

# 손가락 움직임에 의한 뇌 유발전위 검출 및 운동성 신경로 추정

배병훈\*, 김동우, 최정미, 김수용

한국과학기술원 물리학과

## Detection of Finger Motion ERP & Estimation of the Motor Neuro-Pathway

B.H.Bae, D.W.Kim, J.M.Choi, S.Y.Kim

Department of Physics, KAIST

### 요약

손가락 움직임과 관련된 운동성 유발전위를 검출하기 위하여 컴퓨터를 이용하여 피검자에게 움직임 명령을 제시하고 명령에 따른 최종적인 피검자의 운동이 나타나는 과정까지의 뇌전위를 검출하는 시스템을 구성하였다. 위와 같은 실험을 왼손, 오른손에 대하여 각각 700번 정도 수행하여 average method를 이용하여 운동성 유발전위를 검출하고, 신경전류 추적법을 이용하여 뇌의 흥분 뉴런군을 추정하였다.

### 1. 서론

시각, 청각, 촉각 자극과 같은 외부 자극에 의한 뇌 유발전위인 VEP, AEP, SEP에 대한 연구는 많이 이뤄지고 있는 반면에 사람의 어떤 특정한 행동에 관련된 행동성 유발전위는 '사건(event)'의 무작위성과 피검자의 임의성 때문에 검출에 어려움이 있다. 본 연구과정에서는 이러한 문제를 제거하기 위하여 컴퓨터의 모니터로 문자에 의한 행동 명령을 제시하고, 피검자는 해당되는 행동을 수행한다. 뇌전위는 문제 제시 직후부터 행동이 끝나는 과정동안 반복하여 측정된다.

피검자가 문제에 대응한 행동을 수행하는 반응 시간은 동일하지 않기 때문에 average method[1]를 이용하여 유발전위를 검출할때, 행동이 끝나는 시점을 기준으로 반응과정을 역으로 average하여 행동성 유발전위를 검출하였다.

좌, 우 손가락 움직임 각각에 대하여 검출된 행동성 유발전위를 이용하여 '신경전류추적법'[2]으로 흥분 뉴런군을 검출하였고, 그 결과 생리학사실과 일치함을 확인할 수 있었다.

### 2. 실험 방법

본 실험에서의 실험상황을 그림1-(a)에 나타내었다. 모든 과정이 컴퓨터에 의해 처리된다. 실험과정은 다음과 같다.

Step 1. 모니터를 이용하여 영문자 'L' 또는 'R'을 random하게 보여주는 것으로 명령을 제시한다. ('L'은 Left, 'R'은 Right를 의미한다.)

Step 2. 피검자는 문자에 대응하는 손가락으로 키보드에서 왼쪽, 오른쪽의 'Shift' key를 누른다.

Step 3. 뇌전위는 문제가 제시되는 시점에서 'Shift' key가 입력되는 동안 이뤄지며 왼쪽, 오른쪽 각각에 대하여 다른 파일에 데이터를 저장한다.

이와 같은 과정이 오른손에 대해서 732번 왼손에 대해서 746번 수행되었다.

전극은 12개를 사용하였으며, 그림1-(b)와 같은 배치를 이룬다. 그림에서 0 지점이 reference로 사용되었다. A/D 변환은 8-Bit resolution, 4ms Sampling time을 갖게 했다.

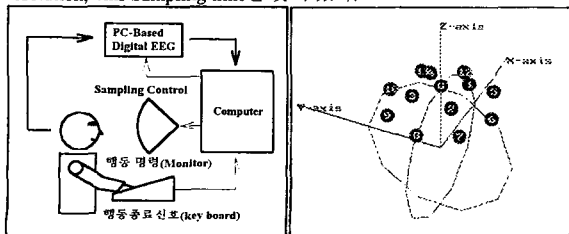


그림1. 운동성 유발전위 검출실험 및 전극배치

### 3. Evoked Potential 검출

오른손, 왼손 움직임 명령 수행과정 중의 뇌전위를 그림 2에 나타내었다. 이와 같은 실험이 왼손에 대해서 746번, 오른손에 대해서는 732번 이뤄졌으며, 각각의 경우에 대해서 피검자의 명령수행시간을 그림3에 나타내었다.

반응시간이 크게 차이가 나지는 않지만, 실제 유발전위를 검출하기 위해 average를 취해보면 이는 유발전위 파형에 크게 영향을 미칠 수 있다. 모니터로부터 문제가 제시되는 시점(first epoch)을 기준으로 하여 average 한 것이 그림4이고, 행동이 끝나는 시점(final epoch)을 기준으로 하여 average 한 것을 그림5에 제시하였다. 그림5의 경우는 시간이 그림4의 경우와는 반대이다. 즉, 그림4의 경우는 앞부분이 시자극에 의한 유발전위 영역이고, 뒷부분이 행동에 관련된 영역인 반면에 그림5의 경우는 앞부분이 행동, 뒷부분이 시자극과 관련된 영역이다. 두가지 경우 모두 그림에서 앞부분은 믿을 수 있는 영역이다. first epoch에 의한 유발전위를 보면 left와 right의 경우에 처음시작하는 부분의 파형이 전극별로 동일함을 알 수가 있는데, 이는 시자극이 왼손움직임 명령이나, 오른손 움직임 명령의 경우에 시각신경로가 동일함을 의미한다. final epoch에 의한 그림5의 경우는 앞부분이 행동에 관련된 영역이며 left와 right는 전극별로 서로 다른 파형을 보이고 있음을 알 수 있다. 이는 둘의 행동성 신경로가 서로 다를 수 있음을 의미한다. 또한, 반응시간의 차이에 의해 first epoch의 뒷부분(즉, 행동성)과 final epoch의 앞부분이 일치하지 않고, final epoch의 뒷부분(즉, 시각성)과 first epoch의 앞부분이 일치하지 않는다. 이는 반응시간의 차이와 average method의 random noise 제거 특성때문에 생기는 현상이다.

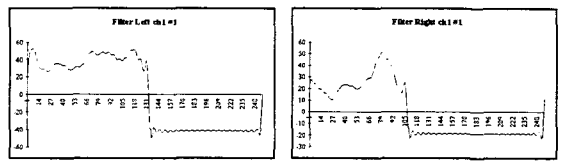


그림2. 명령수행중의 뇌전위(y축: 뇌전위, x축: 시간, 전체 1초)

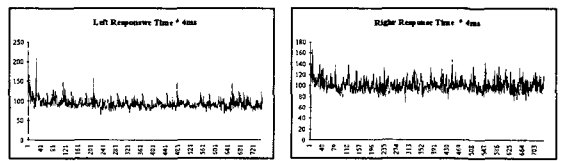
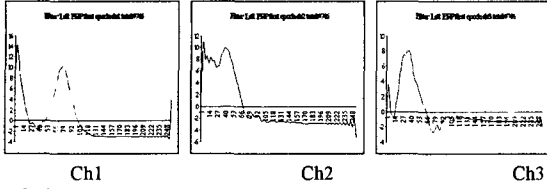


그림3. 실험횟수에 따른 명령 수행시간의 변화 (y축: 시간 \* 4ms, x축: 실험순서)

LEFT



RIGHT

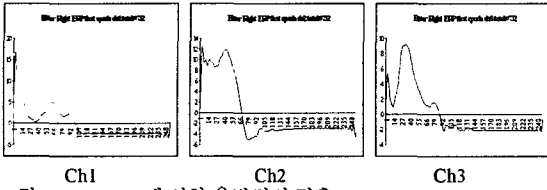
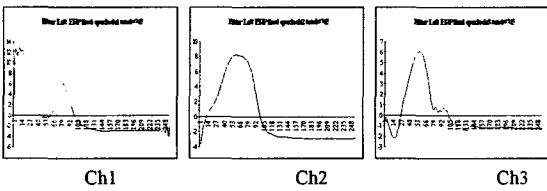


그림4. First epoch에 의한 유발전위 검출  
위: 왼손움직임에 대응한 유발전위  
아래: 오른손움직임에 대응한 유발전위

LEFT



RIGHT

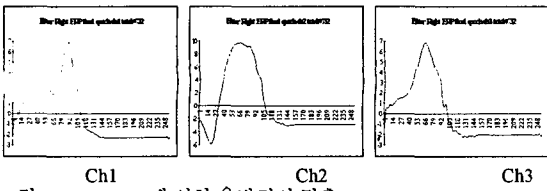


그림5. Final epoch에 의한 유발전위 검출  
위: 왼손움직임에 대응한 유발전위  
아래: 오른손움직임에 대응한 유발전위

#### 4. 흥분 뉴런군 추정

앞에서 검출한 운동성 유발전위에 대해서 흥분뉴런군의 추정을 위해서 '신경전류추적법'을 사용하였다. 머리모델은 3중구각모델, 흥분뉴런군에 대해서는 current dipole model[3]을 이용하였다. 이때, dipole Parameter  $(r_d, \theta_d, \phi_d, P_x, P_y, P_z)$ 에 의한 머리표면의 전위는 다음으로 나타난다. 좌표들간의 관계는 그림6에 나타내었다.

$$\hat{V}(\theta, \phi) = \frac{1}{4\pi\sigma_3} \sum_{n=1}^{\infty} E_n R_3^{-n} - 1 \left( 2 + \frac{1}{n} \right) \left( P'_x \cos \phi' + P'_y \sin \phi' \right) P'_n(\cos \theta) + n P'_z P'_n(\cos \theta)$$

where,

$$\sin \theta' \cos \phi' = \cos \theta_d \cos \phi_d \sin \theta \cos \phi + \cos \theta_d \sin \phi_d \sin \theta \sin \phi - \sin \theta_d \cos \theta$$

$$\sin \theta' \sin \phi' = -\sin \phi_d \sin \theta \cos \phi + \cos \phi_d \sin \theta \sin \phi$$

$$\cos \theta' = \sin \theta_d \cos \phi_d \sin \theta \cos \phi + \sin \theta_d \sin \phi_d \sin \theta \sin \phi + \cos \theta_d \cos \theta$$

$$P'_x = \cos \theta_d \cos \phi_d P_x + \cos \theta_d \sin \phi_d P_y - \sin \theta_d P_z$$

$$P'_y = -\sin \phi_d P_x + \cos \phi_d P_y$$

$$P'_z = \sin \theta_d \cos \phi_d P_x + \sin \theta_d \sin \phi_d P_y + \cos \theta_d P_z$$

최종적인 흥분 뉴런군의 추정은 simplex method를 이용하여[4], 아래의 함수를 최소화하는 parameter를 찾으면 된다.

$$S = \sum_{i=1}^N \left\{ V_i - \hat{V}_i(r_d, \theta_d, \phi_d, P_x, P_y, P_z) \right\}^2$$

where,

$V_i$ : i번째 전극의 EP 전위

$\hat{V}_i$ : 임의 parameter를 갖는 dipole에 의해 i번째 전극에서 발생하는 전위

N: 전극의 갯수

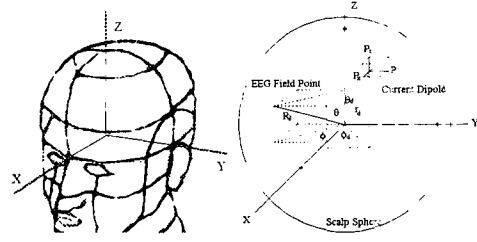


그림6. 전위계산식에 사용된 좌표계  
전류쌍극자는  $(r_d, \theta_d, \phi_d, P_x, P_y, P_z)$ 로 기술되며, 머리표면의 Field point는  $(R_3, \theta, \phi)$ 로 기술된다.

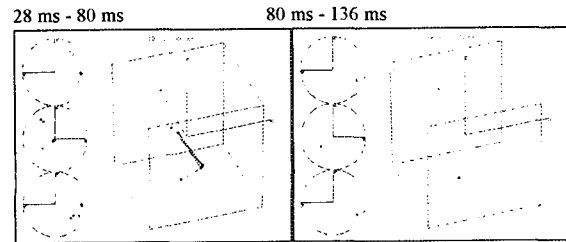
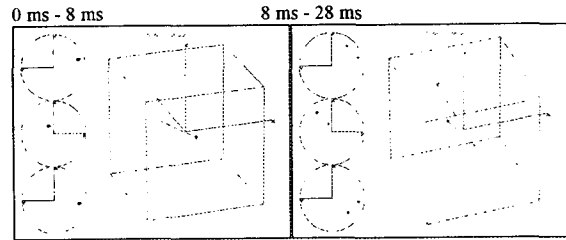


그림7. 왼손 움직임에 대한 흥분 뉴런군 추정 결과

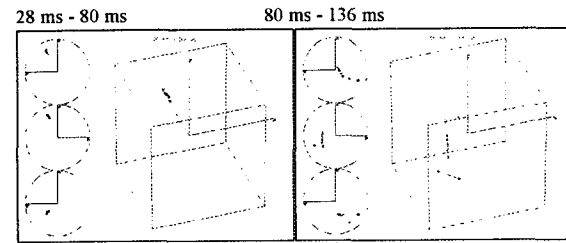
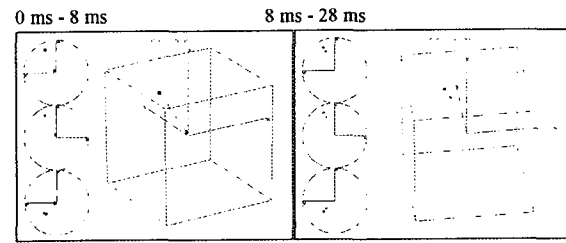


그림8. 오른손 움직임에 대한 흥분 뉴런군 추정 결과

## 손가락 움직임에 의한 뇌 유발전위 검출 및 운동성 신경로 추정

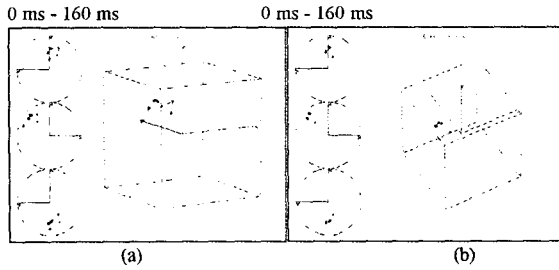


그림9. 명령 제시에 대한 흥분 뉴런군 추정  
(a) 왼손 움직임 명령 제시  
(b) 오른손 움직임 명령 제시

### 5. 추정결과 및 검토

Final epoch에 의한 왼손 움직임과 오른손 움직임의 유발전위를 이용하여 흥분뉴런군의 추정결과를 그림7.(왼손)과 그림8.(오른손)에 보였다. 여기서의 시간은 행동이 끝나는 시점이 0초이며 실제 뇌에서의 process는 반대로 생각해야 한다.

8 ms - 80 ms 영역은 왼손 움직임의 경우에는 우 대뇌피질에서 오른손 움직임의 경우에는 좌 대뇌피질에서 흥분 뉴런군이 검출되었는데, 이 영역이 motor cortex로 추정된다.

왼손인 경우 ms - 80 ms, 오른손인 경우 8 ms - 84 ms 의 경우에 검출된 흥분뉴런군이 motor cortex 영역에 해당하는 것 보인다.

그림7, 그림8.에서 80 ms - 136 ms 에서 검출된 흥분 뉴런군에서 최종적인 위치는 왼손, 오른손에서 공통으로 나타나는 지점이다. 이 부분은 왼손과 오른손을 움직이는 경우 공통적으로 필요한 process가 이뤄지는 영역이라 추측된다.

참고로 First epoch에 의한 유발전위에 의한 흥분뉴런군을 그림9에 나타냈는데, 이 부분은 모니터의 문자를 보고 있는 시점이므로 예상대로 후두부의 visual cortex에서 흥분뉴런군이 검출된 것으로 보인다.

### 6. References

- [1]. B.H.Bae, J.M.Choi, W.Han, S.Y.Kim, C.Y.Park, C.H.Kim, and S.T.Kim, "Studies on the improvement of TEP with d.c.drift elimination," J. of KOSOMBE, vol. 15, pp. 135-42, Jun. 1994.
- [2] D.W.Kim, B.H.Bae, S.Y.Kim, C.Y.Park, and S.T.Kim, "The influence of the electrodes, the position and direction of a single dipole on the relation between S/N ratio and EEG dipole source estimation errors," J. of KOSOMBE, vol.15, Mar. 1994.
- [3] F. F. Offner, "Bioelectric Potentials-Their Source, Recording, and Significance," *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol BME-31, pp. 863-868, Dec. 1984.
- [3] G.Arffen, *Mathematical Methods For Physicists*. Academic press, 1985.
- [4] W. H. Press, S. A. Teucolsky, W. T. Vetterling, and B. P. Flannery, *Numerical Recipes in C: The art of scientific computing*, Cambridge university press, 1992.