

고지방식이 및 운동훈련이 흰쥐 간조직의 총지방산 및 인지질 지방산패턴에 미치는 영향

정은정 · 엄영숙* · 차연수*** · 박태선**

강남대학교 교양학부, 연세대학교 식품영양과학연구소*
연세대학교 식품영양학과, ** 전북대학교 식품영양학과***

High Fat Diet or Exercise Training Alters Hepatic Total and Phospholipid Fatty Acid Compositions in Rats

Chung, Eun Jung · Um, Young Sook* · Cha, Youn Soo*** · Park, Taesun**

General Education, Kangnam University, Kyunggido 449-702, Korea
Research Institute of Food & Nutritional Sciences,* Yonsei University, Seoul 120-749, Korea
Department of Food and Nutrition,** Yonsei University, Seoul 120-749, Korea
Department of Food and Nutrition,*** Chonbuk National University, Chonju 561-756, Korea

ABSTRACT

Effects of high fat diet and/or endurance exercise training on hepatic total and phospholipid(PL) fatty acid compositions were evaluated in rats fed one of the following diets for 31 days: control diet(CD, 5 wt% corn oil) or high fat diet(HFD, 35 wt% corn oil). Half of the rats in each group were exercise-trained regularly on a treadmill for 90 minutes/day during the entire feeding period. Total and PL fatty acid compositions of hepatic lipid extracts were determined by a gas-liquid chromatography. Endurance exercise training did not change the daily food intake, but significantly reduced body weight gain and feed efficiency ratio of rats, which were most prominent in animals fed HFD. Exercise training did not significantly change the percentages of Σ saturated fatty acids (SFA) and Σ polyunsaturated fatty acids(PUFA), but decreased the percentage of Σ monounsaturated fatty acids(MUFA) in hepatic total fatty acids, which might be associated with the decrease in Δ 9-desaturation index of hepatic total fatty acid metabolism. Exercise training significantly lowered the percentages of 16:0 and 22:5 ω 3, and increased the percentages of 20:1 and 20:3 ω 3 in both total and PL fatty acid compositions in rat liver. Both total fatty acid and PL fatty acid compositions of rat liver responded more sensitively to changes in dietary fat content than to endurance exercise training in this study. Feeding HFD, which contains high level of linoleic acid(LA, 18:2 ω 6), significantly decreased the percentages of Σ SFA and Σ MUFA, and increased the percentages of Σ PUFA and Σ 20:6 fatty acids of hepatic total fatty acids. Hepatic total fatty acid composition was affected by dietary fat content and dietary fatty acid composition more sensitively than those found in hepatic PL fatty acid composition. HFD significantly decreased most of desaturation indices, while exercise training significantly decreased elongation index(20:5 ω 3 \Rightarrow 22:5 ω 3) of hepatic total and PL fatty acid metabolism in rats. (*Korean J Nutrition* 33(1) : 13~22, 2000)

KEY WORDS: high fat diet, exercise training, fatty acid composition, phospholipid fatty acids, rat liver.

서론

경제수준이 향상되고 생활이 윤택해짐에 따라 영양과잉 및 활동량의 부족으로 인해 비만인구가 증가하고 있다. 비만은 심혈관계 질환, 당뇨병 및 특정 암의 발병율과 밀접하게 연관되어 있으며, 운동을 규칙적으로 하는 경우 운동을 하지 않는 사람들에 비해 비만 또는 심혈관계 질환의 발병률이 더 낮다는 사실은 이미 잘 알려져 있다¹⁾²⁾. 운동은 지난 채택일 : 1999년 11월 15일

수십년간 건강을 증진시키는 방편으로 선호되어 왔으며,³⁾ 특히 규칙적인 운동이 체지방 함량 및 혈중 지질농도에 미치는 효과에 관한 연구가 인체를 대상으로 꾸준히 진행되어 왔다.⁴⁾⁶⁾

운동중인 근육은 에너지 급원으로 글리코젠을 우선적으로 사용하지만, 장시간의 지구력 운동시에는 근육의 저장 글리코젠이 고갈되고 지질을 에너지원으로 사용하는 비율이 점차 증가하게 된다. 이와같이 운동중인 근육에서 주로 이용되는 에너지 기질이 탄수화물로부터 지질로 전환되는 시점 및 그 정도는 운동의 강도, 운동 지속시간 및 근육내

글리코겐 저장량 등의 다양한 요인들에 의해 결정되어 진다.⁷⁾ 규칙적인 운동훈련은 근육세포내 미토콘드리아의 수와 크기를 증가시키므로서 근육세포의 호기적 ATP 생산력 및 지방산 산화를 증가시킨다.^{8,9)} 운동시 에너지 기질로서 지방산의 산화가 증가하는 경우 특정 지방산의 이용을 우선적으로 선호하므로서 조직의 지방산 패턴에 변화를 초래할 수 있다. 이에 대해 Thomas 등¹⁰⁾은 인체를 대상으로 한 실험에서 지구력운동 훈련이 근육 조직의 palmitate 조성은 감소시킨 반면 C18-20 지방산의 조성을 증가시켰음을 보고한 바 있고, Andersson 등¹¹⁾도 6주간의 저장도 운동훈련이 근육의 인지질지방산 조성에 유의적인 변화를 초래하였음을 발표하였다. 한편 지구력운동 훈련기간 동안의 고지방식이는 체내 유리지방산의 이용도를 증가시키고, 지방산 산화를 촉진시키는 것으로 보고된 바 있다.¹²⁻¹⁴⁾ 따라서 운동훈련은 에너지 요구량 및 생산력을 증가시킴으로써, 그리고 고지방식은 에너지 기질의 이용도를 증가시킴으로써 체내의 지방산화를 증가시키게 된다.

식이의 지방산 조성과 지방 섭취수준은 체지방 함량 뿐 아니라 혈청 및 조직의 지방산 조성에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다.¹⁵⁻¹⁷⁾ 동일한 수준의 지방을 섭취하더라도 다불포화지방산(PUFA)의 함량이 높은 식이를 섭취하는 경우 포화지방산(SFA)의 비중이 높은 식이를 섭취하는 경우보다 지방세포의 크기가 상대적으로 더 작아지고, 체지방 함량이 더 낮다는 사실이 동물실험에서 관찰된 바 있다.¹⁸⁾ 이것은 식이중의 지방산 수준 및 조성이 세포막의 지방산 조성 및 유동성에 직접적인 영향을 미치고, 그 결과 지방분해에 관여하는 여러 막단백질들의 활성을 변화시키므로서 체지방 함량에 영향을 미치기 때문인 것으로 풀이되고 있다.¹⁹⁾ 한편, 흰쥐를 대상으로 한 연구결과 고지방식을 섭취하더라도 운동을 병행하는 경우 혈중 지질농도가 증가하지 않았음이 보고되었다.¹⁹⁾ 운동을 통한 체내 지방조직의 분해는 조직의 지방산 조성을 변화시키고, 간조직에서의 지방산 산화 및 합성에 영향을 미칠 것으로 생각된다. 따라서 본 연구에서는 규칙적인 지구력운동 훈련이 간조직의 지방산패턴 및 대사에 미치는 효과를 지방 함량이 다른 식이를 섭취하는 흰쥐를 대상으로 평가하였다.

재료 및 방법

1. 실험동물의 사육 및 운동훈련

32마리의 5주령 Sprague-Dawley계 흰쥐를 16마리씩 무작위로 두군으로 나누고, 각기 대조식이(Control diet; CD) 또는 고지방식이(High fat diet; HFD)로 31일간 사

Table 1. Composition of experimental diets

| Ingredients | Diet | |
|----------------------------------|--------------|---------------|
| | Control diet | High fat diet |
| | g/kg diet | |
| Casein | 200.0 | 200.0 |
| DL-Methionine | 3.0 | 3.0 |
| Corn starch | 150.0 | - |
| Sucrose | 500.0 | - |
| Dextrose | - | 333.0 |
| Fiber | 50.0 | 50.0 |
| Corn oil | 50.0 | 350.0 |
| AIN-76 Mineral mix ¹⁾ | 35.0 | 48.0 |
| AIN-76 Vitamin mix ²⁾ | 10.0 | 14.0 |
| Choline-bitartrate | 2.0 | 2.0 |
| Energy(kcal) | 3850 | 5282 |
| Fat energy(%) | 11.7 | 59.6 |

육하였다. CD군은 5%의 옥수수유를 지방급원으로 하는 AIN-76 식이를, 그리고 HFD군은 Shaw등²⁰⁾의 방법에 준해 CD와 동일하되 35 wt%의 옥수수유를 함유한 식이를 각기 공급하였으며, 실험식이의 기타 자세한 구성성분은 Table 1에 제시된 바와 같다. 각 군의 실험동물을 다시 무작위로 운동군 및 비운동군으로 나누고, 운동군의 경우 실험사육 첫날부터 트레드밀(Vitamaster 8712 WM treadmill, Tokyo, Japan)을 이용하여 31일간 지구력운동 훈련을 실시하였다. 운동훈련의 조건으로는 중등도 강도의 지구력운동을 위해 10°경사의 트레드밀 위에서 0.9km/hr의 속도로 매일 일정한 시간대(10:00~11:00)에 90분간 달리기 실시케 하였다.

실험기간 동안 흰쥐들은 스텐레스 사육장에 한 마리씩 넣어 분리·사육되었으며, 사육실의 실내온도는 23 ± 1°C, 상대습도는 53 ± 2%, 그리고 명암은 12시간(8:00-20:00) 주기로 조절하였고, 물과 사료는 자유롭게 섭취토록 하였다. 실험기간 동안 2일에 한번씩 일정시간에 사료잔량을 측정하여 일일 식이섭취량을 계산하였으며, 체중은 1주일에 한번씩 측정하였다. 식이효율(feed efficiency ratio: FER)은 일일 식이섭취량에 대한 체중 증가량으로 계산하였다.

실험 사육기간이 끝나는 시점에 실험동물을 12시간 절식시킨 뒤 에테르 마취하에 개복하고, 간장을 적출하였다. 떼어낸 간을 생리식염수로 씻은 다음 Kimwipe로 물기를 제거하고, 액체질소에 넣어 순간 냉동시킨 후 분석시까지 -70°C에서 냉동보관하였다.

2. 간의 총지방산 및 인지질 지방산 분석

Folch 등²¹⁾의 방법에 준하여 chloroform-methanol 용

액(2 : 1, v/v)으로 간장의 총지질을 추출하였으며, 인지질 성분을 분리하기 위하여는 thin layer chromatography (TLC)를 이용하였다. 일정량의 지질추출액을 110℃에서 활성화시킨 silica gel plate(20 × 20cm)에 점적시키고, 전개 용매로는 petroleum ether: diethylether: acetic acid (80 : 20 : 2, v/v/v)를 사용하였다. 용매를 전개판의 위 끝에서 1cm 아래까지 전개시킨 후 N₂ gas로 말리고, 분리된 각 지질의 분획을 iodine vapor로 발색시켜 동정한 후 인지질 분획을 긁어내어 지방을 추출하였다.

간장의 총지질과 인지질분획에 포함된 지방산조성을 분석하기 위해서 Lepage와 Roy²³⁾의 방법에 준하여 지방산을 methylation시킨 후 일정량을 gas-liquid chromatography (GLC, Hewlett Packard 5890A, USA) 기기에 주입시켰으며, internal standard로는 heptadecaenoic acid(HA, 17 : 0, Nu Check Prep. Inc., USA)를 사용하였다. Teflon 마개가 있는 튜브에 HA(17 : 0, 40mg% 용액) 100μl와 긁어낸 인지질분획 silica gel 또는 총지질추출액 100μl을 넣은 후 2ml의 methanol-benzene 용액(4 : 1, v/v)을 첨가하였다. 각 튜브에 magnetic stirring bar를 넣고 저어준 상태에서 0.2ml의 acetyl chloride를 천천히 가한 뒤 마개로 잘 막아 100℃에서 60분 동안 methylation시켰다. 찬물에서 냉각시킨 후 6% K₂CO₃ 용액 5ml을 가하여 반응을 중단시키고, 2,000×g에서 5분간 원심분리하였다. 분리된 벤젠층(상층액)의 일정량을 취하여 fused-silica bonded capillary column(Omega wax 320, Supelco, USA; 30cm × 0.32mm)과 flame ionization detector가 부착된 GLC에 주입시켜 각 지방산 성분을 분리·정량하였다. GLC의 oven 온도는 200℃로, injection port 및 detection port의 온도는 260℃로 각각 조정하였으며, carrier gas로 사용된 헬륨의 유속은 1ml/min로, 그리고 split ratio는 10 : 1로 조절하였다. 동일한 조건하에서 분석된 표준지방산 용액(#GLC 87A, Nu Check Prep. Inc., USA)의 retention time을 이용하여 각 지방산 peak를 확인하였고, 각 지방산의 함량은 internal standard로 사용된 HA를 근거로 correction factor를 사용하여 총지방산량을 계산한 뒤 백분율로 표시하였다.

4. 통계처리

모든 분석수치는 mean ± SEM으로 표시하였으며, 고지방식이 및 운동훈련 유무에 따른 간조직의 지방산조성의 차이는 2 × 2 factorial ANOVA에 의해 p < 0.05, p < 0.01 또는 p < 0.001 수준에서 유의성 여부를 검증하였다. 아울

러 각 실험군의 평균값의 차이에 대한 유의성 여부는 p < 0.05 수준에서 Tukey's test를 실시하여 확인하였다.

결과 및 고찰

1. 체중 변화 및 식이 효율

고지방식이(HFD) 또는 운동훈련이 식이섭취량, 체중증가 및 식이효율에 미치는 효과는 Fig. 1에 제시된 바와 같다. HFD를 섭취하는 군은 대조식이(CD)를 섭취하는 군에 비해 식이섭취량은 더 적었으나, 계산된 총 열량섭취량은 차이가 없었고, 체중 증가량에도 유의한 차이가 없었다. 이와 같이 HFD군의 식이섭취량이 대조군에 비해 더 적게 나타난 것은 실험사육기간 동안 체내 에너지 균형을 이루기 위한 적응현상이 나타난 것으로 사료된다.

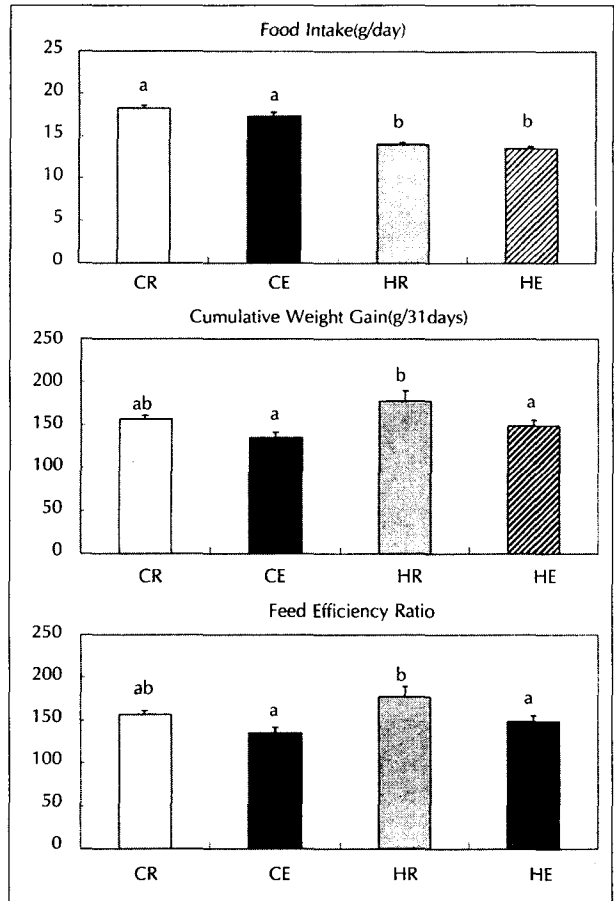


Fig. 1. Effects of high fat diet and/or exercise training on food intake, body weight gain and food efficiency ratio of rats. Values are mean ± SEM of 8 rats, CR = Control diet, rested; CE = Control diet, exercised, HR = High fat diet, rested; HE = High fat diet, exercised. Values with different superscripts are significantly different at p < 0.05. Feed efficiency ratio was calculated as daily weight gain/daily dietary intake.

ANOVA 분석결과에 의하면 31일간의 규칙적인 운동훈련은 식이섭취량에 유의적인 변화를 초래하지 않았으나 체중 증가량 및 식이효율을 유의적으로 감소시켰으며($p < 0.01$), 특히 이와같은 현상은 CD군보다 HFD를 섭취하는 군에서 유의적으로 나타났다. 즉, CD군의 경우에는 운동군(control diet-exercised, CE)과 비운동군(control diet-rested, CR) 간에 체중증가량 및 식이효율에 유의한 차이가 나타나지 않았으나, HFD를 섭취하는 쥐에서는 운동군(high fat diet-exercised, HE)의 체중증가량 및 식이효율이 비운동군(high fat diet-rested, HR)에 비해 유의적으로 더 낮았다. 이에 대한 직접적 원인으로는 일차적으로 육체적 운동

에 의해 에너지 소모량이 증가한 것을 들 수 있고, 그 외에도 Bailey등²³⁾과 Meservey 및 Carey¹⁸⁾가 주장한 바와 같이 운동이 지방조직의 hyperplasia를 억제하고, 체지방 분해를 증가시켰기 때문인 것으로 사려된다. 한편, Tsci와 Gong²⁴⁾은 hamster를 대상으로 8 wt% 또는 20 wt% 지방식이를 32일간 공급하면서 운동훈련의 효과를 평가한 결과, 식이 섭취량이 식이내 지방함량보다는 운동훈련 여부에 따라 유의하게 영향을 받는 것으로 보고하였다. 즉, 운동훈련군의 경우 비운동군에 비해 식이섭취량이 증가하였고 체중 역시 더 큰 폭으로 증가하여 본 연구와 상이한 결과를 나타냈는데, 이는 실험 프로토콜마다 식이지방의 조성 및 수

Table 2. Effect of high fat diet and/or exercise training on hepatic total fatty acid composition in rats

| | CR ¹⁾ | CE | HR | HE | E ²⁾ | D | E × D |
|------------|------------------|--------------|--------------|--------------|-----------------|-----|-------|
| | % | | | | | | |
| 12 : 0 | 0.11 ± 0.02 | 0.18 ± 0.01 | 0.10 ± 0.01 | 0.12 ± 0.02 | ** | * | - |
| 14 : 0 | 0.30 ± 0.03 | 0.25 ± 0.02 | 0.21 ± 0.02 | 0.17 ± 0.01 | - | *** | - |
| 16 : 0 | 18.4 ± 0.71 | 17.3 ± 0.43 | 14.7 ± 0.65 | 13.0 ± 0.25 | * | *** | - |
| 18 : 0 | 16.2 ± 0.36 | 18.0 ± 0.67 | 14.8 ± 0.85 | 16.2 ± 0.66 | * | * | - |
| 20 : 0 | 0.07 ± 0.01 | 0.08 ± 0.004 | 0.10 ± 0.003 | 0.11 ± 0.01 | - | *** | - |
| 22 : 0 | 0.27 ± 0.02 | 0.30 ± 0.02 | 0.29 ± 0.02 | 0.33 ± 0.01 | * | - | - |
| 24 : 0 | 0.96 ± 0.09 | 1.4 ± 0.17 | 0.71 ± 0.03 | 0.89 ± 0.09 | * | ** | - |
| ΣSFA | 36.4 ± 0.56 | 37.5 ± 0.38 | 30.9 ± 1.37 | 30.8 ± 0.76 | - | *** | - |
| 16 : 1(ω9) | 1.4 ± 0.17 | 1.08 ± 0.14 | 0.27 ± 0.03 | 0.20 ± 0.01 | - | *** | - |
| 18 : 1(ω9) | 8.7 ± 0.40 | 6.7 ± 0.44 | 8.0 ± 0.53 | 7.6 ± 0.39 | * | - | - |
| 18 : 1(ω7) | 3.0 ± 0.16 | 3.2 ± 0.10 | 1.7 ± 0.23 | 1.6 ± 0.05 | - | *** | - |
| 20 : 1 | 0.12 ± 0.02 | 0.20 ± 0.02 | 0.14 ± 0.01 | 0.16 ± 0.01 | *** | - | - |
| 24 : 1 | 0.21 ± 0.01 | 0.34 ± 0.07 | 0.09 ± 0.02 | 0.09 ± 0.01 | - | *** | - |
| ΣMUFA | 13.4 ± 0.68 | 11.6 ± 0.57 | 10.2 ± 0.56 | 9.7 ± 0.39 | * | *** | - |
| 18 : 2(ω6) | 18.7 ± 1.1 | 16.7 ± 0.43 | 29.4 ± 2.4 | 29.8 ± 1.0 | - | *** | - |
| 20 : 3(ω6) | 0.26 ± 0.01 | 0.31 ± 0.02 | 0.29 ± 0.02 | 0.31 ± 0.02 | - | - | - |
| 20 : 4(ω6) | 20.6 ± 0.38 | 22.9 ± 0.42 | 17.5 ± 1.2 | 18.2 ± 0.71 | * | *** | - |
| 22 : 4(ω6) | 0.34 ± 0.01 | 0.31 ± 0.01 | 0.34 ± 0.02 | 0.34 ± 0.02 | - | - | - |
| 22 : 5(ω6) | 0.22 ± 0.03 | 0.23 ± 0.02 | 0.10 ± 0.02 | 0.12 ± 0.02 | - | *** | - |
| Σω6 | 40.1 ± 0.95 | 40.6 ± 0.49 | 47.6 ± 1.4 | 48.8 ± 0.37 | - | *** | - |
| 18 : 3(ω3) | 0.56 ± 0.08 | 0.34 ± 0.03 | 1.5 ± 0.23 | 1.4 ± 0.09 | - | *** | - |
| 20 : 3(ω3) | 0.03 ± 0.004 | 0.04 ± 0.002 | 0.03 ± 0.002 | 0.03 ± 0.002 | * | - | - |
| 20 : 5(ω3) | 0.23 ± 0.03 | 0.36 ± 0.07 | 0.42 ± 0.04 | 0.46 ± 0.02 | * | ** | - |
| 22 : 5(ω3) | 0.65 ± 0.04 | 0.57 ± 0.02 | 0.98 ± 0.06 | 0.85 ± 0.04 | * | *** | - |
| 22 : 6(ω3) | 5.9 ± 0.18 | 5.7 ± 0.20 | 4.9 ± 0.39 | 4.6 ± 0.16 | - | *** | - |
| Σω3 | 7.3 ± 0.18 | 7.0 ± 0.24 | 7.8 ± 0.18 | 7.4 ± 0.18 | * | - | - |
| ΣPUFA | 47.4 ± 1.0 | 47.6 ± 0.36 | 55.4 ± 1.4 | 56.1 ± 0.42 | - | *** | - |
| Others | 2.9 ± 0.13 | 3.4 ± 0.20 | 3.4 ± 0.20 | 3.4 ± 0.14 | - | - | - |
| P/S | 1.3 ± 0.05 | 1.3 ± 0.02 | 1.8 ± 0.11 | 1.8 ± 0.06 | - | *** | - |
| M/S | 0.37 ± 0.02 | 0.31 ± 0.02 | 0.34 ± 0.03 | 0.32 ± 0.02 | - | - | - |
| ω6/ω3 | 5.5 ± 0.15 | 5.9 ± 0.25 | 6.1 ± 0.24 | 6.6 ± 0.16 | * | ** | - |

Values are mean ± SEM of 8 rats

HR = High fat diet, rested; HE = High fat diet, exercised

¹⁾CR = Control diet, rested; CE = Control diet, exercised

²⁾E: Exercise effect, D: Diet effect, E × D: exercise and diet interaction

*, **, ***: Significantly different by 2 × 2 factorial ANOVA test at * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ and *** $p < 0.001$

준, 아울러 운동의 강도가 서로 다른 것에 부분적인 원인이 있는 것으로 생각된다. 본 연구의 결과 식이섭취량, 체중증가량 및 식이효율에 있어서 고지방식이와 운동훈련의 상호 보완효과는 관찰되지 않았다.

2. 간의 총지방산 조성

간의 총지방산 조성을 살펴보면 CR군의 경우 총포화지방산(Σ SFA), 총단일불포화지방산(Σ MUFA) 및 총다가불포화지방산(Σ PUFA)의 비율이 각기 $36.4 \pm 0.56\%$, $13.4 \pm 0.68\%$ 및 $47.4 \pm 1.0\%$ 이었다. SFA중에서는 16:0과 18:0이, MUFA중에서는 oleic acid(18:1 ω 9)가, 그리고 PUFA중에서는 linoleic acid(LA, 18:2 ω 6)와 arachidonic acid(AA, 20:4 ω 6)가 양적으로 주된 부분을 차지한 것으로 나타나 문헌에 보고된 흰쥐 간의 지방산조성 결과²⁵⁾²⁶⁾와 유사하였다. 식이섭취량 및 체중증가량에서와 마찬가지로 간의 총지방산조성에 있어서도 고지방식이와 운동훈련의 상호 보완효과는 관찰되지 않았다.

(1) 운동훈련 효과

운동훈련은 간의 총지방산 중 12:0, 18:0, 22:0, 24:0, 20:1, 20:4 ω 6, 20:3 ω 3 및 20:5 ω 3의 비율을 유의적으로 증가시켰고, 16:0, 18:1 ω 9 및 22:5 ω 3의 조성은 유의적으로 감소시켰다(Table 2). 운동훈련에 의해 간의 총지방질에 함유된 Σ SFA 및 Σ PUFA 비율은 변화하지 않았으나 Σ MUFA 비율은 유의적으로 감소하였는데($p < 0.05$), 이는 운동에 의해 간조직의 총지방산 대사에 있어서 49-desaturation index가 감소한 결과(Table 5)와 관련이 있는 것으로 생각된다.

인체를 대상으로 한 Grande등²⁷⁾의 연구에 의하면 포화지방산중 18:0(stearic acid)은 16:0(palmitic acid)과는 달리 혈장 콜레스테롤농도에 유의적인 영향을 미치지 않았음이 발표되었고, Bonanome과 Grundy²⁸⁾는 18:0이 MUFA와 유사하게 혈중 콜레스테롤 농도를 오히려 저하시키는 효과가 있음을 제시하였다. 따라서 운동에 의해 간 총지방질의 16:0 비율이 감소하고 18:0 비율이 증가한 것은 혈중 지질농도 개선을 위한 운동의 유익한 효과중의 하나로 설명되어 질 수 있겠다. 한편, 알콜성 간질환 동물모델의 경우 간조직의 지방산 패턴에 있어서 AA(20:4 ω 6) 비율이 대조군에 비해 감소하는 특징적인 변화를 나타내었다는 보고²⁹⁾에 비추어 볼 때, 본 연구에서 운동훈련에 의해 간의 총지방산 조성중 AA 비율이 유의적으로 증가한 결과($p < 0.05$)는 운동에 의해 간기능을 유지 또는 개선시킬 수 있는 가능성을 간접적으로 시사해 준다. Meservey와 Carey¹⁸⁾의 동

물실험 결과에 의하면 지구력운동은 지방조직의 총지방질에 함유된 Σ PUFA 비율을 증가시킨 한편, Σ MUFA 및 Σ SFA 비율은 감소시켜 본 연구결과와 다소 차이를 보이는데, 이는 두 연구에서 사용된 식이조성 및 운동 프로토콜이 다른 뿐 아니라 분석한 조직의 종류가 간조직과 지방조직으로 서로 달라 직접적인 비교가 어렵기 때문인 것으로 사려된다.

(2) 고지방식이 효과

35%의 옥수수유를 함유한 HFD는 간의 총지방질에 함유된 Σ SFA($p < 0.001$) 및 Σ MUFA($p < 0.001$) 비율을 유의하게 감소시킨 반면, Σ PUFA 비율은 유의적으로 증가시키므로써 P/S비율 또한 유의적으로 증가시켰다($p < 0.001$) (Table 2). HFD는 20:0을 제외한 거의 대부분의 개별 SFA 비율을 유의적으로 감소시켰으며, 특히 양적으로 많은 비율을 차지하는 16:0과 18:0 조성은 CD군에 비해 HFD군에서 각기 20~25%($p < 0.001$) 및 8~10%($p < 0.05$) 정도 유의적으로 감소하였다. 간조직의 총지방질 MUFA중 가장 많은 비율을 차지하는 18:1 ω 9(oleic acid) 조성은 HFD에 의해 영향을 받지 않았으나, 16:1 ω 9 비율은 HFD를 섭취하는 쥐들의 경우 CD군의 약 1/5 정도에 불과하였고, 18:1 ω 7 및 24:1 비율 역시 HFD군에서 CD군의 약 1/2~1/3 정도로 낮았다($p < 0.001$). 간조직의 총지방질에 함유된 PUFA조성을 살펴보면 $\Sigma\omega$ 3 지방산 비율은 식이내 지방 함량에 따라 유의적인 변화가 없었으나 $\Sigma\omega$ 6 지방산의 조성은 HFD군에서 CD군에 비해 유의적으로 증가하였고, ω 6/ ω 3 비율 또한 증가하였다($p < 0.01$). ω 6계 지방산중 양적으로 많은 부분을 차지하는 18:2 ω 6(linoleic acid, LA)는 HFD에 의해 약 1.6배 증가한($p < 0.001$) 한편, AA 및 22:5 ω 6 조성은 HFD에 의해 유의적으로 감소하였다($p < 0.001$). ω 3계 지방산 중에서 양적으로 가장 많은 docosahexaenoic acid(DHA, 22:6 ω 3)비율은 HFD에 의해 유의하게 감소하였으나($p < 0.001$), α -linolenic acid(18:3 ω 3)($p < 0.001$), eicosapentaenoic acid(EPA 20:5 ω 3)($p < 0.01$) 및 22:5 ω 3($p < 0.001$) 비율은 HFD에 의해 증가하였다. 이와 같은 결과는 총지방산의 약 54%가 LA로 구성된 옥수수유가 지질 급원으로 실험식이에 이용되었기 때문으로 사려된다. 간조직내 총지방산 비율 중 12:0, 18:0, 24:0 및 20:4 ω 6은 HFD섭취에 의해서 감소되었으나, 반대로 운동훈련에 의해서는 증가하였다.

Hudgins 등³⁰⁾은 인체를 대상으로 혈장의 very low density lipoprotein(VLDL)에 함유된 중성지방의 지방산조성을 식사종류에 따라 평가한 결과, 섭취한 열량은 동일하더라도 고지방식사(총열량의 40%)를 섭취하는 경우 저지방

(총열량의 10%) · 고당질식사를 섭취하는 사람들에 비해 지방산 합성을, 특히 palmitic acid(16 : 0)의 합성율이 감소되어 있음을 보고하여, 본 연구의 HFD군에서 간의 16 : 0 비율이 감소한 결과와 일치하였다. Sander 등¹⁷⁾도 저지방 식사(총열량의 10%)를 섭취하는 사람들의 경우 고지방 식사(총열량의 40%)를 섭취하는 군에 비해 혈장의 16 : 0 및 16 : 1 비율이 증가하였음을 관찰하였고, 이는 고당질섭취로부터 지방산 합성이 증가하였기 때문인 것으로 풀이하였다.

본 연구의 결과 일반적으로 간조직의 총지방산 조성은 운동훈련보다는 고지방식이에 의해 더 민감하게 영향을 받은 것으로 나타났다. 지방조직의 지방산패턴을 분석한 Meservey와 Carey¹⁸⁾의 선행 연구에서도 운동보다는 식이내 지방 함량에 의해 지방산패턴이 더 민감하게 영향을 받았음이 보고되었고, Tcsi와 Gong²⁴⁾도 간에서 지방산합성을 촉매하는 효소들의 활성이 식이의 지방수준에 의해 영향을 받는 한편, 운동에 의해서는 변화되지 않는 것으로 보고하여 본 연구의 결과를 지지해 주고 있다. 아울러 최근에는 지방산 조성 뿐 아니라 혈장 및 조직의 항산화체계 역시 운동보다는 식이지방산 조성에 의해 더 크게 영향을 받았음이 보고되었다.³¹⁾

고지방식이 또는 운동훈련이 간의 총지방산 및 인지질지방산의 절대 함량에 미치는 효과가 Table 3에 제시되어 있다. 간의 총지방산함량은 HFD에 의해 유의적으로 증가하여 CD군보다 약 5~33%정도 높은 수치를 나타냈다(p < 0.05). 이는 HFD의 지방함량이 35wt%로 CD에 함유된 지방함량(5wt%)의 무려 7배나 되는 것과 비교한다면 훨씬 근소한 차이로서 이에 대한 가능한 설명으로 우선 고지방식이 섭취 후 지방산대사가 촉진되었을 가능성¹²⁻¹⁴⁾을 들 수 있겠다. Schrauwen 등³²⁾은 정상 체중을 지닌 여성을 대상으로 총 열량섭취량은 동일한 상태에서 저지방식으로 부터 고지방식으로 식사내용을 변화시킨 결과, 7일 후 에너지기질로 지질을 효율적으로 사용할 수 있게 되었음을 보고하였다. 또한 본 연구에서 사용한 지질급원은 LA함량이 풍부한 옥수수유이며, PUFA는 SFA에 비해 β-oxidation이 더 쉽게 일어난다는 보고¹⁴⁾로 미루어볼 때 HFD군에서 CD군에 비해 지방대사율이 증가하였을 가능성을 생각해 볼 수 있

다. 마지막으로 체내의 지방 생합성능력은 저지방 · 고당질 식이를 섭취하는 경우보다 고지방식이를 섭취할 때 상대적으로 더 낮기 때문에 본 연구에서 HFD에 따른 간의 총지방산함량의 증가 폭이 비교적 낮게 나타난 것으로 풀이될 수 있다.

3. 간의 인지질 지방산조성

CR군의 경우 간의 인지질지방산에 대한 ΣSFA, ΣMUFA 및 ΣPUFA 조성이 각기 44.6 ± 0.63%, 6.8 ± 0.26% 및 45.5 ± 0.99%로 나타나 간의 총지질 지방산조성과 비교할 때 ΣSFA 비율은 더 높은 반면, ΣMUFA 비율은 상대적으로 더 낮고 ΣPUFA 비율은 유사하였다(Table 4). Leikin과 Brenner³³⁾가 쥐 간의 주요 인지질에 함유된 지방산 조성을 연구한 바에 의하면 총인지질의 약 62%를 차지하는 phosphatidylcholine과 phosphatidylethanolamine에서 16 : 0, 18 : 0, 18 : 1, 18 : 2ω6와 20 : 4ω6등이 가장 주된 지방산인 것으로 나타나 본 연구결과와 일치하였다.

(1) 운동훈련 효과

운동훈련이 간의 인지질 지방산조성에 미치는 효과를 살펴보면(Table 4), 16 : 0, 22 : 4ω6 및 22 : 5ω3 비율은 유의하게 감소한(p < 0.05) 반면, 18 : 1ω9(p < 0.05), 20 : 1(p < 0.001) 및 20 : 3ω3(p < 0.05)비율은 증가하여 총지질 지방산조성에 나타난 결과와 거의 대부분이 일치하고 있다. 여기서 흥미로운 것은 간의 총지질 뿐 아니라 인지질에 함유된 지방산 중 동맥경화증 유발 가능성이 높은 것으로 알려진 16 : 0의 비율이 운동훈련에 의해 감소하여 지속적인 지구력 운동훈련이 체내 조직의 지방산패턴을 건강 증진에 유리한 방향으로 조절하였음을 알 수 있다.

(2) 고지방식이 효과

간의 인지질 지방산조성 역시 총지질 지방산조성에서와 마찬가지로 운동보다는 고지방식이에 의해 더 크게 영향을 받는 것으로 관찰되었다(Table 4). HFD는 간의 인지질에 함유된 지방산중 ΣMUFA비율을 유의하게 감소시킨 한편(p < 0.001), ΣSFA 및 ΣPUFA비율에는 영향을 미치지

Table 3. Effect of high fat diet and/or exercise training on levels of hepatic total and phospholipid fatty acids in rats

| | CR ¹⁾ | CE | HR | HE | E ²⁾ | D | E × D |
|--------------|------------------|------------|------------|------------|-----------------|---|-------|
| | mg/g liver | | | | | | |
| Total | 461 ± 38.0 | 399 ± 27.4 | 488 ± 41.0 | 529 ± 37.0 | - | * | - |
| Phospholipid | 177 ± 26.6 | 184 ± 14.5 | 193 ± 11.8 | 190 ± 18.3 | - | - | - |

Values are mean ± SEM of 8 rats

¹⁾CR = Control diet, rested; CE = Control diet, exercised

HR = High fat diet, rested; HE = High fat diet, exercised

²⁾E: Exercise effect, D: Diet effect, E × D: exercise and diet interaction

*: Significantly different by 2 × 2 factorial ANOVA test at *p < 0.05

않았고, 따라서 인지질지방산의 M/S비율을 유의하게 감소시켰다($p < 0.001$). HFD는 간의 인지질에 함유된 $\omega 6$ 계 지방산 중 특히 LA비율을 유의하게 증가시켰으나(10~13% 증가, $p < 0.01$) 총지방산조성에서 관찰된 LA비율의 증가 폭(57~78% 증가)에 비하여 훨씬 완만하였고, 따라서 식이 지방산조성은 간의 인지질지방산보다는 총지질지방산에 더 크게 반영됨을 알 수 있다. HFD는 간의 인지질에 함유된 Σ SFA비율은 변화시키지 않았으나, SFA의 종류에 따라서는 유의적인 증감현상이 관찰되었다. 즉, HFD에 의해 12 : 0, 14 : 0 및 16 : 0 비율은 감소한 반면, 18 : 0, 22 : 0 및 24 : 0 등과 같이 장탄소사슬 SFA의 비율은 증가하였

다. $\omega 6$ 계 지방산 중 양적으로 거의 대부분을 차지하는 LA와 AA의 비율은 HFD에 의해 유의적으로 증가하였고, 20 : 3, 22 : 4, 22 : 5 비율은 유의적으로 감소하여 결과적으로 $\Sigma\omega 6$ 지방산의 비율이 증가하였다. HFD는 간의 총지방산에서와 마찬가지로 인지질지방산에 포함된 18 : 3 $\omega 3$ ($p < 0.001$) 및 22 : 5 $\omega 3$ ($p < 0.001$)비율을 유의하게 증가시켰으나, 양적으로 가장 많은 부분을 차지하는 DHA비율은 변화시키지 않았고, $\Sigma\omega 3$ 지방산의 비율 역시 유의한 변화를 보이지 않았다.

인지질에 함유된 PUFA는 체내에서 대부분이 eicosanoids와 같은 생리적 활성을 지닌 물질로 전환되는 반면에

Table 4. Effect of high fat diet and/or exercise training on hepatic phospholipid fatty acid composition in rats

| | CR ¹⁾ | CE | HR | HE | E ²⁾ | D | E × D |
|----------------------|------------------|--------------|--------------|--------------|-----------------|-----|-------|
| | % | | | | | | |
| 12 : 0 | 0.12 ± 0.01 | 0.08 ± 0.01 | 0.05 ± 0.01 | 0.06 ± 0.01 | - | *** | * |
| 14 : 0 | 0.16 ± 0.01 | 0.19 ± 0.02 | 0.10 ± 0.01 | 0.10 ± 0.01 | - | *** | - |
| 16 : 0 | 18.5 ± 0.81 | 17.7 ± 0.84 | 16.9 ± 0.64 | 14.6 ± 0.17 | * | *** | - |
| 18 : 0 | 22.8 ± 0.44 | 22.5 ± 1.1 | 23.8 ± 1.7 | 27.2 ± 0.35 | - | ** | * |
| 20 : 0 | 0.09 ± 0.01 | 0.09 ± 0.01 | 0.12 ± 0.01 | 0.13 ± 0.01 | - | *** | - |
| 22 : 0 | 0.39 ± 0.03 | 0.39 ± 0.01 | 0.55 ± 0.03 | 0.55 ± 0.02 | - | *** | - |
| 24 : 0 | 2.5 ± 0.42 | 2.8 ± 0.32 | 3.8 ± 0.75 | 3.0 ± 0.67 | - | - | - |
| Σ SFA | 44.6 ± 0.63 | 43.7 ± 1.6 | 45.3 ± 1.4 | 45.6 ± 0.68 | - | - | - |
| 16 : 1($\omega 9$) | 0.69 ± 0.07 | 0.68 ± 0.05 | 0.23 ± 0.08 | 0.14 ± 0.01 | - | *** | - |
| 18 : 1($\omega 9$) | 3.0 ± 0.06 | 3.3 ± 0.10 | 2.0 ± 0.33 | 2.5 ± 0.06 | * | *** | - |
| 18 : 1($\omega 7$) | 2.7 ± 0.13 | 3.0 ± 0.15 | 1.5 ± 0.30 | 1.8 ± 0.10 | - | *** | - |
| 20 : 1 | 0.12 ± 0.01 | 0.19 ± 0.02 | 0.10 ± 0.01 | 0.15 ± 0.01 | *** | * | - |
| 24 : 1 | 0.32 ± 0.02 | 0.37 ± 0.02 | 0.19 ± 0.02 | 0.21 ± 0.03 | - | *** | - |
| Σ MUFA | 6.8 ± 0.26 | 7.6 ± 0.23 | 4.0 ± 0.67 | 4.7 ± 0.11 | * | *** | - |
| 18 : 2($\omega 6$) | 12.0 ± 0.50 | 12.9 ± 0.42 | 13.6 ± 0.65 | 14.2 ± 0.26 | - | ** | - |
| 20 : 3($\omega 6$) | 0.27 ± 0.02 | 0.33 ± 0.02 | 0.22 ± 0.03 | 0.20 ± 0.03 | - | ** | - |
| 20 : 4($\omega 6$) | 25.4 ± 0.74 | 25.2 ± 1.1 | 27.1 ± 0.84 | 26.8 ± 0.32 | - | * | - |
| 22 : 4($\omega 6$) | 0.32 ± 0.01 | 0.31 ± 0.01 | 0.27 ± 0.02 | 0.22 ± 0.02 | * | *** | - |
| 22 : 5($\omega 6$) | 0.66 ± 0.11 | 0.53 ± 0.06 | 0.30 ± 0.04 | 0.19 ± 0.04 | - | *** | - |
| $\Sigma\omega 6$ | 38.6 ± 0.96 | 39.2 ± 1.3 | 41.5 ± 1.5 | 41.5 ± 0.38 | - | ** | - |
| 18 : 3($\omega 3$) | 0.08 ± 0.02 | 0.10 ± 0.02 | 0.16 ± 0.02 | 0.17 ± 0.01 | - | *** | - |
| 20 : 3($\omega 3$) | 0.07 ± 0.01 | 0.08 ± 0.01 | 0.06 ± 0.005 | 0.08 ± 0.004 | * | - | - |
| 20 : 5($\omega 3$) | 0.15 ± 0.02 | 0.13 ± 0.004 | 0.15 ± 0.004 | 0.16 ± 0.01 | - | - | - |
| 22 : 5($\omega 3$) | 0.70 ± 0.02 | 0.61 ± 0.02 | 1.02 ± 0.09 | 0.83 ± 0.05 | * | *** | - |
| 22 : 6($\omega 3$) | 5.9 ± 0.30 | 5.1 ± 0.42 | 4.9 ± 0.71 | 4.6 ± 0.46 | - | - | - |
| $\Sigma\omega 3$ | 6.9 ± 0.31 | 6.0 ± 0.54 | 6.3 ± 0.70 | 5.9 ± 0.46 | - | - | - |
| Σ PUFA | 45.5 ± 0.99 | 45.2 ± 1.7 | 47.8 ± 1.9 | 47.4 ± 0.62 | - | - | - |
| Others | 3.2 ± 0.36 | 5.6 ± 2.7 | 2.9 ± 0.10 | 2.3 ± 0.12 | - | - | - |
| P/S | 1.0 ± 0.03 | 1.0 ± 0.02 | 1.07 ± 0.08 | 1.04 ± 0.03 | - | - | - |
| M/S | 0.15 ± 0.01 | 0.17 ± 0.003 | 0.09 ± 0.01 | 0.10 ± 0.003 | * | *** | - |
| $\omega 6/\omega 3$ | 5.7 ± 0.34 | 6.7 ± 0.47 | 7.2 ± 0.96 | 7.4 ± 0.65 | - | - | - |

Values are mean ± SEM of 8 rats

HR = High fat diet, rested; HE = High fat diet, exercised

¹CR = Control diet, rested; CE = Control diet, exercised

²E: Exercise effect, D: Diet effect, E × D: exercise and diet interaction

*, **, ***: Significantly different by 2 × 2 factorial ANOVA test at * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ and *** $p < 0.001$

Table 5. Effect of high fat diet and/or exercise training on desaturation and elongation indices of hepatic total and phospholipid fatty acids in rats

| | CR ¹⁾ | CE | HR | HE | E ²⁾ | D | E × D |
|---------------------------------|------------------|---------------|---------------|--------------|-----------------|-----|-------|
| Total fatty acids | | | | | | | |
| <i>Desaturation index</i> | | | | | | | |
| 16 : 1ω9/16 : 0 | 0.08 ± 0.01 | 0.06 ± 0.01 | 0.02 ± 0.0002 | 0.02 ± 0.001 | - | *** | - |
| 18 : 1ω9/18 : 0 | 0.54 ± 0.03 | 0.38 ± 0.04 | 0.56 ± 0.07 | 0.48 ± 0.04 | * | - | - |
| 20 : 4ω6/20 : 3ω6 | 79.1 ± 3.4 | 76.7 ± 4.6 | 63.1 ± 8.0 | 59.6 ± 4.3 | - | ** | - |
| 22 : 5ω6/22 : 4ω6 | 0.65 ± 0.06 | 0.74 ± 0.08 | 0.29 ± 0.06 | 0.35 ± 0.07 | - | ** | - |
| 22 : 6ω3/22 : 5ω3 | 9.2 ± 0.50 | 10.0 ± 0.49 | 5.2 ± 0.79 | 5.5 ± 0.30 | - | *** | - |
| <i>Elongation index</i> | | | | | | | |
| 22 : 4ω6/20 : 4ω6 | 0.02 ± 0.001 | 0.01 ± 0.0004 | 0.02 ± 0.002 | 0.02 ± 0.002 | - | - | - |
| 22 : 5ω3/20 : 5ω3 | 3.4 ± 0.68 | 1.9 ± 0.24 | 2.4 ± 0.30 | 1.9 ± 0.06 | * | - | - |
| Phospholipid fatty acids | | | | | | | |
| <i>Desaturation index</i> | | | | | | | |
| 16 : 1ω9/16 : 0 | 0.01 ± 0.003 | 0.04 ± 0.002 | 0.01 ± 0.004 | 0.01 ± 0.001 | - | *** | - |
| 18 : 1ω9/18 : 0 | 0.13 ± 0.005 | 0.15 ± 0.004 | 0.08 ± 0.01 | 0.09 ± 0.003 | * | *** | - |
| 20 : 4ω6/20 : 3ω6 | 104 ± 11.7 | 79 ± 5.5 | 144 ± 31 | 167 ± 37.4 | - | * | - |
| 22 : 5ω6/22 : 4ω6 | 2.1 ± 0.36 | 1.7 ± 0.14 | 1.1 ± 0.11 | 1.0 ± 0.35 | - | *** | - |
| 22 : 6ω3/22 : 5ω3 | 8.5 ± 0.47 | 8.6 ± 0.90 | 5.1 ± 0.94 | 5.8 ± 0.81 | - | *** | - |
| <i>Elongation index</i> | | | | | | | |
| 22 : 4ω6/20 : 4ω6 | 0.01 ± 0.001 | 0.01 ± 0.001 | 0.01 ± 0.0005 | 0.01 ± 0.001 | - | - | - |
| 22 : 5ω3/20 : 5ω3 | 5.2 ± 0.52 | 4.6 ± 0.16 | 6.7 ± 0.48 | 5.1 ± 0.35 | ** | * | - |

Values are mean ± SEM of 8 rats

HR = High fat diet, rested; HE = High fat diet, exercised

¹⁾CR = Control diet, rested; CE = Control diet, exercised²⁾E: Exercise effect, D: Diet effect, E×D: exercise and diet interaction

*, **, ***: Significantly different by 2 × 2 factorial ANOVA test at *p < 0.05, **p < 0.01 and ***p < 0.001

중성지방에 결합되어 있는 지방산은 주로 유리되어 대사에너지로 이용된다.³⁴⁾ 따라서 고지방식이 또는 운동훈련은 인지질의 지방산패턴보다는 중성지방 및 유리지방산을 모두 포함하는 총지질의 지방산패턴에 더 크게 영향을 미치는 것으로 사려된다.

4. 총지방산 및 인지질지방산의 대사 변화

LA가 다량 함유된 HFD는 간의 총지방산 대사에 있어서, 16 : 0 ⇒ 16 : 1ω9로의 desaturation, ω6계 지방산의 Δ5-desaturation(20 : 3 ⇒ 20 : 4) 및 Δ4-desaturation(22 : 4 ⇒ 22 : 5) 지표들, 그리고 ω3계 지방산의 Δ4-desaturation(22 : 5 ⇒ 22 : 6) 지표들을 모두 유의적으로 감소시켰다(Table 5). 또한 운동훈련에 의하여 간의 총지방산 중 18 : 0 ⇒ 18 : 1ω9로의 desaturation 지표 및 20 : 5ω3 ⇒ 22 : 5ω3로의 elongation 지표가 감소되었다.

식이 및 운동훈련이 간의 인지질지방산 대사에 미치는 효과를 살펴보면(Table 5), 총지방산대사와 유사하게 HFD 섭취에 의해 20 : 3ω6 ⇒ 20 : 4ω6로의 Δ5-desaturation을 제외한 대부분의 desaturation 지표가 유의하게 감소하였으며, 지속적인 운동훈련에 의해 elongation지표(20 : 5ω3 ⇒ 22 : 5ω3)가 감소되었다. 한편 총지방산조성에서

나타난 결과와는 반대로 운동훈련에 의해 간의 인지질지방산의 desaturation 지표(18 : 0 ⇒ 18 : 1ω9)가 증가된 것으로 나타나 앞으로 이에 대한 연구가 더 필요할 것으로 생각된다.

Pan등³⁵⁾에 의하면 비만인 경우 간 microsome의 Δ9-desaturation 활성은 증가한 반면, Δ5- 및 Δ6-desaturation 활성은 감소하였음이 관찰되었고, 본 연구의 결과에서는 HFD에 의해서 Δ5- 및 Δ4-desaturation 지표가 유의하게 감소되었다. 따라서 운동훈련 및 고지방식은 지방산의 elongation 및 desaturation에 관여하는 간조직 microsome의 효소활성에 관여하므로써 막조직의 지방산 패턴을 변화시켜 간접적으로 지방산 산화에 영향을 줄 것으로 사려된다. 간조직의 microsome에 존재하는 desaturase 활성은 식이내 콜레스테롤 함량, 식이지방의 포화정도, 단백질의 종류, 당질섭취량 등과 같은 여러 가지 식사 요인에 의해 영향을 받는 것으로 알려져 있다.^{33),36-38)} 콜레스테롤 섭취의 증가는 간조직의 microsome에 존재하는 Δ-9 desaturase 활성을 증가시키고, Δ-6 및 Δ-5 desaturase 활성은 감소시켰음이 보고되었다.³³⁾ 아울러 당뇨병상태에서는 Δ6- 및 Δ5-desaturase 활성이 감소되고, 필수지방산 대

사가 손상되었음이 보고된 바 있다.³⁰⁾ 고지방식이와 규칙적인 지구력운동이 체내 지방산대사에 미치는 효과를 정확히 파악하기 위해서는 첫째 지방조직에서의 lipolysis 활성을 직접 측정하는 것과 함께 desaturase 및 elongase 효소의 활성을 평가하는 것이 필요할 것으로 생각된다.

요약 및 결론

고지방식이와 지구력운동 훈련이 흰쥐 간조직의 총지질 및 인지질 지방산패턴과 대사에 미치는 영향을 평가한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 운동훈련은 식이섭취량에 변화를 초래하지 않았으나 체중증가량 및 식이효율을 유의적으로 감소시켰고($p < 0.01$), 특히 이와같은 감소현상은 대조식이군보다 고지방식이를 섭취하는 군에서 유의적으로 나타났다.

2) 규칙적인 지구력운동 훈련은 간의 총지질 뿐 아니라 인지질에 함유된 지방산조성에 있어서 16 : 0 및 22 : 5 ω 3 비율을 유의적으로 감소시킨 반면, 20 : 1 및 20 : 3 ω 3 비율은 증가시켰다. 특히 규칙적인 운동훈련에 의해 동맥경화증 유발 가능성을 높이는 것으로 알려진 16 : 0의 비율이 감소하여 체내 조직의 지방산패턴이 건강증진에 유리한 방향으로 조절되었음을 알 수 있다.

3) 일반적으로 간조직의 총지질 및 인지질지방산 조성은 운동훈련보다는 고지방식에 의해 더 민감하게 영향을 받았다. Linoleic acid(LA, 18 : 2 ω 6)가 다량 함유된 고지방식이는 총지방산의 절대량을 유의적으로 증가시켰으며($p < 0.05$), 간의 총지질에 함유된 Σ SFA($p < 0.001$) 및 Σ MUFA($p < 0.001$) 비율을 유의하게 감소시킨 반면, Σ P-UFA 비율은 유의적으로 증가시킴으로써 P/S비율 또한 증가시켰다($p < 0.001$). 고지방식은 간의 ω 6계 지방산 중 특히 LA비율을 유의하게 증가시켰는데($p < 0.01$), 이때 LA가 다량 함유된 고지방식에 의해 간조직의 LA비율이 증가한 정도는 인지질지방산보다 총지방산에서 더 크게 나타나 식이 지방산조성은 조직의 인지질보다 총지질 지방산패턴에 더 민감하게 반영됨을 알 수 있다.

4) 고지방식은 간의 총지질 및 인지질지방산 대사에 있어서 대부분의 desaturation 지표를 유의하게 감소시켰으며, 운동훈련은 20 : 5 ω 3 \Rightarrow 22 : 5 ω 3로의 elongation 지표를 감소시켰다.

5) 고지방식이 또는 운동훈련은 인지질보다는 총지질의 지방산패턴에 더 크게 영향을 미쳤으며, 간의 총지질 및 인지질 지방산조성에 대한 고지방식이와 운동훈련의 상호 보완효과는 관찰되지 않았다.

Literature cited

- 1) Kieres J, Plowman S. Effects of swimming and land exercise versus swimming and water exercise on body composition of college students. *J Sports Med Fitness* 31: 189-195, 1991
- 2) Powell KE, Thompson PD, Caspersen CJ, Kenrick JS. Physical activity and the incidence of coronary heart disease. *Ann Rev Public Health* 8: 253-287, 1987
- 3) Jensen GMF, Grant CJJ, Saris WHH. Food intake and body composition in novice athletes during training period to run a marathon. *Int J Sports Med* 10: S17-S21, 1989
- 4) Moon SJ, Lee EK, Jeon HJ, Ko BK, Park SY, Kim HK, Kim BK. A study of effects of exercise on body composition of young adult male. *Korean J Nutr* 25(7): 628-641, 1992
- 5) Kim YS. The effects of regular exercise on plasma lipoprotein metabolism. *Korean J Physical Education* 36(2): 191-204, 1997
- 6) Park HS, Shin ES, Kim MH, Kim KM. Improvement of liver function by weight control in children with fatty liver. *Korean J Nutr* 28(7): 629-635, 1995
- 7) Evans WJ, Hughes VA. Dietary carbohydrates and endurance exercise. *Am J Clin Nutr* 41: 1146-1154, 1985
- 8) Whitney EN, Rolfes SR. Understanding nutrition. West Publishing Co., Minneapolis, MN, pp.442-447, 1993
- 9) Gollnick PD, More RL, Reedy M, Quintinskie JJ. Significance of skeletal muscle oxidative enzyme changes during endurance training and detraining. *Med Sport Sci* 11: 215-229, 1984
- 10) Thomas TR, Londeree BR, Gerhardt KO, Gehrke CW. Fatty acid profile and cholesterol in skeletal muscle of trained and untrained men. *J Appl Physiol* 43: 709-713, 1977
- 11) Andersson A, Sjodin A, Olsson R, Vessby B. Effects of physical exercise on phospholipid fatty acid composition in skeletal muscle. *Am J Physiol* 274: E432-E438, 1998
- 12) Cederblad MD. Effects of diet on plasma carnitine levels and urinary carnitine excretion in humans. *Am J Clin Nutr* 45: 725-729, 1987
- 13) Spriet LL, Dyck DJ, Cederblad G, Hultman E. Effects of fat availability on acetyl-CoA and acetylcarnitine metabolism in rat skeletal muscle. *Am J Physiol* 263: C653-C659, 1992
- 14) Vameq J, Vallee L, Lechene de La Porte P, Fontaine M, Craemer D, Branden C, Lafont H, Grataroli G, Nollbone G. Effects of various n3/n6 fatty acid ratio contents of high fat diets on rat liver and heart peroxisomal and mitochondrial β -oxidation. *Biochim Biophys Acta* 1170: 151-156, 1993
- 15) Simopoulos AP. ω 3 fatty acid in growth and development and in health and disease. *Nutr Today*: May/June 12-18, 1988
- 16) Parrish CC, Pathy DA, Parkes JG, Angel A. Dietary fish oils modify adipocytes structure and function. *J Cell Physiol* 148: 493-502, 1991
- 17) Sander K, Johnson L, O'Dea K, Sinclair AJ. The effect of dietary fat level and quality on plasma lipoprotein lipids and plasma fatty acids in normocholesterolemic subjects. *Lipids* 29: 123-133, 1994
- 18) Meservey CM, Carey GB. Dietary fat saturation and endurance exercise alter lipolytic sensitivity of adipocytes isolated from Yncatan miniature swine. *J Nutr* 124: 2335-2343, 1994
- 19) Narayan KA, McMullen JJ, Butler DP, Wakerfield T, Calhoun WK. Effect of exercise on tissue lipids and serum lipoproteins of rats fed two levels of fat. *J Nutr* 105: 581-587, 1975
- 20) Shaw MA, Rasmussen KM, Myers TR. Consumption of high fat impairs reproductive performance in Sprague-Dawley rats. *J Nutr* 127: 64-69, 1996
- 21) Folch J, Lees M, Sloane-Stanley GH. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J Biol*

- Chem* 2: 497-509, 1957
- 22) Lepage G, Roy CC. Direct transesterification of all classes of lipids in a one-step reaction. *J Lipid Res* 27: 114-120, 1986
 - 23) Bailey JW, Barker RL, Beauchene RE. Age-related changes in rat adipose tissue cellularity are altered by dietary restriction and exercise. *J Nutr* 123: 52-58, 1993
 - 24) Tsci AC, Gong TW. Modulation of the exercise and retirement effects by dietary fat intake in hamsters. *J Nutr* 117: 1149-1153, 1987
 - 25) Park T, Oh JY, Kim IS, UM YS. Changes of fatty acid compositions in hepatic total lipids and phospholipids of rats supplemented with cholesterol and taurine. *J Kor Soc Food Sci Nutr* 27(6): 1253-1261, 1998
 - 26) Yilmaz O, Celik S, Cay M, Naziroglu M. Protective role of intraperitoneally administered vitamin E and selenium on the levels of total lipids, total cholesterol and fatty acid composition of muscle and liver tissues in rats. *J Cell Biochem* 64: 233-241, 1997
 - 27) Grande F, Anderson JT, Keys A. Comparison of effects of palmitic acid and stearic acid in the diet on serum cholesterol in man. *Am J Clin Nutr* 23: 1184-1193, 1970
 - 28) Bonanome A, Grundy SM. Effect of dietary stearic acid on plasma cholesterol and lipoprotein levels. *N Engl J Med* 318E1244-1248, 1988
 - 29) Salem N, Reyzer M, Karanian J. Loss of arachidonic acid in rat liver after alcohol inhalation. *Lipids* 31: 153S-156S, 1996
 - 30) Hudgins LC, Hellerstein M, Seidman C, Neese R, Diakun J, Hirsch J. Human fatty acid synthase is stimulated by a eucaloric low fat, high carbohydrate diet. *J Clin Invest* 97: 2081-2091, 1996
 - 31) Venkatraman JT, Angekow P, Satangi N, Fernades G. Effects of dietary n-6 and n-3 lipids on antioxidant defense system in livers of exercised rats. *J Am Coll Nutr* 17(6): 586-594, 1998
 - 32) Schrauwen P, Lichtenbelt EDM, Saris WHM, Westerterp KR. Changes in fat oxidation response to a high-fat diet. *Am J Clin Nutr* 66: 276-282, 1997
 - 33) Leikin AI, Brenner RR. Cholesterol-induced microsomal changes modulate desaturase activities. *Biochim Biophys Acta* 922: 294-303, 1987
 - 34) Ziegler EE, Filer LJ. Present Knowledge in Nutrition, ILSI Press, Washington DC., pp.44-66, 1996
 - 35) Pan DA, Hulbert AJ, Storlien LH. Dietary fat, membrane phospholipids and obesity. *J Nutr* 124: 1555-1565, 1994
 - 36) Peluffo RO, de Gormez Dumm INT, Brenner RRB. The activating effect of dietary protein on linoleic acid desaturation. *Lipids* 7: 363-367, 1972
 - 37) Peluffo RO, de Gormez Dumm INT, de Alaniz MMT, Brenner RRB. Effect of protein and insulin on linoleic acid desaturation of normal and diabetic rats. *J Nutr* 101: 1075-1084, 1971
 - 38) Holloway CT, Holloway PW. Steroyl coenzyme-A desaturase activity in mouse liver microsomes of varying lipid compositions. *Arch Biochem Biophys* 16: 496-504, 1975
 - 39) Mimouni A, Poisson JP. Spontaneous diabetes in rat: evidence for insulin dependent liver microsomal delta 6 and delta 5 desaturase activities. *Horm Metab Res* 22(8): 405-407, 1990