

개군소 복부신경절에 있는 신경세포의 온도변화에 따른 세포막 비전도도의 특성 변화에 대한 연구*

현광범*, 현남규

*제주과학고등학교

제주대학교 자연과학대학 물리학과

초 록

이 논문에서는 군소의 복부 신경절 내에 있는 신경세포에 주기적인 열 변화 자극을 주었을 때 세포막의 평균 비전도도가 어떻게 변화하는 지에 대하여 기술하였다. 3일간 기록한 데이터들을 분석해 본 결과 세포막의 평균 비전도도는 온도가 증가함에 따라 선형으로 증가함을 알 수 있었다.

I. 서 론

신경계를 갖고 있는 동물들은 종에 따라 유전적으로 결정된 고유의 특이한 행동들을 보여준다. 그러나 한 개체의 행동이 무척 다양할 수 있는 것은 유전적으로 결정된 행동 외에도 환경의 영향을 받아 새로이 창조되는 행동이 있기 때문이다. 그런데 이러한 환경 중에서 생물체에 많은 영향을 미치고 있으면서 정량적으로 접근이 가능한 중요한 자극으로서 온도를 생각해 볼 필요가 있다.

사람의 경우 체온은 대체로 $37\pm 1^\circ\text{C}$ 에서 일정하나, 체온의 상한은 $44\sim 45^\circ\text{C}$ 이며, 그 하한은 33°C 인데, 이 이하의 온도에서는 의식을 상실한다. 사람이 생활하는 주위 환경

의 온도는 영하 수 십도에서 영상 50°C 가 넘는 범위에 있으나 체온이 일정하게 유지되는 기전으로는 크게 두 가지를 들 수 있다. (1) 의식적 행동을 통한 체온 유지 기전으로서 동물은 따뜻한 곳을 찾아다니거나 옷을 입는 것 등을 예로 들 수 있다. (2) 추위나 더위에 대하여 불수의적으로 일어나는 신체 반응을 통한 생리학적 조절기전이다. 추울 때에는 근육을 수축하여 덜덜 떨게 하고 대사촉진 호르몬 분비를 촉진시켜 열 생산을 증가하거나, 피부 혈관을 축소하고 몸을 움크려서 체 표면을 줄임으로써 체열 손실을 억제하여 체온을 조절한다. 그리고 더울 때에는 근육의 긴장을 해소시키고 대사 촉진 호르몬 분비를 억제시키는 등으로 열 생산을

* 이 논문은 2007 제4회 KSEF(대한민국과학기술경진대회)에 제출하였던 논문의 일부분을 수정 보완하여 작성한 것이다.

감소하게 하고, 피부 혈관을 확장 하거나 땀을 흘림으로써 체열 손실을 증가시켜 체온을 조절한다.[1] 이러한 체온 조절의 기전에 대한 예를 들면 다음과 같다. 뇌의 시상하부의 온도 조절기의 앞쪽 부분에 위치하는 온도에 매우 민감한 뉴런들 중 어떤 것은 시상하부의 온도가 증가하면 활동전위의 발화진동수가 증가하는데 이 뉴런은 혈관 확장과 땀을 흘리는 것과 같은 열을 방출하는 반응을 자극한다고 생각되고 있다. 또 다른 뉴런은 시상하부의 온도가 어떤 온도 아래로 떨어질 때 발화진동수가 증가한다. 이 뉴런은 열 생산 반응(근육 떨림 등)과 열 보존반응을 자극 하는 것으로 알려 졌다.[2] 이처럼 사람의 체온은 사람의 생존 활동에 있어서 매우 중요한 역할을 하고 있으나, 냉각과 온각을 느끼게 하는 세포나 분자 수준의 기작에 대해서는 아직 잘 모르고 있다.

포유류나 조류와는 달리 변온동물은 체온과 외계와의 온열 교환이 신속하며, 한때 외계의 환경 온도 보다 몇 도 높아졌다가도 근육 운동이 끝나면 금방 열을 잃어버리고 대략 환경 온도와 같아진다. 만약 외부 온도가 내려가면 변온동물은 활발성이 떨어지게 되며 마침내는 정상적인 활동을 못하게 된다. 물고기는 수온에 아주 예민하나, 0~35°C까지도 서서히 변하는 수온은 적응해 내지만, 갑작스러운 수온 변화는 2~3°C에서도 자극을 받는다. 특히 10°C정도의 갑작스런 온도 변화에는 물고기들이 쇼크사 할 수도 있다. 그리고 수온에 의해서 발생하는 물리적 스트레스에 의해 성장, 번식, 대사, 삼투압 조절, 면역 등 물고기의 생리적 변화도 유발시킨다. 따라서 온도 변화에 따른 생체의 반응을 세포 수준에서 연구할 필요가

있다.

다양한 종류의 생물에 높거나 낮은 열을 가했을 때 신경세포 기능에 두드러진 변화가 생겨난다는 것은 학자들에게 널리 알려진 사실이다.[3] 호취킨과 카츠는 오징어 거대축삭을 가지고 열반응 실험을 했으며,[4] 달톤과 헨드릭은 바닷가재 거대축삭으로,[5] 스티폰즈 등은 게로,[6] 버로우즈는 메뚜기로 열반응 실험을 했고,[7] 카펜터는 바다 달팽이의 한 종인 군소를 가지고 열반응 실험을 했다.[8] 하지만 지금까지 군소 세포 열변화와 열반응 결과물에 관한 논문들은 많지 않다.

한국의 해안가에서 쉽게 채취할 수 있는 군소는 1940년 이래로 생리학적 기능에 관한 연구의 대상으로 사용되어 왔다. 군소가 신경생물학 연구의 좋은 재료가 되고 있는 이유들 중에 이 연구와 관련지을 수 있는 것으로는 세 가지를 꼽을 수 있다. (1) 뉴런의 크기가 다른 동물의 경우보다 매우 크다(뉴런 세포체의 크기는 직경이 40~1000 μm 이다). (2) 뉴런 세포체의 신경절 위치가 독특하고 모양 및 크기가 대체적으로 일정하므로 각 뉴런들을 동정(identify) 하기가 쉬우며, 뉴런의 전기 생리학적 특성이 독특함으로 동정된 뉴런과 동물의 생리현상을 연결지어 연구하는 것이 가능하다. (3) 군소의 신경계는 10여개의 신경절(ganglion)들의 신경섬유를 통해 연결된 단순한 구조로 되어 있으며, 신경계를 구성하는 전체 뉴런의 수도 20,000여개 뿐이다.[9] 그런데 군소 뉴런의 전기생리학적 특성이 독특하게 나타나서 그 동안 학습과 기억에 관한 생물학적 연구에 많이 사용되어 왔으나, 열감수성, 열수용성, 열쇼크 단백질생성 및 호르몬 반응 메커니즘 연구에 일조를

가할 수 있는 방향으로 열반응 실험 연구도 진행되고 있다. 즉 군소 복부신경절 신경세포에 열 변화라는 자극을 주고 활동전위 변화를 측정해서 이 결과물을 동물전체 신경세포 기능과 서로 관련시키는 것이 가능할 수도 있다.[10] 군소의 복부신경절에 있는 세포는 온도를 달리했을 때, 세포막전위와 발화진동수 특징들의 변화를 일으킨다는 것은 잘 알려진 사실이다.[11] 군소의 복부신경절에 있는 세포에 열변화를 주어서 온도변화에 따른 발화형태와 비전도도의 변화연구는 냉각과 온각을 느끼게 하는 세포 메커니즘의 세계를 이해하기 위한 첫 단계라고 할 수 있다.

이 논문에서는 군소 복부신경절에 있는 특정한 신경세포에 열 변화라는 물리적인 자극을 가한 다음, 그 신경세포에서 나오는 활동전위와 활동전위 발생 당시 신경 세포가 들어 있는 배양액의 온도 값들을 한꺼번에 연속적으로 컴퓨터에 기록하는 실험을 한다. 그리고 그 실험데이터들을 컴퓨터가 읽은 다음 적절한 물리량들의 온도에 따른 변화 값들을 계산하여 하드에 저장한 데이터들을 분석함으로써, 군소의 신경세포막의 비전도가 온도에 따라서 그 특성이 어떻게 변화하는지를 기술하는 것을 이 논문의 목적으로 한다.

II. 재료 및 실험 방법

실험동물과 해부

제주 해안가에서 해너들이 채취한 군소들을 실험실에 있는 500 cc 수조에서 온도를 17

℃로 유지하는 상태에서 키우다가 그것들을 실험에 사용했다. 체중이 252 g인 개군소를 해부하여 군소의 체중의 반 정도의 0.38M MgCl₂를 주사하여 군소를 마취시킨 다음에 복부 신경절을 가위로 잘 잘라내서 8 mg/mL의 단백질 분해효소(type LX)를 포함하는 배양액(L-15와 인조해수(ASW)가 1:1 임) 속에 넣어 34 ℃의 항온 순환기(HANBACK CO., Model HB-103 MP) 속에 1시간 정도 담구어 두었다가 꺼내서 인조해수로 잘 씻은 다음 배양기 속에 10 시간 정도 두었다. 그 다음에 배양 접시(50mm×9mm)에 복부 신경절을 옮겨 놓고 말랑말랑한 물질(실가드 판)이 깔린 배양접시위에 미세핀으로 단단하게 고정시켰다. 그 다음에 해부현미경을 사용하여 미세 가위로 복부신경절의 껍질을 잘 벗겨내었다.[12] 이 껍질을 잘 벗겨내려면 집중력과 세밀한 작업을 필요로 해서 공을 많이 들여야 한다.

전기생리화학적 측정과 데이터 획득

미세유리관(Glass Thin Wall, 1.0 mm. TW100F-4, World Precision Instruments, Inc.)을 미세전극 제작기(Shutter Instrument Co.; Model P-87)에 넣어서 미세전극을 제작한다. 이 때 전극의 구멍의 크기를 알맞게 잘 제작하지 않으면(전극의 임피던스의 크기는 10~20 MΩ이 적당하다) 측정이 잘 되지 않기 때문에 세심한 주의가 필요하다. 그리고 플라스틱 주사기의 주사 바늘이 연결되는 지점에 있는 뾰족하게 나온 부위에 열을 가하여 핀셋으로 집어서 당기면 지름이 1 mm 이하인 미세 구멍이 뚫린 실 같이 가는 관이 만들어 진다. 이것을 미세 유리관의 구멍 속

으로 집어넣어서 미세 전극 속에 기포가 발생하지 않게 3M KCl을 채워 넣는다. 증폭기(A-M Systems, Inc., Model 1600), 디지털 오실로스코프(Agilent, Model 54622A), 그리고 미세 조작기(MMN-330)를 적절하게 사용하면 막전위를 측정할 수 있다. 그러나 활동전위의 측정값을 얻는 시점의 군소 복부 신경절이 담겨 있는 배양액의 온도도 동시에 측정하여 두 개의 값들을 디지털로 함께 컴퓨터에 저장시키려면 데이터 획득용 카드(DAQ card : National Instruments, Model SCB-68)와 컴퓨터(노트북 컴퓨터 : 삼성 MODEL SEMS 830)도 필요하다. 활동전위에 대한 측정값을 얻을 목적으로 군소 복부 신경절의 세포 속에 찢러 넣는 전극과 연결된 증폭기에서 나온 선은 데이터 획득 장치의 채널1에 연결시킨다.

그리고 온도를 올렸다가 다시 내리기를 반복시키기 위해서 열전소자(ACETEC CO., PART NO HMN 3840)를 사용하였다. 자동 온도 조절장치(자체 제작함)를 사용하여 상온에서 30 °C 정도까지 배양액의 온도를 일정하게 올렸다가 다시 10 °C 정도까지 온도를 일정하게 내리고, 다시 30 °C까지 온도를 올리는 실험을 반복시행 하였다. Pt100 열전대를 디지털 온도계((TOHO, Model TRM-006)에 연결하고 이것을 다시 데이터 획득 장치의 채널 2에 연결시키면 온도 측정값을 디지털로 얻을 수 있다.

활동전위는 매우 짧은 시간 동안에 발생했다가 사라지므로 1초에 3000개의 데이터를 얻는 속도로 랩뷰(Labview) 프로그램을 사용하면 활동전위의 신호가 일그러지지 않은 모습으로 컴퓨터에 재현시킬 수가 있다. 그러면 1분 동안에 18만 쌍의 온도 값과 활동 전

위 값들을 하드에 저장시킬 수 있는데 이 데이터들은 각각 독립된 파일 이름으로 연속적으로 1번부터 지정한 번호까지 차례차례 컴퓨터에 자동적으로 기록되며, 10시간 정도 이 데이터들을 컴퓨터에 저장시키면 그 용량이 약 3.2 GB 정도가 된다. 따라서 30시간 이상 연속적으로 데이터를 저장한 경우에는 한번 실험에서 얻는 데이터의 양은 약 10 GB 정도의 매우 많은 양이 된다. 이 데이터들로부터 여러 가지 형태의 전기 신호들이 분석되었다.[13]

III. 이론 및 결과 분석

이론

세포막을 가로질러 전류를 보내주면 막전위는 시간이 지나면 휴지값에서 점근값으로 변하는데, 막전위의 변위값(ΔV_m)은 걸어준 전류의 크기(ΔI)와 전류가 세포막을 가로질러 지나갈 때 마주치게 되는 전도도(g)에 따라 달라진다. 즉,

$$\Delta V_m = \frac{\Delta I}{g} \quad (1)$$

이다. 여기서 전기전도 g (단위 : S)는 저항 R 의 역수이며 $g=1/R$ 이다. 그런데 다른 조건이 같은 경우 큰 세포는 작은 세포에 비해서 입력 저항이 작다. 이런 현상은 큰 세포의 막 부위가 더 넓으므로 더 많은 이온채널을 가지기 때문에 비롯된다. 어떤 세포의 입력저항 R 은 막의 넓이 A 와 막의 비저항 R_m 에 따라 달라진다. 그리고 막의 비저항

의 역수가 막의 비전도도이며 단위는 S/cm²이다.

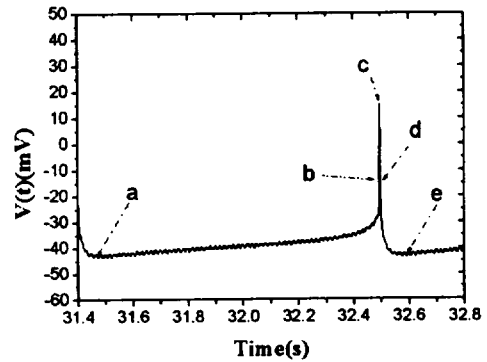
열 변화 자극에 대한 막의 비전도도의 특성 변화 분석

이 논문 연구를 위하여 사용한 개군소 (*Aplysia juliana*)를 해부하여 2007년 1월 8일부터 온도 변화 자극에 따른 활동전위의 변화와 온도에 대한 값들을 3475분 동안 컴퓨터에 동시에 기록한 다음 컴퓨터 프로그램을 사용하여 막의 비전도도를 계산하였다. 자세하게 말하면, 오랜 시간 동안 활동전위를 측정하여 하드디스크에 연속적으로 저장된 파일의 용량은 대단히 크기 때문에 파일에 저장된 신호의 내용을 직접 파악하기는 매우 어렵다. 즉 1분 간격으로 저장된 파일 하나 하나를 일일이 Origin과 같은 프로그램으로 분석하는 것은 시간이 매우 많이 걸릴 뿐만 아니라 그 신호 하나하나를 정량적으로 분석하는 것은 매우 어렵다. 따라서 이러한 목적을 위해서 C++로 작성한 신호분석 프로그램을 사용하면 파일에 저장된 신호의 내용을 쉽게 파악 할 수 있게 했다.

A. 온도에 따른 구간별 막의 비전도도 변화

막의 비전도의 온도에 따른 특성을 기술하기 전에 활동전위를 네 구간으로 나누어서 설명하는 다음 <그림 1>을 먼저 고찰하자. 그림 1의 a와 b 사이의 간격은 활동 전위의 발생 초기 구간(Lower Left), b와 c사이의 간격은 두 번째 구간(Upper Left), c와 d사이의 간격은 세 번째 구간(Upper Right)이며, d와 e 사이의 간격(Lower Right)은 네 번째

구간이라고 이름을 붙인다.



<그림 1> a와 e는 활동전위 극소 값이 나타나는 위치이며, b와 d는 활동전위 극대 값과 극소 값의 평균값에 해당하는 활동 전위의 위치들이고, c는 활동 전위의 극대 값이다.

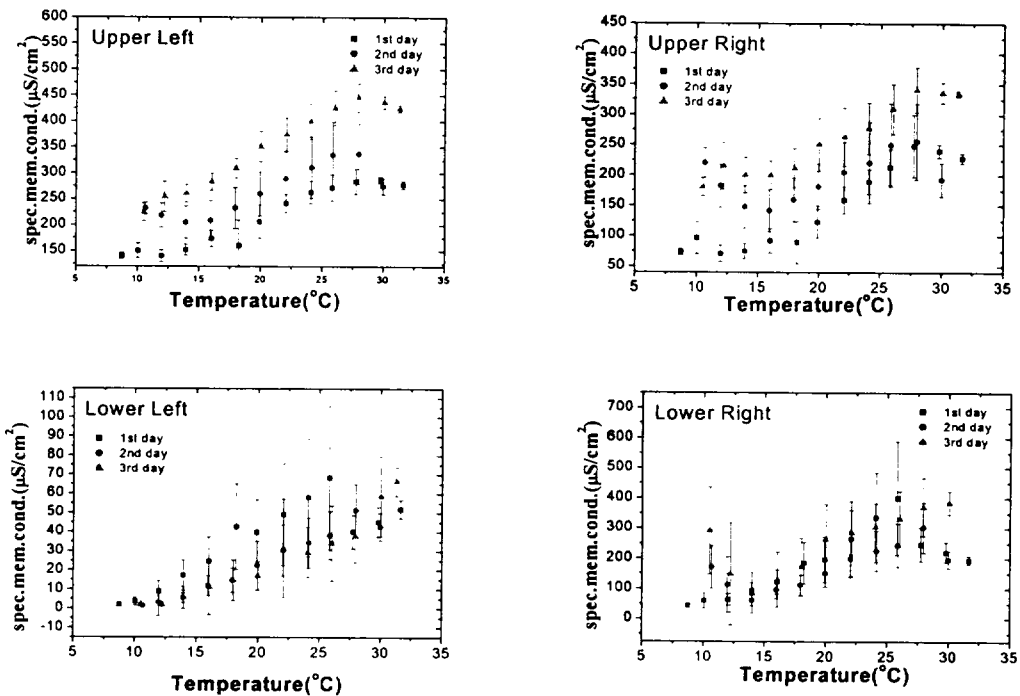
그리고 <그림 2>는 상온에서 beating 하는 개군소 복부신경절에 있는 한 세포에 열 변화 자극을 주었을 때 한 활동전위의 네 개의 구간별로 막의 비전도도가 온도에 따라 어떻게 변화하는지를 보여준다. <그림 2>의 왼쪽 아래에 있는 Lower Left는 활동전위의 휴지 상태에서 발화 초기까지의 기간에 해당하는데, 비전도도의 값은 다른 세 개의 기간의 값들에 비해 상대적으로 제일 작다. 12℃에서 26℃사이에는 첫째 날보다 둘째 날이, 둘째 날보다 셋째 날이 비전도도 값이 점점 작아지고 있다. <그림 2>의 왼쪽 위에 있는 Upper Left는 활동 전위의 극대 값과 극소 값의 중간 값에 해당하는 활동 전위 지점에서부터 활동전위 극대 값에 이르기까지의 기간에 해당한다. 이 기간에서의 비전도도 값은 다른 네 기간의 경우보다도 값이 제일 크다. 첫째 날보다 둘째 날이, 둘째 날보다 셋째 날의 비전도도 값은 점점 커지고 있다. <

그림 2>의 오른쪽 위에 있는 **Upper Right**는 활동 전위의 극대 값에서부터 peak to peak 값의 1/2지점에 이르는 활동 전위 값까지 이르는 기간에 해당한다. 첫째 날보다 둘째 날이, 둘째 날보다 셋째 날이 비전도도가 점점 커지고 있다. <그림 2>의 오른쪽 아래에 있는 **Lower Right**는 peak to peak 값의 1/2 지점인 활동전위 값에서부터 활동전위의 극소 값에 이르는 기간에 해당한다. 고온에서는 비전도도가 다소 감소하고 있고 13 °C 이전에는 둘째 날과 셋째 날의 비전도도가

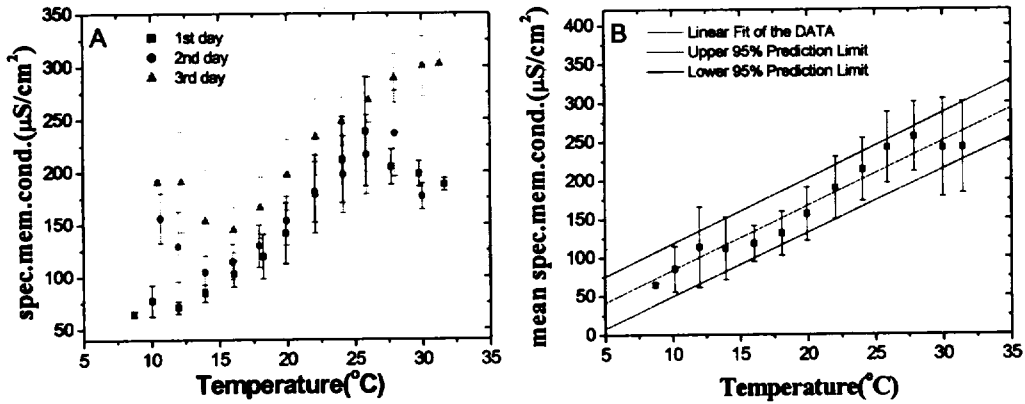
다소 감소하고 있다.

B. 온도에 따른 막의 평균 비전도도의 변화

<그림 3>은 개군소 복부신경절의 한 신경 세포에 대하여 열 변화 자극을 주었을 때에 막의 평균 비전도도의 온도에 대한 그림들이다. <그림 3A>에서 보여주고 있듯이 첫째 날은 막의 비전도도가 26 °C 까지는 증가하다가 그 보다 높은 온도에서는 다소 감소한다. 둘째 날은 14 °C 까지는 감소하다가 점점



<그림 2> 이 그림들은 개군소 복부신경절에 있는 세포의 막의 비전도도의 온도에 따른 변화를 보여준다. 네 가지 모든 경우에 온도가 올라감에 따라서 비전도도가 증가함을 볼 수 있다. **Lower Left**는 비전도도의 값이 다른 기간의 값들에 비해 작다. **Upper Left**는 활동전위가 발생한 직후부터 활동 전위 값이 극대 값에 이르기까지의 기간에 해당한다. 이 구간에서의 비전도도 값은 다른 네 구간보다도 제일 크다. **Upper Right**는 활동 전위의 극대 값에서부터 진폭의 1/2지점에 이르는 기간에 해당한다. **Lower Right**는 진폭의 1/2 지점에서부터 극소 값에 이르는 기간에 해당한다.



<그림 3> 이 그림은 개군소 복부신경절에 있는 한 신경세포의 막의 평균 비전도도에 대한 그림이다. A는 날짜별로 평균한 결과이며, B는 전체 데이터에 대한 막의 평균 비전도도를 나타낸다. 온도에 따라서 막의 비전도도는 선형으로 증가한다고 볼 수 있다. 그림 가운데의 직선은 모든 데이터를 직선으로 fitting 한 것이며 양 옆의 직선은 95%의 데이터 예측치의 범위를 나타낸다.

증가하고 26 $^{\circ}\text{C}$ 보다 높은 온도에서는 다시 감소한다. 셋째 날은 15 $^{\circ}\text{C}$ 이전까지는 비전도도가 점차 감소하다가 그 이후로는 점점 증가한다. <그림 3B>는 <그림 3A>의 전체 데이터에 대한 막의 평균 비전도도를 나타낸다. 온도에 따라서 막의 비전도도는 선형으로 증가한다고 볼 수 있다. 그림 가운데의 직선은 이 데이터들을 직선으로 fitting 한 것이며, 그 직선의 양 옆의 직선들은 95%의 데이터 예측치의 범위를 나타내고 있다.

IV. 결 론

이 논문에서는 군소신경세포에 온도변화를 주었을 때 세포막의 비전도도가 어떻게 달라지는지를 고찰했다. 군소는 개군소를

이용했으며 이를 해부하여 복부 신경절을 분리해내 약 1시간정도의 단백질 분해효소 처리를 하고 신경절의 막을 얇게 한 후 미세가위와 핀을 써서 미세전극을 신경세포에 쉽게 꽂을 수 있게 막을 제거 하였다. 막을 제거하는데 신경세포에 손상을 줄 수 있으므로 특히 주의해서 해야 했다. 개군소의 복부 신경절에서의 신경세포 각각에 전극을 꽂을 때 그 세포의 고유의 발화 형태(firing pattern)를 오실로스코프를 통하여 볼 수 있었다. 구간별 막의 비전도도는 제2구간(Upper Left)에서 가장 컸으며 제1구간(Lower Left)에서 가장 작았다. 대체로 각 구간 마다 온도가 올라감에 따라서 막의 비전도도는 증가 하였다. 막의 평균 비전도도는 온도가 올라가면 증가 했는데 선형으로 fitting 할 수 있었으며 시간이 지나감에 따라 대체로 증가 하였다.

V. 참고문헌

- [1] 성호경 외 5인, 생리학, 의학문화사, 1989, pp.313-314.
- [2] 김학열 외 8인, 동물 생리학, 정문각, 1996, pp.471-473.
- [3] S. D. Fletcher, and J. L. Ram, "High temperature induces reversible silence in *Aplysia* R15 pacemaker neuron", *Comp. Biochem. Physiol.* Vol.98A, No.3/4, pp.399-405, 1991.
- [4] A. L. Hodgkin, and B. Katz, "The effect of temperature on the electrical activity of the giant axon of the squid", *J. Physiol.*, Vol.109, pp.240-249, 1949.
- [5] J. C. Dalton, and D. E. Hendrix, "Effects of temperature on membrane potentials of lobster giant axon", *Am. J. Physiol.*, Vol.202, pp.491-494, 1962.
- [6] P. J. Stephens et al., "Effects of ethanol and temperature on a crab axonaction potentials: a possible mechanism for peripheral spike generation", *J. Exp. Biol.*, Vol.103, pp.289-301, 1983.
- [7] M. Burrows, "Effects of temperature on a central synapse between identified motor neurons in locust", *J. Comp. Physiol. A*, Vol.165, pp.687-695, 1989.
- [8] Carpenter D. O., "Temperature Effects on Pacemaker Generation, Membrane Potential, and Critical Firing Threshold in *Aplysia* Neurons", *The Journal of General Physiology*, Vol.50, pp.1469-1484. 1967.
- [9] 박병환 외 10인, 기억, 하나의학사, 2001, pp.215-218.
- [10] S. Moffet, and H. Wachtel, "Correlations between temperature effects on behavior in *Aplysia* and firing patterns of identified neurons", *Mar. Behavioral Physiol.*, Vol.4, pp.61-74, 1976.
- [11] R. W. Murray, "The effect of Temperature on the Membrane Properties of Neurons in the Visceral Ganglion of *Aplysia*", *Comp. Biochem. Physiol.*, Vol. 18, pp.291-303, 1966; S. D. Fletcher, and J. L. Ram, "High Temperature Induces Reversible Silence in *Aplysia* R15 bursting pacemaker neuron", *Comp. Biochem. Physiol.- A Physiol.*, Vol.98, pp.399-405, 1991.
- [12] C.-S. Lim, D. Y. Chung, and B.-K. Kaang, "Partial Anatomical and Physiological Characterization and Dissociated Cell Culture of the Nervous System of the Marine Mollusc *Aplysia kurodai*", *Mol. Cells*. Vol.7, pp.399-407, 1997.
- [13] N. G. Hyun, and K. H. Hyun K., "Temperature Dependency of the Maximum Calcium Conductance in *Aplysia* Neurons", *IFMBE Proceedings*, Vol.11, pp.4350-4355, EMBEC05, Prague, Czech Republic, 2005. 11.; N. G. Hyun, K. H. Hyun, K. B. Hyun, and Y. S. Kang, "Analysis on how action potentials of cells in *Aplysia juliana*'s and *Aplysia kurodai*'s abdominal ganglia change according to temperature", *IFMBE Proceedings* 14:

pp.1091-1094, WC2006, Seoul, Korea,
2006. 8.; N. G. Hyun, "The effect of
Heat on the Spiking Patterns of the

cells in *Aplysia*", Korean J. Med. Phys.
Vol. 18, pp.73-80, 2007.

Study on the Change of Average Specific Membrane Conductance Depending on Temperature of a Cell at Abdominal Ganglion of *Aplysia juliana*

Kwang Bum Hyun*, Nam Gyu Hyun

**Jeju Science High School, Jeju, Korea*

Department of Physics, Cheju National University, Jeju, Korea

Abstract

This paper demonstrates how average specific membrane conductance of a cell at abdominal ganglion of *Aplysia juliana* changes when the neurons are stimulated by periodic temperature change. Both Action potentials of a neuron and the temperature were measured and recorded simultaneously. Based on the data of beating cell at high temperature for 3,500 minutes, average specific membrane conductance of a neuron of *Aplysia juliana* were analyzed, and we found that the average specific membrane conductance increased lineally as temperature rose.