

## 골격근의 초기 Glycogen 함유량 정도와 Glucose 경구투여가 근 Glycogen의 재축적에 미치는 영향

영남대학교 의과대학 정형외과학교실 · 생리학교실\*

인주철 · 김세동 · 이동철 · 이석강\* · 이영만\* · 김종연\*

### — Abstract —

#### The Roles of Initial Level of Glycogen Content in Muscle and of Available Substrate on Muscle Glycogen Repletion in Rats

Joo Chul Ihn, M.D., Sae Dong Kim, M.D. and Dong Chul Lee, M.D.

*Department of Orthopedic Surgery, College of Medicine, Yeungnam University, Daegu, Korea*

Suck Kang Lee, M.D., Young Man Lee, M.D. and Jong Youn Kim, M.D.

*Department of Physiology, College of Medicine, Yeungnam University, Daegu, Korea*

This study examined the roles of the initial level of muscle glycogen content and available substrate on glycogen repletion in muscle.

The rats were randomly assigned to normal, starvation and exercise groups. The glycogen content of muscle was lowered by starvation and exercise for the purpose of this experiment.

The normal rats remained sedentary in their cage without any restriction of food and water. The exercise and starvation groups were divided each group into two subgroups depending on the degree of stress, i.e. 16 and 64 hours starvation, and 30 minutes and 2 hours exercise loading. All experimental animals sacrificed 9~10 O'clock in the morning.

The glycogen content of gastrocnemius and liver were  $0.416 \pm 0.0433$  and  $1.70 \pm 0.410$  gm/100gm wet tissue in normal rats, respectively.

The glycogen content of gastrocnemius in starvation groups was reduced to 83.5 and 75.5% of the values of normal groups by starvation for 16 and 64 hours, respectively. In exercise group, the content of glycogen was reduced to 63.7 and 49.8% of the normal group by 30 minutes and 2 hours exercise loading, respectively. After above exercise loading and forced starvation, glucose, 2.0gm/100gm body weight was ingested, and 2 hours later the glycogen content was determined to evaluate the role of initial level of muscle glycogen content on the repletion in gastrocnemius, and the different amount of glucose, 1.0, 1.5 and 2.0mg/100gm body weight, was given orally, and 2 hours later the glycogen content of gastrocnemius was determined to evaluate the role of available substrate on the glycogen repletion in muscle of the lowest initial glycogen content, and the larger the amount of glucose ingestion, the larger amount of glycogen repletion in muscle.

The experiment demonstrates that the reducing level of muscle glycogen and increased amount of available substrate are the important factors for the acceleration of muscle glycogen repletion, and in the aspect of repletion of glycogen, the repletion rate of liver glycogen is 2~5 times faster than that of muscle, whereas there is no difference of repletion rate of liver glycogen between starvation and

\* 본 논문의 요지는 1986년 제30차 추계학술대회에서 발표한 바 있음.

\* 본 연구는 1986학년도 영남대학교 교비연구비의 지원에 의한 것임.

## 서 론

체내 저장 glycogen이 장시간의 과격한 운동시 근육의 주 에너지원이라는 것은 잘 알려진 사실이다<sup>1, 5, 2, 15, 16</sup>. 이러한 관점에서 근육 glycogen의 신속하고도 많은 양의 인위적인 축적은 운동수행능력을 향상시킬 수 있는 절대적인 요인이 될 수 있을 것이다.

근 glycogen의 농도는 동물의 종<sup>3, 9</sup>이나 같은 종의 동물에서도 근육<sup>8, 21</sup>에 따라서 차이가 있으나 고당식이나 혈당의 단순한 증가만에 의해서는 정상수준을 초과하여 축적되지 않는다<sup>11, 21</sup>고 한다.

최근 많은 연구자들이 근육 glycogen의 초과축적 및 신속한 재축적을 위한 여러 방법을 추구하고 있으며, Tan 등<sup>20</sup>은 10주간 treadmill상에서 달리기 훈련을 시킨 흰쥐에서 근육 glycogen을 정상수준을 초과하여 축적시킬 수 있었다고 하였으며, 축적속도도 정상흰쥐의 그것보다 월등히 빨랐다고 하였다. 한편 Fell 등<sup>9</sup>은 근육 glycogen의 농도감소 자체가 근육 glycogen재축적을 위한 촉진인자가 된다고 하였다.

본 연구에서는 초기 근육 glycogen의 농도 차이에 따른 근육 glycogen재축적 정도를 서로 비교하였으며, glucose의 경구투여량을 차츰 증가시킬 때 재축적되는 glycogen의 양을 어떤 것인지 또 소위 최대초과축전량(supercompensation)은 어느 정도가 되는지 추구하고 있으며, 이때 또 다른 하나의 운동에너지원인 혈중유리지방산의 농도를 측정하여 근육 glycogen 및 혈중 glucose농도와 상호관계를 검토하였다.

## 실험재료 및 방법

실험재료로는 체중 300~400gm의 Sprague-Dawley종 흰쥐 수컷을 사용하였으며, 정상군, 절식군 및 운동군으로 구분하였다.

정상군은 정상식으로 사육한 흰쥐를 실험일 오전 9~10시 사이에 실험에 사용하였으며, 절식군은 실험전일 오후 5시부터 물을 제외한 모든 먹이를 제한한 군으로서 총 16시간 및 64시간 절식시킨 2군으로 세분하였으며, 정상군에서와 같이 실험일 오전 9~10시 사이에 실험에 제공되었다. 운동군은 운동부하량에 따라 30분 부하군과 120분 부하군으로 구분하였다.

본 연구에서 실시한 절식시간이나 운동부하량의 차이로 근육 glycogen의 소모차이를 유발하여 근육 glycogen함량의 차등을 유도하였다.

한편 경구투여 glucose의 양적차이가 근육 glycogen재축적에 어떤 양상으로 작용하는지를 규명하기 위하여 근육 glycogen의 소모가 가장 적었던 16시간 절식군과 가장 많았던 2시간 운동군의 흰쥐에 체중 100gm당 1.0, 1.5 및 2.0gm의 glucose를 경구투여 하였다.

운동부하: 운동군의 운동부하는 treadmill상에서 달리기를 하게 하였으며, 경사4도, 속도 0.8~1.0 km/h로 30분 및 120분간 실시하였다. 운동부하적응을 위해서 실험전 3일간 2도 경사, 0.6km/h내외의 속도로 훈련을 실시하였으며, 이때 달리기에 부적합한 흰쥐는 실험에서 제외하였다. 운동군의 운동부하는 운동부하적응훈련 1일 후에 실시하였다.

투여: 증류수에 녹인 25% glucose용액을 체중 100g당 1.0, 1.5 및 2.0gm의 glucose를 경구투여 하였으며, glucose경구투여 2시간 후에 필요한 시료를 취하였다.

시료채취: 모든 실험대상을 먼저 ether마취시킨 후 복벽을 열고 복대동맥을 통해서 혈액 5ml를 취하여 혈장 유리지방산(FFA) 및 glucose측정에 이용하였으며, 즉시 복대동맥을 통한 실험치사를 유도한 후 glycogen측정을 위하여 비복근 및 간조직을 적출하였다. 적출한 조직은 최단시간내에 35~50 mgm을 평량한 후 정량에 사용하였다. Glycogen정량은 Lo 등<sup>11</sup>의 방법에 따랐으며, 혈중 FFA 및 glucose정량은 일본 Nissui 회사제 kit를 이용한 효소법으로 하였다.

## 실험 성적

절식이나 운동을 부하하여 근육 glycogen의 함량감을 유도한 후 근육 및 간 glycogen의 재축적 및 혈중 유리지방산 및 glucose의 변화양상을 추기한 본 연구 결과는 다음과 같다.

정상군의 근육 glycogen함량은 비복근 및 간에서 각각  $0.416 \pm 0.0433$  및  $1.70 \pm 0.410$ gm/100gm wet tissue(이하 단위동일)였다. 혈중유리 지방산 및 glucose농도는 각각  $323 \pm 102.6 \mu\text{Eq/L}$ (이하 단위동일) 및  $112.6(85 \sim 142)$ mgm%(이하 단위동일)였다. 본 결과에서 혈중 glucose농도는 개체차이가 비교적 높은 편이었으므로 평균치와 최고치 및 최저치를 동시에 제시하여 상호 비교하였다.

**Table 1.** Repletion of muscle(gastrocnemius) glycogen after glucose(2.0gm/100gm BW) ingestion in starving rats

	Glycogen* content	Percentile value	Glycogen* content after glucose ingest	Net amount repleted	Repletion rate gm/gm wet tissue/min. $\times 10^{-4}$
Normal (8)	0.416 $\pm$ 0.0433	100.0			
Starvation (6) 16hours	0.355 $\pm$ 0.0386	85.3	0.601 $\pm$ 0.0458	0.246	2.05
Starvation (6) 64hours	0.314 $\pm$ 0.0160	75.5	0.588 $\pm$ 0.0968	0.274	2.28

Units of \*marked column are gm/100gm wet tissue; values are mean $\pm$ S.D; values in parenthesis are number of subjects.

**Table 2.** Repletion of muscle(gastrocnemius) glycogen after glucose(2.0gm/100gm BW) ingestion in exercise loaded rats

	Glycogen* content	Percentile value	Glycogen* content after glucose ingest	Net amount repleted	Repletion rate gm/gm wet tissue/min. $\times 10^{-4}$
Normal (8)	0.416 $\pm$ 0.0433	100.0			
Exercise (6) 0.5hour	0.265 $\pm$ 0.0288	63.7	0.595 $\pm$ 0.0248	0.330	2.75
Exercise (6) 2.0hours	0.207 $\pm$ 0.0331	49.8	0.697 $\pm$ 0.0407	0.490	4.08

Units of \*marked column are gm/100gm wet tissue; values are means $\pm$ S.D; values in parenthesis are number of subjects.

**Table 3.** Effect of initial level of muscle glycogen depleted by exercise and starvation on glycogen repletion after glucose ingestion(2.0gm/100gm BW) in rats

Initial level of muscle glycogen(%)	Net amount repleted gm/100gm wet tissue	Percentile increase compare with control value	n
100.0(0.416)			8
85.3	0.246	144.5	6
75.5	0.274	141.3	6
63.7	0.330	143.0	6
49.8	0.490	167.3	6

Value in parenthesis is average glycogen content in normal rats; all values were calculated from average values of each group.

**Table 4.** Repletion of liver glycogen after glucose ingestion(2.0gm/100gm BW) in starving and exercise loaded rats

	Glycogen* content	Glycogen* content after glucose ingestion	Repletion rate, gm/gm wet tissue/min. $\times 10^{-4}$
Normal	1.70 $\pm$ 0.410		
Starvation 16hour	0.13 $\pm$ 0.002	1.30 $\pm$ 0.241	9.75
64hour	0.16 $\pm$ 0.018	1.42 $\pm$ 0.236	10.50
Exercise 0.5hour	0.11 $\pm$ 0.017	1.27 $\pm$ 0.187	9.67
2.0hour	0.13 $\pm$ 0.003	1.28 $\pm$ 0.134	9.58

Units and values of \*marked columns are gm/100gm wet tissue and means $\pm$ S.D., respectively.

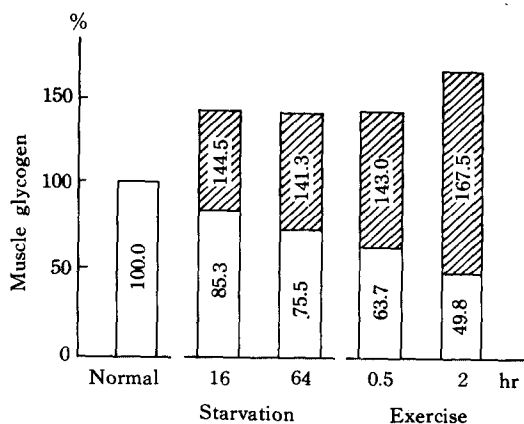
먼저 절식군에서 비복근의 glycogen 함량은 16시간 및 64시간 절식시 각각 0.355 $\pm$ 0.0386 및 0.314 $\pm$ 0.0160으로서 정상군의 그것에 비해서 각각 85.3

및 75.5%로 감소하였다. 양군의 흰쥐에 체중 100gm 당 2.0gm의 glucose를 투여한 2시간후 각군의 비복근 glycogen 함량은 0.601 $\pm$ 0.0548 및 0.588 $\pm$

**Table 5.** Effect of the different amount of glucose intgestion on glycogen repletion in glycogen depleted muscle, and blood glucose and plasma free fatty acid(FFA) concentrations in rats

	Glucose, ingested gm/100gm BW			
	0	1.0	1.5	2.0
Normal,	100.0(0.416g/100gm wet tissue)			
glycogen, %	112.6			
glucose, mg%(range)	112.6(80-142)			
FFA, uEq/1±S.D.	323±102.6			
Starvation, 16h				
glycogen, %	85.3	108.9	140.	144.5
glucose, mg%(range)	106.5(80-123)	144.6(104-179)	165.7(130-184)	170.7(158-191)
FFA, uEq/1±S.D.	702±79.5	416±75.8	303±115.4	224±47.7
Exercise, 2h				
glycogen, %	49.8	140.9	130.3	167.5
glucose, mg%(range)	78.2(46-131)	152.0(95-223)	166.3(144-208)	188.5(164-206)
FFA, uEq/1±S.D.	1,189±20.4	696±40.7	518±67.7	344±39.5

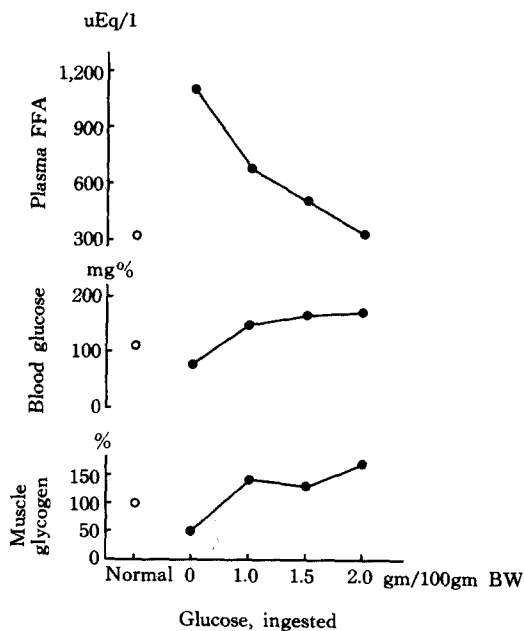
All of the values was produced from 6~8 subjects.



**Fig. 1.** The initial level of muscle glycogen and repleted amount of muscle glycogen after glucose ingestion in starvation and exercise group of rats. (□ : initial level, ▨ : repleted amount)

0.0968로서 정상치보다 초과하여 축적하였으며, 2 시간동안 축적된 절대량은 각각 0.246 및 0.274gm/100gm wet tissue였으며 축적의 정도는 초기 근 glycogen함량이 낮은 64시간 절식군에서 16시간 절식군보다 높았다.

같은 강도의 운동을 30분 및 2시간 부여 하였을 때 비복근 glycogen함량은 각각  $0.265 \pm 0.0288$  및  $0.207 \pm 0.0331$ 로서 2시간 부하군에서 근 glycogen의 함량이 30분부하군의 그것보다 낮았으며, 정상군의 그것과 비교하여 보면 각각 63.7% 및 49.8%로 현저히 감소하였다. 각군의 흰쥐에게 절식군과 같은 양의 glucose를 경구투여한 결과 비복근 glycogen함량은  $0.595 \pm 0.0248$  및  $0.697 \pm 0.0407$ 로 증가하였다. 운동부하군에서도 절식군의 그것과 같이 초기 근 glycogen함량이 낮은 군에서 재축적량이



**Fig. 2.** The simultaneous observation of level of muscle glycogen content, blood glucose and plasma free fatty acid after different amount of glucose ingestion in 2 hours exercise loaded rats.

높았으며, 절대축적량은 30분 및 2시간 운동부하군에서 각각 0.330 및 0.490gm/100gm wet tissue로서 절식양군의 그것보다 높았다.

흥미로운 것은 근 glycogen감소를 유도하기 위한 절식과 운동의 서로 다른 방법에도 불구하고 초기 근 glycogen함량이 낮으면 낮을수록 일파성으로 더 많은 glycogen의 재축적현상을 볼 수 있었다는 것이며, 또 근 glycogen함량이 정상치의 85.3, 75.5

및 63.7%로 감소한 각군에서 재축적된 총량이 각각 정상군의 그것의 144.5, 141.3 및 143.0%로서 초과축적량이 약 40%로서 초기 glycogen함량의 차이에도 불구하고 서로 비슷한 정도였다는 것이며, 반면 비복근 glycogen함량이 49.8%로 거의 1/2이하로 감소한 군에서는 초과축적량이 67.5%로서 위의 3군과는 달리 더 많은 재축적을 보였다.

근 glycogen감소를 유도하기 위한 절식 및 운동부하시 혈당은 운동직후 감소하였으며, 절식시는 정상수준을 유지하거나 오히려 약간 상승하는 결과를 보였다. FFA는 절식시간이 길수록, 운동부하량이 클수록 증가하였으며, 2시간 운동부하군에서 가장 높아서 평균 1189로서 정상군의 4배에 달하였다. 혈중 FFA농도와 근 glycogen함량과는 반대적인 관계였다. Glucose 경구투여 후 혈당량은 각군에서 거의 비슷하게 약 170으로 증가하였으나 2시간 운동부하군에서만 약 190으로 증가하여 최고로 높았으며, 이때 근 glycogen함량도 최고로 높았던 것은 흥미로운 결과였다. 각군에서 FFA농도는 거의 정상수준으로 감소하였거나 그 이하로 떨어져서 혈당의 증가와는 서로 반대경향을 보였다.

각군에서 간 glycogen은 정상치의 1/10수준으로 감소하였으며, glucose 투여후 급격한 재축적 현상을 보였다. 재축적속도는 비복근의 그것들이  $2.05 \times 10^{-6} \sim 2.04 \times 10^{-6}$  g/gm wet tissue/min 범위였는데 비해서  $9.58 \times 10^{-6} \sim 10.50 \times 10^{-6}$ 로서 현저히 빨랐는데, 근 glycogen축적속도는 2시간 운동군에서 가장 빨랐는데 비해서 간 glycogen재축적속도는 모든 군에서 비슷하였다.

경구투여 glucose량을 체중 100gm 당 1.0, 1.5 및 2.0으로 증가하였을 때 혈당량은 16시간 절식군 및 2시간 운동군에서 다같이 차츰 증가하는 경향을 보였으며, 이때 FFA는 차츰 감소하였다.

비복근 glycogen함량은 16시간 절식군에서 체중 100gm 당 1.0, 1.5 및 2.0gm 투여시 정상군의 그것보다 각각 108.9, 104.1 및 144.5%로 증가하였으며, 2시간 운동군에서는 140.9, 130.3 및 165.5%였다. 양군에서 다같이 1.0 및 1.5 투여군은 서로 비슷한 정도의 glycogen재축적을 보였으며 축적 절대량은 2시간 운동군에서 현저히 높았다. 양군 다같이 2.0gm 투여시 재축적량은 유의하게 높았으며, 초과축적(supercompensation)의 정도가 44.5 및 67.5%에 달하였다.

근 glycogen함량, 혈당 및 혈중 FFA농도의 상관관계는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 혈당이 증가할 때 근 glycogen재축적이 촉진되었으며, 이때 혈중 농도는 감소하여 근 운동시 에너지원의 이용양

상을 간접적으로 잘 나타내주었다.

## 고 찰

근 glycogen의 신속하고도 많은 양의 인위적인 재축적은 특히 지구력을 요하는 운동등의 운동수행능력을 향상시키기 위한 중요한 과제라는 것은 잘 알려진 사실이다.

본 연구에서는 근 glycogen함량 그 자체가 근 glycogen의 재축적 촉진을 위해서 어느 정도 관여하는지 또 그때 최대 재축적정도는 어떠한지를 구체적으로 규명하였으며, 또한 경구투여 glucose가 근 및 간 glycogen의 재축적에 어떻게 관여하는지 규명하였다.

먼저 16시간 및 64시간 절식시킨 실험동물에서 근 glycogen함량의 차등을 관찰할 수 있었으며, 이때 경구 glucose투여 2시간 후에 재축적된 근 glycogen함량은 각각 0.246 및 0.274gm/100gm wet tissue로서 16시간 및 64시간 절식후 근 glycogen수준이 정상군에 비해서 각각 144.5 및 141.3%로 증가하여 최종 축적수준은 양군에서 비슷하였으나 실제 축적된 총량은 근 glycogen이 더 많이 감소된 64시간 군이 높았으며, 이것은 다른 많은 연구결과들<sup>4, 6, 7, 11, 14, 17, 18</sup>과 합치되었다. 이때 근 glycogen의 재축적이 촉진된 것은 장단시간의 절식에 의해서 insulin이나 혈중 glucose가 감소<sup>8, 10, 12, 16, 19</sup>하였을 때 경구 glucose투여 결과 혈당량 상승과 2차적인 insulin의 분비증가가 중요한 원인으로 사료되며 또 절식시 항진되는 간장의 gluconeogenic action<sup>8, 19</sup>도 일부의 원인으로 사료된다.

한편 운동부하를 통해서 근 glycogen을 감소시킨 운동군에서는 30분 부하시 근 glycogen의 감소정도가 2시간 군에 비해서 낮았으며, 이때 양군에서 재축적된 총량은 각각 0.330 및 0.490gm/100gm wet tissue로서 더 많은 양의 glycogen이 감소된 군에서 더 많이 재축적됨을 알 수 있었으며, 양군에서 재축적된 근 glycogen의 수준은 30분 군에서 143.0%였으며, 2시간 군에서는 167.5%였다. 이 결과는 운동 그 자체가 근 세포막을 통한 glucose의 이동을 촉진한 결과뿐만 아니라 운동에 의한 glycogen synthetase 및 hexokinase의 활동도 증가에 의한 결과로 사료되며, 또 glucose 경구투여에 의한 혈당의 증가 및 2차적인 insulin의 분비항진으로 인한 결과일 것이다.

본 연구에서 모든 실험군 즉 초기 근 glycogen함량이 85.3, 75.5, 63.4% 및 49.8%로 감소된 각군에서 같은 양의 glucose 경구투여시 재축적되는 근

glycogen의 양이 초기 함량이 낮은 군에서 높은 군의 순으로 많았으며, 특히 흥미로운 것은 앞의 3군들에서 초과 축적된 함량은 정상군의 약 40% 정도였으며, 단지 49.8%로 가장 많이 감소된 군에서만 67.5%로 가장 많이 재축적되었다. 이때 축적되는 근 glycogen 양은 어느 정도 수준까지 감소되었을 때 재축적되는 초과 축적수준이 일정한 한계가 있었으며, 이 결과는 본 실험의 우연한 결과인지 혹은 일정한 기전에 의한 결과인지 본 연구만으로 단정키 어려우며 앞으로 계속 추구할 필요가 있는 것으로 사료된다.

간 glycogen의 축적은 모든 실험군에서 비슷한 양상을 보였으며 근육에 비해서 축적속도가 빨랐다. 혈중 유리지방산 농도는 정상군에서  $323 \pm 102.6 \text{ Eq/L}$  (이하 동일단위)였으며, 절식시 2배정도 높았으며, 운동부하시 최고  $118.9 \pm 20.4$ 까지 상승하였다.

Glucose 투여시 혈당량이 높아지면 간 및 근 glycogen 함량은 높았으며, 이때 혈중유리지방산은 오히려 감소하여 에너지원으로서의 당과 지방이 서로 반대적인 상관관계를 보였다.

## 결 론

근 glycogen 자체농도와 glucose 경구투여 정도가 근 glycogen 재축적량 및 속도에 미치는 영향을 추구한 본 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

16시간 및 64시간 절식시 비복근 glycogen 함량은 각각 정상군의 그것의 85.3% 및 75.5%로 감소하였으며, treadmill 상에서 4도경사,  $0.8 \sim 1.0 \text{ km/h}$ 의 속도로 30분 및 120분간 달리기 운동을 부하한 결과 glycogen 함량은 각각 정상군의 그것의 63.7 및 49.8%로 감소하였다. 이와 같은 근 glycogen 함량의 차등을 유도한 후 같은 양의 glucose를 모든 실험군에 경구투여 하고 근 glycogen의 재축적량을 서로 비교한 결과 초기 근 glycogen 함량이 낮은 군에서 더 많은 양의 glycogen이 재축적됨을 알 수 있었으며, 축적속도도 빨랐다.

또 가장 많이 감소된 120분 운동부하군을 제외한 모든 군에서 초과 축적량은 정상군의 약 40%로 비슷하였다.

경구투여 glucose의 양을 1.0, 1.5 및  $2.0 \text{ gm/100 gm Bw}$  (이하 동일단위)로 차츰 높였을 때 근 glycogen 축적량은 다같이 의외있게 높았으나 1.0 및 1.5 양군에서는 서로 차이가 없었으며 2.0 투여시는 양군보다 높았다.

간 glycogen은 단기간의 절식이나 운동부하에 의해서 정상수준의 약 1/10로 감소하였으며, 재축적

은 비복근의 그것보다 빨랐다.

혈중 유리지방산은 운동이나 절식에 의해서 현저히 상승하며 glucose 투여시 급격한 감소를 보였다.

## REFERENCES

- 1) 이석강 · 인주철 · 안종철 · 이영만 · 김종연 · 이동철 : 절식 환경에서 운동부하기간의 차이에 따른 체내저장 glycogen과 유리지방산의 이용 양산, 대한스포츠의학회지, 4: 77-83, 1986.
- 2) 인주철 · 김세동 : 사람 및 실험동물의 골격근내 glycogen 함량에 관한 연구. 대한정형외과학회지, 20: 9-13, 1985.
- 3) Bergstrom, J. and Hultman E.: A study of the glyconen metabolism during exercise in man. *Scand. J. Clin. Lab Invest.* 19: 218-228, 1967.
- 4) Bergstrom, J., Hultman E. and Roch-Norlund A.E.: Muscle glycogen synthetase in normal subjects, *Scand. J. Clin. Lab. Invest.* 29: 231-236, 1972.
- 5) Bergstram, J., Hermansen L., Hultman E and Saltin B.: Diet, muscle glycogen and physical performance, *Acta, Physiol. Scand.* 71: 140-150, 1967.
- 6) Conlee, R.K., Hickson R.C., Winder W.W., Hagberg J.M. and Holloszy J.O.: Regulation of glycogen resynthesis in muscle of rats following exercise, *Am. J. Physiol.* 235(Regulatory Integrative Comp. Physiol. 4): R; 145-R150, 1978.
- 7) Danforth, W.H.: Glycogen synthetase activity in skeletal muscle. Interconversion of two forms and control of glycogen synthesis, *J. Biol. Chem.* 240: 588-593, 1965.
- 8) Dohm, G.L., Tapscott, E.B., Barakat, H.A. and Kasperek, G.J.: Influence of fasting on glycogen depletion in rats during exercise, *Appl. J. Physiol.; Respirat. Environ. Exercise Physiol.* 55(3): 830-833, 1983.
- 9) Fell, R.D., Mclane J.A., Winder W.W. and Holloszy J.O.: Preferential resynthesis of muscle glycogen in fasting rats after exhausting exercise, *Am J. Physiol.* 238(Regulatory integrative Comp. Physiol. 7) R328-R332, 1980.
- 10) Fell, R.D., Terblanche, S.E., J.L., Young, J.C. and Holloszy, J.O.: Effect of muscle glycogen content on glucose uptake following exercise,

- Appl. J. Physiol.; Respirat. Environ. Exercise Physiol.* 52(2): 434-437, 1982.
- 11) Hultman, E., Bergstrom J. and Roch-Norlund A.E.: *Glycogen storage in human skeletal muscle*, in: *Muscle metabolism during exercise*, edited by B. Pernow and B. Saltin, New York; Plenum, 1971, p 273-288.
  - 12) Huston, R.L., Weiser, P.C., Dohm, G.L., As-kew, E.W. and Boyd, J.B.: *Effects of training, exercise and diet on muscle glycolysis and liver glycogenesis*, *Life, Scie*, 17:369-376, 1975.
  - 13) James D.E., Burleigh, K.M., Kraegen, E. W. and Chisholm, D.J.: *Effect of acute exercise and prolonged training on insulin responses to intravenous glucose in vivo rats*. *Appl. J. Physiol.* 55:1660-1664, 1983.
  - 14) Lo, S., Russel, J.C. and A.W. Tylor: *Determination of glycogen in small tissue samples*, *J. Appl. Physiol.* 28:234-236, 1970.
  - 15) Newsholme, E.A. and Stuart C.: *Regulation in metabolism*. Chichester, New York; Wiley, 1973.
  - 16) Pernow, B. and Saltin B.: *Availability of substrates and capacity for prolonged heavy exercise in man*. *Appl. Physiol.* 31:416, 1971.
  - 17) Roch-Norlund, A.E., Rergstrom, J and Hultman, E.: *Muscle glycogen and glycogen synthetase in normal subject and patient with diabetes mellitus*, *Scand. J. Clin. Invest.* 30: 77-84, 1972.
  - 18) Rosenthal, M., Haskell, W.L., Solomone, R., Widstram, A. and Reaven, G.M.: *Demonstration of a relationship between level of physical training and insulin-stimulated glucose utilization in normal human diabets*, 32 : 408-411, 1983.
  - 19) Seals, D.R., Hagberg, J.M., Allen., W.K., Hurley, B.F., Dalsky, Gp., Ehsani, A,A. and Holloszy, J.O.: *Glucose tolerace in young and old athletes and sedentary man*, *J. Phsyiol*, 56 : 1521-1525, 1985.
  - 20) Tan, M.H., Bonen A., Watson-Wright W. and Pierce D.: *Muscle glycogen repletion after exercise in trained normal and diabetic rats*. *J. Appl. Physiol.; Respirat. Environ. Exercise Physiol.* 57(5):1404-1408, 1984.
  - 21) Terjung, R.L., Baldwn R.K., Winder W.W. and Holloszy J. O.: *Glycogen repletion in different types of muscle and in liver after exhausting exercise*. *Am. J. Physiol. J, Physiol.* 226:1387-1396, 1974.
-