

계란 급여가 일반식이와 고콜레스테롤 식이를 급여한 C57BL/6 마우스의 혈중지질과 분변 담즙산에 미치는 영향

장애라¹ · 김동욱¹ · 박정은^{1,2} · 최주희² · 강근호¹ · 함준상¹ · 오미화¹ · 설국환¹ · 이승규¹ · 김동훈¹
김현욱¹ · 황경아³ · 황유진³ · 김혜경*

¹농촌진흥청 국립축산과학원, ²건국대학교 축산식품 생물공학과,
³농촌진흥청 국립농업과학원, 한서대학교 식품생물공학과

Effect of Hen Egg Supplementation on Blood Lipid Profile and Fecal Bile Acid of C57BL/6 Mouse Fed Normal and High Cholesterol Diet

Aera Jang¹, Dong-Wook Kim¹, Jung-Eun Park^{1,2}, Ju-Hee Choe¹, Geun-Ho Kang¹, Jun-Sang Ham¹,
Mi-Hwa Oh¹, Kuk-Hwan Seol¹, Seung-Gyu Lee¹, Dong-Hun Kim¹, Hyouun-Wook Kim¹, Kyung-A Hwang³,
Yu-Jin Hwang³, and Hye-Kyung Kim*

¹National Institute of Animal Science, RDA, Suwon 441-706, Korea

²Department of Food Science and Biotechnology of Animal Resources, Konkuk University, Seoul 143-701, Korea

³National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon 441-853, Korea

Department of Food and Biotechnology, Hanseo University, Seosan 356-706, Korea

Abstract

This study was conducted to evaluate the effect of whole egg supplementation on the blood lipid profiles and cholesterol levels of C57BL/6 mice. Sixty-six mice were divided into two groups: normal-diet supplemented and high-cholesterol diet supplemented. Lyophilized whole egg powder was mixed with the two diets at 2 and 10%: normal diet only, normal diet with 2 and 10% whole egg powder, high cholesterol diet only, high cholesterol diet with 2 and 10% whole egg powder. The mixed diets were fed for 5 wk and feeding condition (body weight change, feed intake, and feed efficiency ratio (FER)), blood lipid profiles (total cholesterol (TC), triglyceride (TG), high density lipoprotein-cholesterol (HDL-C), low density lipoprotein cholesterol, hepatic and fecal lipids (TG, TC)), and fecal bile acids were determined. No significant differences were found in body weight gain or FER after whole egg supplementation in both the normal and high-cholesterol diet fed groups. In the normal-diet fed mice, HDL-C increased significantly in the 2 and 10% whole-egg powder groups. In the high-cholesterol diet fed mice, administering 10% egg powder increased the atherogenic index compared to the control. Furthermore, administration of whole egg powder increased fecal bile acids dose dependently ($p < 0.05$). These results indicate that administering 2% hen whole egg powder did not affect blood lipid profiles and was more beneficial for health by increasing HDL-C and aiding in the excretion of cholesterol by fecal bile acids than those in the control.

Key words: hen eggs, cholesterol, blood lipids, bile acid

서 론

우리나라의 사망원인 통계를 보면 '60년대까지는 전염병, 호흡기계 감염성 질병과 소화기 질환이 사망의 주원인이었으나 '70년대 이후에는 순환기계 질환, 악성 신생물, 소

화기계 질환의 순으로 순환계 질환이 사망의 주원인으로 대두되었으며(Park and Chung, 2005), 서양에서 주요 사망 원인은 심근경색 등의 심장질환으로 알려져 있다(National Vital Statistics Reports, 2010). 우리나라의 경우는 40-60대 한국인의 사망원인 1위는 신생물에 의한 암이고 2위는 순환기계 질환이다(The Statistics Korea, 2010). 순환계질환 발생에 영향을 미치는 인자는 다양하나 주된 원인은 식이 지방으로서 고콜레스테롤혈증은 동맥경화를 일으키는 주요위험인자로 알려져 있다(Park and Chung, 2005). 그러나

*Corresponding author: Hye-Kyung Kim, Department of Food and Biotechnology, Hanseo University, Seosan 356-706, Korea. Tel: 82-41-660-1454, Fax: 82-41-660-1119, E-mail: hkkim111@hanseo.ac.kr

콜레스테롤은 필수 세포구성 성분으로 세포의 성장 분화 및 발육, 호르몬 구성물질 등의 중요한 역할을 담당하고 있으며 성인의 경우 콜레스테롤의 2/3를 간에서 합성하고 1/3만이 식품을 통해 섭취하기 때문에 식이로 섭취된 콜레스테롤이 혈중 콜레스테롤이나 심장질환에 미치는 영향은 크지 않다(Chung *et al.*, 2009; McNamara, 2000). Clarke 등(1997)과 Howell 등(1997)에 의해 실시된 총 304사례의 연구를 메타 분석한 결과에 의하면 포화지방의 섭취가 혈액 콜레스테롤 농도를 현저히 증가시키지만 식이로 섭취된 콜레스테롤은 크게 영향하지 않는 것으로 밝혀졌다. 즉 식이 콜레스테롤 섭취가 50 mg 증가하면 혈액 내 총콜레스테롤(TC)과 LDL콜레스테롤(LDL-C)의 농도는 1 mg/dL 증가하고, 1% 칼로리의 포화지방 섭취를 불포화지방으로 대체하면 혈액 TC 및 LDL-C의 농도는 각각 3.0, 2.2 mg/dL 감소할 것으로 예측하였다. 따라서 콜레스테롤 섭취보다는 포화지방과 트랜스지방의 섭취를 제한하는 것이 혈액 콜레스테롤 저하에 효과적임을 보고하였다.

콜레스테롤 섭취 후 고콜레스테롤혈증을 막기 위해서 생체내에서 두 가지 대사 조절이 이루어진다(McNamara, 2000). 첫째는 체내 콜레스테롤 합성의 감소, 둘째는 간에서 콜레스테롤이 담즙산으로 전환되어 변으로 배설되므로 콜레스테롤의 손실이 많아져서 혈중 콜레스테롤의 함량을 감소시킨다. 특히 계란의 레시틴, 스펅고미엘린, 오보뮤신은 소장에서 미셀형성에 직접 관여하거나 담즙산으로의 재흡수를 저해함으로써 혈액 중 콜레스테롤의 농도를 억제한다(Eckhardt *et al.*, 2002; Jiang *et al.*, 2001; Nagaoka *et al.*, 2002; Noh and Koo, 2003).

일반적으로 계란 한 개에는 콜레스테롤이 약 210 mg 함유되어 있고, 콜레스테롤 함량이 높은 식품으로 알려져 있기 때문에 미국심장학회(AHA, 1973; Kritchevsky, 2004)는 1일 콜레스테롤 권장량을 300 mg 이하로 제한하고, 매주 계란 섭취를 3개 이하로 줄일 것을 권장하였다. 이는 섭취된 콜레스테롤이 혈액 콜레스테롤 함량을 증가시켜 심장질환 발생과 상관관계가 있음이 보고되었기 때문이다. 그러나 지난 50여년 동안 식이 콜레스테롤은 혈액 콜레스테롤 농도에 영향을 미치지 않는다는 연구결과들이 보고되면서(Clark *et al.*, 1997; Howell *et al.*, 1997; Krumholz *et al.*, 1994), AHA는 더 이상 주당 계란섭취량을 제한하지 않고 있다. 이렇게 식이 콜레스테롤의 섭취가 혈중 콜레스테롤 함량에 미치는 영향이 작음에도 불구하고 우리나라 국민 1인당 계란 소비량은 선진국에 비해 매우 적다. 즉, 우리나라의 경우 2008년 국민 1인당 계란의 소비량은 연간 186개로 일본(334개), 중국(333개), 덴마크(300개), 미국(250개), 프랑스(248개) 주요국가들 보다 낮은 것으로 나타났다(Korea Poultry Association, 2010). 이렇게 계란 소비량이 낮은 이유는 Lee 등(2001)이 경인지역에 거주하는 전업주부 혹은 회사원인 여성 551명을 대상으로 설문조사

를 한 결과 연령이 증가할 수록 콜레스테롤 문제를 심각하게 생각하기 때문에 계란 섭취를 주저하는 것으로 응답하여 계란 중 콜레스테롤이 소비를 저해하는 원인 중의 하나라고 보고한 바 있다.

따라서 본 연구는 일반 및 고콜레스테롤 식이에 계란의 첨가가 마우스의 혈중 콜레스테롤과 지질 농도 및 체내 콜레스테롤 배설에 미치는 영향을 조사하기 위해 실시하였다.

재료 및 방법

공시시료

계란은 수원 국립축산과학원 인근의 대형마트에서 일반란을 구입하였으며 난황과 난백을 같이 혼합하여 동결 건조하여 이용하였다.

실험동물 및 사료

생후 4주령된 C57BL/6 마우스 수컷 66마리를 (주)샘타코(Osan, Korea)에서 구입하여 1주일간 환경에 적응하도록 하였다. 실험처리는 일반 및 고콜레스테롤 식이군으로 구분하고 각 군당 10마리씩 대조군, 계란 2%, 계란 10% 첨가 급여군으로 배치하여 5주간 사육하였다. 실험사료는 흰쥐용 기본사료(AIN-76)에 섭취 열량을 기준으로 계란을 각각 2와 10%로 첨가하여 제조하였으며(Feedlab, Hanam, Korea) 각 실험군의 식이조성은 Table 1과 같다.

사양관리

실험동물은 폴리카보네이트 케이지(Central Lab Animal Co., Seocho, Korea)에서 사육하였으며, 사육실의 온도는 $23 \pm 2^\circ\text{C}$, 일광주기(light-dark cycle)는 12시간으로 조절하였고, 음수와 사료는 자유롭게 섭취하도록 하였다. 사육기간 동안 체중과 사료섭취량은 매주 1회 측정하였다.

혈액 채취

실험종료일에 마우스를 ethyl ether로 가볍게 마취시킨 후 경동맥에서 채혈하였다. 혈액은 1,000 g에서 15분간 원심분리 후 혈청을 분리하여 다음 분석할 때까지 냉동실(-75°C)에서 보관하였다.

혈청과 분변 지질 및 분변 담즙산 함량

혈청과 분변의 총콜레스테롤(TC), 고밀도지단백콜레스테롤(HDL-C) 및 중성지방(TG) 농도는 효소 kit (Asan Pharm, Korea)로 분석하였다. 저밀도 지단백콜레스테롤(LDL-C) 농도는 Friedwald 등(1972)의 계산식으로 구하였고 동맥경화지수(atherogenic index, AI)는 Haglund 등(1992)의 방법으로 계산하였다. 혈중 glutamyl oxaloacetic transaminase (GOT)와 glutamyl pyruvic transaminase (GPT)

Table 1. The composition of experimental diets with hen egg powder (%)

Components	Normal diet			High cholesterol diet		
	NC	N2	N10	FC	F2	F10
Casein	20	19	15	20	19	15
DL-Methionine	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Corn starch	15	14.9	14.5	45.2	45.1	44.7
Sucrose	50	50	50	15	15	15
Corn oil	5	4.3	1.5	9	8.3	5.5
Cholesterol	0	0	0	1.5	1.5	1.5
Cellulose	5	5	5	4	4	4
Mineral mixture ²⁾	3.5	3.3	2.5	3.5	3.3	2.5
Vitamin mixture ³⁾	1	1	1	1	1	1
Cholin bitartrate	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Sodium taurocholate	0	0	0	0.3	0.3	0.3
Whole egg powder	0	2	10	0	2	10
Total	100	100	100	100	100	100

¹⁾NC, normal diets(AIN-76); N2, normal diets+2% whole egg powder; N10, normal diets+10% whole egg powder; FC, high cholesterol diets; F2, high cholesterol diets+2% whole egg powder; F10, high cholesterol diets+10% whole egg powder

²⁾AIN mineral mixture 76 (contents in g/kg of mixture): calcium phosphate, dibasic 500, sodium chloride 74, potassium citrate monohydrate 220, potassium sulfate 52, magnesium oxide 24, manganese carbonate (43-48% Mn) 3.5, ferric citrate (16-17% Fe) 6, zinc carbonate (70% ZnO) 1.6, cupric carbonate (53-55% Cu) 0.3, potassium iodate 0.01, sodium selenite 0.01, chromium potassium sulfate 0.55, sucrose, finely powdered, 118

³⁾AIN vitamin mixture 76(contents in g/kg of mixture) : thiamine HCl 0.6, riboflavin 0.6, pyridoxine HCl 0.7, nicotinic acid 3, d-calcium pantothenate 1.6, folic acid 0.2, d-biotin 0.02, cyanocobalamin (vitamin B12) 0.001, retinyl palmitate (vitamin A, 250,000 IU/g) 1.6, di-alpha tocopherol acetate (250 IU/g) 20, cholecalciferol (vitamin D3, 400,000 IU/g) 0.25, menaquinone (vitamin K2) 0.05, sucrose (finely powdered) 972.9

활성은 효소 kit (Asan Pharmaceutical Co., Korea)를 사용하여 505 nm에서 흡광도를 측정하여 분석하였다. 각 군별로 48시간 배설되는 분변을 수집하여 무게를 칭량하여 동결건조한 후 Folch 등(1957)의 방법으로 지방을 분리한 후 분변 담즙산 농도는 Kim 등(2003)의 방법에 따라 효소 kit (Asan Pharmaceutical Co., Korea)로 분석하였다.

통계처리

모든 시료분석은 3회 이상 반복 실시하였으며, 얻어진 결과들은 SAS 프로그램(2002-2003)를 이용하여 general

linear model procedure를 수행하여 분산분석 후 유의적인 차이가 있을 때 평균값 간의 차이를 Duncan의 다중 검정 방법으로 분석하였다($p < 0.05$).

결과 및 고찰

체중변화, 사료섭취량, 사료효율

일반식이와 고콜레스테롤식을 급여한 처리구의 체중 변화, 사료섭취량, 사료효율은 Table 2에 나타내었다. 체중의 변화는 일반식이군 보다는 고콜레스테롤 식이군에서

Table 2. Weight gain, feed intake, FER of mouse fed experimental diets with hen egg powder

Items	Normal diet			High cholesterol diet		
	NC ¹⁾	N2	N10	FC	F2	F10
Weight gain (g/day)	0.19±0.01	0.21±0.02	0.20±0.02	0.25±0.02	0.25±0.02	0.24±0.02
Feed intake (g/day)	2.40 ^b ±0.01	2.43 ^b ±0.05	2.59 ^a ±0.04	2.67 ^b ±0.04	2.82 ^a ±0.03	2.90 ^a ±0.05
FER ²⁾	0.08±0.00	0.09±0.01	0.08±0.01	0.09±0.01	0.08±0.01	0.08±0.01

All values are mean±S.E.

^{a-b}Means within a row with different superscript are differ significantly ($p < 0.05$).

¹⁾Refer to Table 1.

²⁾FER: feed efficiency ratio (body weight gain/feed intake)

다소 높은 경향이었으나 각 식이군내 처리군간의 유의적 차이는 없었다. 사료섭취량은 일반식이군에서 대조군과 2% 계란첨가군간의 유의적인 차이는 없었으나 10% 계란첨가군에서 유의적인 증가를 나타내었다($p<0.05$). 고콜레스테롤 식이군에서는 2%와 10% 계란 첨가군에서 대조군 보다 사료섭취량이 높았다($p<0.05$). 사료효율은 일반식이군과 고콜레스테롤 식이군내 계란 급여에 의한 차이는 없었다.

혈청 중성지질(TG)과 총콜레스테롤(TC) 함량

일반식이 및 고콜레스테롤 식이 내 계란을 2와 10% 첨가하여 마우스에 5주 동안 급여한 후 혈청 내 TG, HDL-C, LDL-C 및 TC 함량은 Table 3에 나타내었다. 일반식이군에서 혈중 TG농도는 대조군과 계란 2% 첨가군간에 차이가 없었다. 이는 Lee 등(2007)의 4주동안 계란을 각각 5, 10, 15% 급여시 혈청의 중성지질의 농도는 다소 증가하였지만 유의적인 차이가 없었다는 연구결과와 유사하였다. 본 연구의 일반식이급여군의 경우 계란10% 첨가군에서는 혈중 TG함량이 크게 증가하였는데($p<0.05$) 이런 결과는 여대생 7명을 대상으로 2주 동안 처음 1주에 계란 4개와 2개, 다음 1주일은 2개와 4개를 연이어 섭취하게 한 후 측정된 혈액내 TG의 농도가 유의적으로 증가하였다는 연구결과와 유사하였다(Yu and Lim, 1988). 이는 콜레스테롤 식이 섭취 후 증가된 콜레스테롤을 운반하기 위해서 더 많은 중성지방이 혈류로 유리된 것으로 판단된다(Yu and Lim, 1988). 고콜레스테롤 식이군에서는 계란처리구 모두 대조군과 차이가 없어 계란급여가 TG함량 증가에 크게 영향하지 않음을 나타내었다.

일반식이군에서는 2%와 10% 계란 처리구에서 좋은 콜레스테롤로 알려진 HDL-C 함량이 대조군에 비해 증가되었으나 고콜레스테롤 식이군에서는 계란 급여에 의한 HDL-

C 함량의 차이는 나타나지 않았다. 이는 일반식이군에서는 계란 10% 첨가(사람의 경우 하루 계란 5개 섭취량)가 HDL-C 함량을 크게 증가시키지만 고콜레스테롤 식이군에서는 크게 영향을 주지 않는 것으로 판단된다. 일반적으로 중년 성인들의 관상심장질환 위험성을 나타내는 지표는 혈액의 총 콜레스테롤 농도로 알려져 있는 반면 대부분 저지방식이를 하는 65세 노인에 있어서는 혈중 총 콜레스테롤 함량이 반드시 관상심장질환을 나타내는 지표는 아니다. 오히려 HDL-C의 함량이 중요한 지표가 될 수 있다. 이를 뒷받침 하는 결과는 Kronmal 등(1993)이 미국의 프렐링햄 지역의 주민들을 대상으로 하여 1948년부터 진행하고 있는 거대한 심장연구 프로젝트인 프렐링햄 심장 연구의 자료를 분석한 결과 노인에게 있어서는 LDL-C 보다는 HDL-C가 더 정확한 심장질환위험지표임을 보고하였다. Krumholz 등(1994)은 65세 이상 노인 997명을 대상으로 4년간 추적 조사한 결과 혈액 콜레스테롤 농도는 관상심장질환 사망률이나 70세 이상의 사망률과는 관련이 없다고 보고하였다. 또한 Corti 등(1996)은 71세 이상의 노인에게서 관상심장질환으로 인한 사망위험은 HDL-C의 농도가 35 mg/dL이하일 경우 60 mg/dL 이상인 노인 보다 2.5배 증가되고 TC : HDL-C의 비율이 1단위 증가함에 따라 심장질환 위험율은 17% 증가한다고 예측하였다. 혈중 LDL-C의 경우 정상식이 급여군에서는 10%의 계란을 첨가급여 시 대조군에 비해 LDL-C 함량이 증가하였으나 ($p<0.05$) 대조군과 2% 계란 첨가군간에는 유의적인 차이를 보이지 않았다. 반면 고콜레스테롤 식이 급여군에서는 계란의 급여에 따른 유의적인 차이를 볼 수 없었다.

TC 함량은 일반식이 급여군의 경우 대조군과 2% 계란 첨가구간의 유의적인 차이는 없었으나 10% 계란 처리구에서는 높은 수준을 보였다. Park과 Jang(2000)은 체중 200

Table 3. Plasma lipid profile, AI, and hepatic function test values of mouse fed experimental diets with hen egg powder

Components ²⁾	Normal diet			High cholesterol diet		
	NC ¹⁾	N2	N10	FC	F2	F10
TG (mg/dL)	96.74 ^b ±13.91	96.18 ^b ±9.13	134.26 ^a ±4.88	94.49±4.53	88.93±7.76	108.11±8.59
TC (mg/dL)	142.96 ^b ± 7.54	157.39 ^{ab} ±4.60	182.18 ^a ±9.32	192.00±3.56	199.71±10.32	186.09±2.75
HDL-C (mg/dL)	26.47 ^b ± 1.00	31.72 ^a ±1.42	32.05 ^a ±0.86	29.10±1.22	26.47±0.37	24.60±1.06
LDL-C (mg/dL)	93.25 ^b ± 3.83	106.44 ^b ±1.57	132.56 ^a ±8.80	144.01±2.08	145.78±4.86	138.15±2.50
LDL-C/HDL-C	3.53 ^b ± 0.08	3.37 ^b ±0.11	6.06 ^a ±0.75	5.01 ^b ±0.21	5.51 ^{ab} ±0.06	5.63 ^a ±0.14
AI	4.17 ^b ± 0.04	3.97 ^b ±0.08	7.28 ^a ±0.86	5.63 ^b ±0.17	6.19 ^{ab} ±0.19	6.49 ^a ±0.26
GOT (karmen)	21.88± 4.77	23.33±3.09	19.15±0.65	26.87±4.35	36.51±2.52	25.97±3.49
GPT (karmen)	7.80± 1.36	6.20±0.57	6.83±0.98	9.24 ^a ±0.56	8.37 ^{ab} ±0.32	7.25 ^b ±0.44

All values are mean±S.E.

^{a-b}Means within a row with different superscript are differ significantly ($p<0.05$).

¹⁾Refer to Table 1.

²⁾TG, Triglyceride; TC, Total cholesterol; HDL-C, High density lipoprotein cholesterol; LDL-C, Low density lipoprotein cholesterol; AI, Atherogenic index; GOT, Glutamyl oxaloacetic transaminase; GPT, Glutamyl pyruvic transaminase

g의 수컷 흰쥐에 4주간 삶은 계란 25%(콜레스테롤 함량 784 mg/100 g 사료)와 50%(콜레스테롤 함량 1415 mg/100 g 사료) 첨가 급여 시 혈청 총콜레스테롤 함량의 변화는 없었다고 보고하였다. 고콜레스테롤 식이 급여군에서는 계란 섭취량에 따른 유의적인 차이는 없었다. 이러한 결과는 정상식이 섭취군에서 혈중 HDL-C와 LDL-C 함량이 같이 증가하였기 때문이며, 고콜레스테롤 식이 급여군에서는 HDL-C와 LDL-C 함량이 계란 섭취 농도에 영향을 받지 않았기 때문으로 판단된다.

LDL-C/HDL-C 비율과 AI

일반식이와 고콜레스테롤 식이에 계란을 첨가하여 급여한 마우스의 혈중 LDL-C/HDL-C 비율은 Table 3에 나타내었다. 대조군과 계란 2% 첨가군간에는 유의적인 차이를 볼 수 없었으나 계란 10% 첨가군에서는 대조군에 비해 1.72배 증가하였다($p < 0.05$). 또한 고콜레스테롤 식이군에서도 대조군과 계란 2% 첨가군간에는 유의적인 차이를 볼 수 없었으나 계란 10% 첨가군에서는 대조군에 비해 증가하는 것으로 나타났다. 콜레스테롤에 관한 초기의 연구들은 식이 콜레스테롤이 혈액 콜레스테롤에 미치는 영향을 조사하기 위해 혈액 내 총 콜레스테롤 농도에만 중점을 두었으나 2008년에 30개 이상의 연구를 통해 심장질환 위험지표로 이용되는 HDL-C나 LDL-C 한가지 보다는 LDL-C/HDL-C 비율이 중요한 지표임이 보고되었다(Fernandez and Webb, 2008). 또한, 건강한 사람의 경우 콜레스테롤 섭취량은 혈액지질농도에 큰 영향을 미치지 않지만 1일 평균 100 mg의 콜레스테롤 섭취량이 증가할 때마다 혈중 총 콜레스테롤은 2.3 mg/dL, LDL-C는 1.9 mg/dL, HDL-C는 0.4 mg/dL 증가한 반면 전체적인 LDL-C/HDL-C 비율은 변화가 없었다는 McNamara(2000)의 보고와 본 연구 결과는 비슷하였다.

AI는 동맥경화 지수로서 일반식이와 고콜레스테롤 식이군 모두 대조군과 2% 계란급여군과는 유의적인 차이가 없었으나 10% 계란 급여군에서는 모두 유의적인 증가를 나타내어 5주 동안 매일 계란 2% 급여는 동맥경화 지수에 영향을 주지 않는 것으로 나타났다. Lee 등(2007)은 5%의 계란분말을 급여 후 AI는 대조군과 차이가 없었으나 유정

란 분말10%와 15% 급여후에는 증가한다고 하여 2% 급여수준에서는 차이가 없는 것으로 나타난 본 연구결과와 유사하였다.

혈청 GOT, GPT

GOT와 GPT는 체내 아미노산을 분해하는 효소의 하나로 간 합성 능력 등을 반영하여 간세포의 손상 정도를 평가하기 때문에 수치가 높을수록 간세포의 손상 정도가 크다고 볼 수 있다. 간에 이상이 생기면 그 수치가 증가하는데 2%와 10% 계란이 함유된 사료 급여 후 혈청내 간기능 수치인 GOT와 GPT 활성을 측정한 결과 GOT는 정상식이와 고콜레스테롤식이군 모두 10% 계란 급여 시 대조군과 비교해서 차이가 없었다(Table 3), GPT는 정상식이군에서는 대조군과 비교해 계란 섭취에 의한 차이는 없었으나 고콜레스테롤 식이군에서는 계란 10% 첨가급여 시 대조군에 비해 감소하였다. Lee 등(2007)도 계란 분말을 각각 5, 10, 15% 급여시 혈중 GOT와 GPT 활성은 정상수준을 유지하여 계란섭취에 의한 영향은 없었다고 하여 본 연구결과와 일치함을 나타내었다. 일반적으로, 사람의 경우 혈청 GOT와 GPT의 정상치는 각각 8-40 karmen unit, 5-30 karmen unit의 범위이다.

간 조직 내 TC 및 TG 함량

간조직 내 TC와 TG 함량은 Table 4에 나타내었다. 일반식이 급여군에서는 계란의 섭취 후 간조직 내 TC와 TG 함량이 모두 증가하였다($p < 0.05$). Lee 등(2007)도 수컷 Sprague-Dawley(420.9 g B.W.)에 유정란 분말을 5, 10, 15%로 하여 4주간 급여 시 혈중 TG와 TC의 농도가 증가하였다고 보고하여 본 연구결과와 일치하였다. 고콜레스테롤식이 급여군에서는 TG는 대조군에 비해 유의적인 차이를 보이지 않았으나, TC는 계란 10% 급여군에서 대조군과 2% 계란 첨가군에 비해 낮은 수준을 나타내었다($p < 0.05$). 일반적으로 고콜레스테롤식이 섭취는 간내 TG와 TC 농도를 증가시키는데 Koh(2006)는 성숙한 암쥐에 0.1% 콜레스테롤 첨가 사료를 4주간 급여 시 간의 콜레스테롤 및 중성지질의 농도가 증가한다고 하였고, Koh와 Kim(2004)은 0.5% 콜레스테롤 첨가사료로 6주간 급여 시

Table 4. Hepatic lipid profile (mg/dL) of mouse fed experimental diets with hen egg powder

Components ²⁾	Normal diet			High cholesterol diet		
	NC ¹⁾	N2	N10	FC	F2	F10
TG	274.93 ^b ±20.56	404.87 ^a ±37.90	488.82 ^a ±31.50	732.74±27.40	752.87±40.87	663.20±18.79
TC	93.43 ^b ±8.57	142.85 ^a ± 5.54	164.79 ^a ± 5.79	358.83 ^a ±15.51	320.87 ^a ±24.96	186.35 ^b ±15.42

All values are mean±S.E.

^{a-b}Means within a row with different superscript are differ significantly ($p < 0.05$).

¹⁾Refer to Table 1.

²⁾TG, Triglyceride; TC, Total cholesterol

Table 5. Fecal lipid profile (mg/dL) and bile acid contents ($\mu\text{mole/L}$) of mouse fed experimental diets with hen egg powder

Components ²⁾	Normal diet			High cholesterol diet		
	NC ¹⁾	N2	N10	FC	F2	F10
TG	20.92 ^c ±0.45	31.85 ^b ±1.11	48.63 ^a ±1.23	88.10 ^e ±2.47	138.19 ^b ±1.97	212.31 ^a ±3.00
TC	86.55 ^b ±3.13	110.78 ^b ±0.84	217.22 ^a ±26.39	339.12 ^e ±5.90	699.11 ^b ±48.06	1294.11 ^a ±69.84
Bile acid	339.40 ^c ±9.91	418.75 ^b ±20.82	502.94 ^a ±21.03	504.67 ^b ±15.01	565.52 ^{ab} ±12.87	613.68 ^a ±29.04

All values are mean±S.E.

^{a-c}Means within a row with different superscript are differ significantly ($p<0.05$).

¹⁾Refer to Table 1.

²⁾TG, Triglyceride; TC, Total cholesterol

간의 TC와 TG농도가 증가되었다고 하였다. 그러나 본 연구에서는 1.5%의 높은 콜레스테롤 함량을 급여하였으나 계란의 섭취로 인해 간 내 TG와 TC함량의 증가를 억제 한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 고콜레스테롤식이 급여 시 체내 콜레스테롤 항상성을 유지하기 위해 간 내 콜레스테롤을 축적하지 않고 배설하였거나 체내 콜레스테롤 생합성을 조절한 것으로 판단된다.

분변 TC와 TG, 담즙산 함량

일반식이와 고콜레스테롤 식이에 계란 첨가 급여 시 분변으로 배출되는 TC, TG, 담즙산 함량을 Table 5에 나타내었다. 일반식이군과 고콜레스테롤식이군 모두 계란의 함유량이 많을수록 유의적으로 많은 양의 TG가 분변으로 배출되는 것으로 나타났다($p<0.05$). 일반식이군에서는 대조군에 비해 10%의 계란 섭취군에서 분변 내 TG함량이 2.3배 증가하였고 고콜레스테롤 급여군에서는 대조군에 비해 10% 계란 급여군에서 2.4배 증가하였다. 또한 TC의 경우 일반식이 급여군에서 10% 계란 섭취군에서 대조군에 비해 2.5배, 고콜레스테롤 급여군에서 10% 계란 섭취시 3.8배 높은 분변 배설량을 나타내었다($p<0.05$). 분변 내 담즙산의 농도도 일반식이 급여군의 경우 계란의 함량 2%와 10% 첨가군에서 대조군에 비해 각각 1.2배, 1.5배의 유의적인 증가율을 보였으며 고콜레스테롤 급여군의 경우에도 10% 계란 급여 시 1.2배 증가함을 나타내었다($p<0.05$).

요 약

계란급여에 따른 혈중지질특성과 콜레스테롤 대사에 관한 영향을 조사하기 위해 C57BL/6 마우스를 공시하여 일반식이군과 고콜레스테롤식이군으로 나눈 후 계란을 2%와 10% 첨가한 사료를 5주동안 급여하였다. 일반사양성적(체중, 사료섭취량, 사료효율), 혈액과 간조직, 분변의 지질함량 및 담즙산 농도를 측정하였다. 체중과 사료효율은 일반식이와 고콜레스테롤식이군 모두 유의적인 차이가 없었으나 사료섭취량은 10% 계란 첨가군에서 유의적인 증가를 보였다($p<0.05$). HDL-C농도는 일반식이 급여군에서

2%와 10% 계란 첨가군 모두 유의적인 증가를 나타내었다($p<0.05$). 간 조직 내 TG와 TC농도는 일반식이군에서 계란의 급여가 TG와 TC 증가에 영향을 미친 반면 고콜레스테롤식이군의 경우 TG는 유의적인 차이가 없었고, TC는 10% 계란 급여군에서 감소하였다($p<0.05$). 분변의 콜레스테롤, 중성지질, 담즙산 농도는 일반식이군과 고콜레스테롤식이군 모두 계란의 첨가 수준이 증가할수록 TC와 TG함량이 유의적으로 증가하였다($p<0.05$). 담즙산 농도 역시 일반식이 급여군에서 계란의 첨가수준이 증가할수록 대조군보다 높은 함량을 보여 계란이 분변의 콜레스테롤 함량에도 영향을 미친 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 대한양계협회에서 지원한 연구비로 수행하였기에 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. American Heart Association (AHA) (1973) Diet and Coronary Heart Disease. Dallas: American Heart Association.
2. Chung, S. I., Kim S.Y., and Kang M.Y. (2009) Characteristics of surimi gel (king oyster mushroom and cuttlefish meat paste) on lipid metabolism and antioxidant status in high-cholesterol-fed rats. *Kor. J. Food Sci. Technol.* **41**, 191-195.
3. Clarke, R., Frost, C., Collins, R., Appleby, P., and Peto, R. (1997) Dietary lipids and blood cholesterol: quantitative meta-analysis of metabolic ward studies. *Brit. Med. J.* **314**, 112-117.
4. Corti, M. C., Guralnik, J. M., and Bilato, C. (1996) Coronary heart disease risk factors in older persons. *Aging (Milano)* **8**, 75-89.
5. Eckhardt, E. R., Wang, D. Q., Donovan, J. M., and Carey, M. C. (2002) Dietary sphingomyelin suppresses intestinal cholesterol absorption by decreasing thermodynamic activity of cholesterol monomers. *Gastroen.* **122**, 948-956.
6. Fernandez, M. L. and Webb, D. (2008) The LDL to HDL cholesterol ratio as a valuable tool to evaluate coronary heart disease risk. *J. Am. Coll. Nutr.* **27**, 1-5.

7. Folch, J. M., Lee, M., and Stanely, G. H. (1957) A simple method for isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J. Biol. Chem.* **226**, 497-509.
8. Friedwald, W. T., Levy, R. I., and Fredrickson, D. S. (1972) Estimation of concentration of low density lipoprotein cholesterol in plasma without use of the preparative ultracentrifuge. *Clin. Chem.* **18**, 499-502.
9. Haglund, O., Luostarinen, R., Wallin, R., and Saideen, T. (1992) Effects of fish oil on triglycerides, cholesterol, lipoprotein (a), atherogenic index and fibrinogen. Influence of degree of purification of the oil. *Nutr. Res.* **12**, 455-468.
10. Howell, W. H., McNamara, D. J., Tosca, M. A., Smith, B. T., and Gaines, J. A. (1997) Plasma lipid and lipoprotein responses to dietary fat and cholesterol: a meta-analysis. *Am. J. Clin. Nutr.* **65**, 1747-1764.
11. Jiang, Y., Noh, S. K., and Koo, S. I. (2001) Egg phosphatidylcholine decreases the lymphatic absorption of cholesterol in rats. *J. Nutr.* **131**, 2358-2363.
12. Kim, H. K., Jang Y. J., Heo H. J., Cho H. Y., Hong B., and Shin D. H. (2003) Hypocholesterolemic effect of Amaranth Squalene (*Amaranth esculantus*) in rat fed a high cholesterol diet. *J. Food Sci. Nut.* **8**, 13-18.
13. Koh, J. B. (2006) Effects of cheonggukjang on lipid metabolism in hyperlipidemic female rats. *Kor. J. Nut.* **39**, 331-337.
14. Koh, J. B. and Kim, J. Y. (2004) Effects of liquid culture of *Agaricus blazei* Murill on lipid metabolism in rats fed cholesterol diet. *J. Life Sci.* **14**, 531-536.
15. Korea Poultry Association. (2010) Newborn of hen eggs (Truth and misunderstanding of egg cholesterol). p. 16.
16. Kritchevsky, S. B. (2004) A review of scientific research and recommendations regarding eggs. *J. Am. Coll. Nutr.* **23**, 596S-600S.
17. Kronmal, R. A., Cain, K. C., Ye, Z., and Omenn, G. S. (1993) Total serum cholesterol levels and mortality risk as a function of age. A report based on the Framingham data. *Arch. Intern. Med.* **153**, 1065-1073.
18. Krumholz, H. M., Seeman, T. E., Merrill, S. S., Mendes de Leon, C. F., Vaccarino, V., Silverman, D. I., Tsukahara, R., Ostfeld, A. M., and Berkman, L. F. (1994) Lack of association between cholesterol and coronary heart disease mortality and morbidity and all-cause mortality in persons older than 70 years. *JAMA* **272**, 1335-1340.
19. Lee, C. U., On, J. H., and Koh, J. B. (2007) Effect of feeding eggs on levels of serum lipid, protein, and enzyme activities in rats. *J. Life Sci.* **17**, 455-600.
20. Lee, S. M., Kim, H. Y., and Hong, C. H. (2001) A study on the attitude of woman's egg consumption. *J. Kor. Pub. Health Assoc.* **27**, 152-162.
21. McNamara, D. J. (2000) The impact of egg limitations on coronary heart disease risk: do the numbers add up? *J. Am. Coll. Nutr.* **19**, 540S-548S.
22. Nagaoka, S., Masaoka, M., Zhang, Q., Hasegawa, M., and Watanabe, K. (2002) Egg ovomucin attenuates hypercholesterolemia in rats and inhibits cholesterol absorption in Caco-2 cells. *Lipids* **37**, 267-272.
23. National Vital Statistics Reports. (2010) Deaths: Final Data for 2007. *Nat. Vital Stat. Rep.* **58**, 1-136.
24. Noh, S. K. and Koo, S. I. (2003) Egg sphingomyelin lowers the lymphatic absorption of cholesterol and alpha-tocopherol in rats. *J. Nutr.* **133**, 3571-3576.
25. Park Y. S. and Chung M. S. (2005) Cholesterol-lowering effect of pine nut in plasma of rats. *Kor. J. Food Sci. Technol.* **37**, 702-708.
26. Park, B. S. and Jang, A. (2000) Effects of dietary boiled eggs on the antithrombotic activity and cholesterol metabolism in rat. *Kor. J. Food Sci. Ani. Resour.* **20**, 1-7.
27. SAS (2002) SAS/STAT Software for PC. Release 9.1, SAS Institute, Cary, NC, USA.
28. The Statistics Korea (2010) Statistics of death cause of Korea in 2009. Statistics Korea. p. 7.
29. Yu, E. J. and Lim, H. S. (1988) Effect of egg yolk supplementation to Korean diet on human serum cholesterol. *Kor. J. Nutr.* **21**, 260-267.

(Received 2010.10.1/Revised 2010.12.31/Accepted 2011.2.22)