

## 계란의 콜레스테롤 함량과 지방산의 조절 - 현재와 전망

지 규 만

고려대학교 생명과학대학

### Perspective on Modifying Fatty Acid Composition and Cholesterol Content of Eggs

Kew-Mahn Chee

College of Life Sciences and Biotechnology, Korea University, Seoul 136-701, Korea

#### 서 론

현대인이 섭취하고 있는 식품 중에서 계란의 콜레스테롤처럼 많은 연구자의 관심을 끌었던 성분도 많지 않을 것이다. 콜레스테롤 섭취와 심장혈관계 질환과의 연관성에 대한 우려는 계란이 영양적으로 매우 우수한 식품임에도 불구하고 그 소비에 막대한 지장을 주고 있다. 전문가들이 하루에 섭취하는 콜레스테롤량을 300 mg 이하로 권장하기 때문에 약 200 ~ 250 mg의 콜레스테롤이 들어있는 계란의 섭취가 제한되고 있는 것이다(Brown, 1990; Cannon, 1990).

사실 계란의 콜레스테롤 함량은 우리나라에서 과거에는 전혀 문제가 되지 않았던 시대가 있었다. 그러나 최근 들어 국민의 영양상태가 좋아지면서 오히려 과잉섭취가 우려되는 상황에서는 계란뿐만 아니라 우유를 비롯한 모든 육류에서 포화지방산과 더불어 콜레스테롤의 섭취를 피하고자 하는 소비자들의 의식이 높아지고 있다.

계란에서의 이 문제를 해결하기 위해 오래 전부터 많은 노력이 있었지만 뚜렷한 성과가 보이지 않고 있었다. 이 문제에 대한 가장 적극적인 해결방안은 계란의 콜레스테롤 함량을 저하시키는 것이다. 연구자들은 사료적 방법, 약리적 효능에 의한 방법과 유전적 선택에 의한 방법 등을 동원해 보았다. 그러나 지금까지 엄청난 노력에도 불구하고 그 동안의 결론은 계란 콜레스테롤 함량의 현저한 감소는 결코 이뤄질 수 없다는 것이다. 그 이유는 콜레스테롤은 난황 형성에 필수적인 물질이며, 난황에 콜레스테롤이 축적되지 않으면 부화중 태아의 생존이 불가능해진다. 때문에 산란계가 산

란을 중지하게 되며, 닭에서 산란을 유지하기 위해서는 난황 콜레스테롤 함량이 어떤 최저수준으로 유지되어야 한다는 가설(critical level hypothesis)까지 제기되었다(Hargis, 1988). 문제 해결을 위한 또 하나의 방법은 계란의 콜레스테롤 함량이 우리의 건강에 별다른 피해를 주지 않는다는 관점을 주장하는 것이지만 이에 관한 논쟁은 한없이 계속되고 있을 뿐이다.

세 번째의 방법으로 나타난 것이 계란에 n-3 지방산이나 conjugated linoleic acid(CLA) 같은 성분을 증가시켜 난황을 섭취할 때 콜레스테롤로 인한 피해를 최소화시키는 것이다.

본문에서는 계란의 콜레스테롤 함량과 관련하여 건강에 영향을 미치는 문제에 관한 현재 전문가들의 의견과 난황 콜레스테롤 함량을 조절하는 연구의 그동안의 성과, 그리고 CLA를 난황에 축적시키기 위한 연구결과와 그 문제점들을 간단히 검토·소개하면서 앞으로의 연구방향 설정에 도움이 되고자 한다.

#### 1. 계란 섭취와 심장병 발생 위험도와와의 관계

계란 섭취와 건강문제에 관한 논쟁은 1970년대에 미국에서 법정 소송으로까지 전개된 적이 있었다. 그 후 수십 년이 지난 지금까지도 확실한 결론이 없으며 아마도 앞으로도 계란의 콜레스테롤 함량에 현저한 변화가 없는 한 영원히 그런 상태로 계속될지 모른다. 식사와 심장병과의 관계에 관한 현재까지의 이론은 포화지방산과 콜레스테롤 함량은 많고, 반면에 PUFA 함량은 적은 식사를 하면 혈액 콜레스테롤 수준이 높아지며 동맥경화증 발생 가능성이 높아진다는 것

이다. 그런데 계란은 콜레스테롤 함량이 많기 때문에 그것을 섭취하면 혈중 콜레스테롤 수준이 높아질 수 있다는 것이 현재까지의 일반적인 줄거리였다. 그 동안 비교적 잠잠하던 이 문제가 최근에 다시 전문 학술지에서 거론되면서 새로운 논쟁을 일으키고 있어 그 내용을 소개코자 한다.

과거에 보고되었던 역학조사 결과들의 내용을 다른 관점에서 다시 검토해본 결과 계란을 하루에 1개 정도 섭취하는 것이 건강한 남녀에서 심장병관련 위험도를 높이지 않는다는 결론을 내린 연구자들(Kritchevsky and Kritchevsky, 2000)이 있다. 이 연구자들은 인위적으로 계란을 섭취시키면서 수행된 연구는 계란의 섭취로 인해 다른 성분에 변화가 있었기 때문에 계란의 영향을 판단하는 올바른 방법이 아니라고 보고 있다. 실제로 계란을 먹을 때 그것이 이미 섭취하고 있는 식품에 추가해서 더 먹는 것이 아니고 식품의 일부를 대체해서 먹기 때문이다. 따라서 섭취하는 식품의 영향이 그대로 반영되는 역학조사 방법에 의한 판단이 더 타당성이 높다는 생각을 갖고 있다.

계란 한 개로 인한 콜레스테롤 섭취량은 미국인의 식사를 기준할 때 하루 섭취하는 전체 콜레스테롤의 30 % 수준에 불과하다. 이들이 식품내 다른 요인들, 즉 에너지, 포화지방산 함량, 식이섬유 등 여러 복합적인 요인의 영향을 동시에 고려하면서 계란 섭취가 심장병에 미치는 상대적 효과를 다시 계산해 본 결과는 Table 1과 같다. Table 1에 의하면 Oxford 채식주의자들의 연구를 제외하면 주당 계란을 1개 이하 섭취하는 사람과 7개 정도 섭취하는 사람 사이에 심장병 계통 질환의 상대적 위험도가 전체적으로 무시할 수 있는 차이였다.

Hu *et al.* (1999)은 Table 1에서 참고한 Health Professional

Follow-up Study(Ascherio *et al.*, 1996)와 Nurses' Health Study(Hu *et al.*, 1997)등 두 개의 cohort study에 참여한 건강한 남자(연구종료시 연령 40~75세) 37,851명과 여성(34~59세) 80,092명에 관한 자료를 검토한 결과, 하루에 1개씩의 계란을 섭취해도 건강한 남녀에서는 심장혈관계 질환이나 뇌졸중의 위험성을 높이지 않는다고 보고하였다. 다만 당뇨병 증상이 있는 사람에서는 하루에 1개의 계란을 섭취할 때 그보다 적게 섭취하는 사람에 비해 심장계통질환의 상대적인 위험성이 높아졌다. 그들은 남자에서 8년간의 추적조사 결과 866건의 심장병과 258건의 뇌졸중을, 여성에서는 14년간에 939건의 심장병과 563건의 뇌졸중을 파악하였는데 계란 섭취와 심장병이나 뇌졸중 발생 위험도 사이에 유의한 연관성을 발견하지 못하였다.

그러나 콜레스테롤 함량이 높은 계란의 섭취를 제한해야 한다는 연구들도 여전히 보고되고 있다. Oxford Vegetarian Health Study(Mann *et al.*, 1997)는 10,802명 성인을 대상으로 조사하였는데, 그중 54 %가 채식주의자(ovo-vegetarian 포함)였고 나머지는 그들의 가족이나 친구들이었다. 13.3년 동안 추적조사를 하면서 연령, 성별, 흡연 및 사회적 계층 등 요인을 보정한 결과 심장병 발생과 관련된 식품으로 판명된 것이 치즈, 동물성 지방 및 계란 섭취였다. 특히 1주일 동안에 6개 이상의 계란을 섭취한 경우 1개 이하를 섭취한 사람에 비해 사망 위험성이 유의하게 더 높아졌다. 이 연구에 대한 계란 애호가들의 지적은 1주일에 6개 이상의 계란을 섭취한 사람들에서만 사망 위험성이 유의하게 나타났다는 것과 특정한 방식의 식사를 하고 있는 사람들에서 나타난 결과를 일반화 할 수 없다는 것이다.

Weggemans *et al.* (2001)도 계란을 많이 섭취하면 여전히

**Table 1.** Epidemiological evidence relating egg consumption to coronary heart disease risk

Study population	Egg consumption (per week)	Relative Risk	Adjustment Factors
Framingham	Male <2.5 vs. ≥7	1.3	None
	Women <1.5 vs. ≥5	1.3	
Italian women, 22-69 yrs	<1 vs. ≥2	0.8	Age
Seventh-Day Adventists	<1 vs. ≥3	1.01	None
Oxford Vegetarian	<1 vs. ≥6	2.68*	age, gender, smoking, social class
Nurses Health Study,	<1 vs. ≥7		age, BMI, smoking, parental history, alcohol,
Male Health Professional	Male	0.93	vitamin use, hypertension, physical activity,
Study	Women	0.78	energy intake, bacon consumption, menopausal status, post-menopausal hormone use

\*  $p < 0.05$ . (Kritchevsky and Kritchevsky, 2000).

혈중 총 콜레스테롤과 HDL-콜레스테롤의 비율이 높아지기 때문에 계란이나 기타 콜레스테롤 함량이 높은 식품의 섭취를 피하는 것이 옳다는 주장을 계속하고 있다. 이들은 1977년부터 1999년 사이에 MEDLINE에 보고된 식이 콜레스테롤(계란 섭취량)과 혈중 총 콜레스테롤(lipoprotein)과의 관계에 대한 인체실험 논문들 중에서 일정한 조건에 부합되는 것들을 선택하여 meta-analysis를 하였다.

이들이 세운 선발조건은

- ① 영어로 발표된 논문,
- ② 실험처리군의 식이 섭취량에서 콜레스테롤과 계란 섭취량만 차이가 나고 다른 성분은 동일하게 되어 있는 것,
- ③ 피실험자의 체중이 실험기간 동안 일정하게 유지된 것,
- ④ 실험기간에 따른 변수를 제거할 수 있도록 설계되어 있는 것(즉 cross-over나 Latin-square 설계),
- ⑤ 실험 식이의 급여기간이 14일 이상으로 총 콜레스테롤이나 lipoprotein 농도가 일정한 수준에 도달할 수 있게 되어 있는 것,
- ⑥ 절식시 총 콜레스테롤과 lipoprotein 농도가 보고되어 있는 것,
- ⑦ 타당한 대조군이 있는 것이었다.

이런 기준에서 정리해본 결과 221개 중 16개의 논문이 선 발되었고, 이들 연구에서 콜레스테롤 섭취량은 137에서 897 mg/d 범위였다. 이 연구에 포함된 피실험자들은 북미, 유럽과 남아프리카 사람들이었다. 섭취 콜레스테롤이 혈중의 LDL-cholesterol 함량을 높이며(Fig. 1과 2), 결과적으로 total/HDL-cholesterol 비율을 높였는데 이 효과는 매우 높은 유의성을 보였고 ( $p < 0.0009$ ), 신뢰 한계(95%)도 좁게 나타났다. 하루에 계란 1개를 섭취하면 total/HDL-cholesterol 비율이 0.04단위 높아지며, 이는 심근경색(myocardial infarction) 발생률이 2.1% 높아짐을 의미한다(Stampfer *et al.*, 1991).

## 2. 계란의 콜레스테롤 함량 저하를 위한 연구성과

### 1) 난황 콜레스테롤 축적과정

지금까지 계란 콜레스테롤 함량을 낮추기 위해 사료적 방법이나 유전적 선발 등 다양한 시도가 있었으나 그 성과는 일반적으로 5% 이하의 범위에 머물고 있다(Elkin *et al.*, 1999). 그 동안 사료적인 방법에 의해 난황 콜레스테롤 함량의 저하를 시도하였던 연구에서 자주 사용하였던 재료는 간

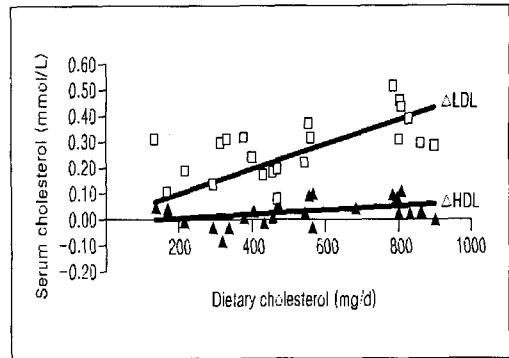


Fig. 1. Changes in serum LDL-cholesterol(□) and HDL-cholesterol(▲) concentrations with cholesterol intake in 17 studies providing 24 dietary comparisons. (Weggemans *et al.*, 2001)

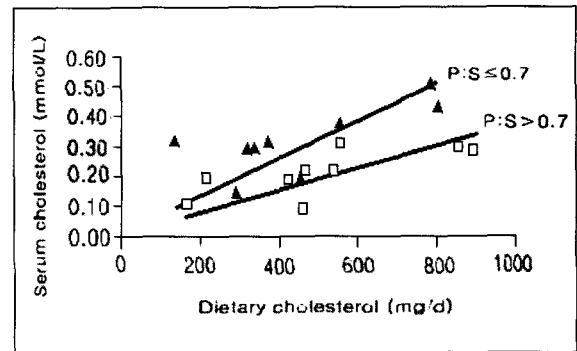


Fig. 2. The effect of a change in cholesterol intake on serum LDL-cholesterol in studies with a ratio of polyunsaturated to saturated fat  $\leq 0.7$ (▲) and  $> 0.7$ (□). (Weggemans *et al.*, 2001)

에서 콜레스테롤 합성에 관여하는 효소중 rate limiting enzyme인 HMG CoA-reductase를 억제하는 물질들이었다. 난황 콜레스테롤이 유래되는 과정을 살펴보면 간에서 콜레스테롤이 합성되는 단계를 차단하는 것이 역시 올바른 방법임을 알 수 있다.

산란계는 동물성 포화지방산의 섭취와 무관하게 자체적인 콜레스테롤의 생합성 능력이 매우 높아 하루에 약 300 mg을 합성한다. 이 중 2/3 정도가 난황으로 전달되며 이중 많은 부분이 수정란이 부화되는 과정에 배아의 발달에 필수적인 성분이라고 인식되고 있다(Naber, 1983). 산란계에서 콜레스테롤의 주요 합성장소는 간조직과 난소다. 그러나 난소에서 생산되는 콜레스테롤은 난모세포에 직접 전달되기보다는 혈액을 거쳐 난포막을 통과해 난모세포로 들어간다.

**Table 2.** Yolk cholesterol levels of eggs from control and 3-hydroxy-3-methylglutaryl-coenzyme A reductase(HMGR) inhibitor-treated laying hens<sup>1,2</sup>

Treatment	% of diet	Week 0	Week 2	Week 4	Week 5
mg cholesterol/g yolk					
Control		11.6	11.5 <sup>a</sup>	11.6 <sup>a</sup>	11.6 <sup>a</sup>
Atorvastatin	0.03	11.4	8.7 <sup>e</sup>	8.3 <sup>d</sup>	8.2 <sup>d</sup>
Atorvastatin	0.06	11.3	7.8 <sup>f</sup>	7.5 <sup>e</sup>	7.6 <sup>d</sup>
Lovastatin	0.03	11.0	11.1 <sup>a,b</sup>	10.9 <sup>a,b</sup>	10.8 <sup>b</sup>
Lovastatin	0.06	10.9	10.8 <sup>b,c</sup>	10.9 <sup>a,b</sup>	10.8 <sup>b</sup>
Simvastatin	0.03	10.8	10.3 <sup>c,d</sup>	10.3 <sup>b,c</sup>	10.1 <sup>b</sup>
Simvastatin	0.06	11.0	10.0 <sup>d</sup>	9.9 <sup>c</sup>	9.3 <sup>c</sup>
mg cholesterol/yolk					
Control		196.6	193.1 <sup>a</sup>	199.7 <sup>a</sup>	201.5 <sup>a</sup>
Atorvastatin	0.03	203.2	141.1 <sup>c</sup>	134.4 <sup>c</sup>	137.2 <sup>d</sup>
Atorvastatin	0.06	191.9	105.3 <sup>d</sup>	104.2 <sup>d</sup>	107.9 <sup>c</sup>
Lovastatin	0.03	195.7	193.8 <sup>a</sup>	193.9 <sup>a</sup>	193.6 <sup>a,b</sup>
Lovastatin	0.06	197.8	186.6 <sup>a,b</sup>	187.1 <sup>a,b</sup>	186.9 <sup>a,b</sup>
Simvastatin	0.03	189.7	174.6 <sup>a,b</sup>	174.6 <sup>b</sup>	172.1 <sup>b,c</sup>
Simvastatin	0.06	191.1	170.8 <sup>b</sup>	170.4 <sup>b</sup>	158.0 <sup>c,d</sup>

<sup>1</sup> Values are means for duplicate analyses of one egg per hen per week from 10(control) or 5(HMGR inhibitor treatments) hens. Within a column with no common letter are significantly different ( $P < 0.05$ ).

<sup>2</sup> Conversion factor : 1 mg cholesterol - 2.586  $\mu$ mol. (Elkin *et al.*, 1999)

Weiss *et al.*(1967a, b)에 의하면 닭의 간에서 합성되는 지질의 조성이 난소조직의 지질 조성과는 크게 다르며 오히려 난황성분과 유사성이 매우 높다고 한다. 이는 난황내 지질 대부분이 간에서 유래되었음을 의미한다(Naber, 1983). 간에서 합성된 콜레스테롤은 VLDL의 구성성분이 되어 혈액으로 방출된다. 이 VLDL은 apoVLDL-II의 도움에 의해 본래의 형태를 유지하면서(Mac- Lachlan *et al.*, 1996) 난모세포막에 도달하여 OVR (oocyte vitellogenesis receptor)에 결합되어 세포 내부로 들어간다. VLDL과 더불어 난황의 주요 전구물질의 하나인 vitellogenin도 간에서 생성되어 혈액을 통해 역시 OVR의 도움에 의해 난소의 난모세포 안으로 들어간다. 난모세포 안에서 vitellogenin이 protease에 의해 lipovitellin과 phosvitin으로 분해되며, VLDL과 더불어 난황을 구성하는 3가지 주요 물질이 된다. 난황에는 그 외에도 미량의 immunoglobulin과 혈청 albumin 등이 있다(Griffin, 1992).

VLDL은 난황성분 중 건물량의 약 60%, 콜레스테롤의 95% 정도를 차지하며 나머지는 vitellogenin에서 유래된 지질/단백질 복합물인 lipovitellin이 20% 지방을 갖고 전체 콜레스테롤 중에서는 4% 정도 기여하고 있다(Griffin, 1992). 닭

은 포유동물과 달리 혈중 콜레스테롤의 대부분이 VLDL에 들어있다(Elkin *et al.*, 1993).

난황내 대부분의 콜레스테롤이 유리형태이며, 약 20% 정도만이 ester 형태로 존재한다(Noble, 1987). 유리형태의 콜레스테롤은 매우 안정되어 있어 그 양이 쉽게 변하지 않는 반면 ester 형태는 조절이 가능하므로(Griffin, 1992) 난황의 콜레스테롤 함량은 이 ester 형태의 것을 일차적인 감소대상으로 삼는 것이 타당하다.

## 2) 계란 콜레스테롤 함량의 조절 가능성

지금까지의 연구에서 간조직의 콜레스테롤 합성을 억제하는 방법으로 계란 콜레스테롤 함량을 저하시키는 것은 효과가 크지 않다는 것을 보여주고 있다. 그래서 Griffin(1992)은 좀더 적극적인 방법을 제안하고 있다. 예를 들어 난모세포막의 receptor에 대한 vitellogenin과 VLDL간에 경쟁을 조절하여 vitellogenin의 uptake가 더 많이 이뤄지게 하면 난황의 콜레스테롤 함량이 현저히 저하될 것이다. 그러나 이것이 배아 발달이나 계란 요리에서 어떤 결과를 보일지는 확실하지 않다.

또한 apoB 단백질의 발현을 억제하는 방법은 효과가 없을 것으로 판단하고 있다. 그 근거는 VLDL secretion에서 apoB 합성이 rate limiting 과정이 아니기 때문이다. 그 외에 apoVLDL-II 합성 억제 또는 apoVLDL-II의 아미노산 sequence를 변화시켜 lipoprotein의 콜레스테롤에 대한 친화성을 감소시키는 것도 제시하고 있다(Griffin, 1992).

최근에 Chowdhury *et al.*(2002)은 양건(sun-dried)시킨 마늘을 10 %까지 산란계에 급여하여 난황 콜레스테롤을 28 %까지 감소시킬 수 있었다. 이것 역시 마늘의 어떤 성분이 간에서 콜레스테롤 합성을 억제하는 작용에 의한 것으로 판단된다.

Konjufca *et al.*(1997)은 산란계 사료에 3 % 마늘가루를 첨가하여 HMG CoA reductase와 cholesterol 7 $\alpha$ -hydroxylase 작용을 40 %나 억제할 수 있었다. 그러나 Reddy *et al.*(1991)은 마늘기름을 0.02 % 첨가할 때 혈액이나 계란 콜레스테롤 함량에 어떤 영향도 볼 수 없었다. 마늘에서 지질대사에 영향을 미칠 수 있는 활성성분이 어떤 것인지 아직 확실하지 않다. Allicin이 대표적인 성분일 가능성이 있으나 allicin은 불안정하고 장에서 흡수가 좋지 않다 (Lawson *et al.*, 1992). 열을 가하면 allinase가 파괴되어 allicin이 형성될 수 없다. 한편 3 % 수준으로 마늘가루를 급여한 닭에서 생산된 계란의 색상과 냄새 등 기호성은 대조군과 차이가 없었다(Birrenkott *et al.*, 2000).

간에서 콜레스테롤 합성을 억제하는 물질을 활용하여 난황의 콜레스테롤 함량을 감소하기 위한 연구가 끊임없이 계속되고 있는 가운데 최근에 새로운 차원의 연구 성과가 보고되고 있다. 그 동안 난황의 콜레스테롤 저하를 위해 HMG Co-A reductase inhibitor로 가장 많이 연구되었던 것 중의 하나가 statin 계열의 약품이었다.

Elkin *et al.*(1999)이 lovastatin, simvastatin과 더불어 type 2 statin에 속하는 atorvastatin이 난황 콜레스테롤 함량에 미치는 효과를 비교하면서 과거의 type 1 statin에서 볼 수 없었던 뛰어난 성과를 거두었다. 20주령의 산란계에게 3가지 statin을 각각 사료의 0.03 과 0.06 % 수준씩 첨가하여 35일간 급여하였다.

급여 2주 쯤부터 atorvastatin 투여군에서 난황 콜레스테롤 수준이 대조군(193~201.5 mg/yolk)에 비해 유의하게 감소하였는데, 0.06% 군은 0.03% 군(134.4~141.1 mg /yolk)에 비해 더 현저히(104.0 ~ 107.9 mg/yolk) 감소하였다. 이때 lovastatin 과 simvastatin 투여군은 각각 7%와 22% 정도의 난황 콜레스테롤 저하 효과를 보였다.

Atorvastatin 0.06% 투여군에서 난황 콜레스테롤 함량이

46 %나 감소하였고, 또 다른 실험에서(Elkin *et al.*, 2003) 31 %가 감소(206.6 대 142.4 mg/yolk)하였음에도 불구하고 닭의 산란이 지속되었다는 것은 또 다른 중요한 의미를 갖고 있다. 난황 콜레스테롤 함량과 산란율과의 관계에서 현재의 이론은 어느 수준 이하로 저하되면 산란이 중지되기 때문에 난황 콜레스테롤을 현저히 감소시키는 것은 불가능하다는 것이었다(Hargis, 1988).

그러나 본 연구결과는 기존의 가설을 다시 검토할 필요가 있다는 근거를 제시하였으며, 혹시 만일 그런 한계수준이 존재한다면 그것은 약 105 mg/yolk 이하일 것이라는 것을 말해준다.

한편 Elkin and Yan(1999)은 다른 보고에서 atorvastatin 0.06 % 투여에 의해 수정율이 현저히(30 %) 감소하였고, 수정란의 부화율도 저하되었다. 그러나 난황내 콜레스테롤 함량이 105 mg인 수정란들의 부화율이 0 ~ 67 %까지의 큰 변이를 보이고 있어 난자의 생존에 영향을 미치는 요인이 콜레스테롤 수준만은 아닐 것이라고 판단하고 있다.

Atorvastatin이 다른 statin류에 비해 난황 콜레스테롤 함량을 더 현저히 감소시킬 수 있는 확실한 이유는 모른다. 다른 동물에서의 연구결과에 의하면 atorvastatin은 simvastatin에 비해 간조직에 더 쉽게 들어가며, 콜레스테롤 합성을 더 오래 억제할 수 있었다(Bocan *et al.*, 1992; Naoumova *et al.*, 1997).

Atorvastatin은 분명히 난황 콜레스테롤 함량을 저하시키는 연구에 새로운 장을 여는 수단이 되었고 새로운 가능성을 제시하고 있다. 앞으로 보다 안전하면서 이와 유사한 기능을 하는 새로운 물질들이 계속 개발될 것으로 기대된다 (Fig. 3, Table 3).

### 3) 산란계 사료의 conjugated linoleic acid(CLA)가 계란 지방산 조성에 미치는 영향

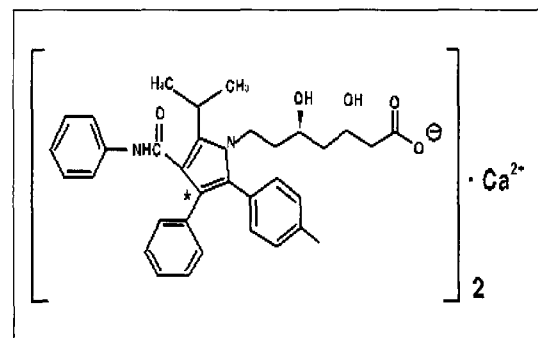


Fig. 3. Structure of atorvastatin.

**Table 3.** Total cholesterol contents of eggs from hens fed a control (CON) diet alone or with 0.06 % g/100g of atorvastatin (AT)<sup>a,b</sup>

Days	Cholesterol (mg/g of yolk)		Cholesterol (mg/yolk)	
	CON	AT	CON	AT
0	10.53 <sup>i</sup>	12.18 <sup>cde</sup>	176.5 <sup>g</sup>	221.7 <sup>a</sup>
2	12.57 <sup>a</sup>	12.10 <sup>cdef</sup>	210.0 <sup>c</sup>	214.7 <sup>b</sup>
4	12.07 <sup>def</sup>	11.93 <sup>f</sup>	201.1 <sup>e</sup>	201.5 <sup>e</sup>
6	11.70 <sup>g</sup>	11.02 <sup>h</sup>	198.1 <sup>f</sup>	158.0 <sup>h</sup>
8	12.05 <sup>ef</sup>	10.61 <sup>i</sup>	203.0 <sup>e</sup>	157.1 <sup>h</sup>
10	12.21 <sup>bcd</sup>	10.17 <sup>j</sup>	202.6 <sup>e</sup>	143.7 <sup>ij</sup>
12	12.39 <sup>b</sup>	10.46 <sup>j</sup>	204.4 <sup>de</sup>	145.1 <sup>ij</sup>
14	12.27 <sup>bcd</sup>	10.20 <sup>j</sup>	201.3 <sup>e</sup>	145.8 <sup>j</sup>
16	12.29 <sup>bc</sup>	10.26 <sup>j</sup>	206.6 <sup>d</sup>	142.4 <sup>j</sup>
Pr > F				
Diet <sup>c</sup>	**		**	
Day <sup>c</sup>	**		**	
Diet × Day <sup>c</sup>	**		**	

<sup>a</sup> Values are means of duplicate analyses of pooled samples consisting of one egg from each of eight hens per diet collected during consecutive 2-day periods.

<sup>b</sup> Among the 18 means within each diet-day combination, values with no common letter differ significantly ( $p < 0.05$ ).

<sup>c</sup> \*\* =  $p < 0.01$ . (Elkin *et al.*, 2003)

계란의 영양가 또는 기능성을 향상시키기 위해 계란 지방산 조성을 건강에 도움이 되는 방향으로 조절하는 노력이 많이 시도되고 있다. n-3 지방산 함량을 높이는 것이 그런 시도의 하나였고, 최근에는 conjugated linoleic acid (CLA)를 이용하여 계란의 지방산 조성을 변화시키는 연구들이 많이 시도되고 있다. 계란에 들어있는 영양소 중에 지방산은 비교적 용이하게 조절될 수 있는 성분에 해당되며 이에 따라 앞으로 계란의 지방산 조성을 개선코자 하는 노력이 계속되리라 판단된다.

최근 미국에서 시판되는 특수란(specialty egg)들에서 지방산 함량을 조사한 자료가 있어(Cherian *et al.*, 2002a) 참고로 소개한다. 이들 특수란은 특별히 지방산 조절을 목표로 생산된 것이 아니며 아래와 같이 케이지 없이 사육한 것, 자연방사, 동물약품이 첨가되지 않은 사료의 사용 등의 조건에서 생산된 것들이다. 전부 5가지의 특수란과 일반란 1개(대조

군)에서 지방산 함량을 비교하였다(Table 4).

- 대조군 : 일반 백색란
- SP1 : 동물성 지방을 첨가하지 않은 사료로 생산 (vegetarian high n-3)
- SP2 : 공인된 유기-방사(organic free-range) 방식에 의해 사육된 갈색란
- SP3 : 케이지 없이 동물약품이 첨가되지 않은(unmedicated) 사료로 생산된 갈색란
- SP4 : 케이지 없이 동물성 지방이 첨가되지 않은 사료로 생산된 갈색란
- SP5 : steroid나 성장촉진제가 첨가되지 않은 사료, 케이지 없이, 자연 산란된 갈색란

전반적으로 계란 내의 포화지방산(SFA) 함량은 33.3~35.5 %, MUFA가 45.8~48.4 %, 그리고 PUFA는 17.2~18.9 %의 범위였고, 개별 지방산군으로는 n-6가 16.0~18.2 %, n-3가 0.5~1.5 %의 범위였다. 일반적으로 야외 방사닭의 경우 여러 가지 다양한 것들을 섭취하게 되면서 n-3 PUFA 함량이 높아진다는 보고가 있다(Simopoulos and Salem, 1989). 야생 꿩이나 거위같이 야생조류가 생산하는 알들이 총 PUFA를 더 많이 갖고 있다고 보고되고 있으나(Leskanich and Noble, 1997), Table 4에서는 그런 경향이 나타나지 않고 있다.

한가지 흥미있는 것은 특수란에서 난황의 무게비율이 SP3(33.4 %)를 제외하면 25.6~29.8 %로 일반란(30.2 %)에 비해 현저히 더 낮다는 것이다. 연구자들이 보고하지는 않았으나 이렇게 난황의 무게가 감소하면 그만큼 계란내 콜레스테롤 함량이 감소될 가능성을 조사해볼 필요가 있다고 본다.

지방산 중에 최근에 건강과 관련해 가장 관심을 끌고 있는 것으로 CLA(conjugated linoleic acid)를 들 수 있다. CLA란 탄소 18개로 구성되었고, linoleic acid(18:2 *cis*-9, *cis*-12)와 구성이 비슷하나 다만 입체적으로 구조가 다른 이성체들의 총칭이다. 이 CLA는 동물실험에서 강력한 항암작용(Ha *et al.*, 1987, 1990; Ip *et al.*, 1991, 1994), 항동맥경화증(Lee *et al.*, 1994; Nicolosi *et al.*, 1997), 혈중 콜레스테롤 저하(Pariza *et al.*, 2001)효과를 나타낸다. 그 외에도 CLA는 체지방 감소 효과, 면역 조절작용, 항산화 작용(Cook *et al.*, 1993; Delany *et al.*, 1999) 효과가 있다고 보고 있다.

CLA를 함유한 식품은 주로 우유 같은 낙농제품이나 쇠고기를 통해 섭취할 수 있다. 반추위내 미생물에 의해 *cis*-9, *trans*-11 이성체를 주성분으로 하는 CLA가 만들어지기 때문이다. 이전에는 *cis*-9, *trans*-11 이성체가 생물학적으로 유효한 성분이라 하였으나(Ip *et al.*, 1991), 최근에는  $\Delta$ 9-desaturase에 의해 생산되는 *trans*-10, *cis*-12 CLA가 지질대

**Table 4.** Major fatty acid composition of specialty eggs in the U.S.<sup>1</sup>

Fatty acids(%)	Control	SP1	SP2	SP3	SP4	SP5
Palmitic	26.1 <sup>a</sup>	24.6 <sup>b</sup>	25.6 <sup>ab</sup>	25.8 <sup>a</sup>	25.6 <sup>ab</sup>	25.5 <sup>ab</sup>
25.5 Stearic	8.9 <sup>ab</sup>	8.7 <sup>b</sup>	9.0 <sup>ab</sup>	9.6 <sup>a</sup>	9.2 <sup>ab</sup>	8.7 <sup>b</sup>
Palmitoleic	3.2	3.2	3.8	3.4	3.7	3.3
Oleic	42.6	45.2	43.5	43.9	43.7	43.7
Linoleic	16.2 <sup>a</sup>	15.2 <sup>ab</sup>	15.2 <sup>ab</sup>	13.8 <sup>b</sup>	14.8 <sup>ab</sup>	15.7 <sup>ab</sup>
Arachidonic	2.0	1.9	2.3	2.2	2.2	1.9
Docosahexaenoic	0.7 <sup>b</sup>	1.4 <sup>a</sup>	0.6 <sup>bc</sup>	1.2 <sup>a</sup>	0.7 <sup>b</sup>	0.5 <sup>c</sup>
Total lipids	25.1 <sup>abc</sup>	27.7 <sup>a</sup>	24.6 <sup>bc</sup>	26.2 <sup>a</sup>	22.9 <sup>c</sup>	25.9 <sup>ab</sup>
Total SFA	35.2 <sup>a</sup>	33.3 <sup>b</sup>	34.6 <sup>a</sup>	35.5 <sup>a</sup>	34.9 <sup>a</sup>	34.3 <sup>a</sup>
Total MUFA	45.8	48.4	47.3	47.2	47.4	47.6
Total n-6	18.2 <sup>a</sup>	17.1 <sup>ab</sup>	17.5 <sup>ab</sup>	16.0 <sup>b</sup>	16.9 <sup>ab</sup>	17.6 <sup>ab</sup>
Total n-3	0.7 <sup>c</sup>	1.5 <sup>a</sup>	0.6 <sup>c</sup>	1.2 <sup>b</sup>	0.7 <sup>c</sup>	0.5 <sup>c</sup>
Total PUFA	18.9	18.6	18.1	17.2	17.7	18.0
n-6/n-3	27.3 <sup>b</sup>	11.5 <sup>c</sup>	28.9 <sup>b</sup>	13.1 <sup>c</sup>	23.1 <sup>b</sup>	39.2 <sup>a</sup>

<sup>a-c</sup> Within a row values with no common letters indicate significantly different ( $p < 0.05$ ).

SP1= eggs from hens fed a diet free of animal fat, SP2 = certified organic free-range brown eggs.

SP3= uncaged, unmedicated, brown eggs, SP4 = cage-free animal-fat-free diet brown eggs.

SP5= naturally nested, uncaged hens fed diets with no steroids or no stimulant. SFA= saturated fatty acids.

MUFA = monounsaturated fatty acids., PUFA = polyunsaturated fatty acids. n=6. (Cherian *et al.*, 2002)

사와 체조성(Park *et al.*, 1999)에 영향을 주며 더 강력한 유효 성분(Grinari *et al.*, 2000; Santora *et al.*, 2000)이라는 보고가 있다.

현재 서구인의 1인당 하루 평균 섭취량은 0.5 ~ 1.0 g 수준이며(McGuire *et al.*, 1999), 인체에 유익한 수준은 동물 실험 결과로부터 환산해보면 하루에 3 g 정도가 된다(Ip *et al.*, 1995). 인체에서의 활용연구는 하루 투여량은 3 ~ 4 g 수준을 유지하면서 아직 적은 규모로 매우 조심스럽게 진행되고 있다.

그 동안 연구된 결과들은 서로 상반되는 것들이 보고되고 있다. 체 지방량이 감소되며, 혈중 triacylglycerol과 VLDL 함량이 감소되었다는 희망적인 보고(Noone *et al.*, 2002 ; Smedman and Vessby, 2001)가 있는 반면, *trans*-10, *cis*-12를 투여한 비만한 사람에서 오히려 insulin resistance와 glycemia가 발생하고 HDL-cholesterol이 저하했다는 불길한 보고(Riserus *et al.*, 2002)도 있다. 또한 사람에서 CLA 이성체 중의 하나인 *trans*-11 18:1 (vaccenic acid)가 *cis*-9, *trans*-11(rumenic acid)로 전환될 수 있다는 연구(Santora *et al.*, 2000; Turpeinen *et al.*, 2002)는 CLA 섭취 권장량의 결정에서

신중한 주의가 필요함을 말해준다.

이렇게 현재 사람에서는 CLA가 건강에 미치는 영향이 조 심스럽게 연구되고 있는 단계이지만 오랫동안 많은 동물 실험에서 이미 이 지방산의 탁월한 효과가 인정되고 있어 이에 따라 CLA를 강화한 식품들이 활발하게 개발되고 있다. CLA는 동물의 체지방에 비교적 쉽게 축적될 수 있으며 지방을 30~35 %나 갖고 있는 난황에도 이 지방산을 축적시키면 계란섭취에 의해 건강에 도움을 줄 수 있는 좋은 방법이 될 수 있다(Raes *et al.*, 2002). 특히 CLA는 식품의 구성 지방산으로 섭취할 때 첨가물 형태로 섭취하는 것보다 더 조직에 축적이 잘 되며, 항암효과도 더 좋은 것으로 알려져 있다(Ip *et al.*, 1999).

산란계 사료에 CLA를 첨가, 급여한 실험결과(Table 5)들이 많이 보고되고 있다(Cherian *et al.*, 2002b; Raes *et al.*, 2002; Yang *et al.*, 2002; Du *et al.*, 2000; Aydin *et al.*, 2001). 일반적으로 산란계 사료에 첨가되는 CLA 수준은 0.5~4 %의 범위다. 산란계에서 CLA 투여가 사료섭취량, 난중, 사료효율 등에 어떤 영향을 미치지 않았다는 연구가 많이 있지만 이와 달리 0.5 % CLA 첨가 급여가 산란계 체중과 난중을 유

**Table 5.** Major fatty acid composition of egg yolk as influenced by hen dies containing different levels of conjugated linoleic acid<sup>1</sup>

Fatty acids (%)	Dietary CLA level (% of total lipids) <sup>1</sup>			
	0	0.5	1.0	2.0
16:0	28.5 <sup>b</sup>	33.8 <sup>a</sup>	34.7 <sup>a</sup>	35.3 <sup>a</sup>
18:0	8.7 <sup>c</sup>	16.2 <sup>b</sup>	19.7 <sup>a</sup>	20.7 <sup>a</sup>
18:1 n-0	38.2 <sup>a</sup>	24.7 <sup>b</sup>	20.9 <sup>c</sup>	17.4 <sup>d</sup>
18:2 n-6	11.6	1.2	12.0	12.9
20:4 n-6	0.7 <sup>ab</sup>	0.5 <sup>b</sup>	0.7 <sup>ab</sup>	0.8 <sup>a</sup>
22:6 n-3	3.0 <sup>c</sup>	4.2 <sup>a</sup>	3.8 <sup>b</sup>	2.5 <sup>d</sup>
Cis-9, trans 11 CLA <sup>2</sup>	0 <sup>d</sup>	0.8 <sup>c</sup>	1.6 <sup>b</sup>	3.6 <sup>a</sup>
Trans-10, cis-12 CLA	0 <sup>c</sup>	0.16 <sup>c</sup>	0.8 <sup>b</sup>	1.6 <sup>a</sup>
Total CLA	0 <sup>d</sup>	0.97 <sup>c</sup>	2.4 <sup>b</sup>	5.3 <sup>a</sup>
Total SFA	38.3 <sup>c</sup>	51.3 <sup>b</sup>	55.5 <sup>a</sup>	56.8 <sup>a</sup>
Total MUFA	41.4 <sup>a</sup>	26.8 <sup>b</sup>	22.4 <sup>c</sup>	18.7 <sup>d</sup>
Total PUFA	16.0	18.1	17.7	17.6

<sup>a-d</sup> Means within a row with no common letter differ ( $p < 0.05$ ). ; n=6.

<sup>1</sup> All diets contained corn and soybean meal, with added with CLA at 0, 0.5, 1.0 or 2.0 %. CLA was substituted for menhaden oil on a weight:weight basis.

<sup>2</sup> CLA = conjugated linoleic acid, SFA = saturated fatty acids, MUFA = monounsaturated fatty acids, PUFA = polyunsaturated fatty acids. (Cherian *et al.*, 2002b)

의하게 증가시켰다는 보고도 있다(Latour *et al.*, 2000).

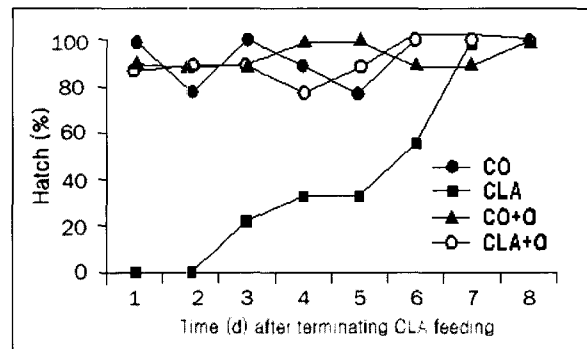
한편 CLA 투여는 계란의 내부품질(난백고, 난황지수, 지방산 조성 등)에는 여러 가지 영향을 미치고 있다(Schafer *et al.*, 2001 ; Raes *et al.*, 2002). 특히 난황의 지방산 조성은 CLA 급여에 의해 현저한 영향을 받는데 MUFA(oleic acid) 함량이 감소하면서 포화지방산이 증가하며, PUFA 함량은 변화가 없는 것이 일반적인 관찰이다. 그러나 Schafer *et al.*(2001)은 PUFA가 감소하였지만 그럼에도 불구하고 n-6/n-3 지방산의 비율은 변하지 않았다고 보고하였다. PUFA 중 arachidonic acid 함량의 감소는 모든 연구에서 일치하고 있고, DHA 함량은 Du *et al.*(2000)을 제외하고 대부분의 연구에서 감소되는 것으로 보고 있다. CLA 급여에 의해 난황의 포화지방산중 stearic acid와 palmitic acid가 증가하고 또 linolenic acid 함량이 증가하며 oleic acid, arachidonic acid와

DHA가 감소하는 것은 CLA가 지방산 대사에서  $\Delta 6$ -desaturase 와  $\Delta 9$ -desaturase 작용을 억제한다는 것을 입증하고 있다 (Yang *et al.*, 2002).

CLA의 여러 구성 이성체중에서 계란에 축적되는 효율이 이성체 간에 달리 나타나고 있다. Cis-9, trans-11이 trans-10, cis-12보다 더 효율적으로 전달되며, 사료에 첨가한 CLA 1%당 계란에 130~250 mg이 축적되고 있다(Raes *et al.*, 2002).

한편 CLA 급여는 수정란과 배아 발육에 좋지 않은 영향을 준다는 보고가 있다. CLA 섭취에 의해 arachidonic acid 와 EPA 등이 감소되면 이들을 전구물질로 하는 eicosanoids의 합성에 중대한 영향을 미칠 가능성이 있기 때문이다. 0.5 % CLA를 급여한 산란계의 종란이 부화중 완전히 사망하는 등 산란계의 번식에 좋지 않은 영향을 주며, 저장중인 계란의 pH가 비정상적으로 변하는(Lee *et al.*, 1996 ; Aydin *et al.*, 2001) 문제 등이 보고되었다.

Aydin *et al.*(2001)은 이 문제를 해결하기 위해 0.5 % CLA 가 첨가된 산란계 사료에 olive oil을 10 % 수준으로 첨가한 결과 종란의 부화율뿐만 아니라(Fig. 4) 저장중의 난백과 난황의 pH도 정상으로회복할 수 있었다. 이때 난황 지방산은 arachi- donic acid는 변하지 않은 상태에서 oleic acid만 정상 수준으로 회복되었으며, CLA는 1.9에서 0.69 % 감소되었다. 이는 사실상  $\Delta 6$ -desaturase의 억제효과와 무관한 변화로서 앞으로 추가적인 연구가 필요하다고 판단된다.



**Fig. 4.** Percent hatchability of fertile eggs from chickens after they were fed the control diet(CO) with no supplemental conjugated linoleic acid (CLA) after 74d on test diets. (Aydin *et al.*, 2001)

CO = 0.5g corn oil/100g. CLA = 0.5g CLA/100g. CO+O = 0.5g corn oil plus 10g olive oil/100g. CLA+O = 0.5g CLA plus 10g olive oil/100g.



## 결론

계란의 콜레스테롤은 우리의 식생활에 관련된 것뿐만 아니라 세계적으로 채란 양계업의 성패와도 관련된 중요한 문제로 인식되고 있어 계란의 영양, 기능적 가치를 향상시켜 건강에 도움이 되는 식품으로 개발코자 하는 노력이 꾸준히 계속되고 있다. 본래 계란은 우수한 아미노산 조성으로 인해 완전식품으로 불리었으나 현대인의 식생활에서 포화지방산과 콜레스테롤 섭취가 문제가 되면서 계란 소비증가에 많은 어려움이 발생하고 있다. 이를 해결하기 위해 콜레스테롤 함량이 적은 계란의 개발을 위해 수많은 연구가 있었고, 최근까지의 결론은 닭의 생리적인 한계로 인해 콜레스테롤 함량이 충분히 낮은 계란의 생산은 불가능하다는 것이었다.

그러나 새로운 연구결과가 나타나면서 기존의 이론이 바뀌게 되면서, 이제는 계란소비의 최대 장애였던 콜레스테롤 문제의 해결 가능성이 보이기 시작하고 있다. Elkin *et al.*(1999)이 산란계에서 atorvastatin을 투여하여 일반 계란 콜레스테롤 함량의 46 %까지 저하시키면서 산란이 지속되었다는 것은 완전히 기존 이론(가설)의 한계를 뛰어넘는 결과라고 할 수 있다. 이를 계기로 앞으로 계란의 콜레스테롤 함량의 저하를 목표로 하는 연구가 보다 활발해질 것이며, 머지않아 보다 확실하게 콜레스테롤이 저하된 계란을 섭취할 수 있는 시기가 도래하리라고 전망된다.

계란의 지방산 조성을 개선하기 위한 기존의 연구는 n-3 지방산을 강화하는데 초점을 맞추었고, n-3 지방산은 주로 혈중 콜레스테롤의 저하와 관련된 기능을 목표로 하고 있었다. 그러나 최근 들어 CLA가 동물 실험에서 항암, 항동맥경화증, 면역증강, 체지방 감소 등 광범위한 기능을 보유하고 있는 것으로 밝혀지면서 CLA를 강화한 기능성 계란의 개발에 많은 관심이 모아지고 있다. 계란의 CLA 함량을 강화하는 것은 비교적 쉽게 이뤄지고 있으나 CLA 투여가 산란계의 건강이나 계란 품질 등에 미칠 수 있는 부작용에 관한 연구가 아직 미미하며, 인체에서의 직접적인 연구도 아직 매우 불충분한 상태에 있다. 그럼에도 불구하고 현재까지의 동물 실험 결과에서는 CLA의 긍정적인 면이 많이 보고되고 있어 앞으로 이 지방산을 강화한 기능성 축산물이나 식품의 개발이 더욱 활발해질 전망이다.

지금까지 계란의 지질조성 전반에 걸쳐 이뤄지고 있는 다양한 연구를 종합해 볼 때, 계란에서 아미노산 균형의 장점 못지 않게 지방질 부분에서도 영양, 기능적 관점에서 획기적

으로 우수한 결과가 나타날 가능성이 크다고 판단된다. 머지않은 장래에 콜레스테롤 함량이 지금의 절반 수준으로 떨어지고, EPA와 DHA 등 n-3 지방산과 CLA 등 건강에 유익한 성분들이 풍부하고 잘 균형된 계란이 탄생되기를 기대해 본다.

## 인용문헌

- Ascherio A, Rimm EB, Giovannucci EL, Spiegelman D, Stampfer M, Willett WC 1996 Dietary fat and risk of coronary heart disease in men: cohort follow-up study in the United States. *BMJ* 313:84-90.
- Aydin R, Pariza MW, Cook ME 2001 Olive oil prevents the adverse effects of dietary conjugated linoleic acid on chick hatchability and egg quality. *J Nutr* 131:800-806.
- Birrenkott G, Brockenfelt GE, Owens M, Haplin E 2000 Yolk and blood cholesterol levels and organoleptic assessment of eggs from hens fed a garlic-supplemented diet. *Poultry Sci* 79 (Suppl. 1):75 (Abstr.)
- Bocan TM, Ferguson E, McNally W, Uhlenhof PD, Mueller SB, Dehart P, Sliskovic DR, Roth BD, Krause BR, Newton RS 1992 Hepatic and non-hepatic sterol synthesis and tissue distribution following administration of a liver selective HMG-CoA reductase inhibitor, CI-981: comparison with selected MHG-CoA reductase inhibitors. *Biochim Biophys Acta* 1123:133-144.
- Brown WV 1990 Dietary recommendations to prevent coronary heart disease. *Annals of the New York Academy of Science* 598:376-388.
- Cannon G 1990 *Healthy Eating : The Experts Agree*. HMSO, London.
- Cherian G, Holsonbake TB, Goeger MP 2002a Fatty acid composition and egg components of specialty eggs. *Poultry Sci* 81:30-33.
- Cherian G, Goeger MP, Ahn DU 2002b Dietary conjugated linoleic acid with fish oil alters yolk n-3 and trans fatty acid content and volatile compounds in raw, cooked, and irradiated eggs. *Poultry Sci* 81:1571-1577.
- Chowdhury SR, Chowdhury SD, Smith TK 2002 Effects of dietary garlic on cholesterol metabolism in laying hens. *Poultry Sci* 81:1856-1862.

- Cook ME, Miller GG, Park Y, Pariza MW 1993 Immune modulation by altered nutrient metabolism: Nutritional control of immune-induced growth depression. *Poultry Sci* 72:1301-1305.
- DeLany JP, Blohm P, Truett AA, Scimeca JA, West DB 1999 Conjugated linoleic acid rapidly reduces body fat content in mice without affecting energy intake. *Am J Physiol* 276: R1172-R1179.
- Du M, Ahn DU, Sell JL 2000 Effects of dietary conjugated linoleic acid and linolenic acid ratio on polyunsaturated fatty acid status in laying hens. *Poultry Sci* 79:1749-1756.
- Elkin RG, Freed MB, Kleft KA, Newton RS 1993 Alteration of egg yolk cholesterol content and plasma lipoprotein profiles following administration of a totally synthetic HMC-CoA reductase inhibitor to laying hens. *J Agric Food Chem* 41:1094-1101.
- Elkin RG, Yan Z, Zhong Y, Donkins SS, Buhman KK, Story JA, Turek JJ, Porter RE, Anderson M, Homan R 1999 Select 3-hydroxy-3-methylglutaryl-Coenzyme A reductase inhibitors vary in their ability to reduce egg yolk cholesterol levels in laying hens through alterations of hepatic cholesterol biosynthesis and plasma VLDL composition. *J Nutr* 129:1010-1019.
- Elkin RG, Yan Z 1999 Relationship between inhibition of mevalonate biosynthesis and reduced fertility in laying hens. *J Repr Fertil* 116:269-275.
- Elkin RG, Furumoto EJ, Thomas CR 2003 Assessment of egg nutrient compositional changes and residue in eggs, tissues, and excreta following oral administration of atorvastatin to laying hens. 2003. *J Agric Food Chem* 51:3473-3481.
- Grinari JM, Cori BA, Lacy SH, Chouinard PY, Nurmela KVV, Bauman DE 2000 Conjugated linoleic acid is synthesized endogenously in lactating dairy cows by  $\Delta 9$ -desaturase. *J Nutr* 130:2285-2291.
- Griffin HD 1992 Manipulation of egg yolk cholesterol: A physiologist's view. *World's Poultry Sci J* 48:101-112.
- Ha YL, Grimm K, Pariza MW 1989 Newly recognised anticarcinogenic fatty acids: Identification and quantification in natural and processed cheeses. *J Agric Food Chem* 37:75-81.
- Hargis PS 1988 Modifying egg yolk cholesterol in the domestic fowl: A review. *World's Poultry Sci J* 44:17-29.
- Hu FB, Stampher MJ, Manson JE, Rimm E, Colditz GA, Rosner BA, Hennekens CH, Willett WC 1997 Dietary fat intake and the risk of coronary heart disease in women. *N Engl J Med* 337:1491-1499.
- Hu FB, Stampfer MJ, Rimm EB, Manson JE, Ascherio A, Colditz GA, Rosner BA, Spiegelman D, Speizer FE, Sacks FM 1999 A prospective study of egg consumption and risk of cardiovascular disease in men and women. *JAMA* 281-15:1387-1394.
- Ip C, Chin SF, Scimeca JA, Pariza MW 1991 Mammary cancer prevention by conjugated dienoic derivatives of linoleic acid. *Cancer Res* 51:6118-6124.
- Ip C, Scimeca JA, Thompson H 1995 Effect of timing and duration of dietary conjugated linoleic acid on mammary cancer prevention. *Nutr Cancer* 24:241-247.
- Ip C, Banni S, Angioni E, Carta G, McGinley J, Thompson HJ, Barbano D, Bauman D 1999 Conjugated linoleic acid-enriched butterfat alters mammary gland morphogenesis and reduces cancer risk in rats. *J Nutr* 129:2135-2142.
- Konjufca VH, Pesti GM, Bakalli RI 1997 Modulation of cholesterol levels in broiler meat by dietary garlic and copper. *Poultry Sci* 76:1264-1271.
- Kritchevsky SB, Kritchevsky D 2000 Egg consumption and coronary heart disease: an epidemiologic overview. *J Am Coll Nutr* 19:549S-555S.
- Latour MA, Devitt AA, Meunier RA, Stewart JJ, Watkins BA 2000 Effects of conjugated linoleic acid. 1. Fatty acid modification of yolk and neonatal fatty acid metabolism. *Poultry Sci* 79:817-821.
- Lawson LD, Ransom DK, Hughes BG 1992 Inhibition of whole blood platelet aggregation by compounds in garlic clove extracts and commercial garlic powder. *Thromb Res* 65:141-156.
- Lee KN, Kritchevsky D, Pariza MW 1994 Conjugated linoleic acid and atherosclerosis in rabbits. *Atherosclerosis* 108: 19-25.
- Leskanich CO, Noble RC 1999 Manipulation of the n-3 polyunsaturated fatty acid composition of avian eggs and meat. *World's Poult Sci J* 53:55-58.
- MachLachlan I, Steyrer E, Hermetter A, Nimph J, Schneider WJ 1996 Molecular characterization of quail apolipoprotein very-low-density lipoprotein II: disulphide-bond-mediated

- dimerization is not essential for inhibition of lipoprotein lipase. *Biochem J* 317:599-604.
- Mann JI, Appleby PN, Key TJA, Thorogood M 1997 Dietary determinants of ischaemic heart disease in health-conscious individuals. *Heart* 78:450-455.
- McGuire WK, McGuire MA, Ritzenthaler K, Schultz TD 1999 Dietary sources and intakes of conjugated linoleic acids. In *Advances in Conjugated Linoleic Acid Research*; Yurawecz MP, Mossoba MM, Kramer JKG, Pariza MW, Nelson GJ. Eds. AOCS Press: Champaign, IL, Volume 1, pp 369-377.
- Naber EC 1983 Nutrient and drug effects on cholesterol metabolism in the laying hen. *Federation Proc* 42: 2486-2493.
- Naoumova RP, Dunn S, Rallidis L, Abu-Muhana O, Neuwirth C, Rendell NB, Taylor GW, Thompson GR 1997 Prolonged inhibition of cholesterol synthesis explains the efficacy of atorvastatin. *J Lipid Res* 38:1496-1500.
- Nicolosi RJ, Rogers EJ, Kritchevsky D, Scimeca JA, Huth PJ 1997 Dietary conjugated linoleic acid reduces lipoproteins and early atherosclerosis in hypercholesterolemic hamsters. *Artery* 22:266-277.
- Noble RC 1987 Egg lipids. In: *Egg Quality-Current Problems and Recent Advances* (Wells RG & Belyavin CG. eds.) pp. 159-177. Butterworths & Company, London.
- Noone EJ, Roche HM, Nugent AP, Gibney MJ 2002 The effect of dietary supplementation using isomeric blends of conjugated linoleic acid on lipid metabolism in healthy human subjects. *Br J Nutr* 88:243-251.
- Pariza MW, Park Y, Cook ME 2001 The biologically active isomers of conjugated linoleic acid. *Prog Lipid Res* 40: 283-298.
- Raes K, Huyghebaert G, De Smet S, Nollet L, Arnouts S, Demeyer D 2002 The deposition of conjugated linoleic acids in eggs of laying hens fed diets varying in fat level and fatty acid profile. *J Nutr* 132:182-289.
- Reddy RV, Lightsey SF, Maurice DV 1991 Effect of feeding garlic oil on performance and egg yolk cholesterol concentration. *Poultry Sci* 70:2006-2009.
- Riserus U, Arner P, Brismar K, Vessby B 2002 Treatment with dietary *trans*-10, *cis*-12 conjugated linoleic acid causes isomer-specific insulin resistance in obese men with the metabolic syndrome. *Diabetes Care* 25:1516-1521.
- Santora JE, Palmquist DL, Roehrig KL 2000 Trans-vaccenic acid is desaturated to conjugated linoleic acid in mice. *J Nutr* 130:208-215.
- Schafer K, Manner K, Sagrados A, Eder K, Simon O 2001 Incorporation of dietary linoleic and conjugated linoleic acids and related effects on eggs of laying hens. *Lipids* 36:1217-1222.
- Simopoulos AP, Salem N Jr. 1989 N-3 fatty acids in eggs from range-fed Greek chickens. *New Engl J Med* 321:1412
- Smedman A, Vessby B 2001 Conjugated linoleic acid supplementation in humans metabolic effects. *Lipids* 36: 773-781.
- Turpeinen AM, Mutanen M, Aro A, Salminen I, Basu S, Palmquist DL, Griinari JM 2002 Bioconversion of vaccenic acid to conjugated linoleic acid in humans. *Am J Clin Nutr* 76:504-510.
- Yang L, Huang U, James AE, Lam LW, Chien ZY 2002 Differential incorporation of conjugated linoleic acid isomers into egg yolk lipids. *J Agric Food Chem* 50:4941-4946.
- Weggemans RM, Zock PL, Katan MB 2001 Dietary cholesterol from eggs increases the ratio of total cholesterol to high-density lipoprotein cholesterol in humans: a meta-analysis. *Am J Clin Nutr* 73:885-891.
- Weiss JF, Naber EC, Johnson RM 1967a Effect of dietary fat and cholesterol on the *in vitro* incorporation of acetate-<sup>14</sup>C into hen liver and ovarian lipids. *J Nutr* 93:142-152.
- Weiss JF, Naber EC, Johnson RM 1967b Effect of dietary fat and D-thyroxine on the incorporation of acetate-<sup>14</sup>C into egg yolk lipids. *J Nutr* 93:153-160.