

마그네슘 이온이 적출한 흰쥐 자궁근의 수축성에 미치는 효과

서울대학교 의과대학 생리학교실

장 상 호 · 황 상 익 · 성 호 경

= Abstract =

Effect of Magnesium Ion on the Contractility of the Isolated Rat Uterine Smooth Muscle

Sang Ho Chang, Sang Ik Hwang and Ho Kyung Sung

Department of Physiology, College of Medicine, Seoul National University

The effects of Mg^{++} upon the spontaneous contraction activated by 1 IU/l oxytocin were studied in the isolated rat uterine muscle. Longitudinal muscle strips were prepared from the rat uteri at the estrous stage. All experiments were performed in tris-buffered Tyrode solution which was aerated with 100% O_2 and kept at 35°C.

The results obtained were as follows:

1) In the uterine strips contracting spontaneously, as Mg^{++} concentration increased in the Tyrode solution the amplitude of peak tension decreased in all the experimental solutions containing the various concentrations of Ca^{++} (0.5~4 mM). And the amplitude of peak tension increased in inverse proportion to the $[Mg^{++}]/[Ca^{++}]$ ratio.

It is suggested that the tension-lowering effect of Mg^{++} would be developed through decreasing intracellular ionized free calcium ion concentration by uncertain mechanism.

2) The frequency of the uterine contraction activated by oxytocin increased as the $[Mg^{++}]/[Ca^{++}]$ ratio increased up to 1/2, but the frequency decreased above this ratio. It is speculated that Mg^{++} would influence the excitability control action of Ca^{++} .

서 론

근육세포막에 생긴 흥분에 이어 근육의 기계적 수축이 일어나기 위해서는 칼슘 이온의 매개가 필수적이다 (Hodgson과 Daniel, 1973 ; Hwang, 1984). 즉 세포막에 활동전압이 생기거나 저분극이 일어날때 여러 공급원으로부터 칼슘이 세포질 내로 유리되어 수축단백질을 활성화시켜 수축이 일어나고 그것이 다시 공급원으로 회수 되면 근육이 이완하는데 (Bengtsson, 1977) 이러한 것은 골격근에서뿐만 아니라 평활근에서도 (Weiss, 1982) 마찬가지이다.

골격근에서는 흥분-수축 연결 물질로서의 칼슘 공급을

근장그물 (Sandow, 1965), 미토콘드리아 등 세포내 저장고에 거의 전적으로 의존하는데 비해 평활근에서는 그것들의 발달이 뚜렷하지 않으며 (Kuriyama등, 1977) 세포막에 결합되어 있는 것과 세포외액의 칼슘이 중요한 공급원으로 지적되고 있다 (Yamashita등, 1977 ; Triggles등, 1979).

또한 평활근에서는 세포외액의 칼슘이 주로 나트륨 투과성을 변화시켜 (Kuriyama, 1968) 세포막의 흥분성을 조절하며 (Osa, 1973), 흥분 전도에도 중요한 구실을 하고 (Casteels, 1981) 활동전압의 내향전류에도 직접 참여하는 (Daniel과 Janis, 1975) 등 평활근 활동의 여러 단계에 관여하고 있다.

이렇듯 평활근의 흥분 및 수축에는 세포외액의 칼슘이

매우 중요한 역할을 하며 따라서 세포외액 칼슘의 분포나 세포막을 통한 칼슘 이동에 영향을 미칠 수 있는 요인들에 관심이 모아지고 있다(Fleckenstein, 1977).

정상적으로는 생체에 거의 없는 망간, 코발트, 란타늄 등 2, 3가 양이온이 평활근 세포막을 통한 칼슘의 피동적 이동을 차단하며 세포막 바깥쪽에 결합되어 있는 칼슘을 제거한다는 사실이 보고되고 있다(Brading, 1981).

생체 내에 존재하는 중요한 2가 양이온인 마그네슘의 평활근 수축 과정에 대한 역할에 관해 최근 들어 연구가 활발해지고 있어 혈관 평활근의 수축성에 대해 마그네슘 이온이 억제적인 작용을 나타낸다는 보고가 나오고 있으나(Altura 등, 1982) 자궁근과 같은 단단위성 평활근(unitary smooth muscle)에 대해서는 아직까지는 연구가 활발하지 못한 실정이다. 특히 단단위성 평활근의 흥분성과 수축성에 대한 칼슘과 마그네슘 이온 작용 간의 관계에 대해서는 충분히 규명되지 않고 있다.

평활근 수축성에 대한 칼슘과 마그네슘 이온 작용 간의 관계를 밝히기 위하여 이 논문에서는 흰쥐 자궁근 조각을 사용하여 옥시토신으로 활성화된 자발적 수축(oxytocin-activated spontaneous contraction)에 미치는 여러 농도의 칼슘 및 마그네슘을 포함한 실험 용액의 효과를 관찰하였다.

실험 방법

몸무게 200 g 가량의 성숙한 흰쥐(Sprague-Dawley 계) 암컷의 경동맥을 절단, 실험시켜 희생시킨 후 배를 열어 자궁을 몸밖으로 빼어 내었다. 100% 산소로 포화되고 pH 7.35인 실온의 tris-완충 Tyrode용액(NaCl 150, KCl 4, CaCl₂ 1, MgCl₂ 1, 포도당 5.5, tris 5 mM, 12N염산으로 적정)이 들어 있는 준비 용기 속에서 둘째 조직을 잘라 내고 자궁의 배를 열어 길이 약 6 mm, 나비 약 1 mm, 무게 약 5 mg의 자궁근 조각으로 만들어 충분히 이완된 상태에서 1시간 동안 방치하여 수술 조작으로 인한 상처로부터 회복시킨 뒤 굵기 5.0가량의 가는 실로 조각의 양쪽 끝을 근육고정기에 묶고 다시 30분 동안 안정시켰다.

자궁근 조각을 100% 산소로 포화된 pH 7.35, 35°C의 tris-완충 Tyrode용액이 들어 있는 루사이트로 만든 이중병 실험용기(용량 100 ml)에 옮겨 근육고정기와 등장성 수축변환기(isometric force transducer, Device제)

를 연결, 근육 수축이 생리기록기(Device 제)에 기록되게 하고 1시간 동안 회복시켰다. 충분히 이완된 상태에서부터 천천히 단계적으로 근육 조각의 길이를 늘려 가며 길이-장력 곡선(length-tension curve)을 그려 가장 큰 능동 장력(active tension)이 발생하는 최적길이(optimal length)를 구해 이 길이에서 실험을 하였다.

1IU/1의 옥시토신(옥시톤®)으로 자궁근을 활성화시켜 규칙적인 수축이 생기게 한 후 계속 이 상태에서 아래의 실험을 시행하였는데 실험 용액의 칼슘 및 마그네슘 농도를 변화시켜 가면서 자궁근의 수축성 변화를 관찰하였다. 우선 칼슘 농도가 0.5 mM인 Tyrode 용액의 마그네슘 농도를 0.25 mM부터 1, 2, 4 mM로 단계적으로 높이며 수축성의 변화를 관찰하였다. 비슷한 방법으로 칼슘 농도가 1, 2, 4 mM인 Tyrode 용액의 마그네슘 농도를 0.25 mM부터 4 mM까지 단계적으로 높이며 실험을 하였으며 칼슘 농도를 변화시키는 실험 조건을 주기 전에 매번 칼슘 농도 2 mM, 마그네슘 농도 1 mM인 정상 Tyrode용액에서 정상 대조값을 구한 후 실험을 하였고 모든 실험 성적은 이 대조값에 대한 백분율로 나타내었다.

수축성의 변화는 수축빈도(frequency of contraction), 장력의 크기(amplitude of peak tension), 수축곡선의 면적(area of contraction curve) 및 단위 시간에 발생하는 총 장력(total tension per unit time, 즉 수축빈도×수축곡선의 면적)을 측정하여 비교하였다.

실험 성적

1. 칼슘 이온 농도 2 mM에서의 마그네슘 이온 효과

정상 칼슘 농도인 2 mM에서 마그네슘 이온 농도 변화에 따른 수축성의 변화를 관찰하여(그림 1) 정상 대조값(칼슘 2 mM, 마그네슘 1 mM에서의 값)에 대한 백분율로 나타내었다(표 1).

수축빈도는 실험 용액의 마그네슘 농도가 증가하면서 증가하여 1 mM에서 최대값을 보인 후 2, 4 mM에서는 점차 감소하였으나 장력의 크기와 수축곡선의 면적은 마그네슘 농도 증가에 따라 처음부터 감소하였다. 총 장력은 마그네슘 1 mM에서 최대값을 보이고 그보다 낮거나 높은 농도에서는 감소하여 수축빈도와 비슷한 모습을 보였다.

Table 1. Effects of $[Mg^{++}]_0$ on the contractile parameters in the oxytocin(1 U/1)-activated rat uterine muscle ($[Ca^{++}] ; 2 \text{ mM}$)

Parameters	Mg^{++} , mM				
	0.25	0.5	1	2	4
Frequency	72.4±4.6	86.2±4.8	100	91.1±2.6	78.8±4.4
Peak tension	107.8±2.5	103.3±3.2	100	94.8±2.8	77.3±3.4
Area of contraction curve	114.5±3.6	105.8±4.1	100	92.5±3.6	73.1±4.2
Total tension	82.9±4.3	91.2±4.8	100	84.3±5.1	57.6±3.8

· expressed as % of the control value at the normal Tyrode solution containing 2 mM of Ca^{++} and 1 mM of Mg^{++}
 · mean±S.E. (n=5)

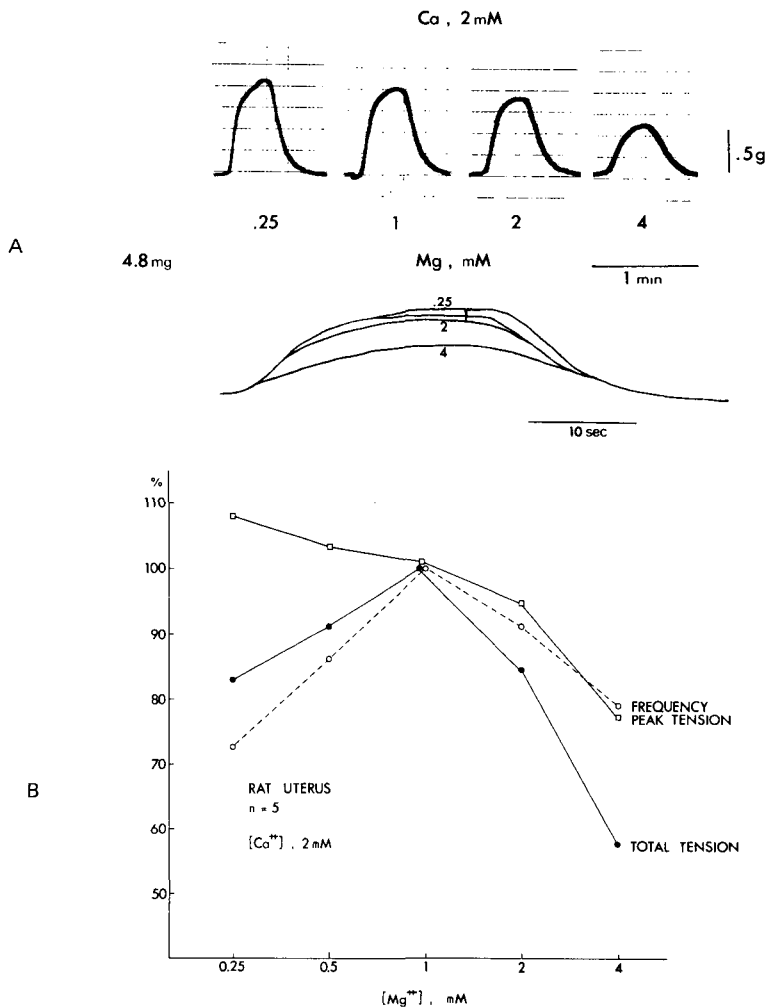


Fig. 1. Effects of Mg^{++} on the oxytocin(1 IU/1)-activated uterine contractions in the Tyrode solution containing 2 mM of Ca^{++} . A. Both the peak tension and the rising slope of the tension(dP/dt) decreased dose-dependently in the range of 0.25-4 mM Mg^{++} . B. The values of contractile parameters were expressed as % of the control ones at the normal Tyrode solution. The peak tension decreased in inverse proportion to an increase of Mg^{++} concentration. Both the frequency of contraction and the total tension increased as the concentration of Mg^{++} increased up to 2 mM, but above this concentration both of them decreased.

Table 2. Effects of $[Mg^{++}]_0$ on the contractile parameters in the oxytocin-activated rat uterus($[Ca^{++}] ; 0.5 \text{ mM}$)

Parameters	Mg^{++} , mM				
	0.25	0.5	1	2	4
Frequency	77.1 ± 4.3	73.4 ± 3.8	64.8 ± 2.7	60.3 ± 4.5	57.7 ± 3.2
Peak tension	84.2 ± 4.5	81.5 ± 4.3	74.2 ± 5.1	58.8 ± 3.6	47.5 ± 5.0
Area of contraction curve	81.3 ± 3.6	78.4 ± 3.8	70.4 ± 4.3	56.4 ± 2.6	45.3 ± 3.7
Total tension	62.7 ± 4.8	57.5 ± 4.3	45.6 ± 3.2	34.0 ± 4.6	26.1 ± 5.1

• expressed as % of the control value attained in the normal Tyrode solution
 • mean \pm S.E. (n=5)

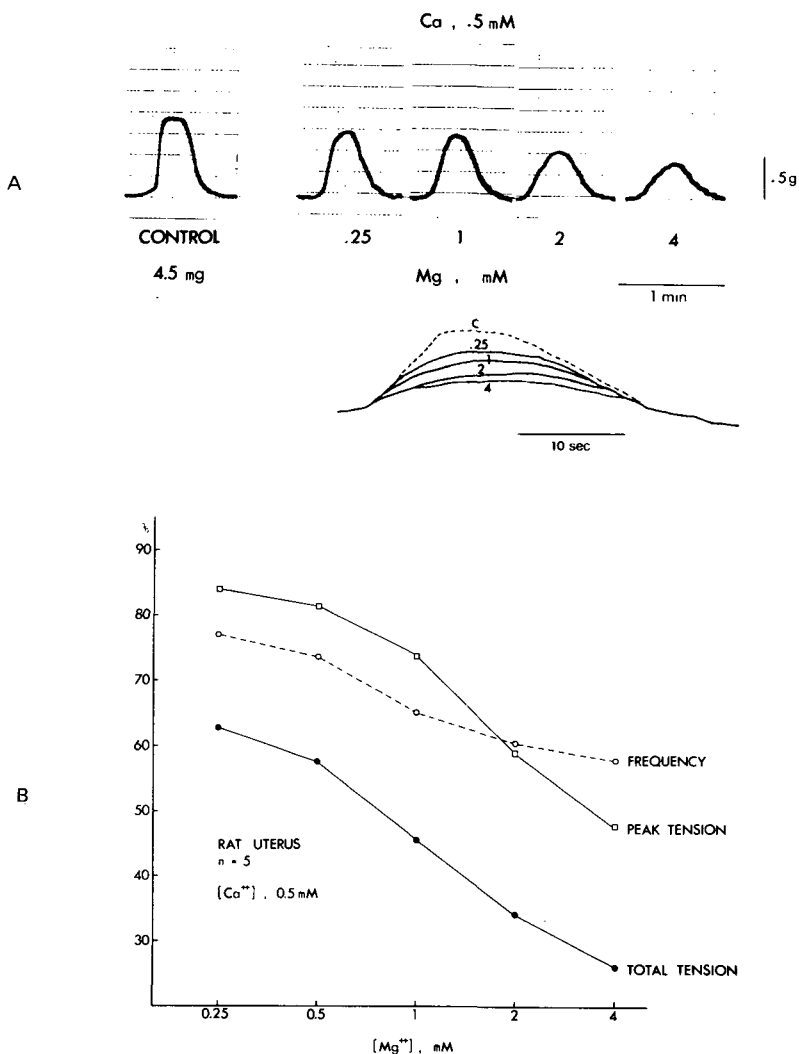


Fig. 2. Effects of Mg^{++} on the oxytocin-activated spontaneous contractions in the 0.5 mM Ca^{++} Tyrode solution. A. Both the peak tension and the rate of tension development decreased in inverse proportion to an increase of Mg^{++} concentration. B. The values of contractile parameters were expressed as % of the control ones at the normal Tyrode solution. As Mg^{++} concentration increased, all the parameters decreased in a dose-dependent manner.

Table 3. Effects of $[Mg^{++}]_0$ on the contractile parameters in the oxytocin-activated rat uterus ($[Ca^{++}]_i$; 1 mM)

Parameters	Mg^{++} , mM				
	0.25	0.5	1	2	4
Frequency	75.0±3.9	91.5±2.8	89.8±4.6	70.3±3.2	65.0±3.5
Peak tension	90.8±3.9	88.0±4.4	82.5±3.8	68.8±4.1	58.4±5.1
Area of contraction curve	90.4±4.2	85.4±2.8	79.6±3.4	64.3±3.8	51.3±2.8
Total tension	67.8±5.4	78.1±4.8	71.5±4.1	45.2±3.9	33.3±6.1

- expressed as % of the control value
- mean±S.E. (n=5)

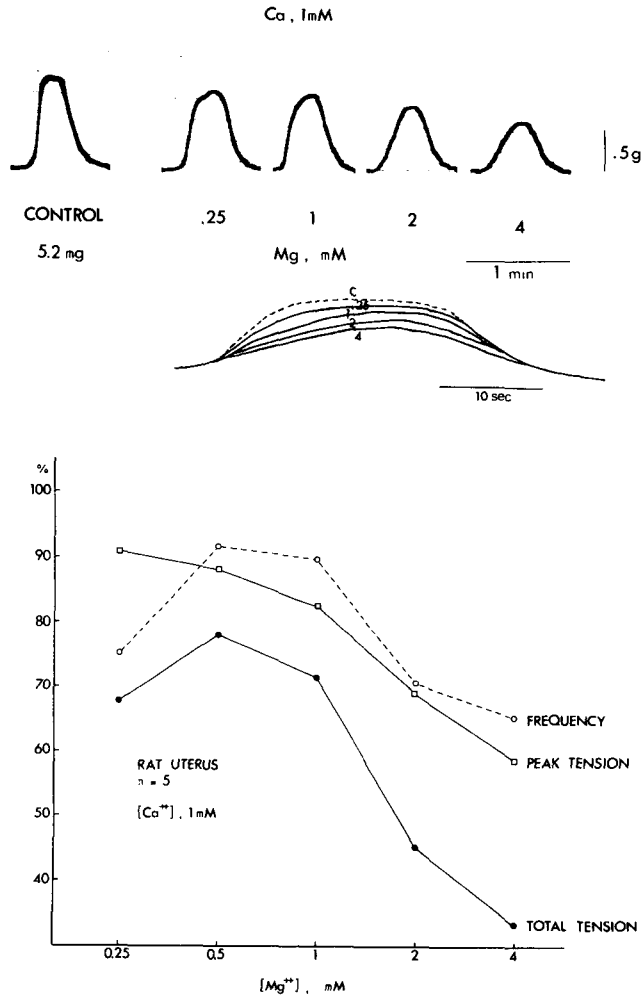


Fig. 3. Effects of Mg^{++} on the oxytocin-activated contractions in the 1 mM Ca^{++} Tyrode. A. As Mg^{++} concentration increased, both the amplitude of tension and the velocity of tension development decreased. B. The values of contractile parameters were expressed as % of the control ones at the normal Tyrode. The peak tension decreased inversely proportional to Mg^{++} concentration. Both the frequency and the total tension increased as Mg^{++} concentration increased up to 0.5 mM, but above this concentration both decreased.

Table 4. Effects of $[Mg^{++}]_0$ on the contractile parameters in the oxytocin-activated rat uterus ($[Ca^{++}]_i$; 4 mM)

Parameters	Mg^{++} , mM				
	0.25	0.5	1	2	4
Frequency	69.5±4.7	78.8±2.7	85.7±4.2	89.2±3.7	84.5±4.3
Peak tension	117.3±3.9	115.2±4.2	113.8±3.8	101.0±4.2	88.3±3.9
Area of contraction curve	123.5±4.7	119.4±3.5	115.7±2.8	103.4±4.3	85.3±3.0
Total tension	85.8±5.1	94.1±4.4	99.1±3.9	92.2±4.6	72.1±5.5

• expressed as % of the control value
 • mean±S.E. (n=5)

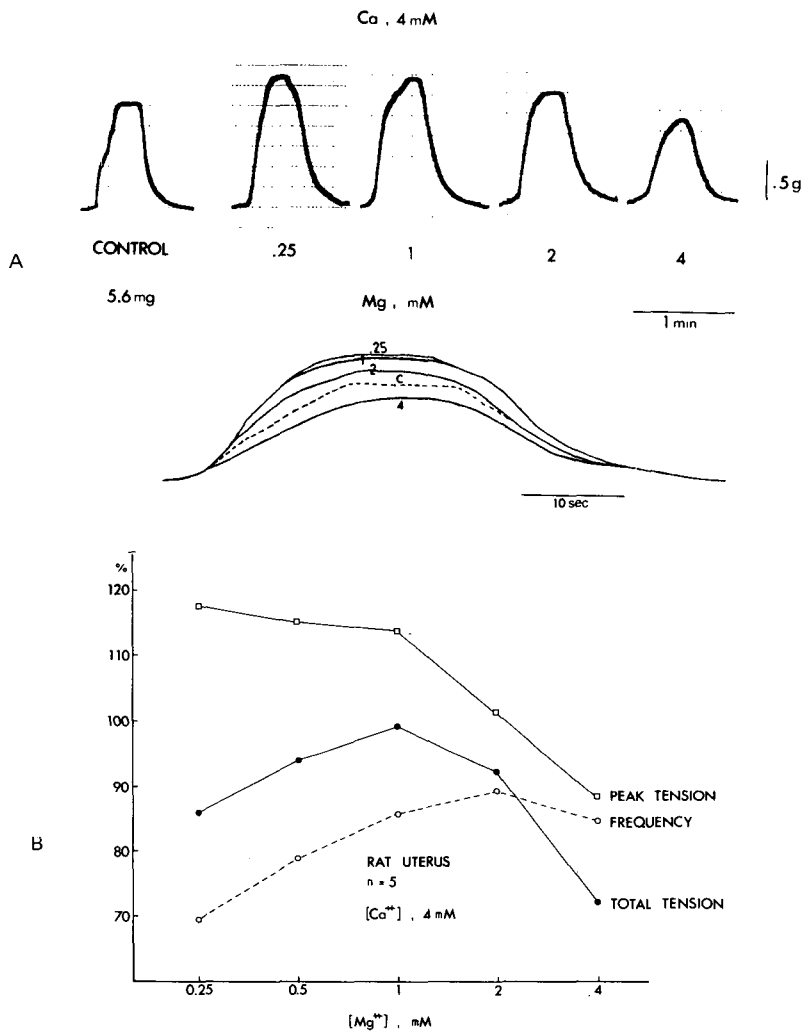


Fig. 4. Effects of Mg^{++} on the oxytocin-activated contractions in the 4 mM Ca^{++} Tyrode. A. Both the peak tension and the rate of tension development decreased as Mg^{++} concentration increased. B. The values of contractile parameters were expressed as % of the control ones at the normal Tyrode. Decrease of the peak tension was in inverse proportion to Mg^{++} concentration. The total tension and the frequency increased as Mg^{++} concentration increased up to 1 and 2 mM respectively, but above these concentrations each of those parameters decreased.

2. 칼슘 농도 0.5 mM에서의 마그네슘 효과

1 IU의 옥시토신으로 활성화된 자궁근육에서 정상 대조 성적을 구한 후 칼슘 농도를 0.5 mM로 낮추고 여기에 마그네슘 농도를 0.25 mM로부터 단계적으로 높여 가면서 수축성의 변화를 관찰하여(그림 2) 정상 대조값에 대한 백분율로 나타내었다(표 2). 세포외액의 마그네슘 농도가 증가함에 따라 수축빈도, 장력의 크기, 수축곡선의 면적 및 총장력 모두 감소하였다. 기록지 속도를 빨리하여 보면 최대 장력에 도달하는 속도도 마그네슘 농도 증가에 비례하여 감소하였다.

3. 칼슘 농도 1 mM에서의 마그네슘 효과

실험 용액의 칼슘 농도가 1 mM인 상태에서 마그네슘 농도 변화에 따른 수축성의 변화를 관찰하여(그림 3) 대조값에 대한 백분율로 나타내었다(표 3). 수축빈도는 마그네슘 농도 0.5 mM에서 최대값을 보인 후 농도 증가에 따라 점차 감소하였고 장력의 크기 및 수축곡선의 면적은 0.25 mM부터 농도가 증가함에 따라 감소하였다. 총 장력은 마그네슘 농도 0.5 mM에서 최대값을 나타내고 농도가 증가하면서 점차 감소하여 수축빈도와 비슷한 모습을 나타내었다.

4. 칼슘 농도 4 mM에서의 마그네슘 효과

실험 용액의 칼슘 농도가 2 mM인 상태에서 마그네슘 농도 변화에 따른 수축 양상의 변화를 관찰하여(그림 4) 대조값에 대한 백분율로 나타내었다(표 4). 수축빈도는 마그네슘 농도 증가에 따라 점차 증가하여 2 mM에서 최대값을 보이고 4 mM에서는 빈도가 감소하였다. 장력의 크기와 수축곡선의 면적은 농도 증가에 따라 점차 감소하였으며 총 장력은 마그네슘 농도 1 mM에서 최대값을 보이고 그보다 낮거나 높은 농도에서는 감소하였다.

5. 장력의 크기에 대한 마그네슘의 효과

상기의 실험 성적 중 장력의 크기에 관한 실험 결과를 모아 정리한 것이 그림 5로서 실험 용액 중의 칼슘 및 마그네슘 농도를 변화시켰을 때 나타나는 장력 크기의 변화를 정상 대조값에 대한 백분율로 표시한 것이다. 동일한 칼슘 농도 아래에서는 마그네슘 농도가 증가함에 따라 장력의 크기가 감소하였으며 마그네슘 농도가 높아질수록 감소 정도가 더욱 커졌으며 이러한 현상은 모든 칼

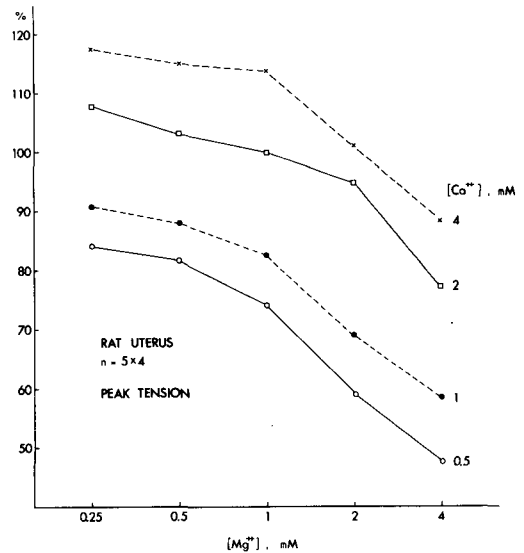


Fig. 5. Effects of Mg^{++} on the amplitude of peak tension. As Mg^{++} concentration increased in the Tyrode, the amplitude of peak tension decreased in all the experimental solutions containing the various concentrations of Ca^{++} .

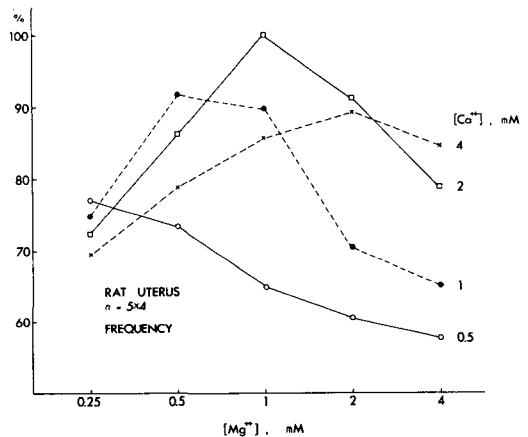


Fig. 6. Effects of Mg^{++} on the frequency of the oxytocin-activated contractions in the Tyrode containing the various concentrations of Ca^{++} . As Ca^{++} concentration increased from 0.5 mM to 1, 2, 4, mM in the experimental solution, Mg^{++} concentration that showed the maximal frequency at each Ca^{++} concentration also increased from 0.25 mM to 0.5, 1, 2 mM respectively.

슘 농도에서 일정하였다. 한편 일정한 농도의 마그네슘

하에서는 칼슘 농도가 증가할수록 장력의 크기가 증가하였고 이런 현상은 모든 마그네슘 농도에서 똑 같았다.

6. 자궁근 수축 빈도에 대한 마그네슘의 효과

표 1~4, 그림 1~4에 나타난 실험 결과 중 수축빈도에 관한 성적을 모아 정리한 것이 그림 6으로서 세포외액 중의 칼슘 및 마그네슘 농도를 달리 했을 때 나타나는 수축빈도의 변화를 정상 대조 값에 대한 백분율로 표시한 것이다. 정상 대조 값에 비해 모든 칼슘, 마그네슘 농도에서 빈도가 감소한 것을 볼 수 있으며 칼슘 농도 0, 5 mM에서는 마그네슘 농도 0, 25 mM에서, 칼슘 농도 1, 2, 4 mM에서는 마그네슘 농도 0.5, 1, 2 mM에서 각각 최대값을 보였다. 마그네슘 농도가 4 mM로 정상 상태보다 4배나 높은 경우에는 칼슘 농도가 높아질수록 수축 빈도가 증가하였으며 0, 25 mM로 정상의 1/4로 낮은 상태에서는 뚜렷하지는 않았지만 칼슘 농도가 낮을수록 수축 빈도가 늘어났다.

고 찰

자궁 근육의 수축성과 이온 및 약물 등에 대한 반응 정도는 호르몬 상태에 따라 달라지므로(Osa와 Ogasawara, 1979) 그 상태를 일정하게 유지할 필요가 있으므로 이 실험에서는 발정기의 흰쥐만을 실험재료로 하였고 규칙적인 수축을 유지하기 위하여 1 IU/1의 옥시토신(Kuriyama와 Suzuki, 1976)으로 자궁근을 활성화시켰다.

흰쥐 자궁근은 단단위성 평활근으로 신경이나 약물의 작용이 없어도 자발적으로 수축을 할 수 있고(Gabella, 1984) 그 기전은 아직 확실히 모르지만 흥분성이 주기적으로 변화하여 그것과 수축 발생은 시간적으로 잘 일치한다(Osa등, 1974), 즉 활동전압이 무리지어 나타나는 흥분기에 맞추어 수축이 일어나며 전압 변동이 거의 없는 휴식기에 근육이 이완되며 이런 시기가 교대로 나타난다. 또한 활동전압이 연속적으로 생기므로 가중이 일어나 강축 현상을 보이며 장력의 크기는 무리 내에서의 활동전압 빈도(Marshall, 1968)에도 의존한다고 생각된다. 따라서 흥분기의 발생, 흥분기 때의 활동전압 빈도 및 칼슘 이온 유입 등에 영향을 미칠 수 있는 요인들에 의해 자궁근의 흥분성 및 수축성이 변화할 수 있다.

세포외액의 칼슘 농도가 증가함에 따라 자궁근의 수축

빈도가 증가하나 2 mM 이상에서는 오히려 감소하며 장력의 크기는 2 mM 이상의 농도에서도 계속 증가하였다는 보고가(Hwang, 1984) 있는데 그 상세한 기전은 알 수 없다 하더라도 세포외액의 칼슘이 자궁근 수축성에 중요한 역할을 하는 것을 짐작할 수 있다.

여러 종류의 흥분성 조직에서 태도가 일정하지는 않으나(Osa와 Ogasawara, 1983) 마그네슘 이온이 일반적으로 세포의 흥분성을 떨어뜨리는 작용(stabilizing action)을 나타낸다는 것은(Mudge, 1980) 널리 알려진 사실로 근래 이에 대한 연구가 활발하다(Altura등, 1982).

이렇듯 각각 평활근의 흥분성 및 수축성에 영향을 미치는 칼슘과 마그네슘 이온들의 합동 작용에 대해서도 추구해 볼 필요가 있어 이 연구에서는 그 문제를 중점적으로 다루었다.

우선 정상적인 칼슘 농도인 2 mM에서 실험 용액의 마그네슘 농도에 따른 수축성의 변화를 관찰하였는데(표 1, 그림 1) 장력의 크기가 마그네슘 농도에 반비례하여 감소하였다. 이러한 마그네슘 농도와 장력의 크기가 반비례하는 현상은 정상 칼슘 농도에서뿐만 아니라 저 칼슘(0.5, 1 mM) 및 고 칼슘(4 mM) 용액에서도(표 2~4, 그림 2~5) 마찬가지로 나타났다. 이 성적을 실험 용액 중의 마그네슘과 칼슘 농도의 비(ratio)에 대한 장력의 크기로 나타낸 것이 그림 7로서 그 비가 낮을수록 즉 칼슘에 비해 마그네슘 농도가 낮을수록 장력의 크기는 컸고 마그네슘 농도가 높아질수록 장력의 크기는 감소하였다. 이러한 마그네슘의 효과는 흰쥐 자궁근의 칼슘 경축 및 혈관 평활근의 수축(Altura등, 1982)에서도 보이는데 어떤 기전으로든 마그네슘이 세포내의 이온화된 칼슘(ionized, free calcium ion) 농도를 낮추어 장력의 크기를 감소시키며 이때 칼슘과 마그네슘 간에는 상경적인(competitive) 작용이 있을 것으로 생각된다. 이때의 마그네슘 이온의 작용 부위를 세포막 표면이나 세포내 수축기구 등으로 추측을 하고 있으나(Altura와 Altura, 1981) 아직 확실하지 않으며 이 실험의 결과로도 해석할 수는 없겠다.

마그네슘 이온에 의한 자궁근 수축빈도의 변화를 관찰한 성적을 보면(표 1~4, 그림 1~4) 실험 용액 중의 칼슘 농도가 높아질수록 최대 수축빈도를 나타내는 마그네슘 농도도 함께 증가하는 것을 볼 수 있다(그림 6). 즉 칼슘 농도가 0, 5 mM에서 1, 2, 4 mM로 증가함에 따

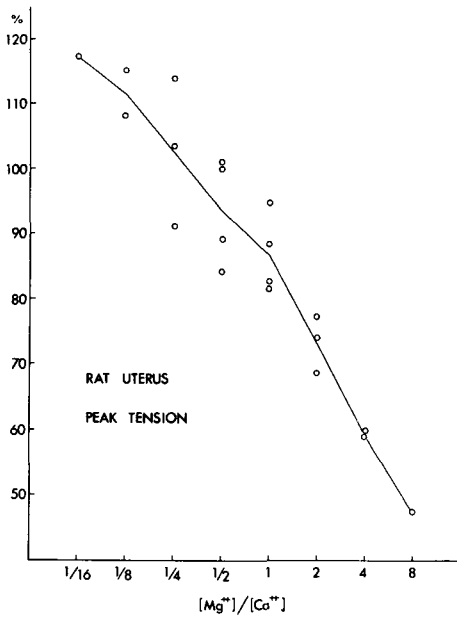


Fig. 7. Effect of $[Mg^{2+}]/[Ca^{2+}]$ ratio on the peak tension. The amplitude of peak tension increased in inverse proportion to the ratio.

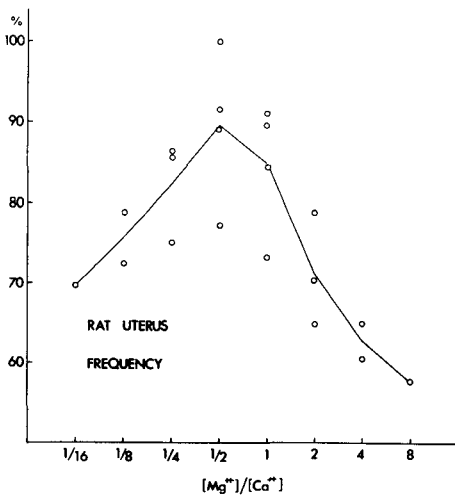


Fig. 8. Effect of $[Mg^{2+}]/[Ca^{2+}]$ ratio in the Tyrode on the frequency of the oxytocin-activated contraction. The frequency of the contraction increased as the ratio increased up to 1/2, but above this ratio the frequency decreased.

라 최대 빈도를 나타내는 마그네슘 농도도 0.25 mM에서 0.5, 1, 2 mM로 증가하였다. 이 성적을 실험 용액

중의 마그네슘과 칼슘 농도의 비에 대한 수축빈도로 나타낸 것이 그림 8인데 그 비가 1 : 2일때 최대 빈도를 보이며 비율이 그보다 낮거나 높은 경우에는 수축빈도가 감소하였다. 칼슘 농도가 2 mM까지는 자궁근의 수축빈도가 점차 늘어나지만 그 이상에서는 오히려 줄어들었다는 실험 사실(Hwang, 1984)과 미세전극으로 막전압을 관찰해 보면 칼슘 농도 증가에 따라 활동전압 무리 사이의 간격이 길어진다는 연구 결과가(Csapo, 1962) 있는데 마그네슘이 그러한 칼슘 작용 과정에 관여하는 것으로 생각된다. 즉, 지금으로서는 그 기전을 알 수 없지만 마그네슘과 칼슘 사이의 관계에 의해 자궁근 세포막의 흥분성이 조절되는 측면도 있는 것으로 생각된다.

결 론

흰쥐의 적출 자궁근 절편을 실험재료로 하여 옥시토신으로 활성화된 자궁근의 자발적 수축에 미치는 여러 농도의 마그네슘 및 칼슘을 포함한 실험 용액의 효과를 관찰하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 모든 농도(0.5~4 mM)의 칼슘 용액에서 마그네슘 농도의 증가에 따라 장력의 크기가 감소하였다. 또한 실험 용액 중의 마그네슘과 칼슘 농도의 비가 낮을수록 장력의 크기가 컸다.

2) 마그네슘 이온은 자궁근 세포내의 이온화된 칼슘 농도를 낮춤으로써 장력 감소 효과를 나타낼 것으로 생각되나 그 기전은 이 실험만으로는 알 수 없었다.

3) 실험 용액 중의 마그네슘/칼슘 농도 비가 1 : 2일 때 수축빈도가 가장 컸으며 그 비율에서 멀어질수록 수축빈도는 감소하였다.

4) 그러한 마그네슘 이온의 자궁근 수축빈도에 대한 효과는 흥분성 조절에 미치는 칼슘 이온 작용에 영향을 줌으로써 나타나는 것으로 생각되었다.

참 고 문 헌

- Altura, B. M. and Altura, B. T.: *Magnesium ions and contraction of vascular smooth muscles. Fed. Proc.*, 40:2672-2679, 1981.
- Altura, B. M., Altura, B. T., Carella, A. and Turlapaty, P.D.M.V.: *Ca²⁺ coupling in vascular smooth muscle. Can. J. Physiol. Pharmacol.*, 60:459-482, 1982.
- Bengtsson, B.: *The role of intramural noradrenaline in*

- the potassium induced contracture of non-estrogenized smooth muscle. *Acta Physiol. Scand.*, 101: 112-121, 1977.
- Brading, A. F.: Ionic distribution and mechanisms of transmembrane ion movements in smooth muscle. In *Smooth Muscle*, 65-92, ed. Bülbbring, E. et al. Edward Arnold Ltd., 1981.
- Casteels, R.: Membrane potential in smooth muscle cells. In *Smooth Muscle*, 105-126, ed. Bülbbring, E. et al. Edward Arnold Ltd., 1981.
- Csapo, A.: Smooth muscle as a contractile unit. *Physiol. Rev.*, 42(Suppl. 5):7-33, 1962.
- Daniel, E. E. and Janis, R. A.: Calcium regulation in the uterus. *Pharmacol. Therap. B.*, 1:695-729, 1975.
- Fleckenstein, A.: Specific pharmacology of calcium in myocardium, cardiac pacemakers, and vascular smooth muscle. *Ann. Rev. Pharmacol. Toxicol.*, 17: 149-166, 1977.
- Gabella, G.: Structural apparatus for force transmission in smooth muscle. *Physiol. Rev.*, 64:455-477, 1984.
- Hodgson, B. J. and Daniel, E. E.: Studies concerning in the source of calcium for contraction of rat myometrium. *Can. J. Physiol. Pharmacol.*, 51:914-932, 1973.
- Hwang, S. I.: Effects of Ca^{++} , verapamil and La^{+++} on the spontaneous contraction and K-contracture in the isolated rat uterine smooth muscle. *Kor. J. Physiol.*, 18:37-50, 1984.
- Kuriyama, H.: Ionic basis of smooth muscle action potentials. In *Handbook of Physiology*, Section 6, Vol. 4, 1767-1791, ed. Code, C.F. American Physiological Society, 1968.
- Kuriyama, H., Ito, Y. and Suzuki, H.: Effects of membrane potential on activation of contraction in various smooth muscle. In *Excitation-Contraction Coupling in Smooth Muscle*, 25-35, ed. Casteels, R. et al. North Holland Biomedical Press, 1977.
- Kuriyama, H. and Suzuki, H.: Effects of prostaglandin E_2 and oxytocin on the electrical activity of hormone-treated and pregnant rat myometria. *J. Physiol.*, 260: 335-349, 1976.
- Marshall, J.M.: Relation between ionic environment and action of drugs on myometrium. *Fed. Proc.*, 27:115-119, 1968.
- Mudge, G.H.: Water, salts, and ions. In *The Pharmacological Basis of Therapeutics*, 848-884, ed. Gilman, A.G. et al. Macmillan Publishing Co., 1980.
- Osa, T.: The effects of sodium, calcium and manganese on the electrical and mechanical activities of the myometrial smooth muscle of pregnant mouse. *Jap. J. Physiol.*, 23:113-133, 1973.
- Osa, T. and Ogasawara, T.: Influence of magnesium on the inhibition of catecholamines in the uterine circular muscle of estrogen-treated rats. *Jap. J. Physiol.*, 29:339-352, 1979.
- Osa, T. and Ogasawara, T.: Effects of magnesium on the membrane activity and contraction of the circular muscle of rat myometrium during late pregnancy. *Jap. J. Physiol.*, 33:485-495, 1983.
- Osa, T., Suzuki, H., Katase, T. and Kuriyama, H.: Excitatory action of synthetic prostaglandin E_2 on the electrical activity of pregnant mouse myometrium in relation to temperature changes and external sodium and calcium concentrations. *Jap. J. Physiol.*, 24:233-248, 1974.
- Sandow, A.: Excitation-contraction coupling in skeletal muscle. *Pharmacol. Rev.*, 17:265-320, 1965.
- Triggle, C.R., Swamy, V.C. and Triggle, D.J.: Calcium antagonists and contractile responses in rat vas deferens and guinea pig ileal smooth muscle. *Can. J. Physiol. Pharmacol.*, 57:804-818, 1979.
- Weiss, G.B.: Calcium and excitation-contraction coupling in vascular smooth muscles. *Can. J. Physiol. Pharmacol.*, 60:483-488, 1982.
- Yamashita, K., Takagi, T. and Hotta, K.: Mobilization of cellular calcium and contraction-relaxation of vascular smooth muscle. *Jap. J. Physiol.*, 27:551-564, 1977.