

자율신경계에 작용하는 약물이 위장 전기도에 미치는 영향*

가톨릭대학 의학부 생리학교실

김명석 · 박형진 · 배선호 · 최 현 · 김 철

=Abstract=

Effect of Acetylcholine on Electrical Activity of Cat Stomach

Myung Suk Kim, Hyoung Jin Park, Sun Ho Bai, Hyun Choi and Chul Kim

Department of Physiology, Catholic Medical College, Seoul, Korea

In order to investigate the effect of cholinergic substance on the electrical and the mechanical activities of the stomach muscle, 10 isolated cat stomachs were studied.

At various sites of a stomach muscle preparation, the electrical activity was monopolarly recorded by using capillary electrodes containing chlorided silver wires, and the isometric contractile activity was recorded simultaneously at the terminal portion of the antrum in Krebs solution (36°C) which was aerated with a gas mixture consisting of 95% O₂ and 5% CO₂. The recording of these activities were performed before (control period) and after acetylcholine (10⁻⁵M) and atropine (10⁻⁶M) administrations serially.

Following results were obtained:

- 1) The mean frequency of the slow wave was 4.36 ± 0.22 cycles/min at all the various sites of the cat stomach. The slow wave was propagated caudad in sequence and its velocity of propagation increased as the slow wave approached the pylorus in normal Krebs solution.
- 2) After acetylcholine administration, the frequency of the slow wave increased transiently, and the increase of slow wave frequency was followed by the isometric contraction of antral muscle in association with the second potential which succeeded the slow wave.
- 3) By atropine administration, the stimulatory effect of acetylcholine on the antral muscle contraction was abolished completely, and the frequency of the slow wave decreased significantly compared with that of the control period, which tendency was more prominent in the antrum.

The above results suggest that the transient increase in the frequency of gastric slow wave by acetylcholine may have some influence upon the contraction mechanism of the cat antral muscle.

서 론

Alvarez와 Mahoney(1922)가 처음으로 사람에서 위

* 본 연구는 1979년도 문교부 학술연구 조성비와 가톨릭 중앙 의료원 학술연구 조성비(1979년도)로 이루어 졌음.

전도(胃電圖, electrogastrogram)를 기록하기 시작하여, 1970년대 초기에 이르러서는 이에 관한 업적이 많이 나오게 되었다. 위근층의 이와 같은 전기활동(electrical activity)중에서 느리고도 주기적으로 발생하는 전압변동이 있다는 것이 밝혀졌으며 살아 있는 위근층에는 항상 전압변동이 존재한다는 사실이 또한 알려졌다. Bass 등(1961)은 이러한 전압변동을 basic electric

rhythm(BER)이라 명명하였으며, 그 이외에 이것은 서파(slow wave)(Burnstock 등, 1963), 초기전압(initial potential)(Daniel, 1965), multiple complex(Holman 등, 1968), pacesetter potential(Kelly 등, 1969) 및 electrical control activity(Sarna와 Daniel, 1973) 또는 gastric control wave(Sarna와 Daniel, 1974)등으로 불리워지고 있다.

위장관의 서파 발생에 관하여 El-Sharkawy와 Szurzewski(1978)는 Ca의 존재하에서 Na 전도성의 일시적인 증가와 이에 뒤따르는 일시적이고 느린 Cl 전도성의 증가로 서파가 발생한다고 발표하였다. 그러나 Connor 등(1974)은 Na-K pump와 같은 이온 운반 체계로 인하여 야기되는 국소전류가 주기적으로 조성되는 것과 관련이 있다고 보고한 바 있다. 결국 이 서파 발생기전에 관하여는 아직 정설이 확립되지 못하고 있는 실정이다.

위장관 절편으로부터 Bortoff(1961)는 세포 밖에서 단극성으로 서파를 기록하였는데, 이때의 서파양상은 세포내에서 기록한 서파의 2차함수로 표시되는 양상이라 설명하였다. 그리고 이 서파는 위장관의 중주근에서 유래하며 위체(corpus)의 상부 대만영역에서 시작한다고 보고되어 있다(Weber와 Kohatsu, 1970). 또한 위수축의 빈도와 진행속도 및 방향이 이 서파에 의하여 결정됨이 밝혀졌다(Cooke, 1975).

본 실험에서는 위전도에서 서파의 본질을 좀더 소상히 알아보기 위하여 위장관의 기능을 항진하는 콜린성 작용 약물의 일종인 acetylcholine과 이의 길항적 작용을 나타내는 atropine을 투여하여 위의 운동과 전기 활동(위전도)의 변동을 관찰하였다.

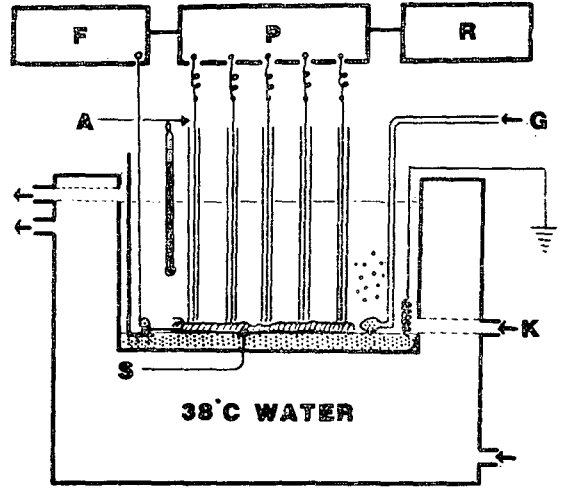


Fig. 1. Schematic diagram of recording bath containing capillary electrodes for recording the electrical and mechanical activities of cat stomach preparation. F: Force transducer, P: Preamplifier and amplifier, R: Recorder, A: AgCl wire, G: Gas mixture consisting of 95% O₂ and 5% CO₂, S: Stomach sample, and K: Krebs solution.

재료 및 방법

실험재료

몸무게가 2.0~3.5 kg 되는 고양이 10마리를 사용하였다. 고양이를 복강내에 20% urethane(5 ml/kg)을 주

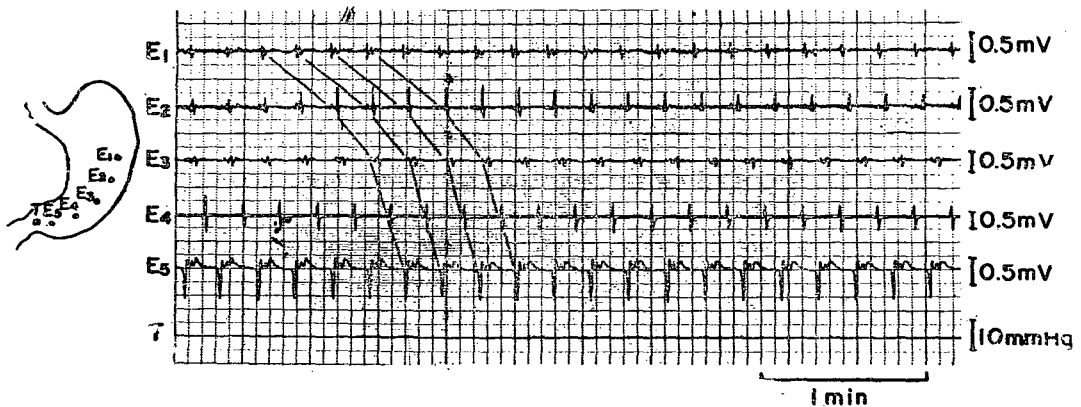


Fig. 2. Electrical and mechanical activities at various sites of a cat stomach preparation in resting state. Each line connection is to show the corresponding cycle detected in sequence by electrodes placed at equal intervals.

사하여 마취시킨 후 복부를 절개한 다음 출혈을 가능한 한 방지하면서 상부 십이지장을 포함하여 위(胃)전체를 적출하였다. 적출한 위를 얼음상자속에 들어있는 Krebs 용액(NaCl; 120.8 mM/L, KCl; 4.5 mM/L, NaHCO₃; 15.5 mM/L, CaCl₂·6H₂O; 1.8 mM/L, MgCl₂·6H₂O; 1.2 mM/L, NaH₂PO₄·H₂O; 1.2 mM/L, Dextrose; 1 g/L)에 담근상태에서 위의 접막을 박리 제거하고 근육층만 남은 복측부분을 길이 7 cm, 가로 1 cm의 절편을 만들어 실험에 사용하였다.

실험장치

위 근육층의 전기활동과 등장성 수축을 기록하기 위하여 Bortoff(1975)의 기록방법을 이용하였다(그림 1). 적출된 위표본이 들어있는 기록상자에는 36°C로 가온된 Krebs 용액이 계속적으로 흐르고 있으며, 이 기록상자 외부에 또 하나의 밀폐된 상자가 준비되어 있어 기록상자내의 Krebs 용액의 온도가 36°C로 유지되게끔 38°C의 물을 관류시켜 주었다. 또한 저장한 Krebs 용액과 기록상자의 Krebs 용액에 95% O₂와 5% CO₂의 혼합기체를 계속 공급하여 주었다.

위표본에서 위전도 및 근수축성을 기록하기 위한 전극의 위치는 그림 2에 표시되어 있으며, 위전도를 위한 전극은 모두 5개(E₁, E₂, E₃, E₄, E₅)이며 그중 2개는 위체에, 나머지 3개는 위유문부에 위치하였으며 각 전극사이의 거리는 1 cm로 하였다. 이들 전극은 모세초자관(내경 0.7 mm)내에 직경이 0.25 mm 되는 AgCl 선(0.1 N KCl 용액속에 2개의 은선을 넣고 이 은선 사이에 약한 직류 전류를 흘리면 양극의 은선에 염소가 침착하여 검게 변색된다)을 넣어서 만든 전극으로, 기록상자내에서 이들 모세관 전극은 Krebs 용액으로 내부가 채워지게 된다. 직경 1 mm의 은선을 위표본에서 얼마 떨어지지 않은 곳에 두어 무관전극으로 삼아서 단극성으로 위전도를 기록하였다. 등장성 수축곡선을 그리기 위한 전극은 유문부 말단에 고정하였으며 force transducer(San-Ei, Type 45072)를 거쳐 polygraph(San-Ei, Type 5108)에 연결하여 위전도와 함께 기록하였다.

실험절차

모세관 전극의 끝이 위의 윤상근층 표면에 거의 닿

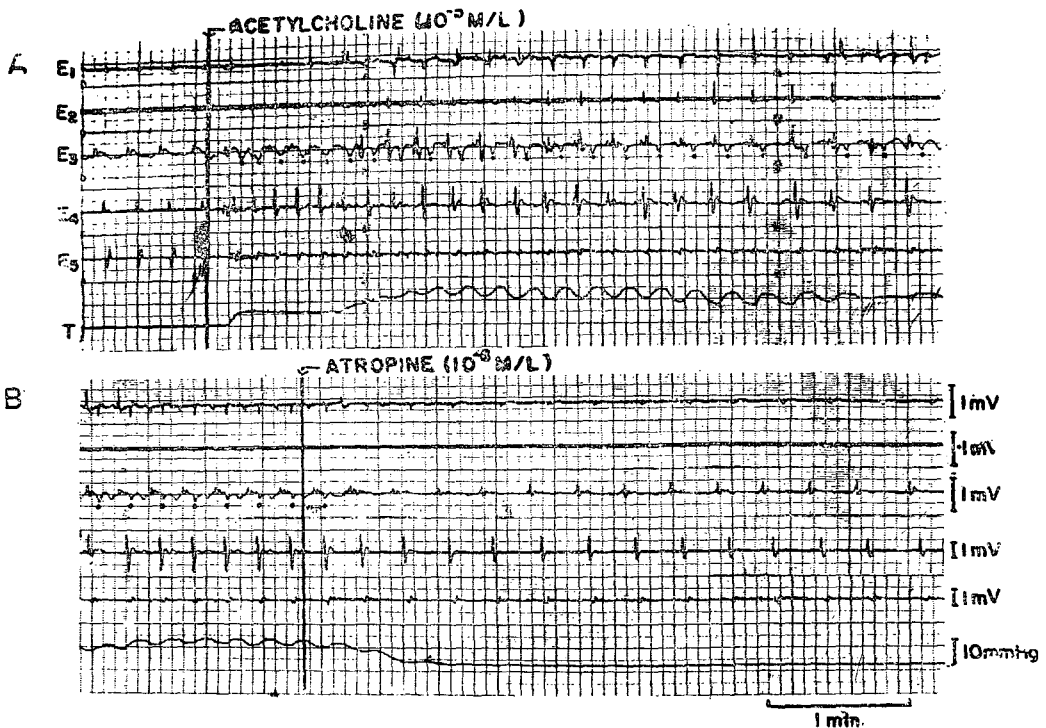


Fig. 3. Electrical and mechanical activities in response to acetylcholine and atropine administrations at various sites of a cat stomach preparation. A and B are continuous. Dots in E₃ represent second potential.

Table 1. Mean (\pm S.E.) frequency of gastric slow wave at various sites of the cat stomach in response to acetylcholine and atropine administrations

Electrodes	E ₁ (n=6)	E ₂ (n=10)	E ₃ (n=10)	E ₄ (n=10)	E ₅ (n=10)
Control	4.49 \pm 0.17	4.36 \pm 0.22	4.36 \pm 0.22	4.36 \pm 0.22	4.36 \pm 0.22
Acetylcholine (10 ⁻⁵ M/L)					
Time (min)					
0	5.06 \pm 0.53	4.82 \pm 0.40†	5.28 \pm 0.26‡	5.48 \pm 0.47‡	4.92 \pm 0.38‡
0.5	4.38 \pm 0.34	4.63 \pm 0.22†	5.23 \pm 0.24†	5.28 \pm 0.31‡	5.35 \pm 0.46‡
1	4.50 \pm 0.13	4.52 \pm 0.18	4.88 \pm 0.19	4.61 \pm 0.24	4.87 \pm 0.29†
2	4.43 \pm 0.17	4.40 \pm 0.18	4.56 \pm 0.14	4.16 \pm 0.22	4.44 \pm 0.22
3	4.51 \pm 0.11	4.44 \pm 0.17	4.55 \pm 0.12	4.39 \pm 0.19	4.26 \pm 0.30
4	4.37 \pm 5.14	4.34 \pm 0.16	4.45 \pm 0.13	4.32 \pm 0.20	4.44 \pm 0.41
5	4.27 \pm 0.18	4.16 \pm 0.24	4.40 \pm 0.17	4.00 \pm 0.20	4.13 \pm 0.37
6	4.27 \pm 0.46	0.04 \pm 0.29	4.33 \pm 0.12	4.08 \pm 0.18	4.12 \pm 0.30
7	4.13 \pm 0.35	3.98 \pm 0.19	4.34 \pm 0.16	4.04 \pm 0.23	4.39 \pm 0.31
8	4.43 \pm 0.16	3.96 \pm 0.18	4.19 \pm 0.17	4.00 \pm 0.25	4.30 \pm 0.34
Atropine (10 ⁻⁶ M/L)					
0	4.04 \pm 0.19	4.19 \pm 0.24	4.14 \pm 0.20‡	4.07 \pm 0.22‡	3.81 \pm 0.25*
0.5	4.13 \pm 0.23	4.00 \pm 0.19	3.90 \pm 0.24‡	3.84 \pm 0.24‡	3.64 \pm 0.34‡
1	3.89 \pm 0.19	4.13 \pm 0.19	4.08 \pm 0.22†	3.78 \pm 0.31‡	3.68 \pm 0.31†
2	4.10 \pm 0.24	3.97 \pm 0.25	4.13 \pm 0.28*	3.94 \pm 0.26	3.60 \pm 0.36‡
3	3.98 \pm 0.25	4.16 \pm 0.23	4.22 \pm 0.23‡	3.92 \pm 0.28†	3.60 \pm 0.32‡
4	4.14 \pm 0.24	4.15 \pm 0.19	4.24 \pm 0.22*	4.03 \pm 0.20‡	3.80 \pm 0.26‡
5	4.01 \pm 0.29	4.02 \pm 0.20	4.25 \pm 0.23	3.97 \pm 0.24‡	3.71 \pm 0.32‡
6	4.14 \pm 0.29	4.25 \pm 0.22	4.16 \pm 0.23	4.01 \pm 0.25	3.66 \pm 0.32*
7	4.00 \pm 0.31	4.16 \pm 0.23	4.10 \pm 0.24	3.88 \pm 0.25*	3.67 \pm 0.34
8	4.06 \pm 0.34	4.03 \pm 0.19	3.88 \pm 0.20*	3.68 \pm 0.20	3.47 \pm 0.03†

*; P \leq .05, †; P \leq .02, ‡; P \leq .01

을 정도로 수직으로 위치해 놓은 다음, 안정시 위전도가 나타날 때까지 대략 30분간 Krebs 용액내에서 방치하였다. 안정상태에서의 위전도와 수축곡선을 기록한 후 acetylcholine chloride(Sigma Chemical Co.)를 가하여 기록상자의 Krebs 용액에서의 농도가 10⁻⁵M로 되게하였다. 이 상태에서 8분간 기록한 다음 10⁻⁶M의 atropine sulfate(Abbott Lab.)를 다시 주입하고 계속 위전도와 근수축곡선을 기록하였다. 위전도에서는 상기의 약물 투여 전후에 그려지는 서파의 발생빈도, 전파(傳播)방향 및 속도등을 관찰하였으며, 이들 약물에 의하여 2차전압(second potential) 또는 가지전압(spike)이 발생하는지의 여부를 조사하였다.

성적의 분석 : 얻은 실험치는 Wilcoxon matched-pairs signed-ranks test의 통계적 방법으로 분석하였으며, 유의성의 수준은 5%이하로 하였다.

성 적

위(胃)의 각 부위에서의 위안정시 위전도 및 유문부에서의 수축곡선을 그림 2에 제시하였다. 위전도의 5개의 전극중 위체 상부에 위치한 전극(E₁)에서는 10개의 표본중 6개에서만 위전도가 그려졌다(표 1참조). 위전도상에서 서파의 평균 발생빈도는 4.36 \pm 0.22(cpm)이었고 위체에서 시작한 서파는 차례로 유문부로 전파하

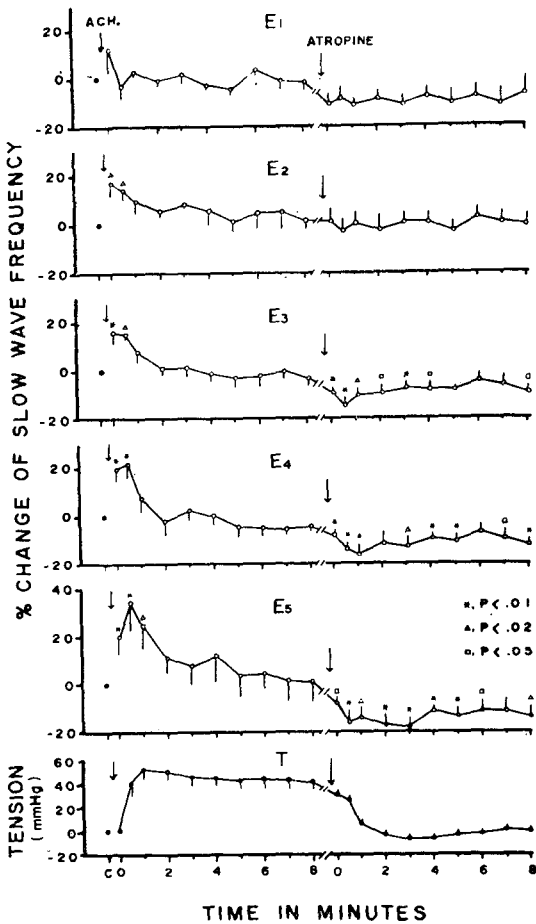


Fig. 4. Mean percent change in gastric slow wave frequency before (C) and after acetylcholine and atropine administrations observed in the cat stomach. "O" represents a slow wave interval immediately after acetylcholine or atropine administration. Vertical bars represent standard error of the mean.

였으며, 서파의 진폭이 유문부로 내려갈수록 증가함과 아울러 그 전파속도도 빨라졌다. 안정상태에서는 유문부의 수축이 일어나지 않았다(그림 2).

그림 3에 acetylcholine과 atropine을 연속으로 투여했을 때의 위전도 및 등장성 수축곡선을 도시하였으며, 투여 후 시간경과에 따른 서파 발생빈도를 표 1에 나타내었다. acetylcholine($10^{-5}M$)을 투여한 후 유문부에서 서파 다음에 2차전압(second potential)이 발생하였으며 이와 함께 근수축이 일어났다(그림 3; E₃). 서파의 발생빈도 또한 acetylcholine 투여 이전보다 빨

라졌으며 그 진폭도 커졌다(표 1 및 그림 3; E₃, E₄). 그러나 차례로 일어났던 서파의 발생순서는 acetylcholine 투여 후 10예중 7예에서 교란되어 차례로 일어나지 않게 되었다.

acetylcholine을 투여한 다음 atropine($10^{-6}M$)을 투여한 결과 acetylcholine에 의하여 발생했던 2차전압이 점차 없어졌으며 이에 따라 근수축도 사라졌다. 서파의 발생순서도 7예에서 정상으로 돌아가 차례로 발생하였다. acetylcholine 투여 후 atropine에 의하여 억제되는 서파 발생빈도의 억제율(%)과 유문부의 등장성 수축의 크기를 그림 4에 도시하였다. acetylcholine 투여 직후 일과성(1분정도)으로 서파의 발생빈도가 유의하게 증가하였다가 acetylcholine 투여 후 2분이 내에 다시 정상수준으로 되돌아 갔다. 그러나 유문부에서는 atropine에 의하여 그 빈도가 정상수준보다도 유의하게 더 감소하였다(표 1). 유문부에서 acetylcholine에 의한 등장성 수축은 서파의 빈도 증가에 곧 이어서 발생하여 acetylcholine 투여 후 1분에서 최고치에 도달하였으며 같은 수준을 계속 유지하였다. 이 수축상태가 atropine에 의하여 완전히 없어져 acetylcholine의 효과가 atropine에 의하여 완전히 차단됨을 볼 수 있었다(그림 3, 4).

고 찰

Krebs 용액내에서 고양이 위(胃)의 각 부위에서 얻은 위전도(그림 2)의 서파는 상부(위체)에서부터 차례로 하부(유문부)로 전파하였으며, 그 전파속도가 유문부로 전파하여 내려갈수록 증가하였다. 이는 Kelly 등(1969)이 개의 생체실험에서 얻은 결과와 일치한다. 이 사실은 동물에서 위장관의 서파가 시험관내에서도 생체에서와 같은 성질을 보여줄 수 있음을 의미한다.

본 실험에서 얻은 고양이의 위의 서파 발생빈도는 4.36 ± 0.22 (cpm)로 Bortoff와 Weg(1965)가 고양이 위를 사용하여 Tyrode 용액에서 얻은 빈도(4-5 cpm)와 잘 부합한다. 이러한 안정상태에서 acetylcholine($10^{-5}M$)을 가하면 서파의 발생빈도가 일과성(약 1분간)으로 증가한 다음 곧 이어 증가 현상이 없어지고 정상수준으로 되돌아 갔다. Szurszewski(1975)는 double sucrose-gap 방법을 이용하여 개의 유문부 절편에서 중주근 세포의 활동전압을 기록하였다. 즉 역치농도($3 \times 10^{-8}M$)의 acetylcholine을 가하였을 때 투여 직후 활동전압의 발생빈도가 증가하였다가 정상으로 되돌아 갔으며, acetylcholine의 농도를 역치이상($1.1 \times$

$10^{-7}M$)으로 높혀 줄 경우 활동전압 발생빈도의 증가는 더욱 현저하였다고 보고 하였다. 이러한 증가 현상은 acetylcholine 에 의한 막전압의 잠정적인 탈분극에 기인할 것이라는 그의 견해에 비추어 세포외에서 기록한 본 실험의 증가현상도 acetylcholine 에 의한 막전압의 탈분극에 의하여 일어났으리라 믿어진다.

고양이 위전도의 서파 발생빈도가 acetylcholine 에 의하여 잠정적으로 증가하였다가 정상수준으로 되돌아 갔음은 이미 언급되었다. 이와 같이 서파 빈도가 정상수준으로 되돌아간 이후에 atropine ($10^{-6}M$)에 의하여 서파빈도가 정상수준치 보다도 유의하게 감소되고, 그러한 상태가 지속함을 보았다. 이는 $10^{-6}M$ 농도의 atropine 이 위전도의 서파 발생빈도를 저하시키는 것으로 간주된다. 그러나 Szurszewski (1975, 1978)는 개의 유문부에서 얻은 근세포에 atropine ($3 \times 10^{-6}M$)을 투여함으로써 활동전압 양상에 아무런 변화를 보지 못하였으므로 atropine 은 단지 acetylcholine 의 자극효과만을 방지한다고 보고하였다. 또한 $10^{-5}M$ 의 atropine 으로서 서파가 계속 발생하는 것으로 미루어 서파는 근자체 (myogenic)에서 발생한다고 추정하였다 (Szurszewski, 1976). 한편 Wood (1972)는 시험관내에서 고양이 공장 (jejunum)에 많은 양의 atropine ($2.6 \times 10^{-4}M \sim 3.5 \times 10^{-4}M$)을 투여할 경우 서파경과 후에 가지전압 또는 활동전압이 언제나 뒤따라 발생하였으나, 서파 그 자체의 빈도에는 이렇다 할 변화가 없었다고 보고하였다. 그리하여 본 실험에서 얻은 한가지 농도 ($10^{-6}M$)의 atropine 실험만으로는 위전도에 대한 이 약물의 효과를 구체적으로 추정할 수 없는 단계이다.

그림 3과 4에서 보는 바와 같이 acetylcholine 투여 1분 후에 유문부 근수축이 최고로 도달했으며 그후 같은 수준의 수축상태를 지속하다가 atropine 에 의하여 acetylcholine 에 의한 근수축 효과가 완전히 없어졌다. 위의 평활근에 대하여 acetylcholine 을 투여하면 근 긴장도의 증가 즉 근수축이 발생하고, atropine 에 의해서 이 효과가 완전히 없어진다는 지견은 이미 여러 실험을 통하여 증명되어 있다 (Roth 들, 1979; Daniel 과 Irwin, 1968; Szurszewski, 1975; Daniel, 1965). 그리하여 이들은 acetylcholine 이 평활근 세포 또는 근육내 절후뉴론 (postganglionic intramural neuron)이 지니는 muscarinic cholinergic receptor 에 작용하여 활동전압의 흥분발사를 촉진시킴으로써 근수축을 일으킨다고 주장하고 있다. 본 실험의 그림 3(E₃)에서 서파 뒤에 나타나는 2차전압에 일치해서 근수축이 두드러졌다. 이 결과는 2차전압이 근수축 (중주근)시

항상 나타나고, acetylcholine 에 의하여 발생될 수 있으며 증강된다는 업적들 (Daniel, 1965; Papisova 들, 1968)을 뒷받침해 준다. 그러나 본 실험에서 acetylcholine 투여 기간 동안 유문부의 근수축은 지속되는데 반하여 서파의 발생빈도는 투여 직후에만 증가한 사실로 미루어 서파의 발생빈도 증가는 근 긴장도와 직접적 관계가 없는 듯 싶으며 단지 유문부 근수축을 일으키는 기전에 영향을 미치는 것 같다.

한편 위장관의 평활근에 대한 atropine 의 억제작용에도 불구하고 atropine 의 양을 증가시키면 억제보다도 오히려 자극효과가 나타난다는 보고들이 있다. Daniel (1965)은 개의 유문부에서 많은 양의 atropine 에 의하여 교감신경 우세현상 (sympathetic dominance pattern)이 나타날 수 있다고 하였으며, Bortoff 와 Muller (1975)는 고양이 소장애 대한 실험을 통하여 콜린동작성 시냅스를 경유하는 억제성 뉴론이 잠재하여 있다가 과량 ($4 \times 10^{-4}M$)의 atropine 에 의하여 콜린동작성 효과가 차단되고 억제성 뉴론이 억압되어서 반대로 근수축의 흥분효과를 발생케 한다고 보고하였다. Wood (1972)도 이와 비슷한 실험에서 같은 결과를 얻었으며 atropine 의 양을 더욱 증가시키면 근 긴장도가 더 올라가고 때 서파에 뒤따르는 가지전압도 더 증가한다고 발표하였다. 그러므로 소화관의 평활근에 대한 atropine 의 효과를 구명하기 위하여는 여러가지 농도의 atropine 을 사용한 실험이 요구될 줄로 믿는다.

결 론

콜린동작성 약물이 위전도 (electrogastrogram)에 미치는 영향을 알아보기 위하여 다음과 같은 실험을 실시하였다.

10마리의 고양이 위를 적출하여 $36^{\circ}C$ 의 Krebs 용액 내에 두고 가느다린 은선 (AgCl)이 들어있는 모세관 전극을 사용하여 단극성으로 위의 각 부위에서 위전도를 기록하였다. 이때 유문부 말단에서 등장성 수축폭선을 동시에 기록하였다. Krebs 용액에는 95% O₂와 5% CO₂를 실험기간 중 계속 공급하였다. 안정 상태에서 위전도를 그린 다음 acetylcholine ($10^{-5}M$)과 atropine ($10^{-6}M$)을 차례로 투여하여 위전도의 양상 및 유문부 근수축의 변화를 관찰하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 위 (胃)의 각 부위에서의 서파 발생빈도는 4.36 ± 0.22 (cpm)이었으며, 위체에서 발생한 서파는 차례로 유문부로 전파하였으며, 유문부로 내려갈 수록 서파의

전파속도가 증가하였다.

2. acetylcholine 투여 직후 일시적으로 서파 발생 빈도가 증가하였으며 이와 더불어 유문부 근수축이 발생하였다. 그러나 서파 발생빈도의 증가기간과 근수축 기간은 일치하지 않았다.

3. acetylcholine 투여로 발생한 유문부의 근수축은 서파뒤에 나타나는 2차전압과 일치하여 발생하였다.

4. atropine 에 의하여 acetylcholine 투여에 의한 유문부 근수축이 완전히 소실되었으며, 위전도의 서파 발생빈도도 acetylcholine 투여 이전 보다도 유의하게 감소하였으며, 이 효과는 유문부에서 더욱 현저하였다.

이상의 결과로 미루어 고양이 위에서 acetylcholine 은 위전도상의 서파의 발생빈도를 일시적으로 증가시키며, 이 증가는 유문부 근수축을 유발시키는 기전과 관련이 있는 것으로 사료된다.

REFERENEES

- Alvarez, W.G., and L.J. Mahoney: *Action currents in stomach and intestine. Am. J. Physiol.* 58: 476-493, 1922.
- Bass, P., C.F. Code, and E.H. Lambert: *Motor and electric activity of the duodenum. Am. J. Physiol.* 201:287-291, 1961.
- Bortoff, A.: *Slow potential variations of small intestine. Am. J. Physiol.* 201:203-208, 1961.
- Bortoff, A.: *Recording extracellular electrical activity. In: Methods in pharmacology. Vol. 3: Smooth muscle, edited by E.E. Daniel and D. M. Paton. New York and London: Plenum Press, 1975, p. 185-199.*
- Bortoff, A., and R. Muller: *Stimulation of intestinal smooth muscle by atropine, procaine, and tetrodotoxin. Am. J. Physiol.* 299:1609-1613, 1975.
- Bortoff, A., and N. Weg: *Transmission of electrical activity through the gastroduodenal junction. Am. J. Physiol.* 208:531-536, 1965.
- Burnstock, G., M.E. Holman, and C.L. Prosser: *Electrophysiology of smooth muscle. Physiol. Rev.* 43:482-527, 1963.
- Cooke, A.R.: *Control of gastric emptying and motility. Gastroenterology* 68:804-816, 1975.
- Daniel, E.E.: *The electrical and contractile activity of the pyloric region in dogs and the effects of drugs. Gastroenterology* 49:403-418, 1965.
- Daniel, E.E. and J. Irwin: *Electrical activity of gastric musculature. In: Handbook of physiology. Sect. 6: Alimentary canal. Vol. IV. Motility, edited by C.F. Code. Washington, D.C: Am. Physiol. Soc., 1968, p. 1969-1984.*
- El-Sharkawy, T.Y., and J. H. Szurszewski: *Modulation of canine antral circular smooth muscle by acetylcholine, noradrenaline and pentagastrin. J. Physiol. London* 279:309-320, 1978.
- Holman, M.E., C.B. Kasby, M.B. Suthers, and J. A.F. Wilson: *Some properties of the smooth muscle of rabbit portal vein. J. Physiol. London* 196:111-132, 1968.
- Kelly, K.A., C.F. Code, and L.R. Elveback: *Patterns of canine gastric electrical activity. Am. J. Physiol.* 217:461-470, 1969.
- Papasova, M.P., T. Nagai, and C.L. Prosser: *Two-component slow waves in smooth muscle of cat stomach. Am. J. Physiol.* 214:695-702, 1968.
- Roth, S.H., B. Schofield, and J.C. Yates: *Effects of atropine on secretion and motility in isolated gastric mucosa and attached muscularis externa from ferret and cat. J. Physiol. London* 292: 351-361, 1979.
- Sarna, S.K., and E.E. Daniel: *Electrical stimulation of gastric electrical control activity. Am. J. Physiol.* 225:125-131, 1973.
- Sarna, S.K., and E.E. Daniel: *Threshold curves and refractoriness properties of gastric relaxation oscillators. Am. J. Physiol.* 226:749-755, 1974.
- Szurszewski, J. H.: *Mechanism of action of pentagastrin and acetylcholine on longitudinal muscle of the canine antrum. J. Physiol. London* 252: 335-361, 1975.
- Szurszewski, J.H.: *Neural and hormonal determinants of gastric antral motility. In: Physiology of smooth muscle, edited by E. Bülbiring and M.F. Shuba, New York: Raven Press, 1976,*

—김명석 외 4인 : 자율신경계에 작용하는 약물이 위장 전기도에 미치는 영향—

p. 379-383.

Weber, J., Jr., and S. Kohatsu: *Pacemaker localization and electrical conduction patterns in canine stomach. Gastroenterology* 59:717-726, 1970.

Wood, J.D: *Excitation of intestinal muscle by atropine, tetrodotoxin, and xylocaine. Am. J. Physiol.* 222:118-125, 1972.