

◆특집◆ 생체계측

## 생체전기신호의 응용

박 광 석\*

### Application of Bioelectrical Signals

Kwang Suk Park\*

**Key Words** : Bioelectrical Signal(생체전기신호), Electrocardiography(심전도), Electroencephalography(뇌전도), Man-Machine Interface(인간-기계 접속), Health Monitoring(건강 모니터링)

#### 1. 서론

생체에서 발생하는 생체신호는 신호의 발생원에 따라서, 신호의 물리적 특성에 따라서, 또는 이를 측정하는 센서의 특성에 따라서 분류할 수 있으며, 그 중에서도 임상적 진료를 위한 의료의 범위를 포함하여 다른 분야에도 광범위하게 활용될 수 있는 생체 신호는 전기적인 형태로 측정되는 생체 전기 신호라고 할 수 있다. 여기에서는 생체에서 측정되는 전기적인 신호가 어떻게 활용되고 또 활용될 수 있는지 그 응용 범위에 대하여 살펴보고자 한다.

#### 2. 임상적 진료에서의 생체 전기신호의 활용

생체 전기 신호들은 인체 내부의 심장 및 뇌 등 해당 기관의 동작상태를 나타내고 있는 만큼 해당 되는 기관의 정상 유무를 확인하는 의료적인 목적으로 사용하고 있다. 다음에 진단의 목적으로 임상에서 사용되고 있는 주요 생체 신호의 주된 활용 범위를 정리하였다.

#### 2.1 심전도 신호[Electrocardiography, ECG]

심장의 기능을 나타내는 신호로, 심장의 정상적인 동작 여부를 확인하는 방법으로 청진기를 이용한 심음과 함께 보편적으로 사용된다. 정상인에게서 나타나는 심전도의 파형이 정하여져 있어, 파형의 찌그러짐 등의 변화를 통하여 어떠한 종류의 이상이 발생하였는지 알 수 있다. 환자가 병원을 처음 방문하는 경우에 기본적인 심기능의 점검을 위하여 12 채널의 심전도 검사를 시행하고 있으며, 최근에는 정기적이 신체검사에도 심전도검사를 포함하여 심장에 관한 기능의 이상을 진단하는 데에 사용되고 있다.

심기능을 측정하는 여러 가지 검사 방법들 중에서 가격이 비교적 저렴하고 환자에게 주는 고통이 적어 비관혈적 방법으로 널리 활용되고 있다. 또한 체온, 호흡 및 혈압과 함께 생명 유지 여부를 나타내어주는 vital sign 으로 중환자실에서 환자의 상태를 지속적인 모니터링하는 데에 사용하고 있다. 영화에서 많이 보는, 환자가 죽으면 심장의 박동이 멈추는 것을 나타내주는 대표적인 신호이다.

또한 심전도 신호는 심기능을 측정하는 것 이외에, 심장의 이완기 또는 수축기를 선택하여

\*서울대학교 의과대학 의공학교실

Tel. 02-760-3135, Fax. 02-745-7870

Email: kspark@snuvh.snu.ac.kr

생체신호의 처리 및 무구속 계측 분야에 대하여 연구활동을 하고 있다.

의료기기들의 동작을 적용하려는 의료기기와 심장과의 동기 의 목적으로도 많이 사용되고 있다.

## 2.2 뇌전도 신호[Electroencephalography, EEG]

뇌의 기능을 나타내는 대표적인 신호이다. 심전도 신호와는 다르게 일반적으로 정형적인 패턴을 갖는 형태로 신호가 나타나지 않고, 뇌의 기능 상태에 따라서 주파수대역이 달라지는 형태로 나타나는 것이 일반적이다. 뇌전도 신호는 대표적으로 간질을 진단하는 데에 사용되는데, 이는 간질이 CT 나 MRI 처럼 뇌의 해부학적인 변화를 영상화 하는 장비로도 진단하기 어려운 뇌의 기능적 변화에 기인하기 때문이다. 간질환자의 경우에는 발작 시에 뇌전도에 특유의 패턴을 보일 뿐 아니라, 발작을 하지 않는 동안에도 특유의 파형을 나타내고 있어 간질환자의 진단과 평가에 대표적으로 사용하고 있다. 이 경우에는 발작의 병소를 찾기 위하여 약 20 개 정도의 전극을 머리에 붙이고 측정한다.

뇌전도의 또 다른 활용 예는 수면단계의 판별이다. 수면의 꿈을 꾸면서 안구를 움직이는 REM 수면과, 그렇지 않는 Non REM 수면으로 나누어 평가하고 있다. Non REM 수면은 또한 수면의 깊이에 따라서 1 단계 수면에서부터 4 단계 수면까지 나누는데, 이때 뇌전도의 주파수 분포에 근거하고 있다. 각성 상태에서는 뇌의 다양한 기능에 의하여 고주파 성분의 신호가 주로 기록되다가, 수면이 깊어질수록 뇌의 여러 부분이 동기와 되어 나타남으로써 주파수가 감소하고 진폭이 증가한다. 최근에는 뇌의 어떠한 부위가 외부의 자극에 의하여 활성화되었는가를 분석하기 위하여, 128 채널이상의 다채널 뇌파기를 이용하여서 특정 시각의 뇌전도 신호를 분석에 활용하고 있다.

## 2.3 근전도 신호[Electromyography, EMG]

근전도 신호는 근육의 수축시에 피부 표면에서 측정하는 생체 전기신호이다. 신호의 주파수가 심전도나 뇌전도보다 높은 특성을 갖고 있으나, 진폭이 크게 나타나고 있어, 비교적 쉽게 측정할 수 있어 의료적 목적 이외에도 다양하게 사용할 수 있다. 근육 및 근육을 수축하는 신호를 전달하는

신경의 정상여부를 판단하는 목적으로 신경과 영역과 재활의학과 영역에서 주로 사용하고 있다.

또한 수면 의학에서는 수면의 상태가 깊어짐에 근육의 톤이 떨어지고 REM 수면 시에는 근육의 톤이 거의 나타나지 않는 것을 측정하여 수면의 단계를 판단하는 데에 뇌전도와 함께 유용하게 사용되고 있다.

## 2.4 안전도 신호[Electrooculography, EOG]

안전도 신호는 안구의 운동에 따라서 나타나는 신호이다. 안구가 상하 또는 좌우로 움직임에 따라서, 눈의 상하 또는 좌우에 부착한 전극에 전위의 차가 나타나게 되어 안구의 운동방향을 알 수 있다. 안과 영역에서 망막의 전위를 측정하는 망막전위도(Electroretinography, ERG)와 함께 안과영역에서 안질환의 진단에 사용되고 있다.

또한 수면의학에서는 REM 수면에서 나타나는 안구의 급속한 움직임을 측정하여 수면의 단계를 판별하는 데에 뇌전도, 근전도와 함께 필수적 생체전기 신호로 활용하고 있다.

## 3. 생활 속에서의 건강 모니터링

최근의 급속한 정보 통신 기술의 발전은 사회 여러 분야에서 새로운 모습을 만들어 내고 있듯이 의료분야에도 역시 새로운 영역을 확장하여 나아가고 있다. 이에 근거한 것이 생활 속에서의 건강 상태의 모니터링이다. 경제적 수준의 향상에 따라 건강에 대한 관심도 크게 증가하였으며, 의료의 개념이 질병의 진단 및 적절한 치료에서 질병의 조기진단 및 지속적인 건강 상태의 유지를 위한 방향으로 바뀌고 있다. 이를 위하여서 건강 상태를 지속적으로 모니터링 할 필요성이 증가하고 있고, 모니터링 하는 신호로 생체전기 신호들이 활용되고 있다.

### 3.1 재택 생체 진단 단말기

건강에 관한 관심의 증대로, 이미 우리들 각 가정에서 체온계, 체중계에서부터 시작하여 혈압계 등 몇몇 의료기기들은 쉽게 발견할 수 있다. 이러한 시대적 욕구에 맞추어 집에서 여러 가지 생체 신호들을 측정할 수 있는 재택 생체

진단 단말기가 새로운 영역으로 등장하고 있다. 가정 내의 거주자의 상태를 측정하여 담당 병원으로 전송하는 형태의 재택 진료 시스템으로 나아가고 있으며, 일반 가정에 쉽게 설치 할 수 있는 단말기들로 개발되고 있다. 사용 대상자에 따라 선택하여 신체의 상태를 측정할 수 있는 다양한 센서들을 장착하고 있다. 이 중에는 심장의 기능을 나타내는 심전도가 대표적으로 포함되어 있으며, 이 이외에도, 혈압, 혈당, 체지방, 호흡량, 산소포화도 등 생체 변수들을 측정할 수 있도록 되어 있다. 이러한 신호들은 환자 또는 보호자가 집에서 주기적으로 측정하여 인터넷이나 전화선을 통하여 전송함으로써 집에서 환자 또는 거주자의 건강을 임상적으로 관리할 수 있게 한다.

### 3.2 무구속/무자각 건강모니터링

건강을 모니터링 하는 과정에서 매일 건강을 점검하기 위하여 잊지 않고 재택 생체 진단 단말기 앞에 가서 센서를 하나씩 붙여가면서 여러 가지 측정을 하는 것은 쉽지 않은 일이고, 궁극적으로 재택 모니터링의 실용성을 제한하는 요인으로 작용하고 있다.

이러한 제한성을 극복하기 위하여, 우리가 자각하는 하지 않는 상태에서 자연스럽게 우리의 건강상태를 모니터링 하여 주는 무구속/무자각 건강 모니터링 기술에 대한 연구와 개발이 진행되고 있다. 여기에서 가장 대표적으로 이용되는 신호가 생체 전기 신호인 심전도 신호이다.

#### 3.2.1 침대에서의 무자각적 심전도 신호 계측

우리는 시간의 1/3 정도를 수면으로 보낸다. 수면시 생체 신호를 계측 할 수 있다면, 수면과 관련 된 질환은 물론 환자의 건강 상태를 모니터링 하는 데에 매우 유용하게 활용할 수 있을 것이다. 이를 위하여 침대에 전도성이 있는 시트를 이용하여 심전도 전극을 대체하면 수면 중의 환자로부터 심전도를 모니터링 할 수 있다.

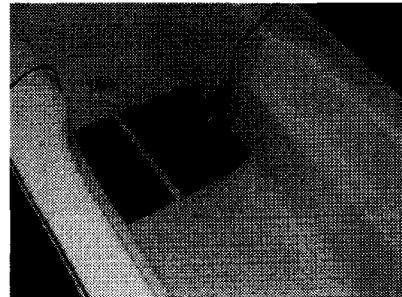
환자는 평상시와 같이 침대 위에 누워서 잠만 자면 되고, 신호를 환자 밑에 깔려 있는 시트형 전극을 통하여서 측정되게 된다. 물론 환자가 측정에 전혀 신경을 쓰지 않는 상황이기 때문에 접촉이 좋지 않은 경우도 있으며, 움직임 등으로

인한 잡음도 많이 발생하나, 수면 중의 대부분의 시간 동안에는 양질의 심전도 신호를 기록하여 낼 수 있으며, 이를 바로 처리하여 병원이나 의료정보 센터로 보낼 수 있다.

또한 호흡시 생기는 가슴부분에서의 움직임은 측정되는 심전도 파형에 변화를 주어, 측정된 심전도 신호로부터 호흡 신호를 추출하여 낼 수도 있다. 이와 같은 방법으로 무자각적으로 호흡 신호를 모니터링 할 수 있으며, 수면 중에 환자가 호흡을 하고 있지 않는 무호흡 여부를 모니터링 할 수 있다.

#### 3.2.2 변좌를 이용한 생체 신호 모니터링

변좌는 우리가 일상생활 중에서 매일 접하는 것이고, 신체를 노출시켜 변좌 표면에 접하게 하기 때문에 무자각적으로 신체의 상태를 정기적으로 점검하기 매우 좋은 장치이다. 변좌에 침대에서와 같은 시트형 전극으로 제작된 센서를 표면에 장착하면 환자가 의식적으로 심전도를 기록하기 위하여 전극을 신체에 부착하지 않고도 매일 정기적으로 심전도를 기록 할 수 있다.



(a)



(b)

Fig. 1 Installed electrodes for ECG recording(a) and recorded signal(b) during the bathing. Recorded signal shows clear ECG waveform after some artifact due to entrance motion

이밖에도 변좌에는 로드셀을 장착하여 매일 환자의 체중 및 대소변 양을 모니터링하기도 하고, 미세한 전류를 흘려주어 체지방 분석도 가능하며, 호흡, 체온, 산소 포화도 등을 측정할 수 있다. 매일 정기적인 거주자의 심전도 기록은 심혈관계 만성질환자의 관리에 유용하게 활용 될 수 있다.

### 3.2.3 옥조에서의 생체 신호의 모니터링

옥조에 설치된 전극(Fig.1(a))을 통하여서 환자의 심전도 및 호흡 상태 등이 모니터링 될 수 있다. 신체에서 발생된 생체 전위는 옥조내의 물을 통하여 전극까지 전달되게 된다. Fig. 1(b)는 옥조에 들어가는 과정에서의 움직임에 의한 잡음과 목욕을 하고 있는 동안의 심전도 상태를 보여주고 있다. 매일 정기적으로 반신욕 등 목욕을 하는 경우에 그 기간 동안의 심기능 상태를 목욕하는 사람의 별도의 조작 없이 자동적으로 기록하여 전송하고, 이를 통하여 건강상태를 지속적으로 모니터링할 수 있다.

## 4. Man-Machine Interface

인간과 기계 또는 컴퓨터와의 접속의 여러 가지 형태로 이루어지고 있으나, 키보드, 마우스 또는 음성 입력이라고 하여도 우리가 일부러 우리 몸의 근육 일부를 자극하는 과정을 거쳐야 한다. 이러한 과정은 일부 근육기능을 상실한 장애자에게는 기계 또는 컴퓨터의 사용을 불가능하게 만들고 있으며, 인간과 기계간의 보다 지능적인 접속을 요구하는 많은 경우가 등장하고 있다. 이러한 경우에 생체 전기 신호를 이용하여서 인간과 기계간의 자연스럽고 신속한 접속을 실현 시켜주고 있다.

### 4.1 안전도를 이용한 입력장치

안전도 신호는 앞에서 기술하였듯이 안구의 운동 상태에 따라서 기록 되는 신호이기 때문에 이를 검출하여 외부장치와의 접속에 사용할 수 있다. 안전도를 이용하여서 안구의 상하 좌우의 위치를 측정할 수 있으므로, 예를 들어 컴퓨터 화면에서의 커서의 위치를 파악할 수 있다. 즉

안구를 움직여서 컴퓨터 화면상의 한 위치를 보고 있으면, 측정된 안전도 신호를 적분하여 현재의 안구의 각도와 컴퓨터화면과의 거리를 계산하여 화면상에서 보고 있는 위치를 파악할 수 있다. 마우스를 이용하지 않고도 컴퓨터 화면상에서 특정한 위치로 커서를 이동 할 수 있으며, 눈을 깜박이는 행위를 통하여 마우스의 더블 클릭을 대신할 수 있다. 즉 안전도 신호를 이용하여서 마우스의 기능을 대체 할 수 있을 것으로 생각된다. 이 경우에 안구 운동을 담당하는 근육은 항상 사용하는 근육이기 때문에 피로도가 높지 않아 현재 마우스의 장기간 사용으로 발생하는 근육의 피로 현상을 극복할 수 있을 것으로 생각된다.

그러나 여기에는 아직 여러 가지 극복하여야 할 문제점이 있다. 우선 전극을 일부러 눈 주위에 붙여야 하는 점이다. 또한 안구운동 이전에 머리가 움직이면 안되기 때문에 머리 운동을 고정하거나 보상하여야 하는 문제점이 있다. 또한 해상도에 제한이 있을 것으로 예상된다 한다.

이러한 문제들을 극복하기 위하여 안경에 전극을 장착하여 안경을 착용하게 하는 방법, 머리의 운동을 극복하기 위하여 Head Mounted Display 를 이용하는 방법 등 다양한 연구들이 진행되고 있다. 정상인에게 적용되기 위하여서는 아직 극복해야 할 부분이 많이 남아 있으나, 근육 마비 환자 등 장애자의 대체적인 정보입력 수단으로는 그 유용성이 입증되어 사용되고 있기도 하다.

### 4.2 근전도를 이용한 로봇제어

근전도 신호는 신체의 근육들이 수축하면서 발생하는 전기적인 신호를 피부 표면에서 측정하는 것이다. 이를 로봇의 제어에 이용하고 있다. 로봇이 인체와 유사하거나 같은 동작을 하기 위하여서는 인체의 주요 근육과 같은 기능을 하는 구동 장치들이 있어야 한다. 이 구동 장치들을 적절한 순서대로 적합하게 제어하여야만 인간의 동작과 유사한 로봇의 동작을 도출할 수 있다.

여기에 근전도 신호는 적합한 생체 전기 신호라고 할 수 있다. 각각의 측정하고자 하는 근육의 표면에 전극들을 부착하고 인체 움직임에 따라서 발생하는 근전도 신호의 크기를 측정하여 이를 해당되는 로봇의 구동장치에 연결하여

제어신호로 사용하는 것이다. 특히 인간의 모습에 가까운 로봇의 인간과 같은 유연한 동작을 구현하기 위하여서는 근전도를 이용한 방법이 효율적이라고 할 수 있다.

특히 의학적 관점에서는 팔다리가 손상되었거나 잘려져 인공적인 장치를 사용하는 경우 아직 남아 있는 근육 또는 신경으로부터 그 신호를 기록하여 인공적인 장치를 구동하여 보다 정상적인 형태에 가깝게 팔다리를 구동할 수 있도록 하고 있다.

### 4.3 뇌전도를 이용한 감성적 인터페이스

기계와 인간의 접촉을 기능적인 수준에서 한 단계 끌어올리기 위하여 시도하고 있는 기술이 인간의 감성 상태를 측정하고 평가하여 이를 활용하기 위한 접촉 방법이다. 기계가 사용하고 있는 사람의 감성 상태를 파악한다면 여러 가지 관점에서 보다 지능적으로 대응할 수 있을 것이다. 사용자에게 감성 상태에 적합한 조명등의 환경을 제어할 수도 있을 것이며, 사용자로부터 입력된 각종 데이터에 대하여서도 감성상태를 감안하여 보다 정확한 평가를 수행할 수 있을 것이다.

이러한 목적으로 사용되는 대표적인 생체신호가 뇌전도 신호이다. 뇌전도 신호는 뇌의 다양한 상태에 따라서 나타나는 신호이기 때문에 뇌의 감성적인 상태변화를 나타낸다고 할 수 있다. 뇌전도로부터 인간의 감성상태를 분석한 많은 연구들이 시도된바 있으며, 특정상태의 감성을 판별하는 데에 사용할 수 있음을 보여주고 있다. 뇌파의 여러 부위에서 측정된 뇌전도 신호의 진폭, 주파수 특성 등을 분석하면 대상자의 감성 상태를 어느 정도 분석할 수 있다.

그러나 인간의 감성 상태가 워낙 복잡하고 미묘하며 이를 측정된 뇌전도로부터 정확하게 구별하여내는 것이 보통 어려운 것이 아니다. 한 사람에게 적용된 기준이 다른 사람에게 그대로 적용된다는 보장이 없으며, 심지어 같은 사람에서도 시간에 따라서 그 기준이 바뀌고 있기 때문이다. 이러한 문제점들을 극복하기 위하여 여러 가지 노력이 진행되고 있다.

뇌전도 이외에 심전도의 심박동 변화율도 교감 신경계와 부교감 신경계의 활동 상태를 잘 나타내어 주기 때문에 함께 활용할 수 있으며, 심리상태에 따라 눈동자의 움직임에도 변화가 있으므로 안전도 신호 및 근전도 신호도 함께

활용할 수 있다. 이렇게 다양한 생체 전기 신호들을 활용하면, 인간의 감성상태를 보다 정확하게 판단할 수 있을 것으로 예상되며, 이를 이용한 기계의 제어가 훨씬 발전된 형태로 이루어 질것으로 기대한다.

## 5. 결론

생체전기 신호는 우리 신체에서 중요 기관의 활동 상태를 나타내어 주는 신호이면서도 우리가 쉽게 측정할 수 있는 특성이 있기 때문에 앞으로도 의학적인 목적외에 공학의 여러 분야에서 인간을 건강과 편리함을 위한 목적으로 다양하게 활용될 수 있을 것으로 기대한다.