 합으로 정의되었다. 51-Cr past small intestine 은 맹장과 대장에 함유된 51-Cr dose의 합으로 나타내었다. 시간의 경과에 따른 51-Cr past stomach의 변화는 Table 2과 Fig. 3에 나타내었다. 51-Cr를 섭취한 후 20분 동안 펙틴식이군에서는 57.5%의 51-Cr dose가 위를 통과하였으나 무섬유식이군에서는 28%만이 통과하였다. 40분후 펙틴식이군에서는 81%가 위를 통과하였으나 무섬유식이군에서는 42%만이 통과하였다. 20분과 40분에 펙틴식이군은 무섬유식이군에 비해 약 2배의 51-Cr dose가 위를 통과하였고, 두 군사이에는 유의성이 있었다 ($p < 0.05$). 40분후부터 51-Cr이 펙틴식이군의 위를 통과하는 속도는 점차 느려져서 60분에 87.5%, 그리고 3시간후에 96%가 위를 통과하였다. 무섬유식이군에서는 60분후에 49%가 위를 통과하였고 3시간후에는 71%가 위를 통과하였다. 51-Cr를 섭취한 60분, 90분, 120분, 그리고 3시간후에 위를 통과한 51-Cr dose의 양은 펙틴식이군이 무섬유식이군보다 더 많았다 ($p < 0.05$). 4시간과 6시간후에는 펙틴식이군과 무섬유식이군 모두 98%이상의 51-Cr이 위를 통과하였고, 펙틴식이군과 무섬유식이군 사이에 유의적인 차이는 없었다.

Table 3. 51-Cr dose past small intestine¹

Group	n ²	51-Cr past small intestine (% of consumed dose)
FF ³ - 20min	5	0 (a)
FF - 40min	5	0 (a)
FF - 60min	5	0 (a)
FF - 90min	5	0 (a)
FF - 120min	5	0.4 \pm 0.1 (a)
FF - 3hr	5	20.9 \pm 5.0 (b)
FF - 4hr	5	46.4 \pm 6.0 (c)
FF - 6hr	5	87.6 \pm 9.1 (e)
10P ⁴ - 20min	5	0 (a)
10P - 40min	5	0 (a)
10P - 60min	5	0 (a)
10P - 90min	5	0 (a)
10P - 120min	5	0.4 \pm 0.2 (a)
10P - 3hr	5	40.7 \pm 11.1 (c)
10P - 4hr	5	70.6 \pm 5.5 (d)
10P - 6hr	5	89.8 \pm 6.1 (e)

¹ Values are means \pm SD
Values were analyzed by two-way ANOVA
Tukey's multiple range test was used as a follow-up test
Means differ significantly ($p < 0.05$) if they do not share a common letter in parenthesis
² Number of rats per group
³ Fiber-free diet group
⁴ 10% pectin diet group

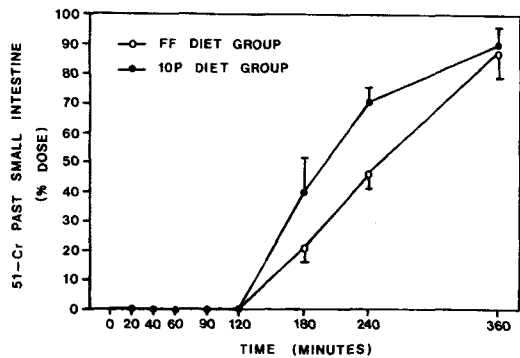


Fig. 4. 51-Cr dose past small intestine. Each point shows mean \pm SD for the corresponding group of 5 rats.

위의 결과로부터 gastric emptying half-time($t_{1/2}$; 식이 섭취후 위 내용물의 50%가 소장으로 이동해 가는 데 걸리는 시간)을 추정하였다. 펙틴식이군의 $t_{1/2}$ 은 20분보다 더 작지만, 무섬유식이군의 $t_{1/2}$ 은 60분과 90분 사이에 존재하였다. 따라서 펙틴식이군의 $t_{1/2}$ 은 무섬유식이군보다 훨씬 작았다.

시간의 경과에 따른 51-Cr past small intestine의 변

화는 Table 3과 Fig. 4에 나타내었다. 51-Cr을 섭취한 후 120분 동안 무섬유식이군과 펙틴식이군에서 51-Cr dose는 거의 소장을 통과하지 않았다. 3시간후 펙틴식이군에서는 41%의 dose가 소장을 통과하였으나, 무섬유식이군에서는 21%가 통과하였다. 4시간후 펙틴식이군에서는 71%, 무섬유식이군에서는 46%가 통과하였다. 3시간과 4시간에 소장을 통과한 51-Cr의 양은 펙틴식이군이 무섬유식이군에 비해 훨씬 많았다 ($p < 0.05$). 6시간후 펙틴식이군과 무섬유식이군 모두 88% 이상의 dose가 소장을 통과하였으며, 두 군 사이에 유의적 차이는 없었다.

이전의 연구들에 의하면 주로 펙틴과 같은 점성이 강한 섬유는 gastric emptying rate를 감소시킨다고 보고되었으나, 실험의 대상과 조건에 따라 gastric emptying rate를 증가시키거나 변화시키지 않았다는 결과도 보고되었다⁹⁻¹⁴. 일반적으로 펙틴은 구강으로 섭취한 액체용액 (liquid solution)의 gastric emptying을 지연시켰다. 고체상태 (solid phase)는 액체상태 (liquid phase)보다 느린 속도로 위를 통과한다¹⁷. 액체용액에 펙틴을 가하면 점성이 강한 용액이 되는 데, 이 용액은 무섬유용액에 비해 고체상태와 유사하게 소화관내에서 느리게 이동할 수 있을 것이다. 그러나 Rainbird와 Low¹⁴가 지적인 것 처럼 펙틴을 고품사료에 가한 경우, 그 효과가 펙틴을 액체용액에 첨가한 경우와 다를 수 있을 것이다. Tadesse⁹는 low-methoxy pectin은 gastric emptying을 가속시켰으나 high-methoxy pectin은 이를 지연시켰다고 보고하였다. 그러나 대부분의 연구보고들은 어떤 종류의 펙틴을 사용했는지 보고하지 않았다. 피험자의 건강상태도 펙틴이 gastric emptying에 미치는 효과를 변화시킬 수 있다. 펙틴은 건강한 사람의 gastric emptying을 지연시켰으나, dumping syndrome환자에게서는 이를 가속시켰다. 본 실험에서는 건강한 쥐에게 high-methoxy pectin을 공급할 때 상부소화관내 이동속도, 즉 gastric emptying rate와 small intestinal transit rate가 증가되었다.

펙틴은 보습성이 강하므로, 펙틴식을 섭취한 동물의 위 내용물은 무섬유식을 섭취한 동물에 비해 많은 양의 물로 인해 그 부피가 컸다. 실제 펙틴식이 동물의 위는 무섬유식이 동물보다 무게가 무거웠다. 위의 팽창은 gastric emptying을 가속시킨다¹⁸. 펙틴식은 무섬유식보다 위를 많이 팽창시키고, 따라서 gastric emptying을 가속시킬 수 있을 것이다.

Hunt와 Stubbs¹⁹는 위 내용물의 에너지밀도가 증가할

수록 적은 양의 내용물이 일정 시간내에 위를 통과한다고 보고하였다. 펙틴식을 섭취한 동물의 위 용적이 커져서 위 내용물의 에너지밀도가 낮아진다면, 많은 양의 내용물이 일정 시간내에 위를 통과하여 상부소화관내 이동속도가 가속화될 수 있을 것이다.

포도당을 포함한 대부분의 영양소는 십이지장이나 공장의 윗부분에서 흡수된다²⁰. 따라서 펙틴이 상부소화관내 이동속도를 지연시키면, 2차적으로 영양소의 흡수속도도 지연시킬 수 있다. 그러나 본 실험에서는 펙틴이 식이의 상부소화관내 이동속도를 가속시켰다. 따라서 펙틴이나 guar gum과 같은 점성이 강한 섬유가 식이나 포도당 부하후 혈당치가 급격히 상승하는 것을 완화하는 원인이, 점성이 강한 섬유가 gastric emptying을 지연시키기 때문이라는 가설은 정확하지 않는 것 같다. 이 결론은 Rainbird와 Low^{13,14}의 보고와도 일치한다.

펙틴은 그 자체가 우리 몸에 영양소로 이용되지는 않지만, 다른 영양소의 bioavailability에 영향을 줄 수 있다^{4,21}. 영양소의 bioavailability를 연구할 경우에는 흔히 구강으로 영양소를 투여하고 일정 시간 뒤에 체내에 흡수된 양을 측정하는 방법을 사용한다. 이 측정법을 사용하여 펙틴이 특정 영양소의 bioavailability에 미치는 효과를 연구할 때는 펙틴을 섭취한 군과 섭취하지 않은 군에 있어서 그 영양소의 상부소화관내 이동속도는 일정하다고 가정한다. 이러한 연구에서 펙틴이 특정 영양소의 bioavailability를 감소(또는 증가)시킨다는 결과를 얻게 될 경우, 연구자는 그 결과의 해석에 주의하지 않으면 안된다. 왜냐하면 펙틴이 직접 bioavailability에 변화를 주어 그러한 결과가 나타날 수도 있지만, 다른 한편으로는 펙틴이 단지 그 영양소의 상부소화관내 이동속도를 감소(또는 증가)시켜서 일정 시간내에 보다 적은(또는 많은) 양의 영양소가 흡수부위 (absorption site)에 도착하게 되어 그러한 결과가 나타날 수도 있기 때문이다. Branch와 Cummings²²도 영양소의 흡수정도를 측정할 때 상부소화관내 이동속도의 차이가 하나의 변수라고 지적하였다. 따라서 펙틴이 다른 영양소의 bioavailability에 미치는 영향을 구명하고자 할 경우, 펙틴에 의한 영양소의 소화관내 이동속도의 차이도 고려하여 결과를 해석해야 할 것이다.

요 약

식이 중의 펙틴이 식이의 상부소화관내 이동 속도에 미치는 영향을 조사하였다. 원취에게 무섬유식이 또는 10% 펙틴식을 공급하면서 식이의 이동속도 표시물

질인 51-Cr를 투여하였다. 51-Cr 투여후 20분부터 6시간까지 정해진 시간 간격을 두고 동물을 희생시켜, 51-Cr이 소화관에서 이동하는 속도를 측정하였다. 51-Cr를 섭취한 뒤 3시간까지 펙틴은 51-Cr이 위에서 소장으로 이동해 나가는 속도를 유의성있게 증가시켰다. 51-Cr을 섭취한 후 3시간과 4시간 사이에 펙틴은 51-Cr이 소장을 통과하여 맹장으로 이동해 나가는 속도를 증가시켰다. 따라서 펙틴이 포도당 부하후 또는 식이 섭취후 혈당치와 인슐린치의 급격한 증가를 완화시키는 효과가 펙틴이 상부소화관내 이동속도를 지연시키기 때문이라는 가설은 정확하지 않은 것으로 보인다.

문 헌

- Cummings, J. H. : What is fiber? In "Fiber in human nutrition" Spiller, G. A. and Amen, R. J. (eds.), Plenum Press, New York, p.1(1976)
- Burkitt, D. P., Walker, A. R. P. and Painter, N. S. : Dietary fiber and disease. *J. Am. Med. Assoc.*, **229**, 1068(1974)
- Inglett, G. E. and Falkeheg, S. I. : *Dietary fibers ; chemistry and nutrition*. Academic Press, New York, p. 173(1979)
- Vahouny, G. V. and Kritchevsky, D. : *Dietary fiber*. Plenum Press, New York, p. 345(1986)
- Jenkins, D. J. A., Leeds, A. R., Guasull, M. A., Cochet, B. and Alberti, K. G. M. M. : Decrease in postprandial insulin and glucose concentrations by guar and pectin. *Ann. Int. Med.*, **86**, 20(1977)
- Jenkins, D. J. A., Leeds, A. R., Wolver, T. M. S., Goff, D. V., Alberti, K. G. M. M., Gassull, M. A. and Hockday, T. D. R. : Unabsorbable carbohydrates and diabetes : decreased postprandial hyperglycemia. *Lancet*, **2**, 172(1976)
- Jenkins, D. J. A., Wolver, T. M. S., Leeds, A. R., Gassull, M. A., Haisman, P., Dilawari, J., Goff, D. V., Metz, G. L. and Alberti, K. G. M. M. : Dietary fibres, fiber analogues, and glucose tolerance : importance of viscosity. *Br. Med. J.*, **27**, 1392(1878)
- Ebihara, K., Masuhara, R., Kiriyaama, S. and Manabe, M. : Correlation between viscosity and plasma glucose and insulin-flattening activities of pectins from vegetables and fruits in rats. *Nutr. Rep. Int.*, **23**, 985(1981)
- Tadesse, K. : The effect of dietary fibre isolated on gastric secretion, acidity and emptying. *Br. J. Nutr.*, **55**, 507(1986)
- Leeds, A. R., Bolster, N. R., Andrews, R. and Truswell, A. S. : Meal viscosity, gastric emptying and glucose absorption in the rat. *Pro. Nutr. Soc.*, **38**, 44A(1979)
- Lawaetz, O., Balckburn, A. M., Bloom, S. R. and Aritas, Y. : Effect of pectin on gastric emptying and gut hormone release in dumping syndrome. *Scan. J. Gastroent.*, **18**, 327(1983)
- Lembcke, B., Ebert, R., Ptok, M., Caspary, W. F., Creutzfeldt, W., Schicha, H. and Emrich, D. : Role of gastrointestinal transit in delay of absorption by viscous fibre (guar). *Hepato-gastroenterol.*, **3**, 183(1984)
- Rainbird, A. L. and Low, A. G. : Effect of guar gum on gastric emptying in growing pigs. *Br. J. Nutr.*, **55**, 87(1986)
- Rainbird, A. L. and Low, A. G. : Effect of various types of dietary fibre on gastric emptying in growing pigs. *Br. J. Nutr.*, **55**, 111(1986)
- Vissek, W. J., Whitney, I. B. and Kuhn III, U. S. G. : Metabolism of Cr-51 by animals as influenced by chemical state. *Proc. Soc. Exp. Bio. Med.*, **84**, 610(1953)
- Donaldson, R. M. Jr. and Barreras, R. F. : Intestinal absorption of trace quantities of chromium. *J. Lab. Clin. Med.*, **68**, 484(1966)
- Hinder, R. A. and Kelly, K. A. : Canine gastric emptying of solids and liquids. *Am. J. Physiol.*, **233**, E335(1977)
- Cohen, S., Long, W. B. and Snape, W. J. Jr : Gastrointestinal motility. In "Int. rev. of physiol. gastrointestinal physiology III", Vol.19. Crane R. K. (ed.), p.118(1979)
- Hunt, J. and Spurell, W. : The volume and energy content of meals as determinants of gastric emptying. *J. Physiol.*, **245**, 209(1975)
- Code, C. F. : *Handbook of physiology*. Am. Physiol. Soc., Washington, D. C., p.1524(1968)
- Spiller, G. A. : *CRC handbook of dietary fiber in human nutrition*. CRC Press, Florida(1986)
- Branch, W. J. and Cummings, J. H. : Comparison of radio-opaque pellets and chromium sesquioxide as inert markers in studies requiring accurate fecal collections. *Gut*, **19**, 371(1978)

(1992년 8월 7일 접수)