

임피던스 방식의 동작분석을 위한 최적전극 선정

송철규, 변용훈, *윤대영, 이명권, 김거식, 송창훈,
김경섭, * 김수찬, ***김덕원
전북대 전자정보공학부, **건국대 의공학부
*전북대 대학원 메카트로닉스학과, ***연세대 의공학교실
전화 : 063-270-4282, 핸드폰 016-9860-4282

Optimal Electrode Displacement for Motion Analysis using Bio-impedance

C.G Song, Y.H Byun, D.Y. Youn, M.G. Lee, G.S. Kim, C.H. Song, K.S. Kim,
S.C. Kim, D.W. Kim

Div. of Electronics & Information Eng., Chonbuk National University
*Dept. of Mechatronics, Graduate School, Chonbuk National University, Korea
**School of Biomedical Engineering, College of Medicine, Konkuk University, Korea
***Dept. of Medical Engineering, Yonsei University College of Medicine, Seoul, Korea
E-mail : bio@mail.chonbuk.ac.kr

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, knee, and foot, and two potential electrodes are applied to the lateral, medial, and posterior position of lower leg. The correlation coefficients of the joint angle and the impedance change from human leg movement was obtained using electrogoniometer and 4ch impedance measurement system developed in this study. We found the optimal electrode position for ankle, knee and hipjoint movements based on high correlation coefficient, least interference, and maximum magnitude of impedance change. The correlation coefficients of the ankle, knee, and the hip movements -0.87, 0.957 and 0.80, respectively. From such features of the lower leg impedance, it has been made clear that different movement patterns exhibit different impedance patterns and impedance level. This

system showed possibility that lower leg movement could be easily measured by impedance measurement system with a few skin-electrodes.

1. 서론

인체 동작분석이나 보행분석을 위한 기존의 시스템은 장치가 대규모이고, 측정 범위가 일정한 보행 공간으로 한정되므로 연구용으로는 적합하여도 일상의 임상 응용에는 반드시 바람직한 것은 아니다. 다른 한편, 임상 응용을 목표로 한 손쉬운 분석법으로서 신발 부착형 족압측정계와 전자 고니오미터 등을 이용하는 방법이 있다. 그러나, 전자는 피험자의 발에 맞추어 그 때마다 신발을 준비할 필요가 있고, 보행 시에 위화감이 있으며 후자는 장착 정밀도와 내구성 등의 단점이 있다. 또한 인체동작 또는 보행분석을 목적으로 하는 장치의 조건으로는 장치가 소형 경량이며 측정이 간편하며, 피험자의 보행을 물리적 및

정신적으로 구속하지 않고, 장비가 견고하여 피험자에 대하여 통일적으로 적용 가능해야 하는 등의 몇 가지 조건이 필요하다. 본 연구에서는 하지의 여러 관절, 분절에서 동작에 따라 근이 수축, 이완될 때 발생하는 관절부위의 전기적인 임피던스 변화를 측정하는 측정시스템을 고안하고, 하지의 관절(족관절, 슬관절, 그리고 고관절)의 굴곡과 신전운동에 따른 임피던스 변화 값과 각 관절의 상관관계, 신호대 잡음비를 비교하여 최적의 전극 위치를 선정하였다. 그리고 최적의 전극의 위치에서 얻어진 임피던스 변화와 기존의 각도측정에 이용되는 고니오미터와 비교하는 방식으로 하지동작을 분석하였다.

II. 하지의 운동 분석

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 그림 1과 같이 관

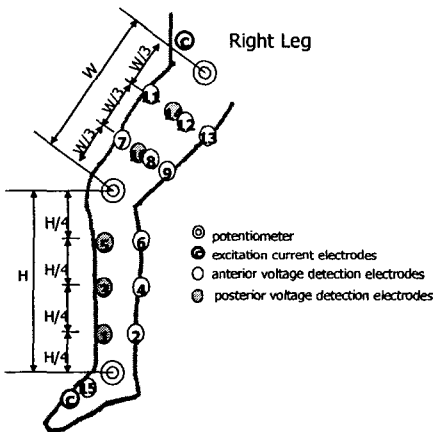


그림 1 최적 전극위치 결정을 위한 전극배치

절운동에 따른 임피던스 변화 감지 전극의 부착 위치 15개를 선정하였고, 자극전극은 하복부와 족부에 부착시켰다. 그리고 하지 운동에 따른 임피던스 변화량과 제작한 전자각도계와의 상관성이 가장 우수한 값을 나타내는 전극의 위치를 관

찰하였다.

족관절에서부터 슬관절의 전체 길이를 H로 보고 전압 감지 전극 간의 거리가 H/4가 되도록 부착하여 족관절의 각도 변화에 의한 임피던스 변화를 측정하였다. 또한, 슬관절에서부터 고관절까지의 길이를 W로 보고 전압 감지 전극 간의 거리가 W/3가 되도록 부착하여 슬관절과 고관절의 각도 변화에 의한 임피던스 변화를 측정하였다. 전극은 직경 10mm인 Ag-AgCl (RedDot, 3M)을 사용하였다. 최종적으로 각 관절의 각도 측정을 위하여 전위차계와 각도계를 조합하여 자체적으로 전자 각도계 (electrical goniometer)를 제작하여 임피던스를 각도로 변환하는데 사용하였다. 족관절, 슬관절, 그리고 고관절의 각도를 측정하고, 측정된 임피던스 측정값을 관절의 각도로 보정하였다.

족관절의 저축 굴곡은 비복근(gastrocnemius)이, 그리고 배측굴곡은 전경골근(tibialis anterior)이 작용하므로 족관절 굴곡과 신전의 검출은 전극(1번~6번)으로 실험하였다. 이 때 전압 감지 전극의 방향과 전류가 흐르는 방향이 직각이 되면 임피던스 변화가 측정되지 않기 때문에 이 점을 고려하여 전극의 위치를 적절하게 선정되어야 한다. 따라서, 수평 방향에 위치한 전극 쌍은 측정 시 제외하게 되므로 그림 1에 나타난 전극 (1번과 2번), 전극 (3번과 4번), 전극 (5번과 6번)쌍은 제외하였다. 결국, 족관절 운동 시 측정전극의 경우의 수는 총 6개(전극 1번에서부터 6번까지)에서 2개를 선택해야 하므로, 조합(combination)을 이용하면 ${}^6C_2=15$ 이며, 평행한 전극 3쌍을 제외하므로 실험에 필요한 전극 쌍의 수는 $12(15-3=12)$ 가 된다.

슬관절의 굴곡과 신전 운동 시 관절각도 변화의 감지를 위한 측정전극은 전극 5번~14번을 이용하였다. 족관절운동의 경우와 마찬가지로, 전압 감지 전극의 방향과 전류가 흐르는 방향이 직각이 되는 전극 쌍은 제외하였다. 결국, 슬관절 운동 시 측정전극의 경우의 수는 총 10개(전극 5번에서 14번까지)에서 2개를 선택하는 경우이므로, ${}_{10}C_2=45$ 이며, 평행한 전극 13쌍을 제외하므로 경우의 수는 $32(45-13=32)$ 가 되며, 슬관절운동에 따른 임피던스 변화 값이 가장 큰 한 쌍의 전극을 선택하였다. 고관절의 굴곡과 신전 운동 시 관절각도 변화의 감

지를 위한 측정전극은 총 8개로서, 전극 7번~14번을 이용하였다. 자극전류의 방향과 수직인 전극 12쌍은 측정을 제외하였다. 결국, 고관절 운동 시 측정전극의 경우의 수는 총 8개(7번~14번)에서 2개를 선택하며, ${}_8C_2=28$ 이 되고, 평행으로 위치하는 전극 12쌍을 제외하므로 경우의 수는 $16(28-12=16)$ 이 되며, 고관절 운동에 따른 최적의 전극 위치를 찾기 위해 고관절운동에 따른 임피던스 변화 값이 가장 큰 하나의 전극 쌍의 위치를 선택하도록 하였다.

표1은 최적전극 선정을 위한 신호대 잡음비의 정의이다. 이러한 정의를 하는 이유는 각각의 관절 운동 시, 다른 관절의 운동에 의한 간섭신호가 배제된 각각의 관절운동에 대한 최적 전극의 위치를 선정하기 위해 필요하게 된다.

표 1 최적전극 선정을 위한 SNR의 정의

관절운동	간섭신호 발생	정의
Ankle Flexion/Extension	Knee Flexion/Extension	SNRI
	Hip Flexion/Extension	SNRII
Knee Flexion/Extension	Hip Rotation(lateral/medial)	SNRIII
	Ankle Flexion/Extension	SNRI
Hip Flexion/Extension	Hip Flexion/Extension	SNRII
	Hip Rotation(lateral/medial)	SNRIII
Hip Flexion/Extension	Knee Flexion/Extension	SNRI
	Ankle Flexion/Extension	SNRII
	Hip Rotation(lateral/medial)	SNRIII

먼저, 족관절 굴곡과 신전 운동 시, 족관절 굴곡과 신전운동에 따른 임피던스 변화가 신호가 되고, 슬관절의 굴곡과 신전에 따른 간섭파형은 잡음신호가 되어 이를 SNRI로, SNRII는 족관절 굴곡과 신전운동에 따른 임피던스 파형을 신호로 하고, 고관절 굴곡과 신전에 따른 관절운동의 간섭신호비이다. SNRII는, 족관절 운동시, 족관절 운동에 따른 부착전극의 임피던스 파형을 신호로 하고, 고관절의 회전에 따른 임피던스 파형을 잡음으로 한다.

슬관절 굴곡과 신전 운동시, SNRI는 슬관절 굴곡과 신전운동에 따른 부착전극의 임피던스 파형을 신호로 하고, 족관절의 굴곡과 신전에 따른 임피던스 파형을 잡음이며, SNRII는 슬관절 굴곡과 신전운동시, 슬관절 굴곡과 신전운동에 따른 부착전극의 임피던스 파형을 신호로 하고, 고관절의 굴곡과 신전에 따른 임피던스 파형을 잡음, 그리고 SNRIII는 슬관절 굴곡과 신전운동시, 슬관

절 운동에 따른 부착전극의 임피던스 파형을 신호로 하고, 고관절의 회전에 따른 임피던스 파형을 잡음이다.

고관절 굴곡과 신전 운동시, SNRI는 고관절 운동에 따른 부착전극의 임피던스 파형을 신호로 하고, 슬관절의 굴곡과 신전에 따른 임피던스 파형을 잡음으로 한다. SNRII는, 고관절 굴곡과 신전 운동시, 고관절 운동에 따른 부착전극의 임피던스 파형을 신호로 하고, 족관절의 굴곡과 신전에 따른 임피던스 파형을 잡음으로 한다. SNRII은, 고관절 굴곡과 신전 운동시, 고관절 운동에 따른 부착전극의 임피던스 파형을 신호로 하고, 고관절의 회전에 따른 임피던스 파형을 잡음으로 한다. 이와 같이 정의된 신호대 잡음비를 기준으로 하여 간섭신호의 영향이 가장 적은, 즉 신호대 잡음비가 가장 우수한 전극 쌍을 최적 전극으로 결정하게 된다.

III. 실험 결과 및 고찰

3.1 족관절 운동 측정

표 2는 족관절의 굴곡,신전, 내전, 외전, 및 회전 운동 시 최적위치는 (전극 2번과 5번)임을 알 수 있으며, 상관계수는 0.96(족관절 운동 중 전자고니오미터와 측정전극간의 상관계수)으로 가장 높게 나타났다. 상관계수는 10초동안 족관절을 굴곡, 신전시키며, 전자각도계와 관절움직임에 따른 생체 임피던스를 동시에 획득하여, SPSS 통계분석 프로그램을 이용하여, 피어슨 상관계수를 구하였다.

표 2 족관절 운동 중 각 전극쌍의 측정결과

Pair No.	Correlation coefficient	SNR I	SNR II	SNR III	Score
(2-5)	-0.880.03(1)	8.82.9(3)	14.94.0(5)	19.54.7(2)	11(1)
(1-3)	-0.780.09(9)	9.93.3(2)	16.44.5(1)	16.58.4(7)	19(4)
(1-4)	-0.860.04(2)	2.94.0(11)	9.26.4(11)	11.27.7(11)	35(10)
(2-3)	-0.830.04(6)	10.73.8(1)	15.54.4(3)	19.14.0(3)	13(2)
(1-5)	-0.810.04(7)	7.52.7(5)	15.64.4(2)	19.73.5(1)	15(3)
(1-6)	-0.790.06(8)	5.22.8(7)	15.44.9(4)	17.62.9(5)	24(7)
(3-5)	-0.840.05(4)	4.54.2(9)	11.24.4(10)	15.25.2(9)	32(9)
(2-4)	-0.850.04(3)	5.94.5(6)	13.22.1(8)	16.53.6(6)	23(5)
(2-6)	-0.830.04(5)	5.23.8(8)	14.42.9(6)	18.23.4(4)	23(5)
(4-5)	-0.730.17(11)	8.34.3(4)	14.34.7(7)	15.68.6(8)	30(8)
(4-6)	-0.730.17(10)	4.05.4(10)	13.06.3(9)	13.87.3(10)	39(11)
(3-6)	-0.720.05(12)	2.84.9(12)	9.15.9(12)	10.87.9(12)	48(12)

3.2 슬관절 운동 측정

표 3은 슬관절의 굴곡, 신전, 외전, 내전, 및 회전 운동 시 최적 전극의 위치는 (전극 2번과 5번)임을 알 수 있으며, 상관계수는 0.957(슬관절 운동 중 전자고니오미터와 측정전극간의 상관계수)으로 가장 높게 나타났다.

표 3 슬관절 운동 중 각 전극쌍의 측정결과

Pair No.	Correlation coefficient	SNR I	SNR II	SNR III	Score
(5-7)	0.9430.02(7)	16.34.3(7)	20.92.9(1)	24.02.9(3)	18(2)
(5-8)	0.9410.02(8)	15.14.1(12)	20.83.1(2)	23.13.3(7)	29(5)
(6-9)	0.9370.02(12)	16.52.6(5)	18.43.1(11)	23.23.5(6)	34(8)
(5-9)	0.9310.02(14)	15.74.0(8)	18.53.2(10)	23.73.2(4)	36(10)
(5-10)	0.9430.01(5)	16.44.4(6)	17.90.3(12)	24.22.6(2)	25(4)
(6-7)	0.9400.02(11)	17.4 3.5(2)	20.44.9 (3)	23.73.0(5)	21 (3)
(6-8)	0.9430.01(6)	14.94.4(13)	20.4 6.0 (4)	22.13.1(10)	33 (7)
(5-11)	0.9460.01(3)	14.95.3(14)	18.5 6.0 (5)	21.62.7(12)	38 (11)
(5-12)	0.9400.01(10)	14.25.3(16)	20.3 6.0 (5)	22.53.4(9)	40 (13)
(6-10)	0.9440.02(4)	16.7 3.0(4)	19.5 3.5 (6)	24.42.1(1)	15 (1)
(5-13)	0.9280.02(15)	15.24.0(10)	19.32.1 (7)	21.82.2(11)	43 (14)
(5-14)	0.9340.01(13)	15.45.1(9)	18.8 3.4 (8)	22.72.1(8)	38 (11)
(7-12)	0.1570.55(31)	2.3 4.6(30)	0.1 4.1(32)	2.95.5(32)	125 (32)
(6-11)	0.9570.01(1)	17.84.4(1)	15.55.0(14)	21.11.8(13)	29 (5)
(6-14)	0.9540.01(2)	16.94.2(3)	14.64.5 (16)	20.62.3(14)	35 (9)
(7-11)	0.6530.23(22)	7.126.1(25)	4.0 5.1(28)	6.96.8(27)	102 (26)
(6-13)	0.9410.01(9)	15.24.5(11)	15.53.6(15)	18.44.9(16)	51 (15)
(6-12)	0.8210.34(19)	12.97.9(18)	16.68.8(13)	19.18.5(15)	65 (16)
(8-11)	0.8810.02(17)	13.55.6(17)	7.44.5(21)	11.93.8(19)	74 (18)
(7-13)	0.6690.25(21)	8.7 6.5(24)	5.04.3(26)	6.75.4(28)	99 (25)
(7-14)	0.6190.28(23)	0.6 5.0(32)	3.54.7(29)	9.75.2(24)	108 (28)
(9-11)	0.8840.04(16)	14.44.0(15)	9.54.2(19)	12.74.9(18)	68 (17)
(8-13)	0.2520.30(29)	5.55.1(28)	2.15.7(31)	4.35.6(31)	119 (30)
(8-12)	0.5850.29(24)	10.75.5(20)	7.14.3(22)	10.27.1(23)	89 (22)
(8-14)	0.8680.05(18)	11.75.1(19)	4.53.6(27)	10.83.0(21)	85 (21)
(9-12)	0.7330.19(20)	9.84.9(22)	8.64.5(20)	11.16.5(20)	82 (19)
(9-13)	0.2130.51(30)	5.54.4(27)	5.64.3(25)	5.34.3(30)	112 (29)
10-13)	0.5680.41(25)	1.66.6(31)	1.07.2(17)	0.74.8(22)	95 (23)
10-14)	0.4790.42(28)	6.35.3(26)	7.76.7(24)	7.55.4(26)	104 (27)

3.3 고관절 운동 측정

표 4는 고관절의 굴곡, 신전, 외전, 내전, 및 회전 운동 시 최적 전극의 위치는 (전극 7번과 14번)임을 알 수 있으며, 상관계수는 0.80(고관절 운동 중 전자고니오미터와 측정전극간의 상관계수)으로 가장 높게 나타났다.

현재, EMG를 이용한 하지 부하 측정 연구는 많으나 임피던스와 함께 고려한 연구는 거의 전무한 상태이다. 따라서 EMG에 의한 하지운동 근육에 부가되는 힘의 정보와 임피던스 변화에 의한 움직임 정보의 분석이 필요하다.

표 4 슬관절 운동 중 각 전극쌍의 측정결과

Pair No.	Correlation coefficient	SNR I	SNR II	SNR III	Score
(7-11)	0.030.02(13)	0.10.4(14)	0.10.1(16)	1.20.3(14)	57(16)
(7-12)	0.060.03(11)	1.00.3(15)	0.30.2(9)	0.20.1(12)	47(11)
(8-13)	0.700.01(4)	9.24.0(8)	10.52.4(3)	8.23.1(6)	21(6)
(7-13)	0.030.02(14)	0.70.2(13)	0.10.1(14)	1.30.4(15)	56(15)
(7-14)	0.290.03(8)	24.24.1(1)	23.86.4(1)	26.36.1(1)	11(1)
(8-11)	0.570.01(6)	11.23.3(7)	0.10.1(12)	14.24.1(3)	28(8)
(8-12)	0.040.02(12)	1.91.1(10)	0.10.1(11)	2.11.1(16)	49(13)
(8-14)	0.740.01(3)	16.02.3(3)	4.31.4(6)	8.53.1(5)	17(3)
(9-11)	0.800.04(1)	16.43.2(2)	2.61.2(7)	7.42.1(7)	17(3)
(10-12)	0.060.02(10)	2.31.1(16)	0.10.1(13)	1.10.5(13)	52(14)
(9-13)	0.660.03(5)	14.91.5(4)	7.02.2(4)	14.26.1(4)	17(3)
(10-11)	0.010.05(16)	1.00.3(12)	0.10.1(15)	0.20.1(11)	48(12)
(9-12)	0.020.02(15)	1.60.2(11)	1.90.5(8)	1.10.4(10)	44(10)
(10-13)	0.490.04(7)	12.44.5(6)	4.61.4(5)	4.62.1(8)	26(7)
(9-14)	0.200.03(9)	7.12.0(9)	0.20.1(10)	3.71.1(9)	37(9)
(10-14)	0.800.01(2)	12.93.3(5)	17.45.4(2)	16.97.3(2)	11(1)
(7-11)	0.030.02(13)	0.10.1(14)	1.10.5(16)	1.20.4(14)	57(16)

IV. 결 론

생체 신호를 측정하기 위한 방법으로 생체 임피던스를 이용하여 인체 하지의 동작을 감지할 수 있는 시스템을 구현하였다. 족관절 굴곡과 신전 운동은 비복 근과 전경골 근의 임피던스 변화로 감지할 수 있고, 슬관절 굴곡과 신전 운동은 대퇴 사두 근과 대퇴 이두 근의 임피던스 변화로 감지할 수 있고, 고관절의 굴곡과 신전운동은 반막양근과 봉공 근이 주요하게 영향을 줌을 확인하였고, 각도계와의 비교를 통해서, 각각의 상관관계가 매우 높음을 확인하였다.

참고문헌

- [1] T. Nakamura, Y. Yamamoto, and H. Tsuji, "Fundamental characteristics of human limb electrical impedance for biodynamic analysis", Medical & Biological Engineering & Computing, vol. 30, pp. 465-473, 1992.
- [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.