



전기공학과 의용공학

임 재 중

(인제대학교 보건대학 의용공학과 조교수)

1. 서 론

의용공학(biomedical engineering)은 40여년전에 미국 및 유럽 등지에서 시작된 학문으로서 전기, 전자, 기계, 금속, 물리, 화학, 전산 등의 공학 및 과학분야를 기초로 하여 의학 및 생명과학 분야에서 보다 과학적이고 객관적인 이론의 정립 및 실제 임상에서의 효율적인 적용에 대한 연구를 하고자 하는 학문이라 할 수 있다. 현재 국내에는 인제대학교를 비롯한 내국의 4년제 대학교와 세국의 전문대학에 교육과정이 개설되어 많은 졸업생들이 배출되었으며, 대학원 과정에서도 활발한 연구가 진행되고 있다. 이제 의용공학은 병원, 의학연구소 및 의료기 업체 등에서 많은 전문인력을 필요로 하는 학문분야로 발전하였으며, 생명체를 대상으로 하는 모든 영역에서 의용공학에 관련된 많은 연구들이 활발하게 진행되고 있는 추세이다.

의용공학에서 다루고 있는 세부 연구분야로서는 생체계측(biomeasurements), 생체신호처리(biomedical signal processing), 의용초음파(medical ultrasound), 의용화상처리(medical image processing), 생체재료(biomaterials), 생체역학(biomechanics), 인공장기(artificial organs), 임상공학(clinical engineering), 재활공학(rehabilitation engineering), 의료정보(medical informatics) 등을 들 수 있으며, 특히 전기공학은 의용공학의 거의 모든 세부연구분야에서 매우 중요한 역할을 담당하고 있다. 즉, 생체전기신호를 검출하여 병변을 진단하기 위한 기기나 전기치료를 위한 의료장비들 뿐만 아니라 거의 모든 의료기기의 개발에 있어서 시스템의 안정된 동작 및 전기안전도를 고려한 전원공급 장치의 설계가 매우 중요한 부분이 된다. 또한, μV 단위의 매우 미약하며 많은 잡음성분들이 포함되어있는 생체신호의 검출을 위한 증폭기 및 필터의 설계와 제작이 이루어져야 할 것이며, 의료영상의 압축 및 전송을 위한 하드웨어 및 소프트웨어의 개발에도 전기공학적인 개념이 큰 몫을 담당하고 있다. 그리고, 최근에는 전자과가 인체에 미치는 영향에 대한 연구들도 활발히 이루어지고 있는 추세이다. 이렇듯 전

기공학은 의용공학과 밀접한 관계를 가지고 있으며, 여기에 인체조직 및 기능에 대한 이해가 뒷받침될 때 보다 과학적인 연구가 수행될 수 있으며 효과적인 증진에 중요한 역할을 담당하는 학문으로 발전할 수 있을 것이다.

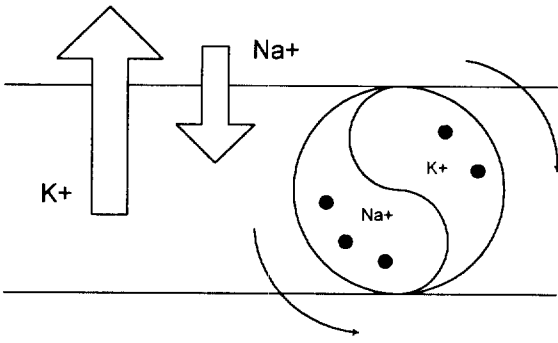
본 소고에서는 인체를 하나의 전기적인 시스템으로 볼 때 시스템 내에서의 신호전달 체계 및 입출력이 이루어지는 과정에 대하여 알아보려고 한다. 즉, 정상적인 생명활동을 위해 모든 생명체가 필요로 하는 생체항상성(homeostasis)을 유지하는 과정에서의 신호들의 발생 및 전달체계를 전기공학적인 관점에서 이해하고자 하는데 그 목적을 두고 서술하려 한다. 또한, 인체의 각 부분들이 어떠한 원리에 의하여 제 기능을 하고 있으며, 인체에서 발생하는 여러 가지의 생체신호중 진단을 위하여 사용되는 대표적인 전기신호들에 대하여 알아본다. 그리고, 전기를 이용한 치료장비들의 예를 들고, 진단 및 치료를 위하여 의료장비를 사용할 때 고려해야할 전기안전에 대하여 소개하고자 한다.

2. 인체와 전기

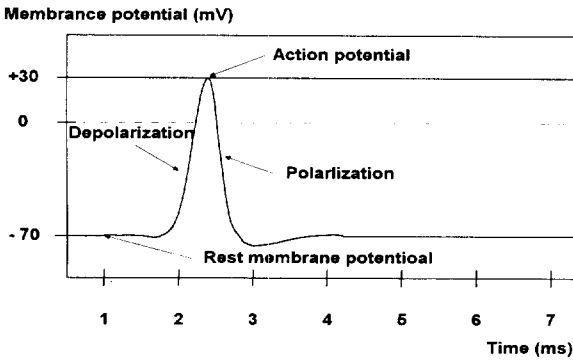
모든 생명체는 다양한 크기와 모양을 가지고 있는 세포(cell)들의 조합으로 구성되어 있는데 이들 세포는 모든 살아있는 조직의 구조와 기능을 결정짓는 가장 기본적인 단위이며, 인체의 모든 조직들은 세포의 활동에 의하여 그 생명을 유지하게 된다. 또한, 우리 몸이 정상적인 기능을 유지하기 위해서는 인체내의 모든 기관들이 상호보완적인 의사소통(communication)을 할 수 있는 신호가 필요한데, 이는 각 세포단위에서 발생하는 활동전위(AP, action potential)에 의하여 이루어지고 있다. 이러한 활동전위는 세포막을 통한 이온들의 움직임에 의해서 발생, 전달되어지고 있으며, 궁극적으로는 전기적인 신호의 개념으로 설명되어질 수 있다.

2.1 막전위

모든 세포는 간질액(間質液, interstitial fluid)이라는 전해



(a) 세포막을 통과하는 이온의 이동 및 Na⁺-K⁺ 펌프



(b) 활동전위

그림 1. 휴지막전위의 유지를 위한 이온들의 움직임 및 활동전위의 발생.

질(electrolyte)인 세포외액(extracellular fluid)중에 존재하고 있으며, 세포의 내부는 세포내액(intracellular fluid)으로 채워져 있다. 세포내액과 세포외액의 이온 농도는 세포막(cell membrane)에 존재하는 이온통로(ion channels)를 통한 확산(diffusion)과 삼투(osmosis)현상에 의하여 유지되고 있다. 즉, 휴지막전위(RMP, resting membrane potential)를 유지하고 있던 세포에 일련의 자극이 발생되면 세포의 막전위(membrane potential)가 변화하여 활동전위가 발생되고 이들 전위가 최종 목적지까지 전달되어서 우리 몸이 자극에 대한 적절한 반응을 하게 되는 것이다. 따라서, 우리가 그림 1과 같이 나타나는 세포 단위에서의 전기적인 특성을 이해하고 있을 때에 전기진단 및 전기치료에 대한 기준을 설정할 수가 있는 것이다.

막전위는 주로 Na⁺과 K⁺의 농도차에 의하여 나타나는 값으로서 모든 세포는 대략 -70~-90mV의 일정한 막전위를 유지하고 있는데 이를 휴지막전위라 한다. 이는 세포막을 경계로 하여 세포내부가 세포외부에 비해 양(+) 이온의 농도가 상대적으로 더 낮음을 의미한다. 이때 대뇌피질에서의 신경신호의 전달, 외부로부터 가해지는 전기적인 자극, 약물의 투여, 혹은 그 이외의 여러 가지 조건에 의하여 이온 농도에 변화가 발생되면 탈분극(depolarization) 현상이 일어나면서

약 +30mV의 진폭을 갖는 활동전위가 발생하게 된다.

그림 1(a)에 확산에 의하여 세포막을 통과하는 이온들의 이동현상이 설명되어 있는데, 세포 내부에 있는 K⁺은 세포 외부로 이동하게 되고, 세포 외부에 있는 Na⁺은 세포 안으로 이동하게 된다. 이때 K⁺은 Na⁺에 비하여 약 75배 가량의 많은 이동이 이루어지므로 세포의 내부는 외부에 비하여 (-)로 대전되게 된다. 또한, 휴지막전위의 유지를 위하여 Na⁺-K⁺ 펌프가 작용하며 이는 3개의 Na⁺이 세포 외부로 이동할 때 2개의 K⁺이 세포 내부로 이동하는 원리로 동작된다. 결과적으로 -70mV의 휴지막전위가 유지되는 것이다. 이때 휴지막전위에 변화가 나타나면 그림 1(b)과 같은 활동전위가 발생된다. 그림에 나타나 있듯이 활동전위의 상승부분은 Na⁺이 세포막 외부로부터 내부로 유입되면서 탈분극되는 상태이며, 하강부분은 K⁺이 세포막의 내부로부터 외부로 이동하면서 재분극(repolarization)되는 상태를 보이고 있다. 이들 활동전위는 신경을 통하여 인접부위의 세포로 전달됨으로서 생체 내에서의 정보의 전달이 이루어지는 것이다.

우리가 느끼게 되는 자극의 강도는 활동전위의 발생 빈도(frequency)에 의해 결정되며, 자극의 전달속도는 세포막의 용량이 적고, 축삭(axon)의 직경이 클수록, 그리고 세포의 유수화(myelination) 정도가 높을수록 증가하게 된다. 일반적으로 피부, 골격근, 관절 등에서는 15~130m/s의 빠른 전도속도를 보이며, 내장기관이나 땀샘, 혈관 등에서는 3~15m/s의 느린 속도로 전달된다.

2.2 생체전위

생명체내에서 이온의 이동 및 활동전위의 전달에 의하여 발생되는 전위를 총괄하여 생체전위라 하는데, 이러한 생체전위는 인체의 어느 곳에서도 검출되어질 수 있으며, 검출부위와 검출방법을 적절히 선택함에 따라서 나타나는 각 신호들에 대한 의미를 부여할 수 있는 것이다. 본 절에서는 몇 가지의 대표적인 생체전위에 대하여 각각의 발생원리와 의미에 대하여 알아보기로 한다.

2.2.1 심전도

심전도(ECG, electrocardiograph)는 심장에서 흥분도가 발생되고 소실될 때 생기는 전위의 변화를 체표면에서 기록하는 것이다. 따라서, 심전도는 측정부위로부터 심장까지의 거리 및 전위가 일어나는 부위에 펼쳐지는 각도, 정상부위와 흥분된 부위의 전압차, 여러 활동전위의 동기화(synchrony) 여부, 그리고 각 심장세포의 활동전위의 모양의 차이에 의해서 영향을 받는다. 그림 2에서는 심장의 pacemaker라고 하는 SA-node로부터 심실근육까지 활동전위가 전달되는 경로를 따라 각 부위에서 발생하는 다양한 모양의 전위를 보여주고 있다. 그리고, 심장박동의 한 주기동안 나타나는 P-QRS-T로 이루어지는 전형적인 심전도 파형이 나타나 있다.

임상에서 심전도는 심장근과 전도계를 통한 흥분의 비정

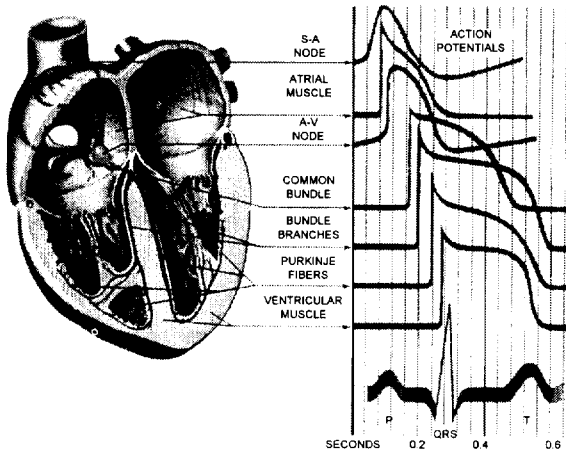


그림 2. 심장의 각 부위에서의 활동전위 및 이에 따라 발생하는 심전도 파형.

상적인 전파, 심방 및 심실의 크기의 변화, 심장근의 손상, 그리고 심장 박동수의 이상 등을 밝히는데 유용하게 사용되고 있다.

2.2.2 뇌전도

뇌전도(EEG, electroencephalograph)는 대뇌에서 발생하는 전위를 대뇌피질(cerebral cortex), 또는 머리표면(intact scalp)에서 기록하는 방법을 말한다. 이러한 뇌전도는 피험자의 상태에 따라서 특정 주파수범위를 갖는 δ , θ , α , β 파형을 나타내며 그림 3에 각 파형이 나타나 있다.

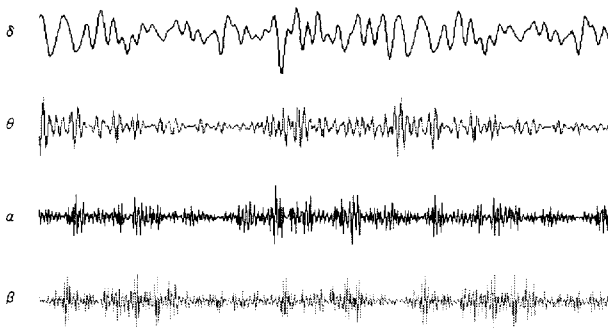


그림 3. 뇌전도에서 나타나는 δ , θ , α , β wave.

그림에서 볼 수 있듯이 δ -wave는 깊은 수면상태에 있을 때나 갓난 아이에서 주로 나타나며 4Hz 이하의 주파수대를 보이고, θ -wave는 4~8Hz의 파형으로서 정서적으로 불안한 상태에 있거나 주위가 산만할 때 주로 나타난다. 그리고, α -wave는 정신적으로 안정되고 눈을 감고 있는 상태에서 뚜렷이 나타나고 8~13Hz의 주파수를 포함하며, β -wave는 13Hz 이상의 주파수로서 뇌의 활발한 활동에 의한 빠르고 불규칙한 형태로 나타난다. 특히, 뇌전도를 이

용하면 수면의 상태를 점검할 수 있는데 정상인에게서 나타나는 주기적인 생리적 변화로부터 벗어나는 파형이 검출되는 경우에는 뇌의 병리적인 상태를 예측할 수 있다. 일반적으로 뇌전도는 뇌사, 뇌종양, 간질, 다발성 경화증, 무의식 등의 진단에 널리 이용되고 있다.

2.2.3 근전도

근전도(EMG, electromyograph)는 근육의 수축과 이완시에 일어나는 이온의 이동으로 인하여 발생하는 전위로서 전형적인 파형이 그림 4에 나타나 있다.



그림 4. 근육 수축시 나타나는 전형적인 근전도 파형.

근전도 파형의 형태 및 크기는 전극이 부착된 피부표면의 아래에서 나타나는 탈분극파의 크기, 피부표면과의 거리, 그리고 각 근섬유에서 발생하는 근육활동전위(map, muscle action potential)의 크기에 의해서 결정된다. 이러한 근전도는 근육의 기능, 신진대사, 피로상태 및 신경근육계 질환의 진단에 사용되며, 생체체환(biofeedback)을 통한 치료 및 재활보조기구의 동작에도 널리 이용되고 있다.

2.2.4 안구전도

안구전도(EOG, electro-oculograph)는 표면전극을 안구 주변에 부착하여 안구가 움직일 때마다 발생하는 각막-망막전위(CRP, corneal-retinal potential)를 측정하여 기록하는 것을 말한다. 이때 전극을 양쪽 눈의 가장자리에 부착하면 안구의 수평운동을 알 수 있으며, 눈의 위아래에 부착하면 안구의 수직운동의 변화를 관찰할 수 있다. 그림 5에 안

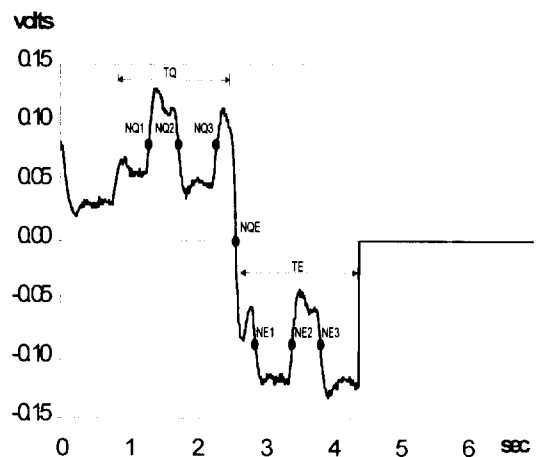


그림 5. 안구의 좌우 이동을 나타내는 안구전도.

구전도의 파형이 나타나 있는데, (+)값을 나타내는 부분은 안구가 우측으로 이동할 때를 나타내며, (-)부분은 안구를 좌측으로 이동할 때 나타난다.

3. 전기자극 및 전기치료

의학에서의 전기(electricity)는 크게 두 가지의 관점에서 보아질 수 있는데, 그 하나는 앞서 언급된 인체 내부에서 발생하는 생체전위의 검출이고 다른 하나는 전기적인 현상을 인체에 가해주는 것이라 할 수 있다. 즉, 전기적인 신호를 인체의 특정부위에 인가함으로써 그 부위 및 관련조직에 해당하는 신경, 근육계통의 진단 및 치료에 적용할 수 있는 것이다. 그 중에서 전기자극은 아래의 목적을 위하여 사용되어지고 있다.

● 말초신경의 경피자극(percutaneous stimulation of peripheral nerves)

신경의 피하자극을 통하여 각 신경의 지배를 받고 있는 근육의 수축을 확인한다. 부분적인 신경 차단이 있을 때는 그 수축하는 정도를 관찰하며, 건(tendon)의 수술결합 이후에 그 기능을 검사할 수도 있다.

● 근육자극(muscle stimulation)

전기자극을 골격근에 인가할 때 나타나는 근육의 양적, 질적 반응으로 근육의 상태를 진단한다. 일반적으로 신경은 1msec 이하의 자극으로도 흥분하므로 신경에 연결된 근육이나 근섬유는 전류자극에 충분히 반응이 가능하다. 그러나, 신경에 퇴행변화(degenerative change)가 있을 때는 주어지는 자극에 예민하지 못하고 전류자극에 집속하지 못하게 된다. 이때 자극을 근섬유에 직접 가함으로써 신경의 상태를 진단한다.

● 피부저항검사(skin resistance)

말초신경 마비나 신경절질환(segmental nerve disease)에서 볼 수 있는 감각장애를 기록한다. 정상피부의 저항은 한 선(sweat glands)의 국부분포에 따라 다르지만 대략 10~20M Ω 이며, 완전마비로 인한 무한증(anhydrosis)에서는 높은 피부저항 값을 보인다.

● 운동 및 감각신경전도속도

신경을 자극할 때 근육이나 신경을 따라 전달되는 활동전위를 기록하는 방법으로서 신경의 자극전도능력에 대한 정보를 얻고자 하거나 신경마비의 부위를 찾을 때 사용한다.

이상에 언급된 내용들은 단순전기자극을 가했을 때의 신경이나 근육의 반응상태를 관찰하기 위한 방법을 나타내고 있다. 그리고, 전기자극을 치료에 이용하는 경우도 많이 있는데, 이는 인체조직에 열효과 및 자극효과를 일으켜서 적절한 생리적 반응을 유발하고자 할 때 사용한다.

● 심장 제세동기(cardiac defibrillator)

심장근육의 여러 부위가 불규칙적이고 동기화되지 않으므로서 정상적인 혈액의 공급에 장애가 나타나는 치명적인 경우를 심장세동(fibrillation)이라 한다. 이에 대한 치료를 위해서 사용하는 전기자극기가 제세동기인데 이는 재분극된 심근세포들을 탈분극시키고 이미 탈분극 상태에 있는 심근세포의 절대불응기(refractory period)를 연장시키는 효과를 나타낸다. 인가자극의 특성은 1000~6000V의 전압을 인가하여 1~20A의 전류를 5msec 동안 가함으로써 50~400J의 에너지가 전달되도록 한다.

● 심박보조기(cardiac pacemaker)

심박보조기는 심장을 통과하는 전기신호의 전달에 이상이 있을 때 인위적인 전기자극을 통하여 원하는 심근세포에 신호를 전달한다. 인가자극은 대략 2V의 전압을 0.5msec간 제시하여 15~50J의 에너지를 전달한다.

● 전기수술기(ESU, electro-surgical unit)

현재 병원의 거의 모든 수술실에서 사용되는 전기수술기는 고주파전류가 인체를 관통하여 흐를 때 근육에 전기충격이나 자극을 주지 않고 짧은 스파크나 열을 발생한다는 원리를 이용한 것이다. 전기수술기에서 파형을 발생시키는 고주파 발진기는 300KHz~3MHz, 1~10KV의 파형을 전극으로 전달하며, 주 용도는 절개(cutting)와 응고(coagulation)로서 목적에 따라서 파형의 모양과 주파수를 변형시키면서 사용한다.

● 경피전기신경자극(TENS, transcutaneous electrical nerve stimulation)

높은 주파수와 낮은 강도로 통증부위에 전극을 통하여 자극을 가함으로써 환자에게는 기계적 자극으로 작용하여 중추성 척수억제로서 진통효과를 나타낸다.

● (FES, functional electrical stimulation)

신경손상으로 인하여 근육이 제 기능을 발휘하지 못할 때 원하는 근신경 부위에 전기적인 자극을 가함으로써 인위적인 근육의 수축을 유발시킨다.

위에 언급된 방법들 이외에도 전기자극은 상처치료 효과의 촉진이나 뼈의 재생력을 강화하는데도 사용되고 있다. 이러한 전기자극을 임상에 적용하는 과정에서 중요한 사항은 전기자극을 위한 전류를 흘릴 때 전압파형과 주파수가 어떠한 영향을 미치는가에 대한 연구가 선행되어야 한다는 것이다. 일반적으로 지속적인 평류(galvanic current)는 자극부위에서의 화학적인 변화를 일으키고자 할 때 이용되고, 단속평류(interrupted direct current)는 근육의 짧은 단수축(muscle twitch)을 유도하고자 할 때, 그리고 정현파형이나 감용전류(faradic current)의 형태는 근육을 자극하여 근육수축을 정상적으로 일으키게 하고자 할 때 사용된다.

결국, 외부에서 인위적으로 인체에 전기적인 자극을 가해서 치료를 하고자 할 때에는 치료의 목적에 부합하는 가장 효율적인 전류의 특성을 찾아내는 것이 매우 중요한 요인으로 작용한다는 것이다. 이는 단순한 의학적 지식만으로는 이루어질 수 없는 것이며 제시되는 전기자극의 특성 뿐만 아니라 주어지는 전류가 조직을 따라 흐를 때 각 부위에서의 전류의 크기 및 분포형태등도 고려되어야 하는 것이다. 즉, 전기공학적인 지식이 바탕될 때 더욱 객관적이고 정확한 연구가 수행될 것이라는데 의심의 여지가 없는 것이다.

4. 전기안전

병원은 의료행위를 수행하는 단순한 건물이 아니라 의료진, 간호사, 보조원, 심지어는 환자 및 보호자들에 의해서 수천종의 의료기들이 사용되어지고 있는, 세심한 주의를 요하며 과학적인 설계를 필요로 하는 첨단기술센터라고 할 수 있다. Florence Nightingale이 'The hospital should do the sick no harm'이라고 하였듯이 진단이나 치료를 받기 위해서 병원을 찾은 사람에게 의료장비의 결함이나 취급 부주의로 인한 electrical shock의 위험이 있다면, 이는 실로 큰 문제가 아닐 수 없는 것이다.

4.1 단위세포의 전기적 모델

세포막을 하나의 유전체(dielectric)로 간주하였을 때 단위 세포는 세포막의 양단에 반대극성의 전하가 존재하는 구조로서 캐패시터로 대체될 수 있다. 즉, 단위세포에서 발생하는 전류값을 추정하기 위하여 세포를 구형(spherical) 모델로 설명한 것이 그림 6에 나타나 있다.

일정 크기의 조직은 그림 6의 회로와 같이 세포외액의 저항성분 R과 조직내의 세포들의 총 정전용량 값인 C_T의 병렬조합으로 나타낼 수 있다. 여기에서 외부로부터 인가되는 총전류를 I_S라고 할 때, 이는 간질액을 통과하는 전류 I_R과 세포를 통과하는 전류 I_C의 합으로 표현된다. 즉, 단위세포의 정전용량 값은

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{4\pi r^2}{t}$$

으로 계산되는데, 여기에서 ϵ_r 은 세포막에 대한 유전율상수이고, r은 세포의 반지름, t는 세포막의 두께를 말한다. 따라서, 조직내에 있는 세포들로부터 활동전위를 유발시킬 수 있는 전류값 I_C는 V_{mt}를 활동전위의 진폭이라 할 때

$$I_C = \frac{V_{mt}}{Z_C} = V_{mt} (j2\pi fC)$$

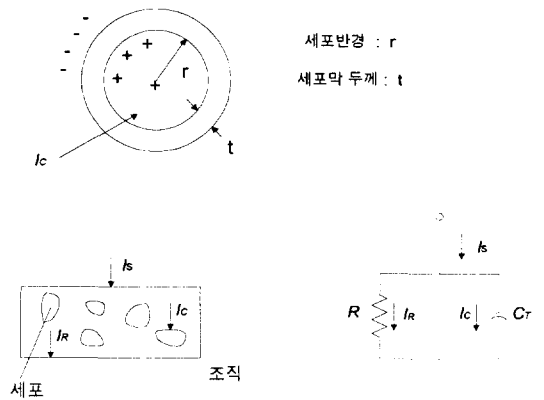


그림 6. 활동전위 발생시 조직에서의 전류의 흐름을 설명하는 단위세포의 전기적 모델.

로 계산된다. 결국, I_R과 I_C의 합으로 표현되는 자극전류 I_S는 세포의 크기 및 세포막의 특성, 그리고 인가 전류의 주파수 값에 의해 결정되어진다. 즉, 인체에 인가되는 전류값이 I_S를 초과하게 되면 조직내의 세포들에 활동전위가 발생하게 되고, 그 초과하는 정도에 따라서 전기충격의 강도가 다르게 나타나는 것이다.

4.2 전기충격

인체가 전기회로의 일부가 되어서 과도한 전류흐름의 통로가 되었을 때 발생하는 현상을 전기충격(electrical shock)이라하며, 크게 세 가지의 문제점이 발생할 수 있다. 즉, 전력이 열로 소모되어서 화상을 입을 수 있으며, 전류가 감각 또는 운동신경세포로 전달되어서 원하지 않는 활동전위를 유발시킬 수도 있고, 심장에 세동(fibrillation)현상을 야기시킬 수도 있다.

전기충격은 크게 두 종류로 구분하는데 그 하나는 macros shock으로서 체표면에 가해진 비교적 높은 전류가 인체의 내부를 통과함으로써 발생하는 경우를 말한다. 인체에 미치는 영향으로서는 대략 5mA 정도에서 따끔따끔한 느낌을 받게 되며, 5~10mA 정도에서는 강한 통증을 느끼고, 20mA를 넘게 되면 근육의 불수의적인 수축 및 호흡기 계통에 장애가 나타나고, 1A가 넘으면 심장세동현상이 나타날 수 있다. 다른 하나는 micro shock으로서 체내의 기관에 직접 가해지는 10 μ A 정도의 매우 낮은 전류에 의한 전기충격을 말한다. 이는 주로 혈압을 측정하기 위하여 환자에게 도관(catheter)이 연결되어 있거나 환자가 심박보조기(cardiac pacemaker)를 착용하고 있는 경우, 혹은 수술중인 환자에게서 발생될 수 있다.

이렇듯 전기충격을 유발하는 체내에 흐르는 전류는 피부 저항값과 인가되는 전압값에 의하여 좌우된다. 예를 들어서, 5mA를 흐르게 하는 위험전압수준은 건조한 피부(dry skin, 100K Ω)의 경우에는 70V, gel/cream을 바른 경우(10K Ω)에는 8V정도, 그리고 체내(penetrated skin, 200 Ω)로 인가되

는 경우에는 약 1V의 전압으로 계산되어 진다. 즉, 동일한 전류를 흐르게 하는 위험전압수준은 피부저항값에 따라서 결정되는데 피부저항값이 낮을수록 작은 전압에 의해서도 쉽게 전기충격을 일으킬 수 있는 것이다. 또한, 인가 전압의 주파수 성분이 낮을수록 전기충격의 유발 가능성은 높아지게 된다. 특히, microshock의 경우는 대부분의 기기에서 발생하는 미약한 누설전류(leakage current)나 chassis voltage에 의해서도 언제든지 발생될 가능성이 있으므로 의료기기의 설계 및 사용에 있어서 각별한 주의를 요한다.

4.3 전기안전대책

병원에서의 안전을 위한 많은 규정들이 있는데 그 중에서도 다음에 열거된 내용들을 중심으로 의료기기에 대한 안전점검 사항들이 중요시되고 있다.

- 의료기기의 전원 공급선의 상태 및 누설전류의 허용 한도치 초과에 대한 정기점검
- 비상전원 공급장치의 신속한 동작에 대한 점검
- 의료기기를 사용할 때 순간적인 스파크에 의한 화재 및 폭발의 위험성에 대한 점검

- 고압으로 보관된 산소공급 장치의 밀폐상태
- 수술실에서 인화성이 있는 마취제를 사용할 때의 화재의 위험성
- 수술실 및 응급실에서 사용되는 각종 gas에 대한 환기시설

위에 언급된 사항들은 임상공학에 대한 전문인들에 의하여 정기적으로 점검되어야 하며, 이들 의료기기를 올바르게 사용하기 위하여 의료인들에 대한 교육이 이루어져야 한다. 또한, 전기안전대책의 일환으로 의료기기를 사용함에 있어서 환자나 의료인의 안전을 위하여 고안된 대표적인 장치와 점검기기가 다음에 소개되어 있다.

● Three-wire Unit

기기에서 발생하는 누설전류가 인체쪽이 아닌 chassis에 연결된 접지선을 통하여 흘러 나가도록 하여 microshock을 방지한다.

● Ground Fault Interrupter

전원소켓 내부에 설치하여 접지선을 통하여 흐르는 전류가 2mA, 0.2sec를 초과하면 relay가 개방되어서 전원공급을 차단한다.

● Isolation Transformer

변압기 1차측의 H-lead와 G-lead에 의한 macroshock과 스파크의 발생을 방지하고, 변압기의 2차측이 접지선과 단락 되어도 전류의 통로가 형성되지 않는다.

● Line Isolation Monitor

의료기기에 연결된 2차측 결선과 접지선이 단락 되지 않았는가를 단자간의 임피던스를 측정하고, 이상유무를 정보기의 작동이나 지침의 움직임으로 표시한다.

● Receptacle Tester

전원공급선의 결함(극성, 단락, 개방) 유무 및 각 단자의 인장력(grasping tension)을 점검한다.

● Electrical Safety Analyzer

의료기기를 연결하여 전원공급선간 뿐만 아니라 환자로 연결되는 lead와 전원공급선간의 누설전류 값을 측정한다.

일반적인 전기안전도 검사는 접지선 저항측정, 누설전류 측정, 전원 isolation 검사의 순서로 진행되며, 검사 프로그램에는 일지(documentation)의 기록, 시각적인 검사, 안전도 검사, 성능 테스트 등이 포함되어 있다.

5. 맺음말

지금까지 생체전위 현상을 이해하는데 가장 기본이 된다 할 수 있는 단위세포에서의 전기적인 현상과 인체에서 발생하는 전기신호, 그리고 의료기기를 사용할 때 고려해야 할 전기안전에 대하여 알아보았다. 여기에서 소개된 내용은 의용공학에 대한 연구를 수행함에 있어서 알고 있어야 할 사항들 중 일부분에 지나지 않는다. 그러나, 전기공학적인 측면에서의 의용공학이라는 관점에서는 매우 기초적이면서도 중요한 내용들이며, 의용공학을 전공하지 않았다 하더라도 병원이나 의료기업체를 비롯한 생명체를 다루는 모든 분야에 종사하는 사람이라면 숙지하고 있어야 할 사항들이라 할 수 있다.

현재 대부분의 병원 의공실은 단순히 의료장비에 대한 보수를 주 업무로 하는데서 벗어나지 못하고 있는 실정이다. 그러나, 앞서도 언급하였지만 병원에 소속되어있는 의공실은 병원에서 사용되는 의료기기의 선정, 구매, 유지, 보수 뿐만 아니라 이들 장비들의 사용에 대한 교육, 평가 등도 수행하여야 한다. 그 이외에도 임상공학의 전문인들이 병원에서 담당해야 할 일들이 많이 있으며, 이를 위하여 현재 의용생체공학회의 차원에서 의공기사제도의 수립을 위한 준비를 하는 과정에 있다.

공학기술과 의학의 복합산업의 특성을 지니고있는 전자 의료기술은 이미 미국, 일본, 유럽 등지에서는 막대한 재원을 투자해서 매년 10%정도씩 성장하고 있는 세계의료기 시장의 95%를 독점하고 있다. 그러나, 우리나라에서는 고가의 전자의료기기 수입이 매년 증가되는 추세이고 사후 유지, 보수의 어려움이 있음에도 불구하고 복합산업기술의 미흡, 의용공학분야의 전문인력 부족, 정부와 산업체의 투자 결여, 제품의 개발 후 시장확보의 어려움 등으로 아직까지 내수

및 수출을 위한 자체개발에 과감히 투자를 하지 못하고 있는 것이 사실이다. 이를 감안할 때, 앞으로 의용공학이 실용적인 학문으로서 자리잡으려면 보건복지부, 노동부 등의 정부부처와 병원, 학계, 그리고 산업계간의 긴밀한 협조가 이루어져서 기술개발에 대한 투자가 있고, 학계에서도 논문 중심인 연구와 더불어 제품개발에도 주력하며, 정부의 국내 의료기 산업에 대한 보호, 육성정책이 수립되어야 할 것으로 생각한다. 특히, 그 동안 전기공학 분야에서의 연구를 통하여 축적되어있는 많은 know-how를 의용공학의 연구 분야에 응용하며, 전기공학과 의용공학이 서로 유기적인 관계를 가지고 상호 보완적인 연구가 수행될 때 더욱 의미 있는 결과가 도출될 수 있으리라 생각한다.

참 고 문 헌

- [1] E.N.Marieb, Human Anatomy and Physiology, The Benjamin /Cummings Publishing Comp., Inc., Redwood City, CA, 1989.
- [2] B.C.Penney, "Theory and Cardiac Applications of Electrical Impedance Measurements," Crit. Rev. in Biomed. Eng., 13, pp.227-281, 1986.
- [3] R.Aston, Principles of Biomedical Instrumentation and Measurement, Macmillan Publishing Comp., New York, NY, 1991.
- [4] B.N.Feinberg, Applied Clinical Engineering, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ, 1986.
- [5] Bassen H., "Evaluation of an Implantable Electric Field Probe within Finite Simulated Tissues," Radio Science, 12(6s), pp.15-25, 1977.
- [6] V.C.Rideout, Mathematical and Computer Modeling of Physiological Systems, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, NJ, 1991.
- [7] J.G.Webster, Medical Instrumentation, application and design, Houghton Mifflin Comp., Boston, MA, 1992.
- [8] 강곤, 운동생체역학, 건국대학교 출판부, 1992.
- [9] 박상준, 임재중, 하대현, "지능의 생리적 측정치로서의 EOG의 검출 및 분석에 관한 연구," 대한의용생체공학회 추계학술대회 논문집, 17(2), pp.273-277, 1995.
- [10] D.O.Cooney, Biomedical Engineering Principles, an introduction to fluid, heat, and mass transport processes, Marcel Dekker Inc., New York, NY, 1976.
- [11] R.Plonsey and D.G.Fleming, Bioelectric Phenomena, McGraw-Hill Comp., New York, NY, 1969.
- [12] 박진우, 이항준, 임재중, 윤혜경, 김찬환, "상처치료에 있어서의 전기자극의 효과에 대한 연구," 대한의용생체공학회 추계학술대회 논문집, 17(2), pp.235-238, 1995.
- [13] M.J.Im, W.P.Andrew Lee, and J.E.Hoopes, "Effect of Electrical Stimulation on Survival of Skin Flaps in Pigs," Physical Therapy, 70(1), pp.37-40, 1990.
- [14] Association for the Advancement of Medical Instrumentation, "Essential Standards for Biomedical Equipment Safety," 1985.

저 자 소 개



임재중(任在重)

1958년 8월 15일생. 1983년 2월 건국대 공대 전자공학과 졸업. 1988년 5월 Texas A&M 대학교 의용공학 졸업(석사). 1991년 12월 Texas A&M 대학교 의용공학 졸업(공학박). 1982년 12월-1984년 10월 현대자동차 부품개발부 전장과. 1986년 9월-1991년 12월 Texas A&M 대학교 의용공학과 연구조교. 1988년 9월-1989년 12월 Texas A&M 대학교 의용공학과, 수학과 강의조교. 현재 인제대 보건대학 의용공학과 조교수.