

박문호의 자연과학 세상

제 45차 천문우주+뇌과학

5. 활성화 전위 (발표자 : 김양겸)

* 참고문헌 : [신경과학(3판)] (Bear 외 지음/강봉균 외 옮김, 바이오메디북, 2009)

들어가며 ...

뉴런은 축삭을 따라 이동하는 전기 신호를 사용합니다.

이런 의미에서 전화선과 비슷하지만

구리 전화선은 자유 전자에 의해서 전하가 전달되고

축삭은 이온에 의해 전하가 전달된다는 점이 다릅니다.

참고로 전달되는 속도는 얼마일까요?

구리 전화선에서 빛의 속도의 반, $c/2 = 15\text{만 km/s}$

뉴런의 축삭에서 활동전위의 전달 속도는 10 m/s

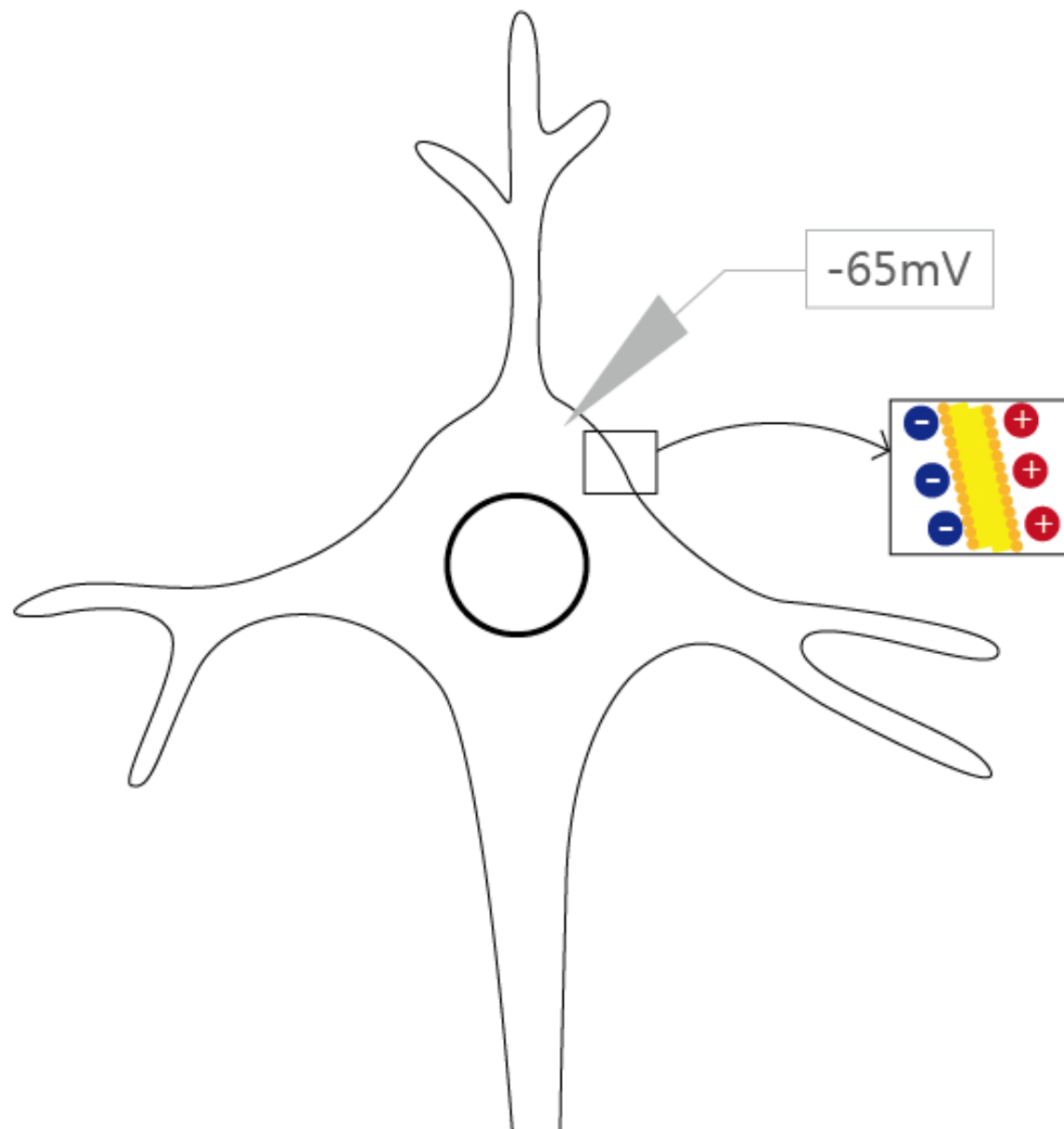


그림. 휴지막 전위 측정

들어가며 ...

신경세포가 전기 신호를 만들지 않을 때 **휴지 상태**라 하고
이 때 세포질 바깥과 비교하여 안쪽은 음의 전하를 띠고
이러한 전위차를 **휴지 막전위**라 합니다.

활동전위는 이러한 전위차가 순간적으로 역전된 것입니다.

1. 등장인물 및 배경

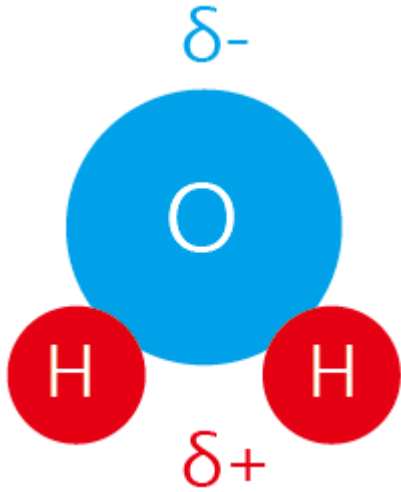


그림. 물 분자

① 물

뉴런 내부인 세포질은 대부분이 물입니다.

물의 가장 중요한 특징은

극성을 띤다는 점입니다.

산소의 전자친화도가 크기 때문에

전자가 산소 원자쪽으로 가까이 갑니다.

따라서 산소쪽이 상대적으로 (-)전하를 띠고

수소 쪽이 상대적으로 (+)전하를 띵니다.

극성을 띠기 때문에 이온을 잘 녹여줍니다.

1. 등장인물 및 배경

② 이온

전하를 갖는 원자나 분자를 말합니다.

다시 말해서, 어떤 원자나 분자의 양성자 수보다 전자의 수가 많거나 적다는 것입니다.

예를 들어, 나트륨 원자는 원자번호가 11이고

이것은 원자핵 속에 양성자가 11개 있다는 말입니다.

따라서 중성인 원자가 되려면 짝을 맞춰서 전자가 11개 있어야 합니다.

나트륨의 전자배치를 그려 보겠습니다.

1. 등장인물 및 배경

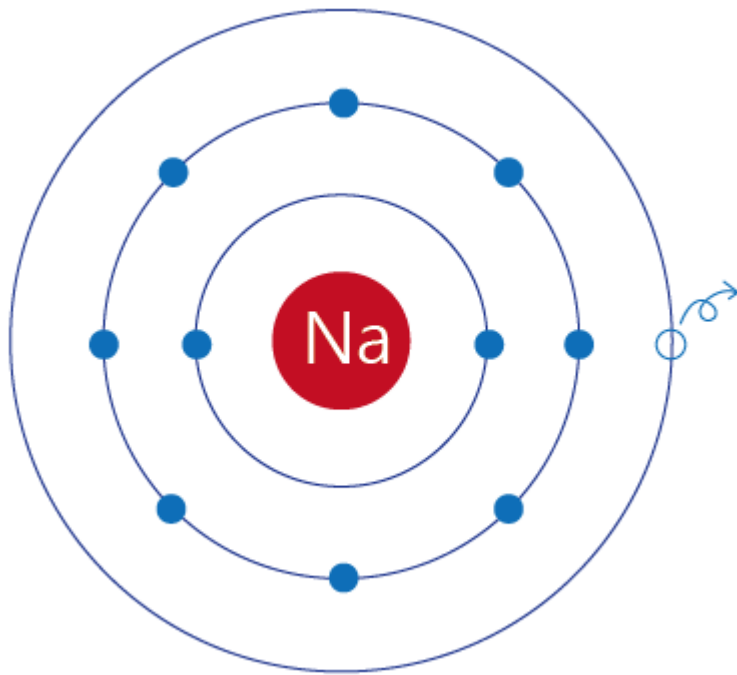


그림. 나트륨 이온

첫 번째 궤도에 두 개
두 번째 궤도에 여덟 개
세 번째 궤도에 한 개
나트륨 원자는 최외각에
전자가 하나뿐이므로
전자를 잃고 이온이 되기 쉽습니다.
전자를 잃고 전자가 10개가 되면
양이온이 됩니다.
이처럼 양전하를 띠면 양이온,
음전하를 띠면 음이온이라 합니다.

1. 등장인물 및 배경



그림. 인지질

③ 인지질 이중막

세포막의 구성요소는 인지질입니다.

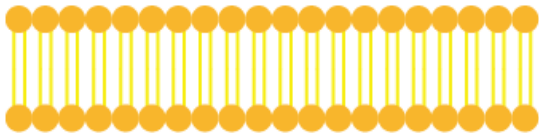


그림. 인지질 이중막

물과 친한 머리가 바깥을 향하고

물을 싫어하는 꼬리는 안쪽을 향합니다.

이러한 구조를 인지질 이중막 이라하고

세포의 안과 밖을 효과적으로 격리해줍니다.

1. 등장인물 및 배경

④ 이온 채널

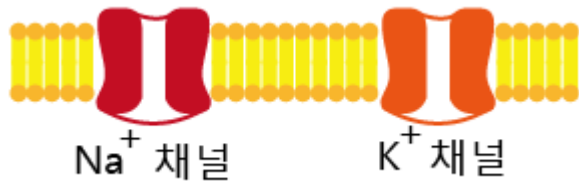


그림. 이온 채널

막을 관통하는 단백질로 구성되고
종류에 따라 통과시킬 수 있는
이온이 다릅니다.

Na+채널은 Na+만 통과시키고
K+채널은 K+만 통과시킵니다.

2. 이온의 이동

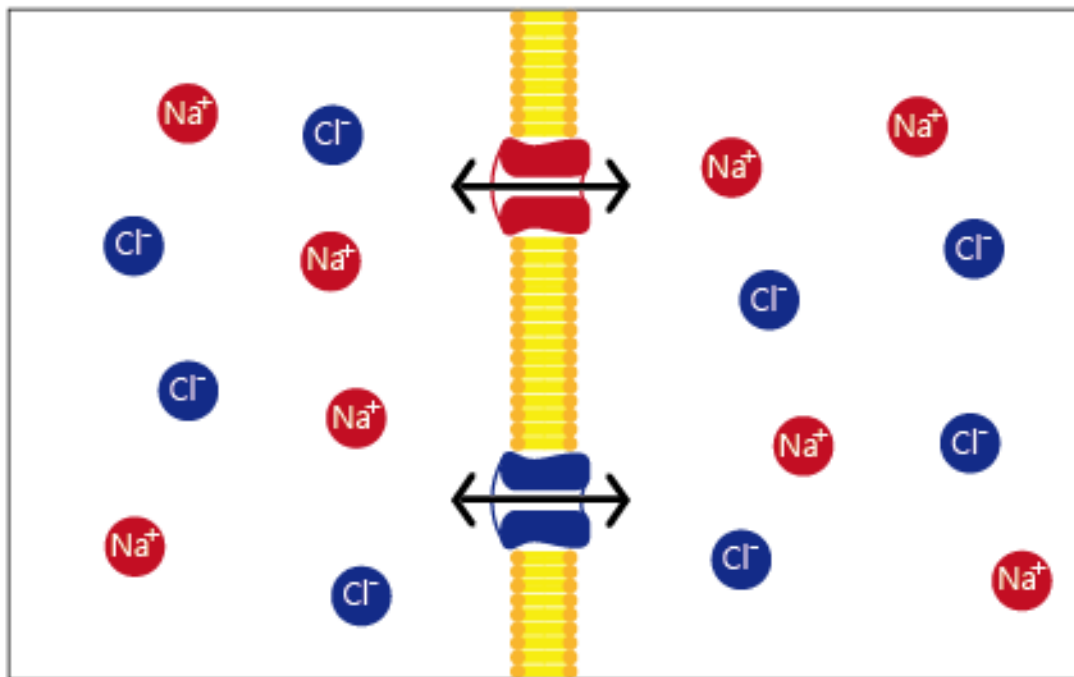
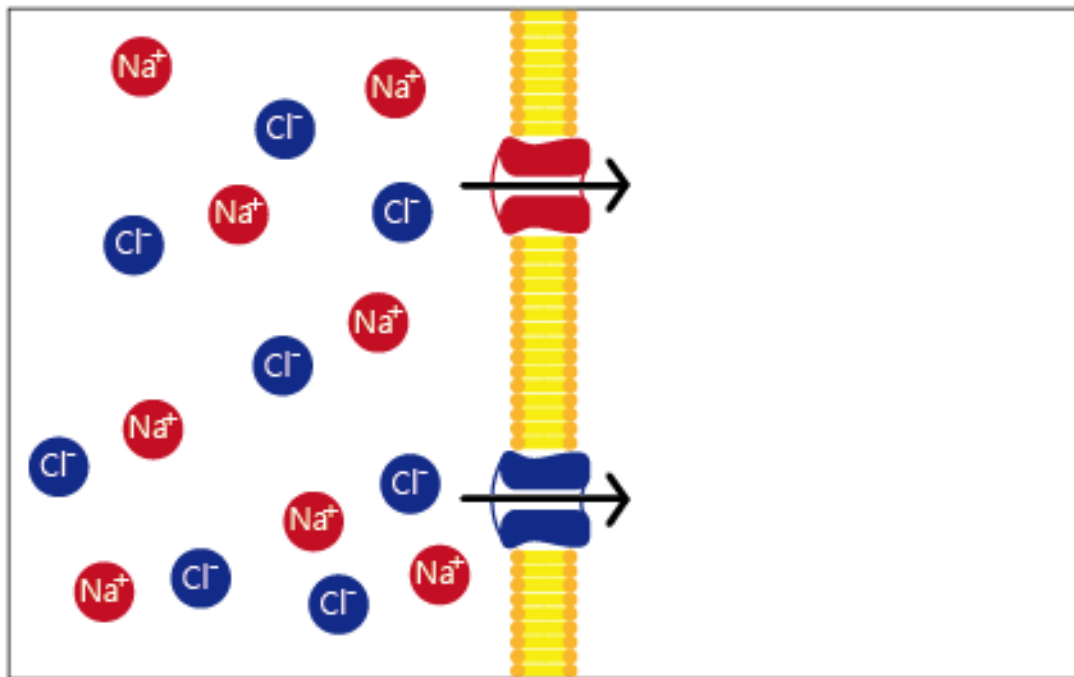
① 확산

이온들은 농도가 높은 쪽에서
농도가 낮은 쪽으로 이동합니다.

예를 들어 다음과 같이 소금물 수용액을 한쪽에만 넣어둔다면
막의 양쪽 농도가 같아질 때까지 통과합니다.

농도의 차이를 농도 기울기라 하고

이온들은 이 농도기울기를 따라 이동합니다.



2. 이온의 이동

② 전기장

수용액에서 이온들을 이동시키기 위해서는
확산 이외에 전기장을 이용하는 방법이 있습니다.

예를 들어 소금이 녹아있는 수용액에
건전지의 양극을 달아보겠습니다.

반대 전하는 서로 끌리게 되어 있으므로
 Na^+ 는 음극으로 이동하고 Cl^- 은 양극으로 이동합니다.

따라서 전기적으로 막을 통과하려면

이온채널과 막을 가로지르는 **전위차**가 있어야 합니다.

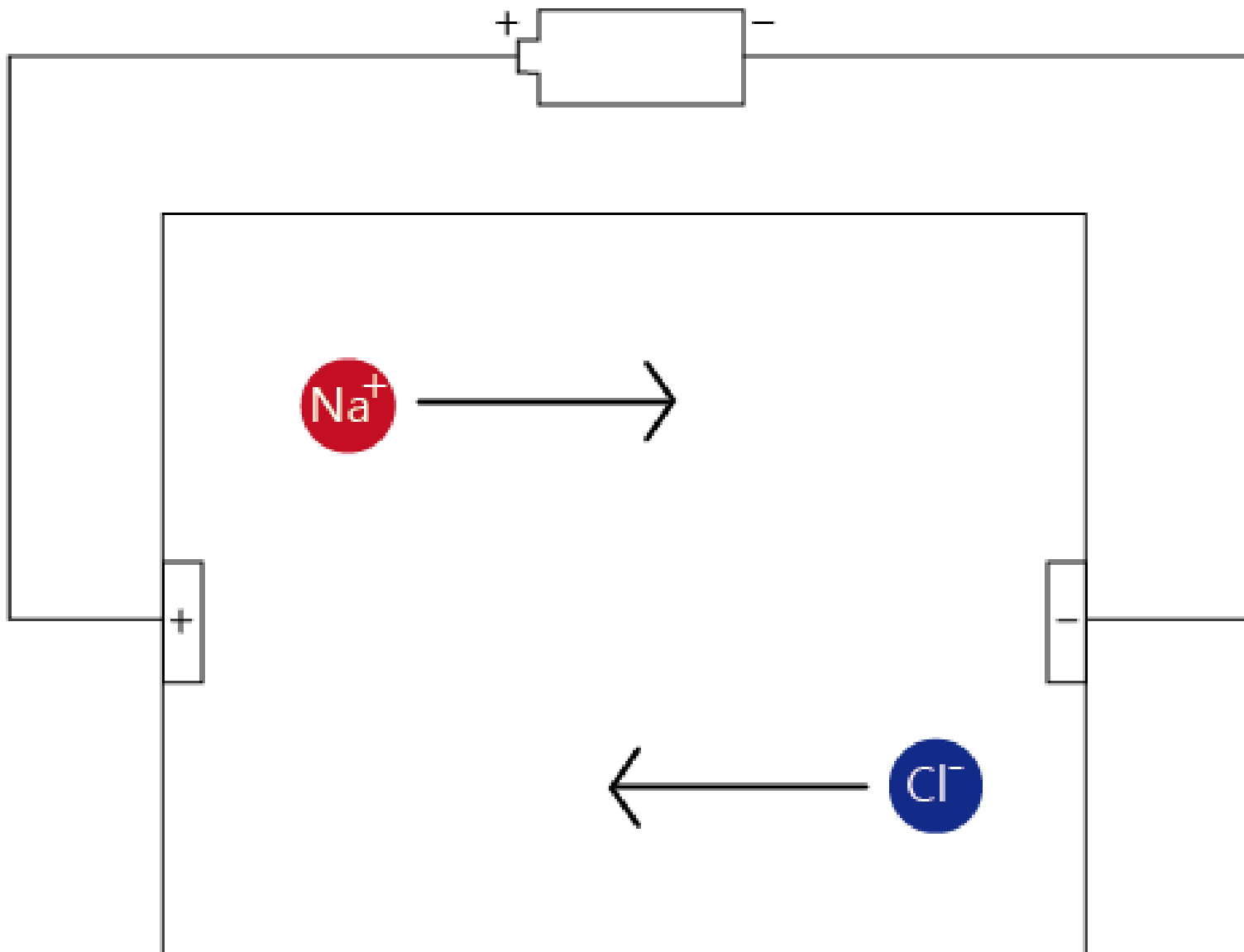


그림. 전기장이 가해진 소금물 수용액

3. 휴지 막전위

뉴런 안쪽은 바깥에 비해 -65mV 의 전위차를 보입니다.

이같은 전위차는 세포막 양쪽 전하의 불균등한 분포 때문입니다.

뉴런의 막전위는 세포막 안팎의 이온 농도에 의해 결정됩니다.

중요한 점은 K^+ 은 세포 안에 고농도로 존재하고

Na^+ 은 세포 밖에 고농도로 존재한다는 것입니다.

농도 기울기는 세포막의 이온 펌프가 작동하여 만들어 줍니다.

3. 휴지 막전위

어떤 이온 한 가지만 있을 때, 평형전위는 다음과 같습니다.

* Nernst 공식

$$E_{ion} = \frac{RT}{zF} \ln \frac{[ion]_{out}}{[ion]_{in}}$$

R: 기체상수

T: 절대온도

z: 이온의 전하

F: 패러데이 상수

[ion]: 이온 농도

만약 뉴런이 K⁺만 투과시키면 휴지 전위는 -80mV입니다.

하지만, K⁺ 뿐만 아니라 Na⁺도 투과하기 때문에

상대투과도를 고려해줘야 합니다.

3. 휴지 막전위

* Goldman 공식

$$V_m = 61.54 \log \frac{P_K [K^+]_o + P_{Na} [Na^+]_o}{P_K [K^+]_i + P_{Na} [Na^+]_i}$$

P_K 와 P_{Na} 는 상대투과도를 나타냅니다.

K^+ 의 상대투과도가 Na^+ 의 투과도보다 40배 크다면

$$V_m = 61.54 \log \frac{40 * 5 + 150}{40 * 100 + 15} = -65.21$$

3. 휴지 막전위

* 정리

1. Na-K 펌프는 세포막을 가로질러
농도 기울기를 생성하고 유지한다.
2. 세포막을 가로질러 형성된 전위차는
뇌를 작동시키는 건전지다.

4. 활동전위

평상시 뉴런의 세포질은 세포밖에 비해 음전하를 띠고 있습니다.

활동 전위란 이러한 상황이 역전되어

세포막 안쪽의 전하가 순간적으로 양전하를 띠는 것입니다.

어떤 한 지점에 전극을 꼽아두고

활동전위를 기록한 그래프입니다.

뉴런의 세포막이 휴지기에 있을 때는

- 65mV의 일정한 전위차를 기록합니다.

4. 활동전위

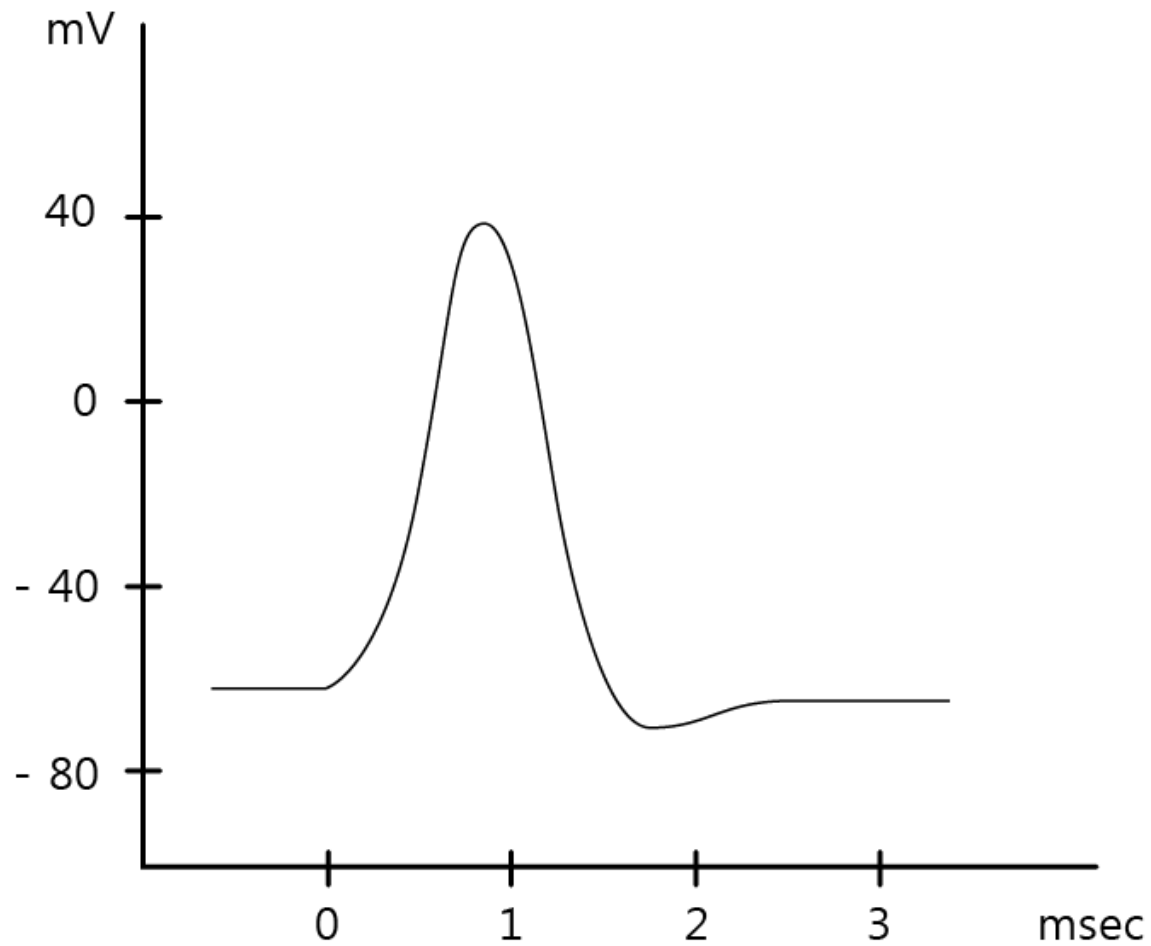


그림. 활동전위

4. 활동전위

하나의 예를 들어보겠습니다.

불쌍하게도 어떤 사람이 압정을 밟습니다.

- ① 압정을 밟는다.
- ② 피부 내의 신경다발의 세포막이 늘어난다.
- ③ Na^+ 투과성 채널이 열린다.

Na^+ 의 유입은 세포막을 탈분극,
다시 말해서 전위차를 올려줍니다.

4. 활동전위

이것을 기동전위(generator potential)이라 합니다.

이 기동전위가 일정수준을 넘어야

활동전위를 발생시킬 수 있습니다.

넘어야 할 특정수준의 전위를 역치(threshold)라 합니다.

쉽게 말하면, 문턱을 넘어야 활동전위가 발생한다는 것입니다.

