

흰쥐에 있어서 자극된 근의 수분량 및 혈장량에 관한 실험 Water Content and Tissue Plasma Volume of Stimulated Rat Gastrocnemius Muscle.

서울대학교 의과대학 생리학교실

남 기 용 · 김 완 태 · 권 기 택

골격근이 수의적으로 수축을 되풀이 할 경우나, 또는 실험동물에서 인공적 자극으로 수축을 되풀이 계속하면 근육의 부피가 커지며, 그 무게가 증가함을 일상 경험한다. 근의 단일 수축은 길이의 감소와 굵기의 증가라는 역형의 변화를 동반하며 부피의 변화는 거의 동반하지 않는 현상이나, 수축이 반복될 때에 혈액 유통량의 변화, 대사 과정의 변화로 일어나는 물질 이동의 변화, 대사 산물의 산출 축적등은 모두 근육의 부피 변화의 요인이 될 수가 있을 것이다. 이 가운데서 혈액 유통량의 변화에 수반되어서 일어날 수 있는 수분의 세포막을 넘는 이동을 주안점으로 하여서 본 실험을 하였다.

흰쥐의 비장근(M. gastrocnemius)을 대상근으로 하였으며, 근조직 내 혈장량 측정에는 RISA 를 썼고, 세포의 수분량 측정에는 차이오싸이아네이트(SCN)회색법을 사용하였다.

실 험 방 법

성숙한 흰쥐 27 마리를 성에 상관없이 사용하였다. Nembutal 을 30mg/kg 의 비율로 복강내 주입하여서 기 초 마취를 하고, 간혹 필요에 따라서 에텔로 보조 마취를 하였다. 에텔 마취는 근의 혈관운동을 마비시켜서 본 실험 목적에 반대할 우려가 있어서¹⁾ 되도록 사용을 회피하였다.

실험의 줄거리는 다음과 같았다. 마취한 동물을 배를 아래로 고정하고, 양쪽 공팔을 단번에 제거하였다. 여기에는 공팔으로 출입하는 동맥과 정맥을 실로 졸라매서 순환 계통으로부터 유리시키는 방법을 택하였다. 세포의 수분량 및 혈장량 측정에는 각각 쓰뎀 차이오싸이아네이트(NaSCN)와 radio-iodinated-serum-albumin (RISA)를 회색법에 따라서 사용하였는바 회색의 평형 시간은 각각 120분과²⁾ 15분이었다³⁾. NaSCN 3% 수용액 1.0 밀리리터를 노출한 고정맥(V. femoralis)을 통하여 주입하고, 90분 후에 근에 자극을 주기 시작하였고 105분 후에 RISA 를 역시 고정맥을 통하여 주입하였다. RISA 는 1.0mu 를 사용하였다. 근 자극 기간 30

분 끝에 비장근에 출입하는 동맥과 정맥을 졸라매서 혈액 유통을 차단한 다음에 근을 적출하였다. 같은 동물의 자극되지 않은 다른쪽 다리의 비장근을 대조로 삼았으며, 적출할 때에 혈액의 손실이 없도록 세심한 주의를 하였다. 양쪽 근을 적출한 다음 고정맥으로부터 혈액을 채집하여서 혈장을 분리하였다.

근 자극은 Grass 회사제의 자극기를 사용하였다. 노출한 좌골신경을 자극하던가 또는 전극을 근에 놓고 직접 자극하기도 하였다. 자극 조건은 자극 빈도 10/초, 자극파의 계속 시간 0.6 msec, 전압 0.7-1.0 volts 로서 근에 최대 수축을 일으키는 전압보다 조금 더 큰 값이었다. 근의 수축은 끝을 유리시킨 아킬레스건을 기록기에 연결하여 회전원통 위에 기록하므로써 확인하였다. 30분 동안 계속 자극으로는 근이 피로하여 수축이 일지 않았으므로, 단속적 자극을 주었는 바, 처음 10분 동안에는 1초 자극, 1초 휴식시켰고, 다음 20분 동안은 1초 동안 자극 후에 2초 휴식시켰다. 이리하여 30분 동안에 비장근이 일으킨 수축의 총수는 7,000개 이었다.

RISA 및 NaSCN 의 정량은 다음과 같았다. 자극된 근과 대조근의 일정한 무게를 떼서 모래와 함께 유분속에서 같고, SCN 측정에서는 CdSO₄ 와 NaOH 로 제단백한 여과액을 Beckman Model B Spectrophotometer 를 써서 파장 460 mu 에서 정량했다. RISA 정량에는 모래와 함께 간 것을 원심 침전한 상등액을 Tracerlab Well Scintillation Detector 로 방사능 계측을 하였다.

근 조직의 수분량 측정은 조직을 105°C 에 증량의 변화가 없을 때까지 건조시켜서 증량의 차이로부터 산출하였다. 근조직 내 차이오싸이아네이트 공간의 계산을 다음에 의하여 혈장 내 농도를 기준으로 표시하였다.

$$\text{조직 SCN 공간} = \frac{\text{조직내 SCN 농도}}{\text{혈장내 SCN 농도}} \times 100$$

실 험 성 적

흰쥐의 비장근이 30분 동안 단속적인 강축(tetanic contraction)을 반복하였을 때의 성적을 제 1 표에 보인다. 비장근은 수축을 반복하여서 20분 가량을 경과하면 눈으로 보아서도 현저하게 벌겍게 빛갈이 짙어 지고 굵

*본 실험에 쓰인 장비의 일부는 1962 년도 원자력원 연구보조금으로 충당된 것이다.

Table 1. Increase in the tissue plasma volume, extracellular fluid volume and water content and decrease in the intracellular water in the stimulated rat gastrocnemius muscle.

	Plasma volume (ml/100 g)		Blood volume (ml/100 g)		SCN space (ml/100 g)		Water content (%)	
	control	stimulated	control	stimtd	control	stimtd	control	stimtd
Cases	10	10	10	10	8	8	10	10
Mean	1.7	6.0	3.1	11.5	18.3	26.0	75.8	79.3
S.D.	0.99	2.1	1.1	2.8	3.8	6.4	1.45	1.91
S.E.M.	0.19	0.7	0.36	0.94	1.43	2.42	0.48	0.64
P		<.01		<.01		<.05		<.01

Table 2. Total body plasma volume, blood volume and thiocyanate space in the rats.

	Plasma volume (% body wt.)	Blood volume (% body wt.)	Thiocyanate space (% body wt.)
Cases	22	22	7
Mean	4.5	8.5	38.2
S.D.	0.49	1.2	4.2
S.E.M.	0.11	0.26	1.7

어져 있었다. 근 전체를 105°C 아래에서 건조시켜서 얻은 비장근의 수분량은 대조근에서 75.8%(S.D. 1.45)이었는데 자극된 근에서는 79.3%(S.D. 1.91)로 증가되어 있었다(P<.01).

비장근 조직 내 혈장량(RISA 분포 공간)이 대조근에서 1.7(S.D. 0.59)ml/100 g 이었는데 자극된 근에서 6.0(S.D. 2.1)ml/100 g 으로 현저하게(P<.01) 증가되었다. 즉 근 조직 100그램 당에 6.0-1.7=4.3ml의 혈장량 증가가 있었다. 근 조직내 혈액량을 산출함에 있어서는 말초 순환 혈액의 헤마토크릿 값이 근조직 내를 관류하는 그것과 같다고 가정하였는바, 근조직 내 혈액량은 대조근에서 3.1(S.D. 1.1) 자극된 근에서 11.5ml/100 g으로 현저하게(P<.01) 증가되었다. 또한 SCN 공간으로 표현되는 세포의 수분량은 대조근에서 18.3(S.D. 3.80)ml/100 g 이었는데 대하여 자극된 비장근에서는 26.0(S.D. 6.43)ml/100 g으로 증가되어 있었다. 이것은 근 100그램에 대하여 세포의 수분이 26.0-18.3=7.7 ml 만큼 증가 되었음을 말한다.

전신의 혈장량, 혈액량을 RISA의 회색으로부터, 전신의 SCN 공간도 비장근 분석에 동반하여 측정하였는바 그 성적은 제 2 표에 보인다. 흰쥐의 전신 순환 혈장량은 4.5(S.D. 0.49)% 체중, 순환 혈액량은 8.5(S.D. 1.2)% 체중이었으며, 전신의 SCN 공간은 38.2(S.D. 4.2)% 체중이었다.

고 찰

이상의 저자들의 실험 성적을 요약하면, 흰쥐의 비장근이 30분 동안 단속적인 강축(tetanus)으로 총수 7,000

개의 수축을 하였을때 근의 수분량이 대조의 75.8% 보다 3.5% 증가한 79.3%로 되었는 것이다. 근 조직 내 혈장량 및 SCN 공간도 같이 증가하여서 수분량이 증가하였음을 뒷받침하고 있다. 근이 활동할 때에 굵기가 커짐은 쉽게는 수분량의 증가로서 온다고 할 수 있겠다. 이러한 근 수분의 증가는 이미 보고된 것들이 있다.^{1,4)} Creese 등에 의하면 수분량의 증가는 물론이고, 근 섬유를 현미경으로 조직학적 검색을 하면 섬유 하나하나의 굵기가 수축 후에는 증가되었음을 보고 있다. 이렇게 근이 수축을 반복하여서 그 굵기가 커지는 것은 하나하나의 근 섬유의 팽창과 수분량 증가로서 된다고 하겠다.

휴식하고 있는 근에서는 모세혈관의 거의 대부분이 폐쇄되어 있어서 혈액의 관류량이 적으나, 근이 활동하면 닫혔던 모세혈관이 열리고 그 속을 혈액이 관류하는바⁵⁾ 자극되지 않은 대조근육 내 혈장량이 1.7ml/100g muscle 인 것은 휴식근의 모세혈관 폐쇄로 관류 혈액량이 적었으며, 따라서 어떤 시각에 근육 내에 간직되는 혈액량이 적음을 말한다. 본 실험에서는 근육을 적출할 때에 근육을 관류하는 동맥과 정맥을 잘라내서 근육으로부터의 혈액 손실을 방지하였으므로 대조근이 휴식할 때 근 조직 100 그램에 대하여 1.7 밀리리터의 혈장량과 3.1 밀리리터의 혈액량을 간직하였는바, 이 값은 활동한 근에서는 현저하게 증가되어서 근 조직 내 혈장량이 6.0 밀리리터, 혈액량이 11.5 밀리리터로 증가되었다. 7,000개의 수축을 30분 동안에 걸쳐서 단속적 강축을 한 근육의 무게의 10분의 1 가량은 혈액량이 차지하는 것이다

활동한 근육의 수분량 증가는 위와 같이 뚜렷한 것인바, 이것은 근육 내의 수분 이동(water shift)의 견지에서 보면 흥미로운 것이다. 본 실험에서는 SCN 공간을 측정하므로써 세포의 수분량 측정을 하였는바, SCN 공간은 inulin 공간으로 대표되는 실제의 세포의 수분량 보다는 큰 것이다⁶⁾. 그러나 SCN 공간으로 세포의 수분량을 대표하여 그 동태를 비교할 수 있으므로⁷⁾ 본 실험에서는 조직이 간편한 SCN 공간을 채택하였는 것이다. SCN 공간은 대조 휴식근에서 근 조직 100그램당 18.3 밀리리터이었는데 활동근에서 26.0 밀리리터로 증가되어

Table 3. Decrease in the intracellular water of stimulated rat gastrocnemius muscle.
(ICW=total water content-SCN space)

	Water content	SCN space	Intracell. water
control	75.8	18.3	57.5
stimulated	79.3	26.0	53.3

서 세포의 수분량이 많이 증가되면서 근의 총수분량에 대조의 75.8%로부터 활동근의 79.3%로 증가함에 기여하였던 것이다. 근의 활동에 있어서 모세혈관의 투과성이 증가하여 수분이 혈관계 밖의 조직 간격으로 이동하여 결과로 세포의 수분량 증가를 가져 온 것이다. 그러나 제 3 표에 보는 바와 같이 총수분량 빼기 SCN 공간으로 세포내 수분량을 계산하면 휴식근에서 57.5%를 차지하는 세포내 수분량은 활동근에서는 도리어 53.3%로 감소되었다. 세포의 수분량의 증가 및 총수분량의 증가가 있는 것이나 근활동이란 복잡한 과정에 수반하여서 기계적 혹은 근 세포막의 투과성의 변화 등으로⁸⁾ 수분은 도리어 세포안으로부터 세포 밖으로 이동한 것이다. 이와 비슷한 수분의 이동은 Kammer⁹⁾가 개구리 근육에서 경축(contracture)을 일으킬 때 35%에 해당하는 수분의 손실이 있으며, 주로 세포내 수분의 손실이란 것을 보고하였다. 이렇게 수축 과정에 의하여 수분이 세포막을 넘어서 세포막 밖으로 이동함은 흥미로운 사실이라 하겠다.

전신의 순환 혈장량이 4.6% 체중, 혈액량이 8.5% 체중이란 값을 보였는데, 저자들이 이전에 흰쥐에서 T-1824로 얻은 값인 혈장량 4.1% 및 혈액량 7.4%에 비하면 크다¹⁰⁾. 더구나 RISA로 얻은 값이 T-1824로 얻은 값보다 조금 작든가 같은 것이 상식적인데¹¹⁾ 그 원인을 무어라 밝히지 못하겠다.

결 론

흰쥐 27 마리의 비장근을 단속적 수축을 30 분 동안에 7,000 개 시킨 후의 근조직의 수분 이동을 관찰하고 다음의 성적을 얻었다.

1. 자극되어서 수축한 근의 수분량 증가가 있었다. 휴식근에서 75.8% 이었으며, 수축근에서 79.3%로 증가하였다.
2. 수분 증가는 세포의 수분량 증가 즉 SCN 공간의 증가 및 혈장량의 증가로서 되었다. 근이 활동한 후에 SCN 공간이 18.3%로부터 26.0%로 증가했고, 혈장량이 1.7%로부터 6.0%로 증가하였다. 혈액량도 3.1%로부터 활동근에서는 11.5%로 증가하였다.
3. 세포내 수분량은 도리어 감소를 보여서 흥미롭다. 즉 휴식근에서 57.5% 이던 것이 활동 후에는 53.3%로

감소되었다.

4. 흰쥐의 총순환 혈액량은 8.5%, 혈장량 4.5%, SCN 공간은 38.2% 체중이었다.
5. 수분의 이동에 관하여 고찰하였다.

ABSTRACT

Water content and tissue plasma volume of stimulated rat gastrocnemius muscle.

Kee Yong Nam, Wan Tai Kim & Kee Taik Kwon
Department of Physiology, Seoul National University College of Medicine, Seoul, Korea

Gastrocnemius muscle of 27 rats were stimulated intermittently and tetanically for 30 minutes. The total number of contractions was 7,000. The following results were obtained.

1. There was an increase in the water content of the stimulated muscle. The water content in resting muscle was 75.8% and that in the stimulated muscle was 79.3%.
2. The increase in water content of stimulated muscle was found to be in the increase in extracellular water, namely, plasma volume (RISA distribution volume) and thiocyanate space. Thiocyanate space increased from 18.3% to 26.0% muscle weight. Plasma volume increased from 1.7% to 6.0% and tissue blood volume from 3.1% to 11.5% of muscle weight.
3. Intracellular water of muscle tissue decreased, on the contrary. Intracellular water in resting control muscle was 57.5% and that in stimulated muscle was 53.3% of muscle weight.
4. Other values were: total circulating plasma volume 4.5% body weight, total circulating blood volume 8.5%, and total body thiocyanate space 38.2% body weight in the nephrectomized rat.
5. Water shift in stimulated muscle was discussed.

REFERENCES

1. Creese, R., J.L.D. Silva, & S.E.E. Hashich.: *Inulin space and fibre size of stimulated rat muscle. J. Physiol.* 127 : 525, 1955.
2. Guadino, M. & M.F. Levitt.: *Inulin space as a measure of extracellular fluid. Am. J. Physiol.* 157 : 387, 1949.
3. Davis, J.E.: *Blood volume in dogs. Proc. Soc. Exp. Biol. Med.* 45 : 671, 1940.

4. Fenn, W.O.: *Electrolytes in muscle. Physiol. Rev.* 16 : 450, 1936.
 5. Krogh, A.: *The anatomy and physiology of capillaries. New Haven, Yale Univ. Press, p. 422, 1928.*
 6. Morrison, A.B.: *Inulin and thiocyanate spaces of rat in starvation and under nutrition. Am. J. Physiol.* 210 : 329, 1961.
 7. Johnston, L.C., & L.M. Bernstein.: *Body composition and oxygen consumption of overweight, normal and underweight women. J. Lab. Clin. Med.* 45 : 109, 1955.
 8. Pappenheimer, J.R.: *Passage of molecules through capillary walls. Physiol. Rev.* 33 : 387, 1953.
 9. Kaminer, B.: *Water loss during contracture of muscle. J. gen. Physiol.* 46 : 131, 1962.
 10. 최덕경, 남기용, 리상돈, 김창옥 : 염화콜발트로 Polycythaemia 를 일으킨 흰쥐의 혈액량, 서울 의대잡지 1(2) : 205, 1960
 11. Schultz, A.L., J.F. Hammerstein, B. I. Heller, & R.V. Ebert.: *A critical comparison of the T-1824 dye and iodinated albumin method for plasma volume measurement. J. Clin. Invest.* 32 : 107, 1953
-