

심 전 도

徐 丙 高*

1. 정 의

피검자의 양팔에 부착된 표면적극 한 쌍이 높은 입력 임피던스 차동증폭기에 접속되면 심장박동에 동기된 전기신호가 증폭기 출력단에서 관측된다(그림 1 참조). 입력 신호는 1mV의 order로 첨두치를 갖는데 이를 심전도(electrocardiogram; ECG)라 한다. ECG신호의 근원은 무엇인가? 이 질문에 대답하기 전에 몇가지 생리학적 배경을 간단히 고찰해 볼 필요가 있다.

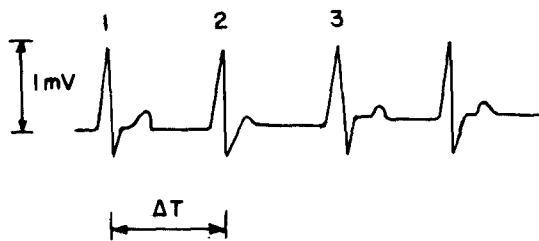


Fig. 1 1, 2, 3 = consecutive heart beats.
 Heart rate (per min) = $60/\Delta T$

2. 심 장

심장은 혈액 순환의 동력을 제공하는 4개의 방을 가진 펌프이다. 한 개의 벽이 심장 용적을 이중 펌프 구조로 나누는데 각측은 또 위쪽방인 심방, 아래쪽 방인 심실(ventricle)로 나뉜다(그림 2 참조). 주요한 펌프 기능은 심실이 제공하고 심방들은 단지 심실이 펌프질하는 동안 혈액을 저장하는 앞쪽 방에 불과하다. 심장주기의 휴지 또는 충전위상을 확장기(diastole)라 하며, 수축 또는 펌프 위상을 수축기(systole)라고 한다.

혈액은 신체 세포에 폐기가스(이산화탄소)가 배출되고

한양대학교 전자공학과
 Dept. of Electronic Communication Eng., Hanyang University

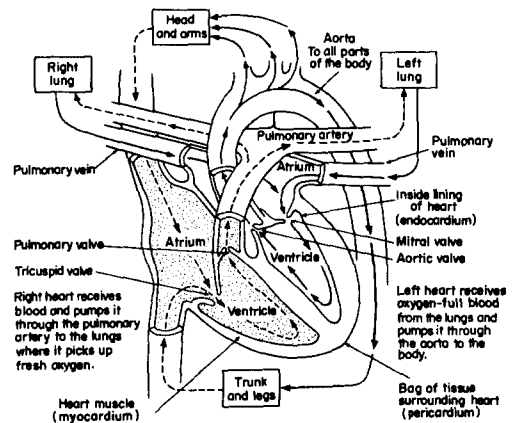


Fig. 2 Blood flow to and from the heart

세포를 위한 새로운 산소를 취한다. 좌심(left heart)은 폐로부터 산소포화 혈액(oxygenated blood)을 받아 신체 각부의 소동맥들에 배분하기 위해 대동맥으로 펌프질하여 내보낸다.

심장은 여러 형태의 근육으로 이루어져 있다. 이들 형태를 구성하고 있는 세포들은 해부학적으로는 다르지만 한 가지 공통 성질을 갖는데 그것은 모든 세포들이 전기적 흥분(electrically excitable) 특성을 갖는다는 점이다.

3. 세포막 전위

세포는-신경세포 또는 근세포 어느쪽이든-어떤 이온들에 대해서만 반투과성인 세포벽 또는 세포막을 갖는데 이들은 이온 선택 필터(selective ionic filter)로 동작하게 된다. 체액은 세포들을 둘러 싸고 있는데 이는 이온성으로서 전위의 도전 매질이 된다.

세포 전위(cell potential)를 발생하는 기전에 포함되는 주요 이온들은 Na^+ , K^+ , Cl^- 이다. 세포의 성분의 고

농도인 Na^+ 로 만드는데 신진대사 에너지가 사용된다. 농도와 전계경도간의 평형상태에서 세포막 사이에 정전위가 존재하며 내부는 외부에 대해 -90mV 정도가 된다(그림 3 참조). 세포막 경계 사이의 총 전류는 영이기 때문에 각 이온의 운동으로 나타나는 Na과 K 전류는 동일하다.

세포가 어떤 다른 동작으로 인하여 교란되거나 자극되지 않는한 이 전위는 일정하게 유지된다.

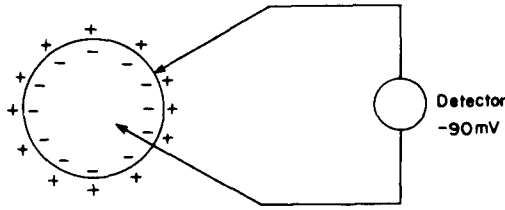


Fig. 3 Polarised cell with its resting potential

1) 세포 자극

세포가 자극될 때, 세포막 성질은 주기적 변화를 거치는데 이의 첫번째 위상에서는 Na에 대한 투과도가 크게 상승한다. 이 결과 세포내로 대량의 Na^+ 가 유입된다. 세포내로 Na^+ 가 유입함에 따라 이온전류(ion current)가 증가하며 이는 다시 Na과 K전류를 평형으로 보내려는 시도에 의해 막투과 전위가 정전위값 -90mV 로부터 증가되게 만든다. 평형이 이루어지면 세포막 전위는 약 $+20\text{mV}$ 까지 상승한다.

활동전위(action potential) 주기로 알려진 이 시점에서 세포는 탈분극(depolarization)되었다고 한다(그림 4 참조). Na에 대한 세포막 투과도는 정상으로 돌아오지만 K에 대한 투과도는 약 30배로 증가한다. K^+ 이온은 충분한 양이 확산되어 나가 세포막 전위가 정전위값으로

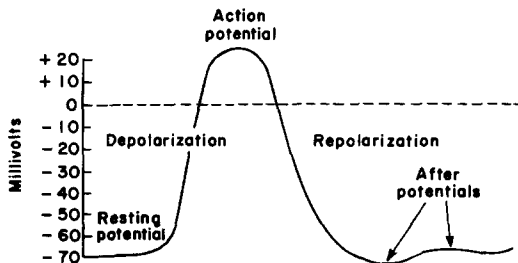


Fig. 4 Waveform of action potential

돌아오게 한다. 즉 재분극(repolarization)상태가 된다. 신진대사과정이 다시 인계받아 세포내의 Na^+ 이온을 내보내며 K^+ 이온은 들어오도록하여 세포가 다시금 원래 이온농도로 돌아오게 한다. 일단 세포막이 충분히 회복되면 세포는 다시금 휴지상태에 있어 다시 자극을 받을 수 있게 된다.

2) 모두 아니면 없음의 법칙

자극이 활동전위를 발생시키는데 요구되는 문턱치(threshold value) 이상이라 가정하면, 주어진 세포에 대한 활동전위의 형태와 크기는 자극의 크기에 상관없이 같다.

3) 심근

심근세포(cardiac muscle cell)의 자극은 수축을 야기하는 활동전위를 발생시킨다(활동전위는 Ca^{2+} 이온의 방출을 야기하며 이는 다시 근섬유를 수축시키는 생화학적인 일련의 사건들을 야기한다). 탈분극은 급속히 진행하여 과도현상이 존재하지만 재분극은 느린 프로세스이다.

포유류의 심장에서 탈분극은 약 2ms 동안 지속되지만 재분극은 200ms 이상 유지된다. 심근의 수축응답은 탈분극이 시작된 후 바로 시작되어 활동전위에 비해 1.5배 정도 길게 지속된다(그림 5 참조).

이 절에서 고려할 마지막 질문은 어떻게 심근이 자극을 받는가 하는 것이다. 답은 페이스메이커(pacemaker) 세포라고 알려진 일군의 심장세포에서 발견된다.

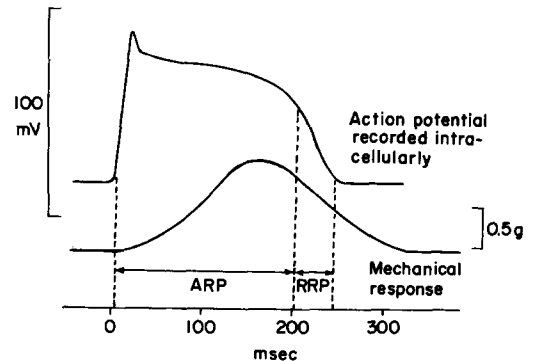


Fig. 5 Action potentials and contractile response of mammalian cardiac muscle plotted on the same time axis

4) 페이스 메이커 세포

일반의 근세포에서는 안정전위(resting potential)가 계속 유지될 수 있지만 SA(sinoatrial) node로 알려진 심장 영역에서 발견되는 페이스메이커세포에서는 막투과 전이가 순간적으로 흥분을 위한 문턱전위(threshold potential)에 도달할때까지 증가한다(그림 6 참조). 즉 페이스메이커 세포는 자력적(self-excitatory)이다. SA node 세포는 탈분극 되면서 근처의 심방세포들을 자극하여 이들을 탈분극시킨다. 그래서 탈분극파는 근원점으로부터 바깥쪽으로 진행되는 파로써 심방을 따라 퍼져나간다.

여기되지 않는 세포들의 섬유 장벽은 탈분극파의 전파가 심방의 끝을 지나 계속되지 않도록 한다. 이 장벽을 지나 유일하게 여기되는 섬유는 히스번들(bundle of His)이다. 이들 번들의 근원점에는 AV(actrioventricular)이라 불리우는 2 cm 길이에 1 cm 폭의 특수화된 섬유군이 있다. AV node를 통과하는 전도속도는 약 0.1 m/sec로써 심방세포에서의 10%에 해당된다. 이로써 야기되는 심방 탈분극파의 전도속도 지연은 심방과 심실 사이의 적절한 시간 관계에의 열쇠가 된다. 이 지연은 심실 수축전에 심방이 수축을 완료하도록 하기 때문에 매우 중요하다.

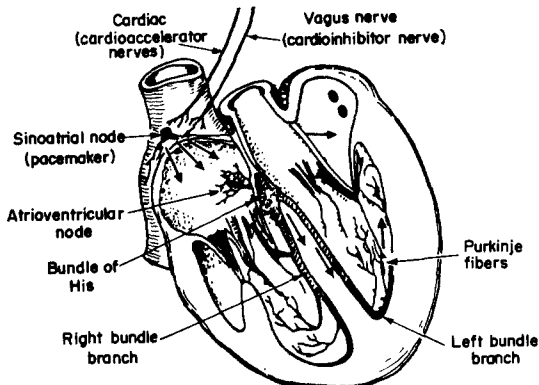


Fig. 6 Basic conducting system of the heart

4. 측 정

위의 3절에서 기술된 심장의 전기적 활동은 흉곽에서 흐르는 이온 전류를 발생시킨다(여기서 '흉곽은 어떤 다른 전원을 포함하지 않으므로 순수한 수동 매체로 간주한다). 그러므로 첫번째 근사에서 심장은 흉곽매체를 저

항부하로 갖는 전기 발전기로 모델화 된다. 1절에서 소개된 심전도는 이 매체의 외부 표면(즉 심폐표면)에서 측정된 전위의 기록이다. 전형적인 ECG 파형은 아래와 같다.

1) ECG 파형의 구성요소

ECG는 파형의 5가지 상이한 세그먼트(segment), 즉 P, Q, R, S, T파로 특성화된다. 이들 세그먼트의 해석은 심장주기의 서로 다른 상태에 대한 정보를 제공한다.

P파 : 심방 수축 전에 심방의 탈분극에 의해 야기되는 작은 저전압 편위(deflection)

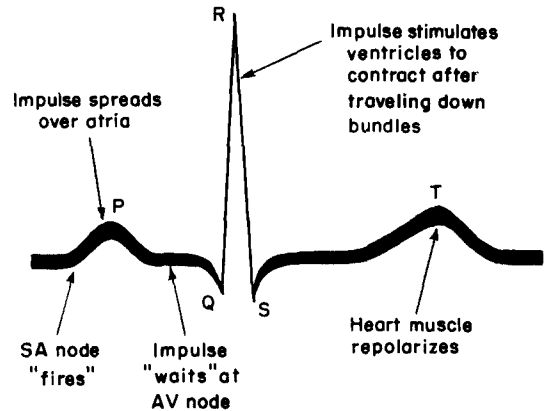


Fig. 7 Typical ECG waveform obtained at the body's surface

QRS complex : ECG에서 가장 큰 값을 갖는 부분이며 심실이 수축하기 전에 탈분극될 때 발생하는 전류에 의해 야기된다. 비록 심방의 재분극이 심실의 탈분극전에 일어나지만 후자의 파형(즉 QRS Complex)은 훨씬 큰 크기를 가지므로 심방의 재분극은 ECG에서 나타나지 않는다.

T파 : 심실 재분극(ventricular repolarization)

P-Q간격 : P파의 시작과 QRS complex의 시작 사이의 시간간격(time interval). 이는 심방수축의 시작과 심실 수축의 시작 사이의 시간간격이다. 또한 심방으로부터 심실까지의 전기적인 impulse의 지연을 나타낸다.

2. ECG와 심장의 기구적 동작 사이의 관계

명백하게 심장의 기능은 혈액에 대한 펌프 작용이다. 전기적 동작은 단지 근육 수축을 개시하기 때문에 중요하다.

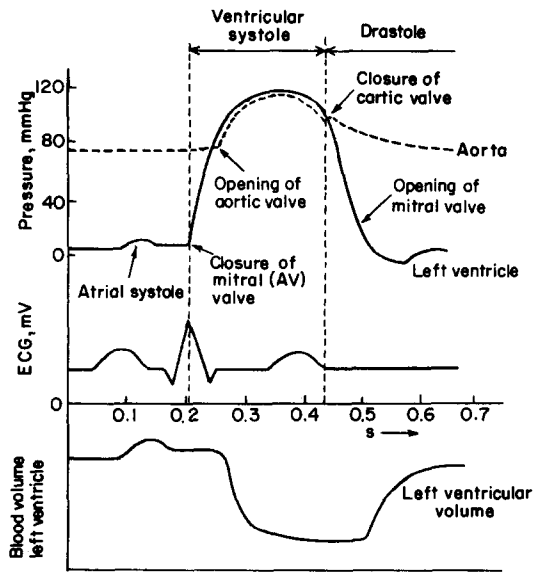


Fig. 8 Haemodynamic and ECG events in the cardiac cycle

비록 ECG는 리듬이외에는 심장의 펌프 기능 능력에 대한 정보는 줄 수 없지만 심장 마비 경력에 대해 숙련된 임상 의에게는 ECG는 많은 정보를 제공한다. 정상 조건하에서 전기적, 기구적 사건 사이의 상관관계는 아래와 같이 나타난다.