

## 흰쥐에서 운동부하후 경구투여한 Glucose가 특성이 다른 골격근에서 Glycogen으로 합성되는 속도

영남대학교 의과대학 생리학교실  
정경화 · 김종연 · 김용운 · 이석강

### 서 론

운동시 에너지원은 주로 탄수화물과 지방이 사용되어 운동의 종류, 강도, 시간등에 따라 그 비율이 변한다<sup>1,2)</sup>고 한다. 단시간의 심한 운동 ( $\dot{V}O_{2\max}$  80% 이상) 시에는 탄수화물이, 중등도 ( $\dot{V}O_{2\max}$  50~80%)의 장시간 운동시에는 탄수화물과 지방이, 저강도의 장시간 운동시에는 지방이 주에너지원이 된다<sup>3,4)</sup>고 한다.

탄수화물의 주 저장소인 골격근은 체중의 약 40%를 차지하며<sup>1)</sup> 여러 가지 특성의 근섬유들로 이루어져 있다.<sup>5)</sup> Fast-twitch white 근섬유는 high glycogenolytic, high myosin ATPase activity를 가지며 fast-twitch red 근섬유는 high glycogenolytic, oxidative, high myosin ATPase activity를, 그리고 slow-twitch red 근섬유는 low glycogenolytic, oxidative 및 low myosin ATPase activity의 특성을 가지고 있다.<sup>5)</sup> 또 red근에서 mitochondria와 insulin receptor의 수가 white근보다 많다 하며 glycogen synthetase의 활동도도 높다<sup>6)</sup>고 한다. 골격근 glycogen 함량은 Terjung 등<sup>7)</sup>에 의하면 안정 시에 fast-twitch근이 slow-twitch근보다 높다고 하며 운동부하시 근 glycogen은 해당작용을 거쳐 lactic acid를 생산하거나 구연산회로에서 산화되어 물과 이산화탄소를 산생하게 되므로 감

소한다.

특히 중등도 장시간의 운동시 근 glycogen 함량은 지구력과 밀접한 관련이 있다고 하며 Hermansen<sup>8)</sup>에 따르면 중등도 장시간 운동시 근 glycogen의 고갈이 운동의 주제한 요소라고 보고하였으며 Smith<sup>9)</sup>는 고탄수화물식이로 근 glycogen 함량의 증가시 지구력이 증가하였다고 하였다.

이런 관점에서 최근에 근 glycogen 함량을 증가시키려는 많은 연구가 이루어졌으며 운동부하후 고탄수화물식이가 안정 상태보다 더 높은 glycogen 함량을 보인다<sup>8)</sup> 하였고 또 인동<sup>9)</sup>에 따르면 절식이나 운동부하로 인한 glycogen의 감소정도가 많을수록 재축적의 정도가 많다고 하며, 이때의 축적정도는 정상의 그것을 넘어서 초과축적(supercompensation)의 양상을 보인다고 한다.

간장은 혈당의 조절에 가장 중요한 역할을 하며 운동시에는 혈당의 골격근내 섭취의 증가로 인하여 혈당의 감소시 glycogenolysis 및 gluconeogenesis 과정으로 glucose를 산생하여 혈중으로 방출하며, 식이 등으로 혈당의 증가시에는 glucose의 간장내 섭취를 증가시켜 잉여 glucose를 glycogen으로 합성하여 혈당을 정상으로 유지한다.<sup>10)</sup>

한편, glucose는  $Na^+$ -Co-transport에 의하여 주로 소장에서 흡수되며 흡수속도는 위 배출속도에 의해 결정된다고 한다.<sup>11)</sup> Glucose 섭취 시 혈당은 위내 음식물의 양 및 종류등에 따라 다르나 1시간경에 최

고치에 달한다고 하며 2시간 또는 3시간 경에는 정상수준으로 유지된다고 한다.<sup>12)</sup> 이는 혈당의 증가시 insulin의 분비증가로 인해 glucose의 세포내 섭취를 증가시킨 때문이라 하며 특히 간장과 골격근에서의 섭취가 많아진다고 한다. 간장과 골격근으로 섭취된 glucose는 대부분이 glycogen으로 합성되어 축적되는데 이때 축적되는 속도는 간장과 골격근내의 glycogen 함량이 주제한 요소라고 하며 그외 glycogen synthetase의 활동도에 따른다<sup>12)</sup>고 한다.

이에 저자는 운동이라는 자극인자에 대하여, 특성이 다른 골격근에서 glycogen 재축적의 양상을 서로 비교하여 각 근섬유의 특성의 일단을 제시하고자, 흰쥐에서 방사선 동위원소표지의 <sup>14</sup>C-glucose가 들어있는 glucose를 경구투여하여 특성이 다른 골격근에서 glucose가 glycogen으로 합성되는 양과 속도를 시간경과에 따라 측정하였고 아울러 간장 glycogen의 재축적양상과 혈당의 변화도 관찰하였다.

## 재료 및 방법

실험동물은 체중 250gm내외의 Sprague-Dawley 종 흰쥐 수컷을 사용했으며 실험전일 오후 5시부터는 물만을 공급하였다. 모든 동물은 실험전 1주일이상 본대학 동물사에서 동일 사료(탄수화물 : 59%, 단백질 : 22%, 지방 : 3%, 기타 16%)로 표준화 시켰으며 실험은 오전 9:00 강후에 시작하였다.

실험은 운동부하군과 대조군으로 구분하여 시행하였다. 운동부하군은 3~4일간의 적응훈련시 적당한 것으로 인정되는 것만을 선택하였으며 운동부하는 treadmill(Walking Trainer Hope I, Fuji-Electronic Co.)상에서 1km/hr의 속도로 2시간동안 달리게 하였으며 대조군은 운동부하를 제외한 모든 과정을 동일하게 시행하였다. Glucose 투여는 운동부하직후 <sup>14</sup>C(U)-glucose가 들어있는 25% glucose용액을 체중 100g 당 2mℓ (1 μCi)를 polyethylene tube를 이용하여 위장내 직접 투여하였으며, 30분 및 90분후에 secobarbital(40mg/kg, IP)마취하에 앙와위로 고정시켜 복벽을 절제한 후 복대동맥을 통하여 5mℓ가량의 혈액채취 후 실혈치

사시킨 다음 간장과 하지에서 white vastus lateralis (WV), red vastus lateralis(RV), soleus(SOL), extensor digitorum longus(EDL)근을 적출하였다. 또한 위장관에서의 흡수속도를 측정하기 위하여 위장과 소장을 적출하여 각각 10mℓ의 생리적 식염수로 수회 반복 세척한 후 절진탕 혼합하여 용액을 시험판에 취하여 원심분리한 후 상층액을 취하여 radioactivity를 측정하여 glucose 잔류량을 계산하였다.

glycogen양은 시료채취후 즉시 Mettler제 전자저울을 사용하여 조직을 80~100mg(radioactivity 측정용)과 40~50mg(총 glycogen 측정용)정도로 질편한 후 30% KOH용액으로 소화시킨 후 95% ethylalcohol로 glycogen을 추출하였다. 추출한 glycogen의 radioactivity는 liquid scintillation counter(LKB제 Rackbeta)로 CPM을 측정하여 투여 glucose에서 유래된 glycogen양을 산출하였으며, 총 glycogen양은 Lo<sup>14</sup>등의 방법에 따라 정량하였다. 혈당은 혈액을 3000r. p. m.에서 10분간 원심분리한 후 채취한 혈청으로 glucose-oxidase를 이용한 효소법(일본 Nissui제 kit)으로 정량하였다.

모든 통계학 처리는 non paired t-test로 하였다.

## 성 적

운동부하후 경구투여한 glucose가 여러 가지 특성의 골격근에서 glycogen으로 합성되는 속도를 조사한 본 실험의 결과는 다음과 같다.

하루밤 절식시킨 흰쥐에서 경구투여한 25% glucose용액의 위장관내 흡수율은 위장관내 잔류 glucose양으로부터 계산한 결과 섭취 30분후에 운동부하군에서 54.3% 대조군에서 55.2%로 첫 30분에 투여량의 반 이상이 흡수되었으며 90분경에는 양군 모두 약 70%의 흡수율을 보였다. 혈당(mg/dl)은 운동부하군에서 glucose 투여후 30분 및 90분에 투여전의 104에 비하여 245와 213으로 2배이상 증가하였고 대조군에서도 180 및 222로 증가하였다.

골격근의 투여 glucose로부터 합성된 glycogen 양( $\text{mg/g wet weight} \times 10^{-1}$ )은 glucose 투여 90분

예 WV, RV, SOL 및 EDL에서 운동부하군은 각각 1.8, 14.9, 21.3 그리고 9.4이었고 대조군에서는 각각 1.6, 3.5, 6.2와 2.8로 양군 모두에서 SOL이 가장 많았고 RV, EDL, 그리고 WV순으로 높았다. 운동부하의 효과로는 대조군에 비해서 운동부하군이 WV를 제외한 모든 근에서 3~4배 더 높은 합성량을 보였으며 WV는 차이가 없었다. 30분에는 WV, RV, SOL 및 EDL에서 운동부하군은 각각 1.3, 2.4, 5.4와 1.8이었고 대조군은 1.2, 1.8, 2.4 그

리고 1.9로 양군 모두 90분군에 시와 같이 SOL에서 가장 많았고 WV에서 가장 낮았으나 RV와 EDL은 비슷한 수준이었다. 운동부하시 대조군에 비하여 SOL에서 만이 2.5배의 많은 합성을 보였고 그외의 근에서는 유의한 차이가 없었다.

<sup>14</sup>C-glycogen량은 glucose 투여 90분에 WV, RV, SOL 및 EDL에서 운동부하군은 각각 24.9, 31.7, 61.5, 그리고 40.1이었고 대조군에서는 각각 20.3, 23.1, 39.8과 26.7로 양군 모두에서 SOL이 가장 높

**Table 1.** The residual glucose in stomach and small intestine, and blood glucose levels at 30 and 90 minutes after glucose ingestion in exercise loaded rats

	min	n	stomach (%)	small intestine (%)	blood glucose (mg/dl)
	0	8			104±8.3
Control	30	6	43±4.1	1.8±0.6	180±10.7
	90	6	30±4.7 *	1.3±0.2	222±23.5
Exercise	30	6	44±3.0	1.7±0.7	255±18.6 #
	90	6	32±4.1 *	1.3±0.3	213±16.5

Values are means ± S. D. : n indicates number of cases;

\* p<0.01 90 vs. 30 min. : # p<0.05 Exercise vs Control

**Table 2.** The calculated amounts of synthesized glycogen from exogenous glucose at 30 and 90 minutes after glucose ingestion by measurement of radioactivities of <sup>14</sup>C-glucose in rat skeletal muscles

	min	n	mg/g wet weight × 10 <sup>-1</sup>			
			white		soleus	EDL
			v. lateralis	v. lateralis		
Control	30	6	1.2±0.3 (19.3±4.7)	1.8±0.6 (15.8±4.7)	2.4±0.5 (31.0±6.1)	1.9±0.7 (23.1±5.2)
			1.6±0.3 (20.3±3.4)	3.5±1.1 (23.1±4.7)	6.2±1.1# (39.8±6.0)	2.8±0.3 (26.7±3.7)
Exercise	30	6	1.3±0.3 (24.1±3.0)	2.4±0.6 (22.7±3.3)	5.4±1.9 (24.1±3.0)	1.8±0.6 (28.3±6.2)
			1.8±0.3 (24.9±2.5)	14.9±5.2* (31.7±3.0)	21.3±6.9* (61.5±14.3)	9.4±2.4* (40.1±7.6)

Values are means ± S. D. ; n indicates number of cases ; Values in parenthesis represent total glycogen ; EDL : extensor digitorum longus ; P<0.001 Exercise VS. Control ; # P<0.01 90 VS. 30 min

았고 EDL, RV 그리고 WV순으로 높았다. 이는 운동부하군이 대조군에 비해서 SOL에서는 21.7이나 함량이 높았으며 EDL, RV 그리고 WV의 순으로 함량이 증가하였다. 30분에는 WV, RV, SOL 및 EDL에서 운동부하군은 각각 24.1, 22.7, 24.1, 그리고 28.3이었고 대조군은 19.3, 15.8, 31.0 그리고 23.1이었다.

총 glycogen 양에 대한 투여 glucose로부터 합성된 glycogen 양이 차지하는 비율(%)은 90분에서 운동부하군의 RV가 47로 가장 높았으며 SOL, EDL 그리고 RV는 각각 34.6, 23.4 및 7.2였다. 대조군에서는 SOL과 RV가 각각 15.6, 15.2로 높았으며 EDL과 WV는 8~9% 수준이었다. 30분에서는 90분에서와 달리 운동부하군의 SOL이 22.4로 가장 높았으며 RV, EDL 및 WV는 각각 8.2, 7.7 그리고

6.2였다.

분당 glycogen 합성속도( $\text{mg}/\text{min}/\text{g}$  wet weight  $\times 10^{-2}$ )는 glucose 투여 30~90분 사이에 운동부하군의 SOL, RV 및 EDL은 각각 26.5, 20.8 그리고 12.7로서 대조군의 그것에 비해서 4~8배 빠른 것이며 WV는 양군간에 차이가 없었다. 첫 30분간에는 운동부하군의 SOL에서만이 18.0으로 대조군의 8.0에 비하여 2배정도 높은 값을 보였으나 다른 근에서는 차이가 없었다. 첫 30분과 후반 60분 사이에 합성되는 glycogen의 양적 차이는 운동부하군의 RV, SOL 및 EDL에서는 후반 60분에 합성이 완성한 반면에 대조군에서는 SOL을 제외한 모든 근육에서 첫 30분에 대부분의 glycogen이 합성되었다.

간장 glycogen 합성량( $\text{mg}/\text{g}$  wet weight  $\times 10^{-1}$ )은 glucose 투여 90분에서 운동부하군이 52.6으로

**Table 3.** The average rates of glycogen synthesis from exogenous glucose in exercised rat skeletal muscles

	period (min)	n	white v. lateralis	red v. lateralis	soleus	EDL	mg/min/g wet weight $\times 10^{-2}$
Control	0~30	6	0.40	0.60	0.80	0.63	
	30~90	6	0.07	0.28	0.63	0.15	
Exercise	0~30	6	0.43	0.80	1.80	0.60	
	30~90	6	0.08	2.08	2.65	1.27	

Values are means ; n indicates number of cases

**Table 4.** The amount of synthesized glycogen of liver from exogenous glucose at 30 and 90 minutes after glucose ingestion in exercise loaded rats

	min	n	glycogen, mg/g wet wt $\times 10^{-1}$	
			synthesized	total
Control	30	6	2.4±0.7	29.3±9.5
	90	6	6.1±2.0*	65.3±12.6
Exercise	30	6	2.7±0.3	22.6±15.4
	90	6	52.6±7.2*#	101.7±23.1

Values are means±S.D.; n indicates number of cases :

\* $p<0.001$  90 vs. 30 min. ; #  $p<0.001$  Exercise vs. Control

대조군의 6.1에 비하여 9배에 가까운 증가를 보였으며, 30분에서는 운동부하군이 2.7로 대조군과 비슷한 값을 보였다. 총 glycogen량은 90분에서 운동부하군이 101.7로 대조군에 비하여 2배 정도 높은 값을 보였고 30분에서는 22.6으로 대조군과 유사하였다. 총 glycogen양에 대한 투여 glucose로부터 합성된 glycogen의 비율은 90분의 운동부하군이 51.7%인데 비하여 대조군은 9.3%에 불과하였으며 30분에서는 양군 모두 10% 수준이었다.

## 고 찰

운동수행능력과 깊은 관계가 있는 것으로 알려진 꿀격근내 glycogen 함량은 근섬유에 따라 다르며, 또한 식이, 운동의 정도, 선천적인 인자등의 영향을 받는다<sup>8)</sup>고 한다. 운동부하시 꿀격근내 glycogen 함량 또한 운동부하의 강도와 시간에 따라 감소하는 양상이 다르나, 중등도의 장시간 운동시 초기의 감소정도가 중반이후의 그것보다 높다고 하며 이는 운동부하의 계속시 지방의 이용이 증대된 때문이라<sup>14)</sup> 한다.

한편, 꿀격근은 fast-twitch glycolytic(FG), fast-twitch oxidative glycolytic(FOG) 및 slow-twitch oxidative(SO)등의 근섬유로 이루어져 있으며 구성비율에 따라 그 특성이 결정된다.<sup>5,15)</sup> FG근은 주로 높은 강도의 단시간 무산소성 운동에 적합하며, SO근은 중등도이하의 장거리 유산소운동에 적합하다<sup>16,17)</sup>고 한다. 마라톤과 같은 장시간 운동시 근 glycogen은 지구력의 주제한 요소라고 하며 식이로 높은 근 glycogen량유도시, 운동수행능력이 향상된다<sup>7)</sup>고 하나, 축적되는 근 glycogen양은 근섬유의 구성비율에 따라 다르다고 한다. 이에 저자는 FG근으로 WV근을, FOG근으로 RV를 FG-FOG근으로 EDL을 그리고 SO근으로 SOL을 선택하여 운동부하후 glucose-용액을 경구투여시 꿀격근의 특성에 따라 투여 glucose가 glycogen으로 합성되는 정도를 규명하였으며 아울러 간장에서의 glycogen 재축적 정도도 관찰하였다.

Glucose 투여 후 위장관에서 흡수속도가 첫 30분이 후반 60분에 비하여 월등히 높은 것은 주로 glucose의 위배출이 지연되기 때문이다.

꿀격근 glycogen합성이 운동부하군 및 대조군 모두 SOL, RV, EDL 그리고 WV순으로 높은 것은 Ploug등<sup>18)</sup>의 결과와 유사한 것으로 모세혈관의 분포와 insulin receptor, glucose transporter의 양과 glycogen synthetase 활성도가 red근에서 white근보다 높기 때문<sup>6,19)</sup>으로 생각된다.

90분에서는 운동부하군에서 합성된 glycogen의 양이 대조군에 비하여 월등히 높은 것은 운동이 glycogen의 합성능을 증가시킨 것으로 이는 운동에 의하여 insulin sensitivity의 증가로 혈중 glucose의 근세포막을 통한 이동이 촉진되었을 뿐만 아니라 glycogen synthetase와 hexokinase등의 효소 활동도의 증가<sup>15)</sup>에 기인할 것으로 사료된다. 반면에 투여후 30분에는 운동부하군과 대조군에서 SOL을 제외하고 차이가 없는 것은 glucose 섭취후 초기에는 섭취 glucose보다는 이미 혈중에 존재해 있는 glucose로부터의 glycogen 합성이 주로 이루어지는 것으로 사료되며, 운동부하후의 총 glycogen 합성량이 대조군보다 많은 걸로 봐서 위의 설명이 가능할 것이다.

시간에 따른 glycogen 합성속도를 보면 운동부하군에서는 FG근인 WV를 제외한 모든 근육에서 후반 60분동안에 전반 30분에 비하여 합성속도가 2배 이상인데 비하여 WV와 대조군의 모든 근육에서는 glucose 투여 첫 30분에 훨씬 빠른 합성속도를 보였으며, 후반 60분과의 비율을 보면 WV, EDL, RV 그리고 SOL순이었다. 이것은 운동에 의하여 glycogen합성능이 오랜 시간동안 지속되기 때문으로 사료되며, 또한 인동<sup>9)</sup>의 보고에서와 같이 운동부하로 감소된 glycogen이 glucose 투여후 glycogen 합성을 더욱 촉진시킨다는 보고와 같은 이유로 설명될 수 있을 것이며 white근에서 glucose 투여후 초기보다 후반에 glycogen합성능이 떨어지는 것은 시간이 흐름에 따라 근육으로의 혈류 감소와, red근보다 glycogen synthetase 활동도와 인슐린 반응이 떨어지기 때문<sup>8,20,21)</sup>인 것으로 생각된다.

총 glycogen양은 90분군에서 운동부하군과 대조군 모두 SOL이 가장 높았고 30분에 비하여 90분에 서의 합성량의 정도가 SOL, RV, EDL, 그리고 WV순으로 많았으며 총 glycogen에 대한 glucose로부터 합성된 glycogen의 비는 red군은 90분이 30분보다 2~3배 더 높은 것은 시간이 지날수록 혈당이 투여 glucose에서 기원되기 때문으로 생각되며 실제로 저자의 실험 결과 glucose 투여 30분에 혈당의 80% 이상이 투여 glucose에서 유래되었다.

간장 glycogen은 절식 후 거의 고갈되었으며 glucose 투여 후에는 총 glycogen양은 급격히 증가하였으나 투여 glucose로부터 유래된 glycogen합성은 첫 30분이후에서 활선 빨리 증가하였다. 또 운동부하군이 대조군에 비하여 월등히 빨리 증가한 것은 운동으로 인한 혈류의 증가 및 insulin반응도의 증가와 glycogen synthetase의 활동도가 증가한 때문이라 사료된다.

## 요 약

Sprague-Dawley종 흰쥐에게 <sup>14</sup>C-glucose가 들어 있는 glucose용액을 경구 투여한 후 특성이 다른 풀격근에서 투여 glucose가 glycogen으로 합성된 양과 운동부하가 이에 미치는 효과를 관찰한 본 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

Glucose 경구투여후 위장관에서의 흡수율은 운동부하군 및 대조군 모두 30분에 55% 정도였고 90분후에는 70% 가량이 흡수되었다.

투여 glucose로부터 유래된 풀격근 glycogen 합성량은 양군 모두 SOL에서 가장 높았으며 WV가 가장 낮았다. 운동부하군이 대조군에 비하여 glycogen합성량이 많았으며 특히 SOL, RV에서 현저히 높았다.

운동부하군에서 투여 glucose로부터 합성된 glycogen의 양이 90분후에는 SOL, RV 그리고 EDL에서는 대조군보다 월등히 많았으나 WV에서는 차이가 없었으며 30분경에는 SOL만이 유의하게 높았다.

투여 glucose에서 유래한 glycogen 합성속도는

운동부하군에서 WV를 제외한 모든 근육에서 초기 30분보다 후반 60분이 월등히 빨랐으나 SOL을 제외한 대조군과 WV는 처음 30분동안에 대부분의 glycogen이 합성되었다.

간장에서는 투여 glucose로부터 합성된 glycogen양은 양군 모두에서 초기 30분동안에는 합성량이 미미했으나 운동부하군의 90분동안에는 30분에 비하여 무려 20여 배의 증가를 보였다.

## 참 고 문 헌

- Paul, P.: FFA metabolism of normal dogs during steady state exercise at different work-load. *J. Appl. Physiol.* 28 : 127-132, 1970.
- Fritz, I. B.: Factors influencing the rate of long chain fatty acid oxidation and synthesis in mammalian systems. *Physiol. Rev.*, 41 : 52-129, 1961.
- Bergstrom, J., and Hultman, E.: A study of glycogen metabolism during exercise in man. *Scand. J. Clin. Lab. Invest.* 19 : 218-228, 1967.
- Hermansen, L.: Resynthesis of muscle glycogen stores during recovery from prolonged exercise in non-diabetic and diabetic subjects. *Acta Paed. Scand. Suppl.*, 283 : 33, 1980.
- Terjung, R. L., Baldwin, K. M., Winder, W. W., and Holloszy, J. O.: Glycogen repletion in different types of muscle and in liver after exhausting exercise. *Am. J. Physiol.* 226(6) : 1387-1391, 1974.
- James, David E., Antonio Zorzano, Marianne Boni-Schnetzler, Raphael A. Nemenoff, Alvin Powers, Paul F. Pilch, and Neil B. Ruderman. Intrinsic differences of insulin receptor kinase activity in red and white muscle. *The Journal of Biologic Chemistry.* 261(32) : 14939-14944, 1986.
- Smith, N. J.: Nutrition and the athlete. *Orthopedic Clinics of North America.* 14(2) :

- 387·396, 1983.
8. Bergstrom, J., Hultman, E. and Roch-Norlund, A. E.: Muscle glycogen synthetase in normal subjects, *Scand. J. Clin. Lab. Invest.* 29 : 231-236, 1972.
  9. 인주철, 김세동, 이석강, 이영만, 김종연 : 골격근의 초기 glycogen 함유량 정도와 glucose 경구투여가 근 glycogen의 재축적에 미치는 영향. *대한정형외과학회지*, 22(2) : 349-355, 1987.
  10. West, J. B. : *Best and Taylor's physiological basis of medical practice*. 11th ed., Williams and Wilkins, Baltimore/London, p. 757, 1985.
  11. Constable, S. H., R. J. Favier, J. A. McLane, R. D. Fell, M. Chen, and J. O. Holloszy : Energy metabolism in contracting rat skeletal muscle : adaptation to exercise training. *Am. J. Physiol.* 253 : C316-C322, 1987.
  12. Tan, M. H., Bonen, A., Watson-Wright, W., Hood, D., Sopper, M., Currie, D., Belcastro, A. N., and Pierce, G. : Muscle glycogen repletion after exercise in trained normal and diabetic rats. *J. Appl. Physiol. : Respirat. Environ. Exercise Physiol.* 57(5) : 1404-1408, 1984.
  13. Lo, Siu, J. C. Russel, and A. W. Taylor. Determination of glycogen in small tissue samples. *J. Appl. Physiol.* 28 : 234-236, 1970.
  14. 이석강, 인주철, 안종철, 이영만, 김종연, 이동철 : 절식흰쥐에서 운동부하기간의 차이에 따른 체내저장 glycogen과 유리지방산의 이용 양상. *대한스포츠의학회지*, 4(1) : 77-83, 1986.
  15. Noble, E. G., and Ianuzzo, C. D. : Influence of training on skeletal muscle enzymatic adaptations in normal and diabetic rats. *Am. J. Physiol.* 249 : E360-E365, 1985.
  16. Baldwin, K. M., P. J. Campbell, and D. A. Cooke. Glycogen, lactate, and alanine changes in muscle fiber types during graded exercise. *J. Appl. Physiol. : Respirat. Environ. Exercise Physiol.* 43(2) : 288-291, 1977.
  17. Gollnick, P. D., R. Karin, and B. Saltin. Selective glycogen depletion pattern in human muscle fibers after exercise of varying intensity and at varying pedalling rates. *Am. J. Physiol.* 241 : 45-57, 1974.
  18. Ploug, Thorkil, Henrik Galbo, Jorgen Vinten, Merete Jorgensen, and Erik A. Richter. Kinetics of glucose transport in rat muscle : Effects of insulin and contractions. *Am. J. Physiol.* 253(Endocrinol. Metab. 16) : E12-E20, 1987.
  19. James, D. E., A. B. Jenkins, and E. W. Kraegen. Heterogeneity of insulin action in individual muscles in vivo : euglycemic clamp studies in rats. *Am. J. Physiol.* 248 : E567-E574, 1985.
  20. Bonen, A., M. H. Tan, P. Clune, and R. L. Kirby. Effects of exercise on insulin binding to human muscle. *Am. J. Physiol.* 248(Endocrinol. Metab. 11) : E403-E408, 1985.
  21. Zorzano, Antonio, Thomas W. Balon, Michael N. Goodman, and Neil B. Ruderman. Glycogen depletion and increased exercise. *Am. J. Physiol.* 251(Endocrinol. Metab. 14) : E664-E669, 1986.

**— Abstract —**

## The Effect of Exercise on the Conversion Rate of Ingested Glucose to Glycogen in the Hindlimb Skeletal Muscles in Rats

Kyung Hwa Jung, Jong Yeon Kim  
Yong Woon Kim, and Suck Kang Lee

Department of Physiology  
College of Medicine, Yeungnam University  
Taegu, Korea

In the present study the effect of exercise on the conversion rate of ingested glucose to glycogen in the different types of hindlimb skeletal muscles in Sprague-Dawley male rats was studied. The amounts of synthetized glycogen from ingested glucose of fast-twitch white(WV), fast-twitch red(RV), mixed type of fast-twitch white and red(EDL), and slow-twitch(SOL) muscles were determined at 30 and 90 min. after ingestion of 25% glucose solution which contained  $^{14}\text{C}$ -glucose( $2\text{m}\ell(1\mu\text{Ci})/100\text{gm B. W.}$ )in control and exercise loaded rats.

The result was summarized as follows:

The about 55% at 30 min. and 70% at 90 min. after glucose ingestion were absorbed from gastrointestinal tract. This result shows no effects of exercise on absorption rate from gastrointestinal tract.

The amount of synthetized glycogen of SOL from ingested glucose at 30 and 90 min. after glucose ingestion were highest, whether WV were lowest in hindlimb skeletal muscles in control and exercise loaded rats. In the exercise loaded rats, the amounts of synthetized glycogen of SOL, RV, and EDL at 90 min. after glucose ingestion was much higher than control rats, but not different in WV between exercise-loaded and control rats. At 30 min. after glucose ingestion, only SOL of exercise loaded rats was higher than control rats.

In the control rat, the synthesis of glycogen was almost completed during initial 30 minutes. On the other hand, in the exercise loaded rat, except WV was opposite result of control rats, i. e., amounts of synthetized glycogen were major during late period.

The amount of synthetized glycogen of liver at 30 and 90 min. after glucose ingestion in exercise loaded rats was higher than control rats. The rate of glycogen synthesis in control and exercise loaded rats were higher between 30–90 minute than initial 30 minute.