

쥐에서 유산소 운동이 식이섭취 선택에 미치는 영향

김 훈 · 김 태영*

대구대학교 체육레저학부, 성균관대학교 스포츠과학과*

Effects of Aerobic Exercise on Macronutrient Self-Selection in Rats

Kim, Hoon · Kim, Tae Young*

Division of Physical Education & Leisure, Taegu University, Taegu 713-714, Korea

Department of Sports Science, Sungkyunkwan University, Suwon 440-746, Korea

ABSTRACT

The purpose of this study is to determine the effects of the aerobic exercise type on macronutrient self-selection. Male Sprague-Dawley rats were placed on a macronutrient self-selection diet for 4 weeks. For this purpose, mixed feeds were prescribed for the rats, while they were forced to swim and run for 4 weeks. Animals were either swimming exercise or treadmill running exercised at 20m/min(60min/day). Cumulative daily energy and macronutrient intake were determined during this period. The running exercise group gained weight much more than the control group, while the swimming exercise group lost weight less than the control group. Such findings suggests that the former group took more feed. On the other hand, the dietary efficiency of the control group was higher, which implies that no physical exercise would result in a higher dietary efficiency. And there was significant difference of total dietary and calorie intakes among the three groups. Although insignificant in statistical means, it was found that the running group took feed most, which is attributable to the homeostasis requiring the supplementation of the calorie lost by exercise. Also, the running exercise group took the protein and carbohydrate most, while the control group took fat most. The decrease of fat intake by the running exercise group suggests the possibility that the in-body enzymes should adapt themselves to the changing in-body condition caused by the endurance exercise. In contrast, it is conceived that more intake of the carbohydrate may be attributable to the need of supplementing the nutrient lost by the endurance exercise. As discussed above, the endurance exercise group took carbohydrate and protein and less fat than control group. In particular, it was found that the amount of feed intakes was affected much by types, intensity and duration of the exercises. All in all, such findings would apply to human beings. Now can increase the intakes of carbohydrate and decrease the intake of fat through an effective running exercise program and thereby, change our dietary patterns to the benefit of our body and simultaneously, prevent any adult's diseases by decreasing the in % body fat level. (Korean J Nutrition 33(8) : 794~801, 2000)

KEY WORDS: aerobic exercise, macronutrientself-selection, swimming, running.

서 론

오늘날 경제성장과 과학기술의 발달로 안락하고 풍요로운 생활을 누리게 된 반면, 지나친 영양섭취와 운동부족으로 인하여 비만, 고혈압, 동맥경화와 같은 성인병 질환이 날로 증가추세에 있다. 이러한 성인병 예방을 위한 대책으로 지방식 섭취율의 감소와 규칙적인 유산소운동(aerobic exercise)을 권장하고 있다. 과거 비만이었던 사람이 체중감량에 성공한 비결은 규칙적인 유산소운동과 저지방식을 꾸준히 실시한 결과이지만, 반대로 체중감량에 실패한 사람은 운동을 게을리하거나 고지방식 섭취를 하였기 때문으로 알

체택일 : 2000년 11월 1일

려져 있다.^{1,2)} 따라서 운동은 에너지소비를 증가시켜 체지방 감소에³⁾ 도움을 줄 뿐만 아니라, 음식섭취의 패턴에도 영향을 미쳐 지방섭취 감소에 많은 도움을 주는 것으로 알려져 있다. 그러므로 유산소성 운동후 영양소선택(macronutrient self-selection: MNSS)에 관한 연구를 살펴보면, 장시간의 유산소 운동은 운동의 형태, 강도, 지속시간,^{4,5)} 성별, 환경조건(실험설의 온도, 계절) 및 식이의 구성비율 등^{6,7)}에 따라 다양한 결과들을 보고하고 있다. 그리고 MNSS에 관한 트레이닝의 효과를 조사한 연구에서 Andik 등⁸⁾은 수컷 쥐에게 저강도(0.75km/h) 부하에서 40일간 트레이닝(6~7km/day)을 시키면서 탄수화물식, 지방식 그리고 단백질식을 자유롭게 섭취하도록 한 결과, 지방식과 단백질식은 증가하였으나, 탄수화물식은 감소한다고 하였다. 그 후 Pariskova

와 Stankova⁹는 지구성 트레이닝(18m/min, 50min/day)을 실시한 쥐에서 탄수화물식은 증가하고 지방식은 감소하며, 체중에는 변화가 없었으나, 신체조성(body composition)에는 유의한 변화가 있다고 하였다. 그리고 Larue-Achagiotis 등¹⁰은 쥐(Wistar rats)를 대상으로 하여 15m/min의 속도로 2시간 지구성 운동을 실시한 후 총에너지 섭취가 유의하게 감소하였는데 이것은 운동후 탄수화물식과 단백질식의 감소뿐만 아니라 시간경과에 따라 지방식의 섭취가 감소하므로서 총에너지 섭취가 감소했기 때문이라고 보고하였다. 또한 Miller 등¹¹은 쥐를 대상으로 체중증가와 MNSS에 관한 트레이닝 효과를 규명하기 위해 20일간 1시간씩 (6day/wk) 트레드밀 런닝(20m/min)을 실시한 결과 통제군에 비하여 트레이닝을 실시한 쥐에서 탄수화물과 단백질의 섭취가 증가하였으나, 유의한 차는 나타하지 않았다고 하였으며, 지방섭취는 유의하게 감소하였다고 하였다. 그리고 King과 Blundell¹²은 건강한 성인남자를 대상으로 운동형태에 따른 식이섭취량의 차를 알아보기 위하여 1시간의 사이클링 운동과 런닝운동을 실시한 결과, 총식이섭취량에는 유의한 차가 없음을 보고하였으나, 하루종 오후의 식이섭취량에는 유의한 차이가 있다고 하였다.

이와같이 유산소성 운동후 MNSS에 관한 연구는 운동형태 및 강도에 많은 영향을 미치는 것을 알 수 있으며, 연구자들마다 다소 상이한 결과를 보고하고 있는 실정이다.

따라서 본 연구는 쥐를 대상으로 운동형태가 다른 수영운동과 런닝운동을 실시하여 MNSS에 어떠한 영향을 미치는 가를 조사하여 일반인들의 체중조절을 위한 기초자료를 제시하기 위하여 본 연구를 수행하게 되었다.

연구대상 및 방법

1. 실험동물 및 식이

실험동물은 체중 180~250g의 수컷 흰쥐(Sprague-Dawley계)를 이용하였다. 통제군, 수영운동군 그리고 런닝운동군에 각각 10마리씩 총 30마리를 할당하였다.

각각의 실험동물은 투명한 플라스틱 cage에 한마리씩 넣고, 평등한 환경조건을 부여하기 위해 일주일 간격으로 cage 위치를 규칙적으로 바꾸어 주었다. 음식과 물은 자유로이(ad libitum) 섭취하게 하고, 실험실 온도는 섭씨 22~25를 유지하도록 하였다. 그리고 12시간은 밝게 12시간은 어둡게 실험실 환경을 조절하였다.

매일 일정한 시간(오전 8~10시)에 먹이통을 꺼내어 쥐가 하루에 섭취한 양을 저울로 계산한 후 남아있는 양을 버리고 새로운 식이로 교체하였다. 하나의 먹이통에 저지방,

중지방, 고지방의 세 곳으로 나누어 식이를 섭취하도록 먹이통을 특수 제작하였다. 이때 실험조건의 동일성을 유지하기 위하여 모든 cage안에 있는 먹이통을 제거하여 먹이 교체시에는 식이 섭취를 하지 못하도록 하였다.

Table 1에서 보는 바와같이 쥐의 식이를 지방량에 따라 고지방(high fat: HF)식은 전체 칼로리의 지방비율이 46.58%, 중지방(normal fat: NF)식은 23.29%, 그리고 저지방(low fat: LF)식은 11.64%로 분류하였다.

지방급원은 Lard로 각 군의 식이는 일주일에 한번씩 만들어 사용하였으며, 지방의 산폐방지를 위해 -20의 냉동고에 보관하면서, 매일 일정량을 공급하였다. 각 실험식이의 영양소 함량은 National Research Council(1979)의 사양표준에 준하였다.

2. 트레이닝 방법

1) 런닝운동

본 실험 이를 전부터 트레드밀 적용을 위해 8마리가 동시에 달릴 수 있는 트레드밀 위에서 10분간(15m/min) 트레드밀 적용 운동을 실시하였다. 본 실험에서는 트레드밀 경사를 0으로 하고 속도를 20m/min(최대산소섭취량의 60~65%의 운동강도)으로 일주일에 5회(60분/1회)를 실시하였다. 쥐가 트레드밀 운동시 스트레스를 적게 받고 부상을 방지하기 위하여 전기자극은 사용하지 않았다.

2) 수영운동

본 실험 이를 전부터 쥐들이 물에 적응하기 위하여 10분간 30~33의 수온에서 수영 적용 운동을 실시하였다. 본 실험에서는 일주일에 5회(60분/1회)를 실시하였으며, 운동강도는 일주일마다 꼬리에 중량을 부과시켜 최대산소섭취량의 60~65%의 강도를 유지하게 하였다. 수온이 떨어지면 뜨거운 물을 보충시켜 물의 온도는 최소한 30°C 이상을 유지하도록 하였다. 모든 군의 실험조건을 동일하게 하기 위해 런닝운동과 수영운동을 실시하는 동안 통제군의 식이와 물을 제거하였다. 운동은 일정하게 오전 8~10시 사이에 실시하였다.

3. 측정항목

모든 측정항목은 1주에서 4주까지 총 4회 실시하였다.

1) 체중 및 체중증가량

체중과 체중증가량은 트레이닝전 일정한 시간에 매일 측정하였으며, 측정한 결과를 일주일 간격으로 하여 각 군의 체중증가량을 산출하였다. 체중증가량의 분석방법은 weight balance(Kyungin)를 이용하여 트레이닝 일주일 후의 체

중에서 트레이닝 일주일 전의 체중을 뼘으로서 계산하였고, 체중증가량은 일주일마다 산출하였다.

2) 식이섭취량 및 식이효율

매일 일정한 시간에 같은 저울(Sartorius, Germany)로 3가지 식이의 섭취량을 측정하였는데, 식이섭취량의 구체적인 분석방법은 쥐 cage내의 먹이통을 3가지(저지방, 중지방, 고지방)로 나누어 각각의 식이섭취량을 계산한 후 3가지를 합하여 총식이섭취량을 계산하였다. 그리고 일주일간의 체중증가량을 동일기간의 식이섭취량으로 나누어 아래와 같은 공식에 의하여 식이효율(food efficiency ratio: FER)을 산출하였으며, 저지방, 중지방, 고지방의 비율에 따른 탄수화물, 지방 그리고 단백질 섭취량을 환산하여 계산하였다.

$$FER = \frac{\text{Body weight gain(g)}}{\text{Feed intake(g)}}$$

4. 자료처리

측정한 결과는 SAS package program을 이용하여 각 측정변인의 평균과 표준편차를 산출하였다. 집단간의 차이를 검증하기 위해 일원반복 분산분석(one-way repeated measure ANOVA)을 실시하였으며, 사후검증은 Tukey 방법을 실시하였다. 모든 변인의 통계적 검정은 $\alpha = 0.05$ 로 하였다.

결 과

1. 체중, 체중증가량 및 식이효율의 변화

지구성 운동형태가 쥐의 식이섭취 선택에 어떠한 영향을 미치는 가를 알아보기 위한 연구로서 먼저 체중(Table 2)의 변화는 트레이닝 1주와 2주에서 각 집단간의 유의한 차이가 나타나지 않았다. 그러나 트레이닝 3주에서는 런닝운동군(277.1 ± 10.4 g)이 수영운동군(257.8 ± 19.8 g)에 비하여 유의하게 높은 체중을 나타냈으며, 트레이닝 4주에서도 마찬가지로 런닝운동군(287.9 ± 9.4 g)이 수영운동군(267.4 ± 18.8 g)에 비하여 유의하게 높은 체중을 나타냈다. 또한 트레이닝 3주와 4주에서 통제군의 체중은 수영운동군의 체중보다는 높고 런닝운동군의 체중보다는 낮게 나타났으며, 다른 집단간의 유의한 차이는 없는 것으로 나타났다. 결과적으로 트레이닝 4주간의 체중 비교에 있어서 런닝운동군

에서 가장 높은 것을 알 수 있다.

운동형태에 따른 체중증가량(Table 3)의 변화는 트레이닝 1주에서 통제군(19.9 ± 7.9 g)이 수영운동군(12.6 ± 1.5 g)보다 유의하게 높은 것으로 나타났으며, 런닝운동군(22.9 ± 5.4 g) 또한 수영운동군(12.6 ± 1.5 g)보다 유의하게 높은 것으로 나타났다. 그러나 트레이닝 2주와 3주에서는 체중증가량의 유의한 변화는 없는 것으로 나타났다. 그리고 트레이닝 4주에서는 일원분산분석(ANOVA) 결과, 세 집단간에 유의한 차이가 있는 것으로 나타났지만($p < 0.0309$), 사후검증(post-hoc, Tukey test) 결과에서는 각 집단간에 유의

Table 1. Composition of experimental diet

Ingredients(g)	Diet		
	Low fat	Normal fat	High fat
Casein	15.0	15.0	15.0
DL-methionine	0.3	0.3	0.3
Corn oil	5.0	5.0	5.0
Lard	—	5.0	15.0
Glucose	35.2	30.0	18.3
Starch	35.2	29.1	18.3
α -Cellulose	5.8	5.8	5.8
Limestone	0.2	0.2	2.0
Dicalcium phosphate	1.7	1.7	1.7
NaCl	0.1	0.1	0.1
Mineral mix ¹⁾	0.1	0.1	0.1
Vitamin Mix ²⁾	0.2	0.2	0.2
Choline chloride	0.2	0.2	0.2
Total(g)	100.0	92.7	82.0
*M.E.(Kcal)	386.4	386.4	386.4
Crude protein(g)	12.8	12.8	12.8

*: ME: metabolizable energy

#: BHT 0.0125% of fat

1) Mineral mix

$\text{NH}_4\text{PO}_4 \cdot 42.28\text{g}$ $\text{MgO} \cdot 2.4\text{g}$

$\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O} \cdot 0.41\text{g}$ $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} \cdot 0.48\text{g}$

$\text{ZnO} \cdot 0.16\text{g}$ $\text{KIO}_3 \cdot 0.001\text{g}$

$\text{CuSO}_4 \cdot 0.062\text{g}$ $\text{NaCl} \cdot 7.4\text{g}$

$\text{CrK}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O} \cdot 0.055\text{g}$ $\text{K}_2\text{CO}_3 \cdot 14.84\text{g}$

$\text{Na}_2\text{SeO}_3 \cdot 5\text{HO}_2 \cdot 0.001\text{g}$

$\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 5.2\text{g}$

2) Vitamin mix

$\text{Thiamin HCl} \cdot 600\text{mg}$ $\text{Folic acid} \cdot 200\text{mg}$

$\text{Riboflavin} \cdot 600\text{mg}$ $\text{Biotin} \cdot 20\text{mg}$

$\text{Pyridoxine HCl} \cdot 700\text{mg}$ $\text{Vitamin B}_{12} \cdot 1\text{mg}$

$\text{Nicotinic acid} \cdot 3\text{g}$ $\text{Menaquinone(Vit. K)} \cdot 5\text{mg}$

$\text{Cholecalciferol(Vit. D}_3) \cdot 2.5\text{mg}$ $\text{D-calcium pantothenate} \cdot 1.6\text{g}$

$\text{Vitamin A} \sim 4000000\text{IU}$ $\text{Vitamin E} \cdot 5000\text{IU}$

Table 2. Changes of body weight of the groups following training(g)

Group	0 week	1 week	2 week	3 week	4 week
Control	222.8 ± 20.4	238.4 ± 17.0	255.4 ± 17.4	265.1 ± 14.5	277.1 ± 13.1
Swimming	225.0 ± 18.1	235.1 ± 17.4	247.1 ± 16.9	$257.8 \pm 19.8^*$	$267.4 \pm 18.8^*$
Running	224.3 ± 11.1	247.1 ± 12.3	265.5 ± 9.0	277.1 ± 10.4	287.9 ± 9.4

*: Significantly different swimming and running by post-hoc test($p < 0.05$)

한 차이가 없는 것으로 나타났다. 결과적으로, 체중증가량은 세 집단 모두 트레이닝 1주와 2주에서 높게 나타났으나, 트레이닝 기간이 증가할수록 체중증가량은 다소 감소하는 경향을 보였다.

운동형태에 따른 식이효율(Table 4)의 변화는 트레이닝 1주에서만 세 집단간에 유의한 차이가 있는 것으로 나타났으며, 사후검증 결과 통제군(1.08 ± 0.44)이 수영운동군(0.66 ± 0.10)보다 유의하게 높은 것으로 나타났으며, 런닝운동군(1.01 ± 0.29)도 수영운동군(0.66 ± 0.10)보다 식이효율이 높은 것으로 나타났지만 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았다. 그리고 트레이닝 2주, 3주 및 4주에서는 세 집단간의 식이효율에 유의한 차이가 없는 것으로 나타났지만, 트레이닝 주와 4주에서는 수영운동군의 식이효율이 점차 증가하는 경향을 볼 수 있었다.

2. 총 식이섭취량 및 섭취칼로리의 변화

운동형태에 따른 총 식이섭취량(Table 5)의 변화는 트레이닝 1주에서만 런닝운동군(23.1 ± 3.0 g)이 통제군(18.6 ± 3.3 g)과 수영운동군(19.4 ± 1.8 g)보다 총 식이섭취량이 유의하게 높은 것으로 나타났으나, 트레이닝 2주, 3주 및

Table 3. Changes of body weight gain of the groups following training(g)

Group	1 week	2 week	3 week	4 week
Control	$19.9 \pm 7.9^*$	17.0 ± 4.1	9.8 ± 5.8	12.0 ± 2.4
Swimming	$12.6 \pm 1.5^*$	13.3 ± 3.1	10.6 ± 5.4	9.6 ± 2.7
Running	22.9 ± 5.4	18.4 ± 5.9	11.6 ± 6.9	10.8 ± 3.1

#: Significantly different control and swimming by post-hoc test($p < 0.05$)

*: Significantly different swimming and running by post-hoc test($p < 0.05$)

Table 4. Changes of food efficiency ratio of the groups following training

Group	1 week	2 week	3 week	4 week
Control	$1.08 \pm 0.44^*$	0.95 ± 0.34	0.64 ± 0.46	0.64 ± 0.14
Swimming	0.66 ± 0.10	0.81 ± 0.19	0.70 ± 0.33	0.63 ± 0.15
Running	1.01 ± 0.29	1.02 ± 0.35	0.65 ± 0.31	0.61 ± 0.13

#: Significantly different control and swimming by post-hoc test($p < 0.05$)

Table 5. Changes of total food intake of the groups following training(g)

Group	1 week	2 week	3 week	4 week
Control	18.6 ± 3.3	18.7 ± 3.7	17.1 ± 3.6	19.0 ± 3.1
Swimming	$19.4 \pm 1.8^*$	16.5 ± 1.5	17.4 ± 3.4	16.3 ± 2.6
Running	$23.1 \pm 3.0^{\dagger}$	18.2 ± 0.6	17.7 ± 3.1	19.1 ± 4.3

†: Significantly different control and running by post-hoc test($p < 0.05$)

*: Significantly different swimming and running by post-hoc test($p < 0.05$)

4주에서는 세 집단간에 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 그리고 통제군과 런닝운동군의 총 식이섭취량은 트레이닝 기간이 증가할수록 다소 감소하는 경향을 보이다가 4주에서는 비슷한 수치로 나타났으나, 수영운동군은 트레이닝 1주에 비하여 트레이닝 기간이 증가할수록 총 식이섭취량이 감소하는 경향을 보였다.

운동형태에 따른 총 섭취칼로리(Table 6)의 변화는 일원 분산분석 결과, 트레이닝 1주에서 4주까지 세 집단간에 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다.

이들을 구체적으로 살펴보면, 트레이닝 1주에서 총 섭취칼로리는 세 집단간에 거의 비슷하게 나타났으나, 트레이닝 2주에서는 통제군(72.1 ± 15.1 kcal)과 런닝운동군(72.6 ± 3.8 kcal)이 수영운동군(59.9 ± 11.8 kcal)보다 다소 높은 것으로 나타났으며, 트레이닝 3주에서는 세 집단 모두 거의 비슷한 것으로 나타났다. 그러나 트레이닝 4주의 총 섭취칼로리는 트레이닝 2주와 마찬가지로 통제군(74.4 ± 12.1 kcal)과 런닝운동군(75.0 ± 16.8 kcal)이 수영운동군(59.9 ± 11.0 kcal)보다 통계적으로 유의하게 높은 차이는 아니지만 다소 높은 것으로 나타났다.

전체적인 경향을 살펴보면, 총 섭취칼로리는 트레이닝 1주와 3주에서 세 집단간에 거의 차이가 없는 것으로 나타났으며, 트레이닝 2주와 4주에서는 통제군과 런닝운동군이 수영운동군에 비하여 다소 높은 경향을 나타내고 있다.

3. 단백질, 지방 및 탄수화물 섭취량의 변화

운동형태에 따른 4주간의 트레이닝시 단백질 섭취량(Table 7)의 변화는 트레이닝 1주에서만 세 집단간에 유의한 차이가 있는 것으로 나타났으며, 사후검증 결과 런닝운동군(3.46 ± 0.45 g)이 통제군(2.64 ± 0.76 g)보다 유의하게 높은 단백질 섭취량을 보였으며, 트레이닝 2주, 3주 및 4주에서는 세 집단간의 단백질 섭취량에 유의한 차이가 없

Table 6. Changes of total caloric intake of the groups following training(kcal)

Group	1 week	2 week	3 week	4 week
Control	72.3 ± 13.6	72.1 ± 15.1	66.9 ± 14.0	74.4 ± 12.1
Swimming	76.1 ± 7.0	59.9 ± 11.8	67.0 ± 14.0	59.9 ± 11.0
Running	81.8 ± 26.3	72.6 ± 3.8	69.7 ± 12.0	75.0 ± 16.8

Table 7. Changes of protein intake of the groups following training(g)

Group	1 week	2 week	3 week	4 week
Control	2.64 ± 0.76	2.80 ± 0.55	2.57 ± 0.54	2.84 ± 0.46
Swimming	2.91 ± 0.28	2.47 ± 0.22	2.61 ± 0.51	2.45 ± 0.39
Running	$3.46 \pm 0.45^{\dagger}$	2.73 ± 0.08	2.78 ± 0.27	2.99 ± 0.52

†: Significantly different control and running by post-hoc test($p < 0.05$)

는 것으로 나타났다. 트레이닝 기간별 단백질 섭취량을 살펴보면, 통제군은 트레이닝 기간에 따라 큰 차이를 보이지 않고 있으며, 수영운동군과 런닝운동군은 트레이닝 1주에서만 다소 높게 나타났고 트레이닝 기간의 증가에 따라 단백질 섭취량이 다소 낮아지는 경향을 보였다.

운동형태에 따른 4주간의 트레이닝시 지방 섭취량(Table 8)의 변화는 트레이닝 2주와 4주에서 세 집단간에 유의한 차이가 있는 것으로 나타났으며, 사후검증 결과, 트레이닝 2주에서 통제군(3.04 ± 0.54 g)이 수영운동군(2.55 ± 0.28 g) 이 런닝운동군(2.47 ± 0.33 g)보다 유의하게 높은 지방 섭취량을 보였고, 트레이닝 4주에서는 통제군(3.21 ± 0.48 g)이 수영운동군(2.76 ± 0.43 g)과 런닝운동군(2.65 ± 0.54 g)보다 유의하게 높은 지방 섭취량을 나타냈다.

그리고 트레이닝 1주와 3주에서는 세 집단간의 지방 섭취량에 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 트레이닝 기간별 지방 섭취량을 살펴보면, 통제군은 트레이닝 기간의 증가에 따라 3주를 제외하고 증가하는 경향을 보였고, 수영운동군과 런닝운동군은 트레이닝 1주에 비하여 트레이닝 증가에 따라 지방 섭취량이 감소하는 것으로 나타났다. 또한 지방 섭취량의 감소폭은 런닝운동군이 수영운동군 보다 큰 것으로 나타났다.

운동형태에 따른 4주간 트레이닝시 탄수화물 섭취량(Table 9)의 변화는 트레이닝 2주를 제외한 트레이닝 1주, 3주 그리고 4주에서 세 집단간에 유의한 차이가 있는 것으로 나타났으며, 사후검증 결과, 트레이닝 1주에서 런닝운동군(12.16 ± 0.71 g)이 통제군(9.43 ± 1.65 g)과 수영운동군(8.92 ± 1.57 g)보다 유의하게 높은 탄수화물 섭취량을 보

였다. 그리고 트레이닝 3주에서는 런닝운동군(9.16 ± 0.77 g)이 통제군(7.63 ± 1.89 g)보다 탄수화물 섭취량이 유의하게 높은 것으로 나타났으며, 트레이닝 4주에서는 런닝운동군(10.20 ± 2.23 g)이 수영운동군(8.06 ± 1.55 g)보다 탄수화물 섭취량이 유의하게 높은 것으로 나타났다.

트레이닝 기간별 탄수화물 섭취량을 살펴보면, 통제군은 트레이닝 3주를 제외한 기간에서 비슷한 경향을 보였고, 수영운동군은 트레이닝 1주를 제외한 트레이닝 기간에서 비슷한 탄수화물 섭취량을 보였다. 그러나 런닝운동군은 트레이닝 1주에 비하여 트레이닝 증가에 따라 탄수화물 섭취량이 감소하는 경향을 나타내다가 트레이닝 4주에서 다시 증가하는 경향을 보였다.

고 칠

1. 체중, 체중증가량 및 식이효율의 변화

쥐들의 체중은 300g 정도까지는 빠른 속도로 성장하는 것으로 알려져 있다. 본 연구에 이용된 쥐의 체중은 약 220g정도에서 시작하여 일주일 간격으로 체중을 측정한 결과, 모든 군에서 유의한 비율로 증가를 보였다. 특히 트레이닝 4주에서 런닝운동군이 수영운동군에 비하여 유의하게 증가하였다. 이러한 원인은 총 식이섭취량과 관련되어 해석할 수 있다. 본 연구에서 수영운동군은 시간이 경과할수록 식이섭취량이 감소하고 체중증가량도 1주에서 가장 많이 증가하였다. 그리고 2주, 3주, 4주에서는 체중증가량이 거의 일정하였으나, 통제군과 런닝운동군은 2주까지 체중증가량이 많이 증가하다가 그 이후부터는 감소하는 경향을 보였다. 또한 1주에서 통제군과 런닝운동군은 수영운동군에 비하여 유의하게 증가를 나타냈다. 이러한 결과는 장시간의 지구성 트레이닝이 쥐의 체내 지방성분의 감소를 알아보기 위한 안용남¹³⁾의 연구결과와 일치하는 견해로 그의 연구와 비슷한 비율로 체중 및 체중증가량을 보였다. Gollnick¹⁴⁾은 쥐를 대상으로 22주간 수영 트레이닝을 실시하여 체중의 변화를 관찰한 결과, 10주부터 운동군이 비운동군보다 감소폭이 크게 나타났는데, 이것은 근량의 증가에 의한 것이라기 보다는 체지방의 감소에 기인한다고 하였다. 또한, Stevenson 등⁵⁾은 수영운동을 1시간 실시한 군이 통제군에 비하여 식이섭취량이 적으며, 그 결과 체중의 증가량이 통제군에 비하여 적은 것으로 보고하였다.

식이효율은 일주일간의 식이섭취량분에 체중증가량을 나타낸 것으로 1주의 식이효율은 통제군이 수영운동군보다 유의하게 높았으나, 2주부터 4주까지는 세 집단 모두 비슷한 비율의 식이효율을 나타냈다. 이같은 연구결과는 고지방

Table 8. Changes of fat intake of the groups following training(g)

Group	1 week	2 week	3 week	4 week
Control	2.91 ± 0.91	$3.04 \pm 0.54^*$	2.77 ± 0.61	$3.21 \pm 0.48^*$
Swimming	2.98 ± 0.63	2.55 ± 0.28	2.67 ± 0.55	2.76 ± 0.43
Running	3.11 ± 0.91	$2.47 \pm 0.33^{\dagger}$	2.64 ± 0.67	$2.65 \pm 0.54^{\dagger}$

#: Significantly different control and swimming by post-hoc test(p < 0.05)

† : Significantly different control and running by post-hoc test(p < 0.05)

Table 9. Changes of carbohydrate intake of the groups following training(g)

Group	1 week	2 week	3 week	4 week
Control	8.92 ± 1.57	8.70 ± 1.91	7.63 ± 1.89	8.85 ± 1.30
Swimming	$9.43 \pm 1.65^*$	8.02 ± 2.92	8.71 ± 1.92	$8.06 \pm 1.55^*$
Running	$12.16 \pm 0.71^{\dagger}$	9.55 ± 0.72	$9.16 \pm 0.77^{\dagger}$	10.20 ± 2.23

† : Significantly different control and running by post-hoc test(p < 0.05)

#: Significantly different swimming and running by post-hoc test(p < 0.05)

식이 및 식이섬유가 체내 지질대사에 미치는 영향을 연구한 한정순¹⁹⁾의 연구결과 보다 다소 높게 나타났다. 그의 연구는 실험전 쥐의 체중이 약 100g 정도였으며, 4주후의 평균 식이효율은 0.44 그리고 8주후에는 0.38로 감소하는 경향을 보였다. 따라서 본 연구에서는 실험전 쥐의 체중이 약 220g인 점을 감안한다면, 체중증가율이 높기 때문에 식이효율이 선행연구보다 다소 높은 경향을 보이고 있는 것으로 나타났다. 또한 시간이 경과할수록 체중의 증가율은 감소하고, 식이섬취량은 일정하므로 식이효율의 감소를 보인 것으로 생각된다. 특히 1주와 2주에서 통제군보다 런닝운동군의 식이효율이 낮은 것은 장시간의 트레이닝으로 인해 섭취한 탄수화물과 지방이 바로 에너지원으로 쓰였기 때문에 통제군보다 식이효율이 낮아진 것으로 생각된다.

2. 종 식이섬취량 및 칼로리의 변화

하루의 총 식이섬취량은 1주에서 통제군과 수영운동군에 비하여 런닝운동군이 높게 나타났다. 이것은 런닝운동이 많은 에너지를 소모하기 때문에 총 식이섬취량도 비례적으로 증가된 것일 수도 있지만 식이적용에 의한 차로 생각할 수도 있다. 그러나 2주 이후에는 총 식이섬취량이 다소 높기는 하였으나, 통계적인 유의차는 나타나지 않았다. 이것은 Hearn과 Wainoi¹⁶⁾가 보고한 연구결과와는 불일치하는 것으로 나타났다. 그들은 쥐를 대상으로 하루에 30분씩 트레이닝을 실시한 결과, 식이섬취량의 감소와 더불어 체중이 현저하게 감소한다고 하였으며, 최근 Larue-Achagiotis 등¹⁰⁾은 쥐를 대상으로 2시간 트레드밀 런닝을 실시한 후 최초 90분 까지는 총 식이섬취량이 현저히 감소하며, 하루가 지날 때 까지 총 식이섬취량이 통제군에 비하여 많은 감소를 보인다고 하였다.

Hearn과 Wainoi¹⁶⁾와 Larue-Achagiotis 등¹⁰⁾의 연구는 하루 2시간 일시적인 운동을 통하여 일일 총 식이섬취량을 산출하였기 때문에 본 연구결과와 불일치 하는 원인으로 생각된다. 강도 높은 일시적인 트레이닝은 섭식증추를 억제하여 트레이닝 후 4시간 이내에는 거의 식이섬취를 하지 못하도록 함으로, 결국 하루의 총 식이섬취량의 감소를 가져온 것으로 생각된다. 본 연구의 런닝운동 강도는 약 최대산소 섭취량의 60~70%에 해당하는 운동강도로 4주간에 걸친 트레이닝 기간중 지속시간이나 운동강도를 증가시키지 않았기 때문에 총 식이섬취량에 유의한 증가를 가져오지 못한 것으로도 생각된다. 그리고 수영운동군이 통제군에 비하여 통계적으로 유의하지 않았지만, 총 식이섬취량의 감소를 보였다. 이것은 평균 270g의 쥐를 대상으로 주당 4회, 30℃의 수온에서 수영운동을 실시한 Stevenson 등⁵⁾의 결과와 일

치하는 것으로 하루에 1시간과 2시간의 수영운동은 통제군에 비하여 총 식이섬취량을 감소시키며, 적어도 일일 4시간(4주간) 이상 수영을 실시해야 총 식이섬취량이 통제군과 비슷하다고 하였다. 이와 같은 원인은 명확히 알 수 없지만 Simonelli와 Eaton¹⁷⁾은 1~2시간의 수영운동이 아드레날린의 분비를 증가시켜 총 식이섬취량의 감소를 가져온다고 하였으며, Gleeson 등³⁾은 수영운동을 통한 위장의 확장은 약 20시간 이상 식이섬취를 억제할 수 있다고 하였다. 따라서 총 식이섬취량이 1주에서만 런닝운동군이 통제군에 비하여 유의하게 높았지만, 총 섭취칼로리로 환산하였을 때에는 4주간에 걸쳐 세 그룹간에 유의한 차가 없는 것으로 나타났다. 이것은 Miller 등¹¹⁾이 암컷 쥐를 대상으로 15주간 트레이닝을 실시하면서 식이선택에 영향을 미치는 요인에 대하여 분석한 결과와 일치하는 것으로 통제군에 비하여 총 섭취칼로리에 유의한 변화가 없다고 하였다. 이와 같은 원인은 트레이닝의 강도차로 설명될 수 있다. 본 연구에서는 4주간 일정한 강도에 적응되었기 때문에 식이섬취를 느끼게 하는 사상하부의 섭식증추를 크게 자극하지 못한 것으로 생각된다. 요약하면, 총 식이섬취량과 칼로리는 운동형태에 따라 다소 차이는 있지만, 운동강도나 지속시간이 더욱 크게 작용하는 것으로 생각된다.

3. 단백질, 지방, 탄수화물의 변화

이미 많은 선행 연구^{11,12)}에서 장시간의 지구성 운동이 식이섬취량의 패턴에 변화를 미친다고 보고하고 있다. 특히 장시간의 지구성 운동이 지방, 탄수화물 그리고 단백질의 섭취 패턴을 변화시키는 것으로 보고하고 있다.

단백질 섭취량은 1주에서 런닝운동군이 통제군에 비하여 유의하게 높았고, 수영운동군에 비하여 통계적인 차이는 나타나지 않았지만, 많은 감소를 보이고 있다. 그러나 4주후에는 통제군과 런닝운동군이 비슷하였고, 수영운동군이 제일 낮은 것으로 나타났다.

Larue-Achagiotis 등¹⁰⁾은 15m/min으로 2시간 트레이닝을 시킨 결과, 단백질 섭취량은 24시간 내내 감소되는 것으로 보고하였으나, 이와는 대조적으로 Andik 등⁸⁾은 단백질 섭취량이 증가하는 것으로 보고하였다. 또한 Miller 등¹¹⁾은 암컷 쥐에게 15주간의 트레드밀 런닝을 실시한 결과 통제군에 비하여 단백질 섭취량이 증가하였으나, 유의한 차는 인식되지 않은 것으로 보고하고 있다. 그는 단일식의 방법을 이용하였으나, 본 연구와 다소 일치하는 견해를 보였으며, 런닝운동군이 통제군이나 수영운동군에 비하여 단백질 섭취량이 다소 높게 나타났으나, 1주를 제외하고는 유의한 차가 나타나지 않았다. 따라서 3대 영양소 중에서 단백질의

섭취량은 운동형태나 식이조건에 제일 적은 영향을 미치는 것으로 생각된다.

일반적으로 쥐들에게서 지구성 운동후 단백질 섭취는 밤에 적고 낮에 많이 섭취하기 때문에 하루의 단백질량 섭취는 운동군이나 비운동군이 거의 비슷하게 나타난다. 특히 지구성 운동후 밤에 단백질 섭취량이 적은 이유는 아드레날린 작동성의 작용으로 카테콜라민이 아미노산에 대한 트립토판의 비율을 감소시키기 때문으로 알려져 있다.¹⁸⁾

그리고 지방 섭취량은 1주에서는 수영운동군이 가장 높았으나, 시간이 경과할수록 통제군의 지방섭취율이 증가하였다. 또한 2주에서는 런닝운동군에 비하여 통제군의 지방 섭취량이 유의하게 높았으며, 4주에서는 런닝운동군이 가장 낮게 지방을 섭취하는 것으로 나타났다.

이것은 트레이닝 기간이 증가할수록 런닝운동군에서 지방 섭취량이 점차로 감소하는 경향을 보이고 있다. 이러한 경향은 Miller 등,¹⁹⁾ Larue-Achagiotis 등²⁰⁾ 그리고 Gerardo-Gettens 등²¹⁾의 연구와 일치하는 견해로 트레이닝이 장기화 될수록 지방 섭취량이 점차로 감소하는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 지방분해를 이끄는 β -endorphin 분비가 원인이라 생각된다. β -endorphin은 인터루킨(interleukins)과 카체틴(cachectins)을 통해 작용하는데,²²⁾ 이것은 식이섭취 중 특히 지방섭취를 억제하는 것으로 알려져 있다. 또한 장시간 운동을 통한 지방 섭취량의 감소는 호르몬-감지 리파제(hormone-sensitive lipase)의 적응현상이다. 이 호소는 지방조직으로부터 지방의 이동을 돋는 것으로 장기간의 지구성 운동을 수행하는 동안 증가하는 것으로 알려져 있다.²³⁾ 따라서 장시간의 지구성 운동은 지방의 이동을 증가시켜 지방섭취의 감소를 유발한다. 그리고 운동형태에 따라 유의한 차이는 없지만, 런닝운동군보다 수영운동군의 지방섭취량이 다소 높은 것으로 나타났다. 이러한 원인은 항상성 측면으로 생각해 볼 수 있다. 즉 수영운동은 물속에서 일정한 체온을 유지하고 항상 땀 있어야 하기 때문에 런닝운동보다는 더 많은 체내의 지방량이 필요하기 때문에 열량이 높은 지방섭취량이 더 많이 요구하는 것으로 생각된다. 또한 탄수화물의 섭취량은 1주에서 통제군과 수영운동군에 비하여 런닝운동군이 유의하게 높았으며, 4주에 걸쳐서 런닝운동군이 탄수화물을 가장 많이 섭취하였다. 그러나 수영운동군은 3주에서만 통제군보다 높았으나 2주와 3주에서는 탄수화물 섭취가 낮게 나타났다. Larue-Achagiotis 등²⁰⁾은 15m/min으로 2시간 지구성 운동을 실시하여 24시간의 탄수화물 섭취량을 조사한 결과 통제군보다 감소하였으며, Andik 등⁸⁾은 가벼운 런닝을 하루에 8~9시간씩 40일간 실시한 결과 총칼로리, 단백질 그리고 지방의 섭취는 증가한 반면에 탄수화물을 감

소한 것으로 보고하였다.

그러나 이와는 대조적으로 Parizkova와 Stankova⁹⁾는 장시간 지구성 운동은 탄수화물 섭취를 증가시킨다고 하였고, Larue-Achagiotis 등²⁰⁾은 20일간(1.2km/h)의 트레이닝 후 탄수화물의 증가를 보고하였다. 이와같은 결과는 장시간 트레이닝으로 인한 탄수화물의 고갈이 탄수화물 섭취량의 증가를 가져오는 것으로 생각할 수 있다. 그리고 근내의 탄수화물 저장은 탄수화물 섭취에 영향을 미칠 뿐만 아니라, 탄수화물 산화의 증가 또한 탄수화물 섭취를 증가시킨다.²³⁾ 뿐만 아니라 저장되어 있는 탄수화물의 양이 적으면 음식물로서 탄수화물을 선택하도록 자극하는 항상성이 있다. 즉 혈중에는 글루코스가 있는데 이것이 부족하면 glucagon이라는 호르몬을 췌장(pancreas)에서 만들어내어 간에서 glycogen을 분해하여 혈중 글루코스가 되어 에너지원으로 이용되게 한다. 이러한 원인들로 인하여 런닝운동군이 통제군에 비하여 탄수화물 섭취량이 유의하게 높은 것으로 생각된다. 그리고 수영운동군의 탄수화물 섭취량은 통제군과 비슷하게 나타났다. 이것은 수영운동이 런닝운동에 비하여 운동강도와 양이 적기 때문에 에너지 고갈 측면에서 런닝운동군보다 탄수화물 섭취량이 적은 것으로 생각된다.

이상과 같이 장기간의 지구성 운동은 총 식이섭취량(1주 제외)과 총 섭취칼로리는 집단간에 유의차는 없었으나, 런닝운동군이 다소 높게 나타났다. 지방 섭취량이 감소되고, 탄수화물과 단백질 섭취량이 증가하였다. 그러나 수영운동군은 통제군과 비교하여 식이 섭취량에 거의 차이가 없는 것으로 나타났다. 따라서 장시간 지구성 운동에 대한 식이 섭취의 변화는 운동의 형태, 강도 그리고 트레이닝 기간 등에 따라 많은 영향을 받는 것으로 생각된다.

요약 및 결론

장기간의 지구성 운동형태에 따른 쥐의 식이선택에 미치는 영향을 규명하기 위하여 30마리의 쥐(Sprague-Dawley)를 통제군, 수영운동군, 런닝운동군으로 나누어 각각 10마리씩 할당하였다. 할당된 쥐들은 4주간의 수영운동과 런닝운동을 실시하여 매주의 체중, 체중증가량, 식이효율, 총 식이섭취량, 단백질 섭취량, 지방 섭취량 및 탄수화물 섭취량을 분석하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 체중과 체중증가량은 런닝운동군에서 높게 나타난 반면 수영운동군은 통제군보다 낮게 나타났다. 이것은 런닝운동군의 총 식이섭취량이 많기 때문에 생각되며, 식이효율에 있어서는 통제군이 높게 나타났다. 이것은 신체활동을

하지 않았기 때문에 운동군에 비하여 식이효율이 높은 것으로 나타났다.

2) 총 식이섭취량과 총 섭취칼로리는 세 집단간에 유의한 차가 인식되지 않았으나, 런닝운동군에서 가장 많은 섭취를 하였다. 이것은 운동으로 인해 감소된 열량을 보충하기 위한 항상성으로 생각된다.

3) 단백질 섭취량은 런닝운동군에서 높게 나타났고, 지방섭취량은 통제군에서 탄수화물 섭취량은 런닝운동군에서 높게 나타났다. 지방섭취량의 감소는 지구성 운동으로 인한 효소의 적응현상으로 생각되며, 탄수화물 섭취량의 증가는 운동으로 인해 고갈된 탄수화물의 재보충을 위한 결과로 생각된다.

이상의 결과를 요약하면, 통제군에 비하여 지구성 운동을 실시한 수영운동군과 런닝운동군은 탄수화물과 단백질 섭취가 증가되고, 지방섭취가 감소되는 것으로 나타났다. 따라서 장시간의 지구성 운동은 운동을 하지 않은 통제군에 비하여 지방 섭취량을 감소시키므로 식이패턴을 유리하게 변화시킴은 물론 체지방 감소에 많은 도움을 줄 수 있음을 시사해 준다. 차후 연구에서는 식이섭취 패턴이 운동형태, 강도 그리고 트레이닝 기간에 따라 많은 영향을 미치기 때문에 이에 대한 다각적이고 종합적인 연구가 요망된다.

Literature cited

- 1) Kayman S, Bruvold W, Stern JS: Maintenance and relapse after weight loss in women: behavioral aspects. *Am J Clin Nutr* 52: 800-807, 1990
- 2) Pavlou KN, Krey S, Steffee WP: Exercise as an adjunction to weight loss and maintenance in moderately obese subjects. *Am J Clin Nutr* 49: 1115-1123, 1989
- 3) Gleeson M, Brown JE, Waring JJ: The effects of physical exercise on metabolic rate and dietary induced thermogenesis. *Br J Nutr* 47: 173-181, 1982
- 4) Katch VL, Martin R, Martin J: Effects of exercise intensity on food consumption in the male rat. *Am J Clin Nutr* 32: 1401-1407, 1979
- 5) Stevenson JAF, Box BM, Feleki V, Beaton JR: Bouts of exercise and food intake in the rat. *Am J Physiol* 21: 118-122, 1966
- 6) Applegate RA, Lipton DU, Stern JS: Food intake, body composition and blood lipids following treadmill exercise in male and female rats. *Physiol Behav* 28: 917-920, 1982
- 7) Tichenal CA: Exercise and food intake. What is the relationship? *Sports Med* 6: 135-145, 1988
- 8) Andik I, Bank J, Moring I, Szegvari GY: The effects of exercise on the intake and selection of food in the rat. *Acta Physiol Hung* 5: 457-461, 1954
- 9) Parizkova J, Stankova L: Influence of physical activity on a treadmill on the metabolism of adipose tissue in rats. *Br J Nutr* 18: 325-332, 1964
- 10) Larue-Achagiotis C, Martin C, Verger C, Chabert M, Louis-Sylvestre J: Effects of acute treadmill exercise and delayed access to food on food selection in rats. *Physiol Behav* 53: 403-408, 1993
- 11) Miller GD, Hupuk BJ, Gietzen DW, Rogers QR, Stern S: Rats on a macronutrient self selection diet eat meals from a single food cup. *Appetite* 23: 67-78, 1994
- 12) King NA, Blundell JE: High-fat foods overcome the energy expenditure induced by high-intensity cycling or running. *Eur J Clin Nutr* Feb: 49(2): 114-123, 1995
- 13) 안용남: 운동부하와 식이 지질조성이 쥐의 혈청 및 조직지질 함량에 미치는 영향. 고려대학교 대학원. 박사학위 논문, 1992
- 14) Gollnik PD: Chronic effect of exercise on liver cholesterol of normal and hyper-cholesterolemic rats. *Am J Physiol* 205(3): 453-456, 1969
- 15) 한정순: 고지방식이 및 식이섬유가 흑쥐의 세내지질대사에 미치는 영향 연구. 고려대학교 대학원. 박사학위 논문, 1992
- 16) Hearn G, Wainio W: Succinic dehydrogenase activity of heart and skeletal muscle of exercised rats. *Am J Physiol* 185: 348-350, 1959
- 17) Simonelli C, Eaton RP: Reduced triglyceride secretion: a metabolic consequence of chronic exercise. *Am J Physiol* 234: E221-E227, 1978
- 18) Leibel RL, Hirsch J, Berry E, Green RK: Alterations in adipocyte free fatty acid reesterification associated with obesity and weight reduction in man. *Am J Clin Nutr* 42: 198-206, 1985
- 19) Gerado-Gettens T, Miller GD, Horwitz BA, et al: Exercise decreases fat selection in female rats during weight cycling. *Am J Physiol* 260: R518-524, 1991
- 20) Morley JE: Neuropeptide regulation of appetite and weight. *Endocr Rev* 8: 256-287, 1987
- 21) Despres JP, Bouchard C, Tremblay A, Savard R, Marcotte M: The effect of a 20-week endurance training program on adipose-tissue morphology and lipolysis in men and women. *Metabolism* 33: 235-239, 1984
- 22) Larue-Achagiotis C, Martin C, Verger P, Louis-Sylvestre J: Dietary self-selection or standard complete diet: Body weight gain and meal pattern in rats. *Physiol Behav* 51: 995-999, 1994
- 23) Flatt JP: Importance of nutrient balance in body weight regulation. *Diabetes Metab Rev* 4: 571-581, 1988