

사람 및 실험동물의 골격근내 Glycogen함량에 관한 연구

영남대학교 의과대학 정형외과학교실

인 주 철 · 김 세 동

= Abstract =

Glycogen Contents in Skeletal Muscles in Men and Different Species of Experimental Animals

Joo-Choul Ihn, M.D., and Sae-Dong Kim, M.D.

Department of Orthopedic Surgery, Yeungnam University, College of Medicine, Taegu, Korea

The normal values of glycogen contents in skeletal muscles in commonly used experimental animals and men were studied.

In addition, this study was designed to know the relationship between amount of exercise and glycogen content in muscle, and to know the causes of species difference.

Glycogen contents were determined in quadriceps, gastrocnemius, and triceps in mouse, rat, rabbit, and man.

The results of this study as follows :

The value of glycogen content in human skeletal muscle is significantly higher than that of experimental animals.

The heavier the body weight of experimental animal, the higher the value of glycogen content in each muscle.

The value of glycogen content in gastrocnemius is higher than that of quadriceps.

The value of glycogen content in quadriceps is higher than that of triceps.

Key Words : Glycogen content, Skeletal muscle, Men and experimental animals

서 론

운동시 주동근(主動筋)내의 glycogen함량은 운동 수행능력과 지구력을 좌우하는 중요한 요소로 알려져 있고^{7, 10)}, 골격근내의 glycogen함량을 증가시켜 운동수행능력 및 지구력을 향상시키기 위한 많은 연구가 이루어지고 있다^{4, 17, 20)}. 단순히 근육내 glycogen함량만을 증가시켜 운동수행능력 및 지구력을 증가시킬 수 있는지에 대해 의문을 제기하는 보고도 있으나¹⁰⁾, 지구력을 요하는 운동종목의 경우 주동근내의 glycogen함량이 지구력을 좌우한다는 의견이 지배적이다^{1, 2, 17)}.

한편 여러가지 근질환이나 근질환 회복과정에 있어서 근육내 glycogen함량이 변화한다고 하며 특히 장기간 고정을 요하는 정형외과적 질환시 근육내 본 연구는 1984년도 영남대학교 교비 연구비의 지원으로 이루어 졌음.

glycogen함량은 현저히 감소한다고 한다²²⁾.

또한 동일한 종(種, species)의 동물에 있어서도 개체간에 동일한 근육내의 glycogen함량의 변화가 많고 동시에 종(種)이 다른 동물간에는 같은 종류의 근육이라해도 상당한 glycogen함량의 차이가 있음이 알려져 있다¹⁰⁾. 이러한 종간(種間)의 근육내 glycogen함량의 차이 및 동종(同種)이라고 할지라도 동일한 근육내 glycogen함량의 차이가 있는 것은 여러가지 요인을 생각할 수 있으나, 선천적인 근육섬유의 분포나 glycogen합성요소의 차이, 운동량과 식이의 차이등에 의한 것이라고 한다^{21, 25)}.

본 실험에서는 실험동물로 자주 사용되는 마우스, 흰쥐, 토끼 및 사람을 대상으로 하여 Quadriceps, Gastrocnemius, Triceps내의 glycogen함량을 측정하여 그 정상치를 알아보고 이 정상치를 기본으로 하여 운동에 의한 골격근내의 glycogen함량의 변화, 운동에 따른 근육내 glycogen함량의 경시적인 변화 등, 운동과 glycogen 대사의 상관관계를 규명하는

기본자료로 삼기위하여 본 실험을 시행하였다.

재료 및 방법

실험대상은 체중 20 gm내외의 마우스, 체중 300 gm내외의 Sprague-Dawley 종(種) 흰쥐, 체중 2.5 kg내외의 토끼를 암수 구별없이 사용하였고, 사람의 경우는 연령과 성별에 제한없이 실험대상으로 하였다. 모든 실험동물은 근육적출전 24시간 절식시켰으며 사람의 경우는 최소한 6시간 절식시켰다.

마우스 및 흰쥐는 thiopental sodium을 체중 kg 당 각 25 mg, 40 mg을 복강내로 투입하여 마취시켰으며 마취후 복벽을 열고 복대동맥을 잘라 실험치사시킨 다음 Quadriceps, Gastrocnemius, Triceps를 적출하였다. 토끼의 경우, 귀의 정맥으로 kg당 20 mg의 thiopental sodium을 주입하여 마취시킨 뒤 경동맥을 잘라 실험치사 시킬 후 필요한 근육을 적출하였다. 사람에서는 수술전 환자로부터 근육적출에 대한 승락을 받은 다음 각 부위의 근육을 적출하였다. 마우스, 흰쥐 및 토끼에서는 Quadriceps중 vastus medialis를 사람에서는 Vastus lateralis를 적출하였다. 적출한 근육은 결체조직 및 혈액을 제거한 다

음, Mettler제 torsion balance를 이용하여 35~50mg의 범위에서 정확한 무게를 측정한 뒤 Siu²⁴⁾ 등의 방법에 따라 glycogen함량을 측정했다.

성적

마우스, 흰쥐, 토끼 및 사람의 각 근육내 glycogen함량(단위 g/100g wet weight tissue)은 Table 1과 같다.

마우스의 Triceps, Quadriceps, Gastrocnemius의 glycogen함량은 각각 0.08 ± 0.024 , 0.09 ± 0.020 , 0.13 ± 0.03 로서 Gastrocnemius의 glycogen 함량은 Triceps에 비해서 유의하게 많았다($P < 0.001$).

흰쥐의 Triceps, Quadriceps, Gastrocnemius의 glycogen함량은 각각 0.20 ± 0.091 , 0.35 ± 0.109 , 0.38 ± 0.089 로서 Triceps의 함량보다 Quadriceps와 Gastrocnemius의 함량이 유의하게 많았다($P < 0.01$, $P < 0.001$).

토끼에 있어서는 Triceps, Quadriceps, Gastrocnemius의 glycogen함량은 0.48 ± 0.231 , 0.46 ± 0.152 , 0.54 ± 0.200 였고 Gastrocnemius의 함량이 Triceps의 함량보다 유의하게 많았다($P < 0.01$).

Table 1. Glycogen content(gm/100gm wet tissue) in triceps, quadriceps, and gastrocnemius in sedentary mice, rats, rabbits, and men

| | Triceps | Quadriceps | Gastrocnemius | n |
|--------|------------------|--------------------|-----------------------|----|
| Mouse | 0.08 ± 0.024 | 0.09 ± 0.020 | $0.13 \pm 0.031^{**}$ | 8 |
| Rat | 0.20 ± 0.091 | $0.35 \pm 0.109^*$ | $0.38 \pm 0.089^{**}$ | 11 |
| Rabbit | 0.48 ± 0.231 | 0.46 ± 0.152 | $0.54 \pm 0.200^*$ | 9 |
| Man | 1.05 ± 0.231 | 0.08 ± 0.263 | 1.19 ± 0.307 | |
| | n = 4 | n = 11 | n = 9 | |

* Values are given as mean \pm S.D., *: $P < 0.01$, **: $P < 0.001$, n = number of experiments

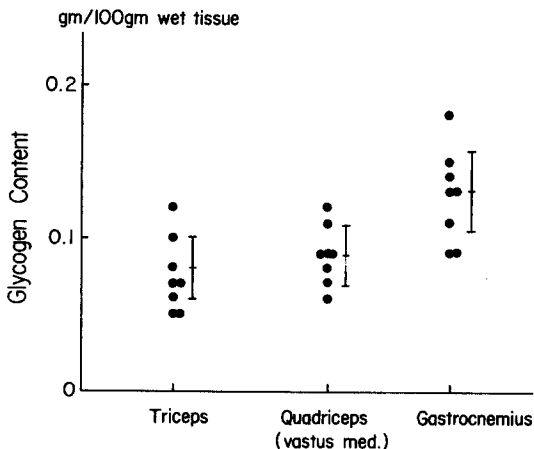


Fig. 1. Glycogen content in mouse skeletal muscle. Bar indicates mean \pm S.D.

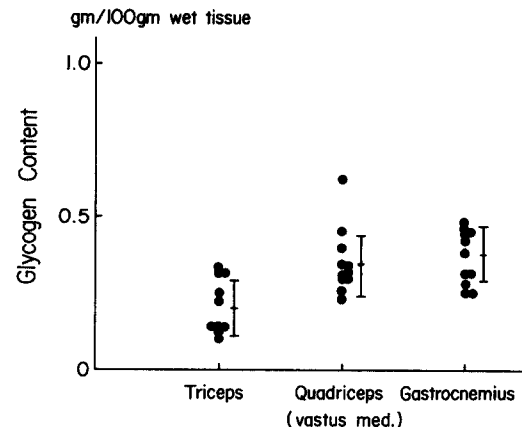


Fig. 2. Glycogen content in rat skeletal muscle. Bar indicates mean \pm S.D.

사람의 Triceps, Quadriceps, Gastrocnemius의 glycogen함량은 1.05 ± 0.231 , 0.81 ± 0.263 , 1.19 ± 0.307 로서 Gastrocnemius의 함량이 Triceps의 함량보다 유의하게 많았다 ($P < 0.01$).

각 근육내의 glycogen함량은 개체간의 차이가 있었으나 그 분포로 보아 Quadriceps와 Gastrocnemius에서 Triceps보다 유의하게 많거나 많은 경향을 보였다 (Fig. 1, 2, 3, 4).

종별(種別)로 보면 각 근육내 glycogen함량은 사람에서 가장 많았고 토끼, 흰쥐, 마우스의 순이었다. 특히 Gastrocnemius내의 glycogen함량은 사람에게 있어서 다른 동물들에 비해 월등하게 많았다

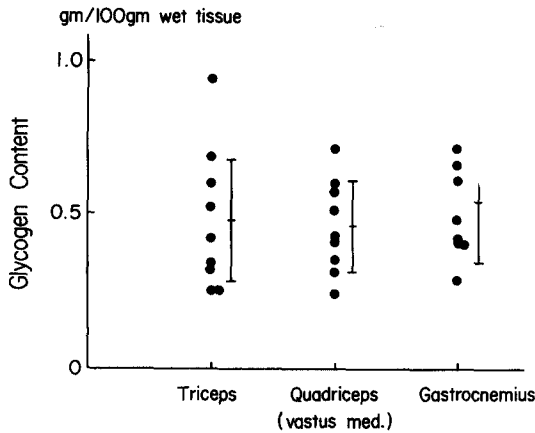


Fig. 3. Glycogen content in rabbit skeletal muscle. Bar indicates mean \pm S.D.

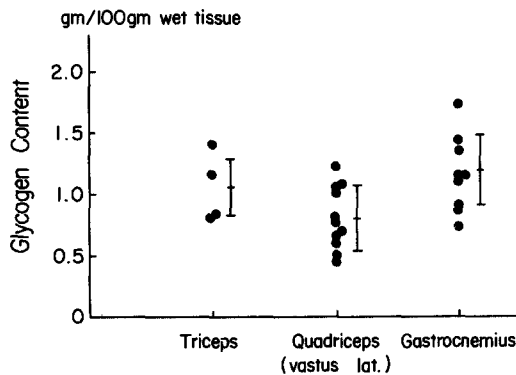


Fig. 4. Glycogen content in human skeletal muscle. Bar indicates mean \pm S.D.

Table 2. Comparison of glycogen content (gm/100gm wet tissue) in gastrocnemius in sedentary mice, rat, rabbits, and men

| Man | Rabbit | Rat | Mouse |
|------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1.19 ± 0.307 | $0.54 \pm 0.200^*$ | $0.38 \pm 0.089^{**}$ | $0.13 \pm 0.031^{**}$ |
| n = 9 | n = 9 | n = 11 | n = 8 |

* Values are given as mean \pm S.D., ** : $P < 0.05$ ** : $P < 0.01$, • n : number of experiments

(Table 2, Fig. 5). 실험동물에서는 체중이 가벼울수록 glycogen함량이 적은 경향을 보였다.

고 찰

근육내 glycogen함량에 영향을 미치는 요소로는 식이, 운동량, 근육섬유의 분포차등을 들 수 있다고 한다^{4,14}.

종간(種間)의 동일근육내 glycogen함량의 차이는 선천적인 인자, 근육섬유의 분포, 운동량, glycogen 대사에 관여하는 효소의 활동도의 차이에 의한 것이라 한다^{3,5,9,13,15,26}.

Terjung²⁵ 등에 의하면, 설치류에 비해 사람의 팔각근내의 glycogen함량이 많고 그 원인으로는 선천적인 운동량의 차이와 각 근육섬유의 glycogen분해 효소 및 합성효소의 활동도의 차이라고 하였다.

본 실험에서는 사람의 각 근육내 glycogen함량이 가장 많고, 토끼, 흰쥐, 마우스의 순으로 함량이 낮아지는 것을 관찰할 수 있었다. 특히 사람의 각 근육내 glycogen함량이 토끼 ($P < 0.05$), 흰쥐 ($P < 0.01$), 마우스 ($P < 0.01$)에 비해 유의하게 많은 것은 Terjung²⁵ 등의 보고와 일치하는 것이다. 또한 동종(同種)의 각기 다른 근육 즉, Quadriceps, Gastrocnemius, Triceps의 glycogen함량의 차이는 근육섬유의 분포와 각 근육의 운동량의 차이에 의한 것으로 사료된다. 운동량에 따른 근육내 호흡효소의 변화

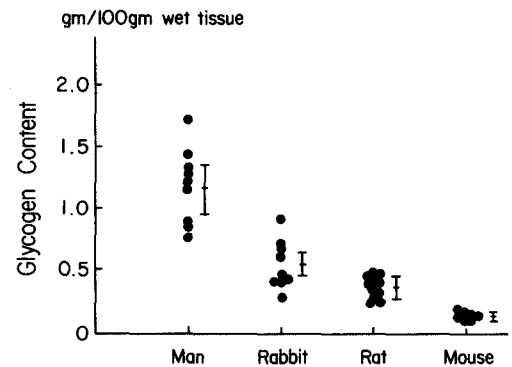


Fig. 5. Comparison of glycogen content in gastrocnemius of mice, rats, rabbits and men. Bar indicates mean \pm S.D.

및 mitochondria의 수와 형태변화는 잘 알려져 있고, 운동량의 차이에 따른 mitochondria와 호흡효소의 양적, 기능적인 차이는 각 동물의 종간(種間)에 차이가 있다고 한다^{11, 18, 23}.

이러한 운동량에 따른 근육내의 호흡효소의 양적, 기능적 변화가 근육내의 glycogen대사에 영향을 미친다고 한다¹⁶. 또 Baldwin⁶ 등에 따르면, 운동량이 많은 근육일수록 근육내 glycogen 합성효소인 hexokinase의 양과 활동도의 증가를 관찰할 수 있다고 한다.

본 실험에서 하지근인 Quadriceps, Gastrocnemius의 glycogen 함량이 상지근인 Triceps의 함량보다 유의하게 ($P < 0.001$) 많은 것은 하지근의 운동량이 많은 것이 그 원인의 하나가 아닌가 생각된다. 또한 실험동물 및 사람에서의 근육내 glycogen 함량이 마우스, 흰쥐, 토끼, 사람의 순으로 증가하는 양상을 보인 것은 체중에 따른 운동량의 변화를 나타낸 것으로 사료된다.

요 약

실험결과는 다음과 같다.

1) 사람 및 실험동물의 근육내 glycogen 함량은 사람에서 가장 많았다.

2) 실험 동물중에서는 토끼에서 함량이 가장 많았으며, 흰쥐, 마우스 순이었다.

3) 사람에 있어서 Gastrocnemius의 glycogen 함량이 다른 동물들에 비해서 월등하게 많았다.

4) 사람 및 실험동물에 있어서 Quadriceps와 Gastrocnemius의 glycogen 함량이 Triceps의 함량보다 많았다.

REFERENCES

- 1) Ahlborg, G., J. Bergstrom., L.G. Ekelund., and E. Hultman.: *Muscle glycogen and muscle electrolyte during prolonged physical exercise. Acta Physiol Scand.*, 70:129-142, 1967.
- 2) Ahlborg, G., P. Felig.: *Influence of glucose ingestion on fuel hormone response during prolonged exercise. J. Appl. Physiol.*, 41:683-688, 1976.
- 3) Ariano, M.A., P.B. Armstrong. and V.R. Edgerton.: *Hind limb muscle fiber populations of five mammals. J. Histo. Cytochem.*, 21:51-55, 1973.
- 4) Baldwin, K.M., J.S. Reitman, R.L. Terjung, W. W. Winder., and F.O. Holloszy.: *Substrate dep-*

- letion in different types of muscles and in liver during prolonged running. Am. J. Physiol.*, 43: 1045-291, 1973.
- 5) Baldwin, K.M., P.J. Campbell. and D.A. Cooke.: *Glycogen, lactate, and alaine changes in muscle fiber types during graded exercise. J. Appl. Physiol.: Respirat. Environ. Exercise Physiol.*, 43:288-291, 1972.
- 6) Baldwin, K.M., W.W. Winder., R.L. Terjung. and J.O. Holloszy.: *Glycolytic enzymes in different types of skeletal muscles: adaptations to exercise. Am. J. Physiol.* 225:962-996, 1973.
- 7) Barnard, R.J. and J.B. Peter.: *Effect of training and exhaustion on hexokinase activity of skeletal muscle. J. Appl. Physiol.*, 27:691-695, 1969.
- 8) Bergstrom, J., E. Hultman. and A.E. Roch-Norland.: *Muscle glycogen synthetase in normal subjects. Basal values, effect of glycogen depletion by exercise and of a carbohydrate rich diet following exercise. Scand. J. Clin. Invest.*, 29:231-236, 1972.
- 9) Chasiotis, K., K. Sahlin. and E. Hultman.: *Regulation of glycogenolysis in human muscle at rest and during exercise. J. Appl. Physiol.: Respirat. Environ. Exercise Physiol.*, 29:708-715, 1982.
- 10) Costill, D.L., R. Browns., G. Branam. and K. Sparks.: *Muscle glycogen utilization during prolonged exercise on successive days. J. Appl. Physiol.*, 31:834-838, 1971.
- 11) Costill, D.L., W.J. Fink, L.H. Getchell, J.L. Ivy. and F.A. Witzman.: *Lipid metabolism in skeletal muscle of endurance trained males and females. J. Appl. Physiol.: Respirat. Environ. Exercise Physiol.*, 47:787-791, 1979.
- 12) Fell, R.D., J.A. McLane., W.W. Winder. and J.O. Holloszy.: *Preferential resynthesis of muscle glycogen in fasting rate after exhaustion exercise. Am. J. Physiol.* 238 (Regulatory Integrative Comp. Physiol. 7) R328-R332, 1980.
- 13) Galbo, H., N.J. Christensen. and J.J. Holst.: *Glucose induced decrease in glucagon and epinephrine response to exercise in man. J. Appl. Physiol.: Respirat. Environ. Exercise Physiol.* 42: 525-530, 1977.
- 14) Harris, R.C., Hultman. and L.O. Nordesjo.: *Glycogen, glycolytic intermediates and high energy phosphates determined in biopsy samples of mu-*

- sculus quadriceps femoris of man at rest. Methods and variance-of values, Scand. J. Clin. Lab. Invest.*, 33:109-120, 1974.
- 15) Heath, G. W., J.R. Gravin III. J.M. Hindliter, J. M. Hagberg, S.A. Bloomfield. and J.O. Holloszy.: *Effect of exercise and lack of exercise on glucose tolerance and insulin sensitivity. J. Appl. Physiol.: Respirat. Environ. Exercise Physiol.*, 55: 512-517, 1983.
 - 16) Holloszy, J.O. and E.F. Coyle.: *Adaptations of skeletal muscles to endurance exercise and their metabolic consequences. J. Appl. Physiol.: Respirat. Environ. Exercise Physiol.*, 56:831-838, 1984.
 - 17) Ivy, J.L. and J.O. Holloszy.: *Persistent increase in glucose uptake by rat skeletal muscle following exercise. Am. J. Physiol.*, 241(cell physiol. 10):C200-203, 1981.
 - 18) Janssen, E. and L. Kaijer.: *Muscle adaption to extreme endurance training in man. Acta. Physiol. Scand.*, 100:3100 15-324, 1977.
 - 19) Karlsson, J. and B. Saltin.: *Diet, Muscle glycogen and endurance performance. J. Appl. Physiol.*, 31:203-206, 1971.
 - 20) Karlsson, J., L. O. Nordesjo, and B. Saltin.: *Muscle glycogen utilization during exercise after physical training. Acta Physiol. Scand.*, 90:210-217, 1974.
 - 21) McLane, J.A. and J.O. Holloszy.: *Glycogen synthesis from lactate in the three types of skeletal muscle. J. Biol. Chem.*, 254:6548-6553, 1979.
 - 22) Nicholson, W.F., P.A. Watson., and F.W. Booth.: *Glucose uptake and glycogen synthesis in muscles from immobilized limbs. J. Appl. Physiol.: Respirat. Environ. Exercise Physiol.*, 56: 431-435, 1984.
 - 23) Schanz, P., J. Henriksson. and E. Janssen.: *Adaptation of human skeletal muscle to endurance training of long duration. Clin. Physiol.*, 3:141-151, 1983.
 - 24) Siu, L., J. C. Russel. and A.W. Taylor.: *Determination of glycogen in small tissue samples. J. Appl. Physiol.*, 28:234-236, 1970.
 - 25) Terjung, R.L., R.K. Baldwin, W.W. Winder. and J. O. Holloszy.: *Glycogen repletion in different types of muscle and in liver after exhausting exercise. Am. J. Physiol.* 226:1387-1391, 1974.
 - 26) Vinten, J. and H. Galbo.: *Effect of physical training on transport and metabolism of glucose in adipocytes. Am. J. Physiol.* 244(Endocrinol. Metab. 7):E129-E134, 1983.
 - 27) Wahren, J., P. Felig., G. Ahlborg. and L. Jorfeldt.: *Glucose metabolism during leg exercise in man. J. Clin. Invest.*, 50:2715-2724, 1971.
-