

세포막 이온 콘덕턴스의 전기적인 모델

이경중 · 이규진 · 안재봉 · 이명호 (연세대)

Hodgkin-Huxley 에 의해 제창된 신경세포막 모델을 이용하여 막 전위의 변화에 따른 이온 콘덕턴스의 변화특성을 고찰할 수 있는 Electronic analog 시스템을 구성하려고 한다. 그림 1은 본 연구에서 구성한 세포막에 대한 이온콘덕턴스 Electronic Analog 모델이다. 이 모델에서 Membrane Capacitance와 g_L 값은 쉽게 결정할 수 있으나 g_{Na} 와 g_K 값은 시간과 전압의 함수이므로 쉽게 결정할 수 없다. 세포막을 탈분극 시키면 g_{Na} 와 g_K 는 모두 증가하는데 g_{Na} 의 증가는 일시적이며 g_K 는 지연 상승된다. 그러므로 g_{Na} 와 g_K 의 과도현상은 Rising time과 Falling time 그리고 탈분극이 계속될때 g_{Na} 가 계속 증가하지 않고 감소하는 g_{Na} 의 Inactivation에 의하여 결정된다. 그러므로 g_{Na} 와 g_K 를 시뮬레이션 할 경우 각 Conductance의 전압과 시간의존 특성을 충분히 고려해야 한다. g_{Na} 를 시뮬레이션할 때 g_{Na} 값이 계속 변하는 것을 막기 위하여 전단에 Limiter 회로를 삽입시켰다. 한편 g_K 를 시뮬레이션 시키기 위해서 Wave-shaping network 내에 E_K 전압 Shift 회로를 삽입시켰다. E_K 전압의 Shift는 세포막을

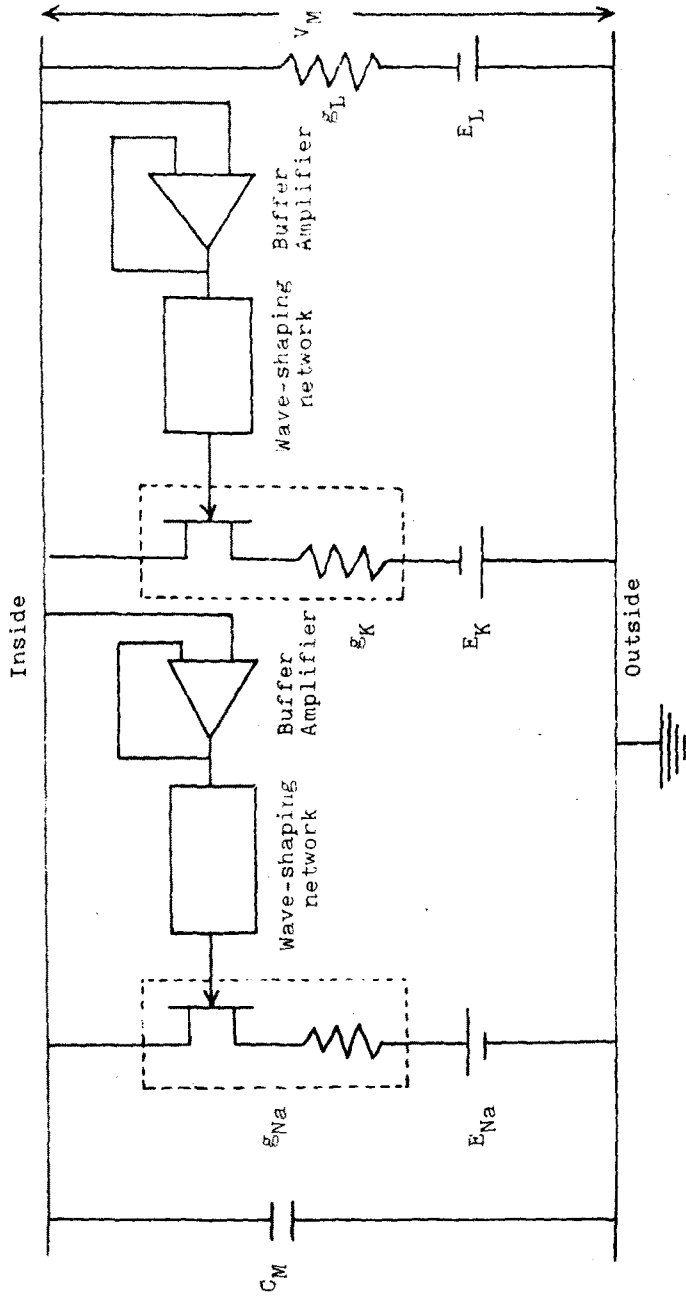


그림 1. 세포막 이온 콘덕턴스의 전기적인 모델

탈분극시켰을 때 세포 내부로 부터 외부로 나온 K^+ 의 Accumulation에 의한 K^+ 의 평형전위가 변위되는 것을 말하며 E_K 전압의 Shift는 I_K 의 적분식에 \log 를 취한 것으로 표시된다. 특히 본 논문에서는 FET의 g_{DS} 가 V_{GS} 에 의존하는 것을 이용하여 g_{Na} 와 g_K 의 막전압 변화에 따른 특성을 시뮬레이션하였다.

Wave Shaping Net Work의 역할은 g_{Na} 와 g_K 의 과도현상을 실현시키기 위한 것이다. Electronic analog 모델 시뮬레이션을 하여 얻은 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. g_{Na} 의 Peak 값은 입력의 세기 즉 세포막은 탈분극 정도에 따라 증감한다. 이것은 g_{DS} 는 V_{GS} 의 변화에 따라 증감하는 것과 일치하였다.

2. g_{Na} 의 Rising time은 실제 세포막에서 측정된 값에 비하여 굉장히 짧게 나타났는데 이것은 g_{Na} 의 급상승을 의미한다.

또한 게이트 입력한 C_M 값을 변화시켰을 때는 Inactivation시정수만 변화되었다.

3. g_K 의 특성곡선은 g_{Na} 의 특성곡선과는 달리 지연상승을 보였으며 g_K 의 Peak 값은 가해진 입력 펄스의 Duration을 증가 시킴에 따라 약간의 감소를 나타냈는데 이것은 E_K 전압의 Shift에서 기인되었다.

References

1. Hodgkin, A.L., Huxley, A.F., "The Components of membrane Conductance in the giant axon of Loligo".
J. Physiol. 116, 473-4976 (1952b)
2. Hudkin, A.L. Huxley, A.F., "A quantitative description of membrane current and its application to conduction and excitation in nerve." J. Physiol 117, 500-544 (1952d)
3. Eaton, D.C. "Potassium ion accumulation near a pace-making cell of Aplysia". J. Physiol 224, 421-440 (1972)
4. Edwin, R. Lewis, "Using electronic circuits to model Simple neuroelectric interactions"
Proceedings of the IEEE, Vol 56, No. 6, JUNE 1968.