

bioimpedance 신호를 이용한 하지 동작 분석

송철규, *윤대영

전북대 전자정보공학부, *전북대 대학원 메카트로닉스학과

Analysis of leg movements using bioimpedance signal

C.G. Song, *D.Y. Youn,

Div. of Electronics & Information Eng., Chonbuk National University
*Dept. of Mechatronics, Graduate School, Chonbuk National University, Korea

Abstract

This paper describes the possibility of analyzing gait pattern from the variation of the lower leg electrical impedance. This impedance is measured by the four-electrode method. Two current electrodes are applied to the thigh and foot, and two potential electrodes are applied to the lateral aspect, medial aspect, and posterior position of lower leg. We found the optimal electrode position for knee and ankle joint movements based on high correlation coefficient, least interference, and maximum magnitude of impedance change. From such features of the lower leg impedance, it has been made clear that different movement patterns exhibit different impedance patterns and impedance level.

I. 서론

인간의 동작분석에 대한 연구는 주로 하지의 보행에 대해서 진행되어 왔으며, 이를 위해서 근전계(EMG), 각도계 (goniometer), 영상분석기, 포스플레이트 (force plate) 등을 이용해 왔다. 이 중에서 생체 신호를 이용한 근전도를 이용하는 방식은 인체의 움직임에 관한 직접적인 정보보다는 그 움직임의 원천이 되는 근육의 상태 즉 근의 활동성을 관찰하기 때문에 각도계와 영상 분석기처럼 관절의 변화를 정확하게 계속적으로 측정하는 데는 부적합하다.

생체 임피던스와 근전도를 연계한 상지와 하지에 대한 동작분석의 연구는 아직 행해진 바가 없다. 본 연구에서는 인체의 동작분석을 위한 하지운동에 따른 관절근육의 임피던스 계측시스템을 개발하고, 5종류의 하지운동에 따른 임피던스 변화 값과 각 관절의 상관관계를 비교하여 최적의 전극 위치를 찾았다. 그리고

최적의 전극의 위치에서 얻어진 임피던스 변화로부터 하지 동작의 상관성을 검토하였다.

II. 하지의 운동 분석

임피던스의 보정은 실제 저항을 사용하여 저항 변화에 대한 전압 변화를 측정하여 보정하였으며 시스템의 임피던스 측정 범위와 선형성도 함께 확인하였다.

2.1 최적 전극위치의 선택

하지운동을 검출할 수 있는 최적전극 위치 선정을 위해, 하지의 고관절, 슬관절, 및 족관절의 각운동 변화에 따른 각각의 주동근(agonist), 길항근(antagonist), 협력근(synergist)의 해부학적 위치를 고려하였다. 이를 위해 그림1과 같이 관절운동에 따른 임피던스 변화 감

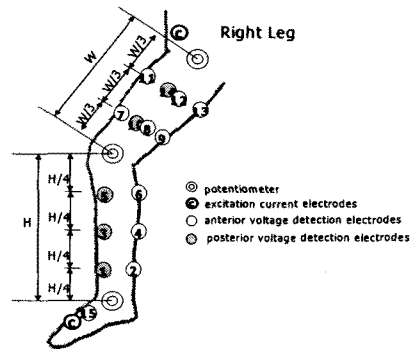


그림1 최적 전극위치 결정을 위한 전극배치

지 전극의 부착위치 15개를 선택하였고, 자극전극은 하복부와 족부에 부착시켰다. 그리고 하지 운동에 따른 임피던스 변화량과 제작한 전자각도계의 상관성이 가장 우수한 값을 나타내는 전극의 위치를 관찰하였다.

III. 실험 결과 및 고찰

제작한 4 채널 임피던스 측정시스템의 최대 임피던스 측정 범위는 1 Ω에서 300 Ω까지이며, 고정된 오프셋에서 측정할 수 있는 임피던스 변화량은 60 Ω이고 해상도는 1.1 mΩ이다. 하지운동 시 최적의 임피던스 신호 모니터링을 위한 실험프로토콜은 표1과 같다.

3.1 족관절 운동 측정

그림 2는 족관절의 굴곡과 신전 운동 시 채널 1은 potentiometer를 족관절 부위에 장착하고 측정된 각도변화를 나타내며, 채널2는 족관절 배측운동의 주동근인 전경골근 부위에 부착된 전극(2-5)간의 임피던스 변화량을 측정하고, 채널 3은 관절 신전 굴곡운동 중에 저측굴곡 운동의 주동근인 비복근 부위에 부착된 전극(1-3)간의 임피던스 변화를 측정한 것이며, 채널 4는 전극(1-4)간의 임피던스 변화량을 측정하였다.

표1과 그림2와 같이 측정 시간은 15초간격으로 서로 다른 운동을 할 때의 생체임피던스 신호를 측정하였다. 표1에서 F/E은 굴곡(flexion)과 신전(extension)을 의미한다.

3.2 슬관절 운동 측정

그림 3은 슬관절의 굴곡과 신전 운동 시 채널 1은 potentiometer를 슬관절 부위에 장착하고 측정된 각도변화를 나타내며, 채널2,3,4는 슬관절 신전 굴곡운동에 관여하는 대퇴사두근의 움직임 검출을 위한 전극(5-8), (5-11), (5-12)간의 임피던스 변화량을 나타낸다.

3.3 고관절 운동 측정

그림 4는 고관절의 굴곡과 신전 운동 시 채널 1은 potentiometer를 고관절 부위에 장착하고 측정된 각도변화를 나타내며, 채널2,3,4는 슬관절 신전 굴곡운동에 관여하는 대퇴사두근의 움직임 검출을 위한 전극(10-12), (9-13), (10-11)간의 임피던스 변화량을 나타낸다.

표1 하지운동 중 동작검출을 위한 실험 프로토콜

하지운동	시간간격	시간별 운동
Ankle Flexion/Extension 0° → -30° → 5°	0 ~ 15sec: stage 1	Ankle F/E.
	15 ~ 30sec: stage 2	Knee F/E.
	30 ~ 45sec: stage 3	Hip F/E.
	45 ~ 60sec: stage 4	Hip Rotation
	60 ~ 75sec: stage 5	Ankle F/E
Knee Flexion/Extension 0° → 45° → 0°	0 ~ 15sec: stage1	Ankle F/E
	15 ~ 30sec: stage2	Knee F/E
	30 ~ 45sec: stage3	Hip F/E
	45 ~ 60sec: stage4	Hip Rotation
	60 ~ 75sec: stage5	Knee F/E
Hip Flexion/Extension 0° → +30° → 0°	0 ~ 15sec: stage1	Hip F/E
	15 ~ 30sec: stage2	Ankle F/E
	30 ~ 45sec: stage3	Knee F/E
	45 ~ 60sec: stage4	Hip Rotation
	60 ~ 75sec: stage5	Hip F/E

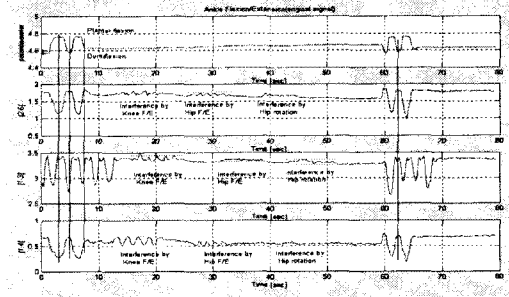


그림 2 임피던스 신호를 이용한 족관절 운동 모니터링

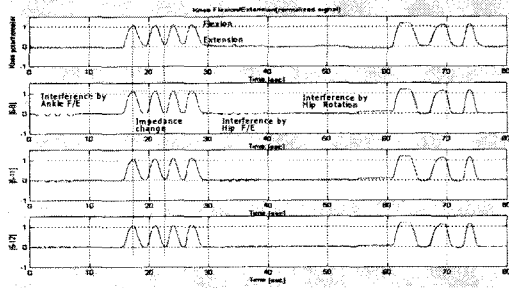


그림 3 임피던스 신호를 이용한 슬관절 운동 모니터링

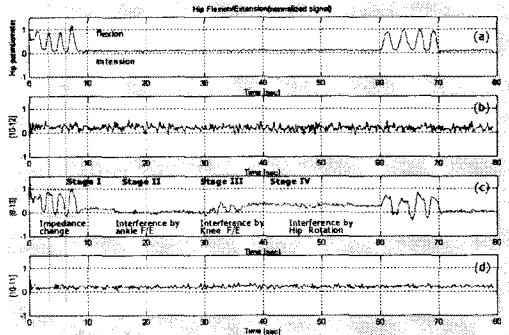


그림 4 임피던스 신호를 이용한 고관절 운동 모니터링

3.4 보행 중 관절 움직임 측정

그림 5는 보행 중의 관절(고관절, 슬관절, 족관절) 데이터를 얻기하기 위한 전극의 부착과 장치 구성을 나타낸다. 각 관절의 각도 변화를 감지하기 위해, 본 실험에서 얻어진 최적전극의 위치를 이용하였다. 3채널 신호를 A/D(50Hz, 12bit)한 후, 동잡음과 근잡음 제거를 위해 Matlab을 이용하여 저역통과 필터를 적용하였다(차단주파수 10 Hz).

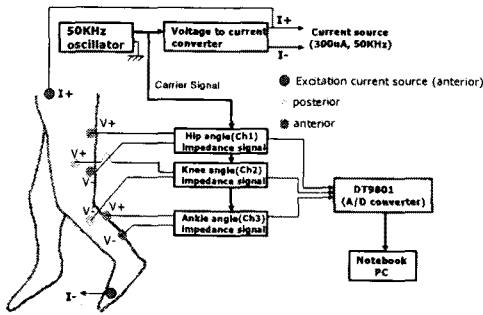


그림 5 보행 중 관절 데이터 획득을 위한 전극 배치와 장치 구성도

이 때 얻어진 데이터가 그림 6에 나타나 있다. 그림 6의 우측 상단에서부터 차례로 고관절 변화에 따른 생체 임피던스 신호, 슬관절, 족관절 변화에 대한 신호이다. y축의 단위는 각도로 변환이 가능하다.

그림 6과 같이 얻어진 피검자의 하지 움직임에 따라, 각각의 관절의 각도 변화를 단계적으로 또는 연속적으로 모니터링과 분석이 가능하도록 하지 동작 분석 프로그램을 제작하였다. 프로그램에서 단축 키에 따라서 원하는 실행을 할 수 있으며, 단축 키 P는 연속 애니메이션을 위해, L은 1회 재생, F는 순간 순간의 관절 변화를 분석할 수 있다. 그리고 R은 애니메이션을 리셋하는 경우에 이용된다. 제작된 프로그램은 Sense8사의 WTK™(ver.9)와 Visual C++로 작성하였다. WTK는 가상현실분야에서 널리 이용되고 있는 표준화된 라이브러리이다. 그림 6에 나타난 하지와 하지의 움직임은 실제 3 채널로 획득된 생체 임피던스 신호에 의해 제어 되도록 하였다.

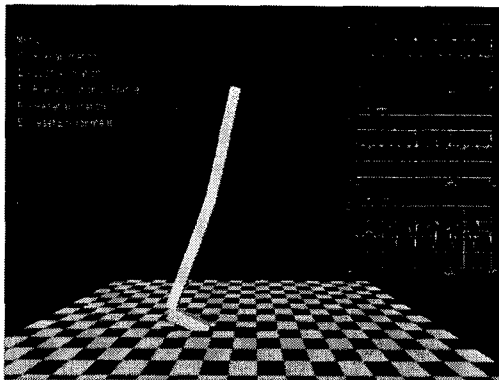


그림 6 하지동작에 따른 컴퓨터 interaction 분석

IV. 결 론

제한한 방법은 기계적인 방법에 비하여 공간 구속력

이 적고 측정이 간단하고 기계적인 방식에 비해 시간 해상도가 높다는 특성을 가지고 있다. 뿐만 아니라, 기존의 생체신호를 이용한 방식인 EMG와 비교해 계산량이 훨씬 적고, 신호 대 잡음비가 높다는 장점도 가지고 있다. 그러나, 보행분석과 같이 보다 다양하고 세밀한 하지 운동의 분석을 위해서는 추가적인 채널의 확장이 요구된다. 무선을 이용한다면, 특정 공간에서만 측정이 가능한 각도계와 비디오 영상 분석기와는 달리 공간적 이동이 많고, 장시간에 걸친 연속측정이 요구되는 스포츠 운동 분야에 활용 가능성이 클 것으로 사료된다. 채널 수를 확장하여 상지와 하지를 동시에 평가한다면 재활 및 임상에서의 동작분석, 걸음걸이 교정, 그리고 이러한 치료 효과의 정량적 평가에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] M. J. Adrian, and J. M. Cooper, Biomechanics of Human Movement, 2nd Edition. McGraw-Hill, pp. 43-48, 1994.
- [2] S. C. Kim, K. C. Nam, D. W. Kim, C. Y. Ryu, Y. H. Kim, J.C. Kim, "Optimal electrode configuration for detection of arm movement using bio-impedance," Medical & Biological Engineering & Computing, vol. 41, pp. 141-145, 2003.
- [3] H. Gray, L. H. Bannister, M. M. Berry, and P. L. Williams, Gray's Anatomy: the Anatomical Basis of Medicine & Surgery, 38th Edition, Churchill Livingstone, pp. 1923-1929, 1995.
- [4] Engineering Animation Line, WTK Reference Manual, Sense 8 Co. Ltd