

금박 공막테를 사용한 이중자기유도법의 전이 특성

이준길, 정수영, 박정현, 김정훈
서울대학교 심리학과

Transfer characteristics of a double magnetic induction method
using goldens scleral ring for measuring eye movements

C. Lee, S. Chung, J. Park, and J. Kim
Dept. of Psychology, Seoul National University

초 록

고주파 자장 유도를 사용하는 공막 탐지 코일(scleral search coil) 법에 의한 안구 운동의 측정은 분해능, DC 안정성의 장점때문에 정밀 측정의 대표적인 기법으로 정착되었다. 본 연구에서는 공막 탐지 코일 법의 한 변형으로서 비교적 간단한 자장 구동 및 탐지회로를 채택하였고 보다 높은 착용감을 주도록 고안된 금박 공막테를 사용하여 안구 운동을 측정한 결과에 관한 것이다.

서 론

고주파 자장 유도를 통해 안구 운동을 측정하는 방법은 David A. Robinson에 의해 처음 소개되었다. Robinson(1963)의 방법은 Helmholtz 코일에 의한 간단한 자기 유도의 원리를 이용한 것이다. 탐지 코일이 들어 있는 공막 콘택트 렌즈를 피험자의 한 눈에 착용시키고 그 눈을 정면파에 의해 구동되는 수평 방향의 자장과 이와 90도의 위상차를 가지는 수직 방향의 자장의 중앙에 위치시켜서 코일에 유도되는 전압을 위상 탐지하면 자장의 두 축과 탐지 코일이 이루는 각도에 비례하여 안구의 수평, 수직 위치의 신호를 얻을 수 있다. 흔히 공막탐지코일(scleral search coil) 기법으로 불리는 이 방식의 장점은 측정 범위와 선형 출력의 범위가 넓으며, 눈의 깜박거림에 의해 거의 영향을 받지 않고, 무엇보다도 공간적 정밀도가 높아서 정밀 측정의 대표적인 기법으로 정착되었다. 또한 안구 위치의 신호가 연속적으로 제공되기 때문에 안구 운동 분석의 시간적 정밀도가 높다. 공막탐지코일의 변형으로서 수술을 통해 동물의 안구 위에 코일을 직접 부착하여 콘택트 렌즈를 대체하는 기법이 소개되었으며(Fuchs & Robinson, 1966; Judge 등, 1980), 실리콘 고무를 소재로 한 탐지테의 사용도 시도되었다(Collewijn 등, 1975). 안구에 부착시키는 탐지 코일 자체의 변형과는 별도로 Remmel(1984)은 정방형파

에 의해 구동되는 자장을 사용함으로써 저렴한 비용으로 제작된 회로를 이용하여 위상탐지를 수행하는 방식을 소개하였다.

안구 운동을 공막탐지코일 기법으로 측정하였을 때의 가장 큰 단점은 콘택트 렌즈에 부착된 전선이 주는 불편감으로 인해 흔히 30여분 이상의 착용이 곤란하며 드물지 않게 전선이 절단되어 소모적이라는 것이다. 따라서 이를 개선하기 위해 Reuten & Bakker(1982)는 이중자기 유도법을 개발하였다. 이 방법은 공막 코일을 이루는 두 전선의 끝을 합선시켜 공막 코일에서 생성되는, 공막코일의 위치에 따라 변하는 2차 자장을 안구 전면의 탐지 코일에 의해 2차 유도하고 위상 탐지함으로써 안구의 수평 수직 위치에 관한 신호를 얻는 것이다. Bourd(1984)의 금속테를 사용한 측정 시스템도 동일한 원리에 기초하고 있다. 이중자기 유도를 함으로써 공막탐지 코일에 부착된 전선은 불필요해졌지만 종래의 공막 코일은 흡착에 의해 안구 표면에 부착되도록 제작해야 하므로 가공이 까다롭다.

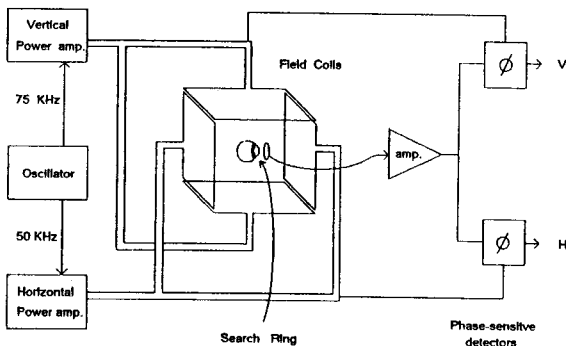
본 연구는 정방형파를 구동파로 사용하면서 동시에 이중자기유도에 의해 안구 운동을 측정한 결과에 관한 것으로서 정방형파를 구동파로 사용하였을 때에는 탐지코일에 유도되는 전류의 모델화가 용이하지 않은 바, 현재 사용하고 있는 시스템의 전이 특성에 관한 경험적 자료를 소개하고자 한다. 본 연구에서 사용된 안구 운동 측정 시스템의 특징은 Remmel(1984)의 저렴한 탐지 회로를 일정한 방식으로 수정하

여 채택하였다는 점과 14K 금박으로 제작된 공막 탐지테의 우수한 기능이다.

방법

인간 피험자의 오른쪽 눈에 2-3 방울의 마취 안약(0.5% tetracaine hydrochloride)을 떨어뜨리고 3-5분이 경과한 후에 세척된 공막테를 각막 주위에 부착하였다. 공막테는 국내에서 제작된 것으로서 14K의 금박(두께 0.3mm)을 재료로 하여 원형의 반지 모양으로 우선 만든 다음, 공막(sclera)의 곡면에 부합하는 3차원적 구조를 가지도록 가공하여 기계적으로 표면 처리한 것이다. 공막테의 외경은 17mm이며 내경은 각막의 직경과 비슷한 12mm로서, 부착되었을 때 튀어 나온 각막의 가장자리에서 볼록해 미끄러지지 않고, 무게는 0.5g으로 안구의 무게(7.0g)에 비해 충분히 가벼워서 안구의 운동을 충실히 따름을 확인하였다.

피험자의 오른쪽 눈이 수평 방향으로 50kHz, 수직 방향으로 75kHz로 빠르게 교번하는 자장의 증앙에 위치하도록 피험자를 앉힌 후 머리를 고정 장치에 밴드(velcro)로 고정하였다. 정사각형의 자장틀을 따라 에나멜로 두겹게 절연된 1.30mm 직경의 전선을 각각 4번 감아 구성된 두 쌍의 코일(0.6Ω)을 통해 증폭된 고주파 전류를 통과시킴으로써 주 자장이 형성되었다(「그림 1」). 공막테를 착용한 피험자의 오른



「그림 1」 이중자기유도 시스템의 도식. 정사각형의 틀에 감긴 전선이 수직, 수평 자장을 형성하고, 자장의 증앙에 금박 공막테를 부착한 한 쪽 눈과 눈의 전면에 위치한 탐지 코일을 도식적으로 표시하였다. 탐지 코일에 유도되는 전압은 증폭되어 수직, 수평 자장 구동 신호를 기준으로 위상 탐지되어 공막테가 향하는 방향, 즉, 시선의 방향에 비례하는 신호를 제공한다.

쪽 눈 바로 앞에 에나멜로 절연된 직경 0.2mm 동선(금성전선)을 350 바퀴 감아 직경 5cm되게 만든 탐지 코일을 위치시켰다. 주 자장에 의해 공막테에 유도되는 전류가 2차 자장을 형성하고 이어서 2차 자장이 탐지 코일에 2차 전압을 유도하는데 이 2차 전압을 일정한 방식으로 위상 탐지하여(Remmel, 1984) 안구의 위치에 비례하는 신호를 얻을 수 있었다(「그림 1」). 금박 공막테를 사용한 경우의 전이 특성을 공막 코일을 사용한 경우와 비교하기 위해서 동일한 구동 및 탐지회로를 사용하여 피험자에게 공막 코일(Skalar medical, Netherlands)을 착용케하고 동일한 실험을 반복하였다.

안구의 위치에 관한 신호는 12bit A/D 변환(LabMaster, Tecmar Inc.)을 거쳐 IBM 호환 소형 컴퓨터에 제공되어 그래픽 화면에 제시되고 저장, 분석되었다.

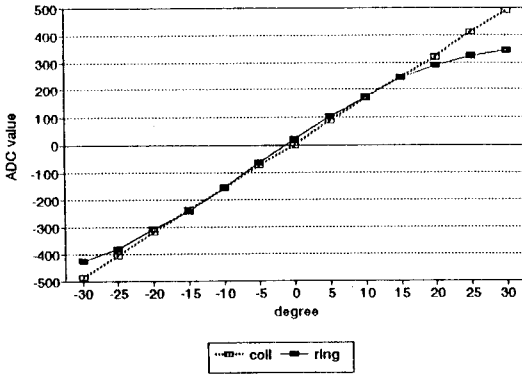
결과 및 논의

공막테 혹은 공막 코일을 착용한 피험자로 하여금 눈 높에서 수평으로 -30도에서 +30도 사이에 5도 간격으로 배열된 13개의 LED (직경 0.3도) 각각에 시선을 고정시켰을 때 얻어지는 시스템의 출력을 「그림 2」에 제시하였다. 「그림 2」에서 보는 바와 같이 두 경우 모두 측정 범위는 +/- 30도 이상에 달한다. 공막테와 코일의 수행간에 보이는 차이 중 하나는 선형 출력의 범위이다. 공막 코일의 경우 「그림 2」에서 보는 바와 같이 선형 출력의 범위는 +/- 30도에 이르렀지만 공막테의 경우 선형 범위는 +/- 10도 정도였다. 공막테를 사용하였을 경우, 시스템의 잡음은 안구 회전 각도 0.5도의 크기에 해당하였다. 그러나 안구 위치의 신호가 연속적으로 제공되기 때문에 A/D 변환의 빈도를 증가시키고 신호처리 기법을 사용함으로써 측정의 정밀도를 향상시킬 수 있다.

인간의 대부분의 안구운동의 크기가 10도 이내인 것을 고려하면 금박 공막테의 비선형적 전이 특성은 실제 심각한 문제가 아닐 수 있으며 또한 비선형성을 교정하는 모듈을 포함시킬 수 있다.

금박 공막테를 사용한 이중자기유도법은 그동안 저자의 실험실에서 안구 운동성의 정밀 진단이 의뢰된 신경과 환자들과 저자를 포함하여 10명 이상의 피험자에게 사용되었으며 1회 착용 기간은 2시간 이상에 이르기기도 하였다. 연속 5일 동안에 동일 피험자에게 매일 사용하기도 하였으며 동일 피험자에게 1일 2회 사용하기도 하였다. 이 가운데 공막테의 착용과 관련하여 의료 상의 문제가 발생한 경우는 한 건도 없었다. 공막 코일을 착용할 경우, 코일에 부착된 전선이 주는 불편함으로 인해서 30분 이상 착용이 힘든 점을 고려하면 금박 공막테의 월등한 착용감은 렌즈 코일과 비교할 바가 아니다.

자장 유도에 의한 안구 운동의 측정은 일반적으로 다른 방법에 비해 가격이 싸고, 측정의 정밀도가 우수하고 측정 범위



「그림 2, 금박 공막테와 탐지 코일을 사용한 출력의 비교. 금박 공막테 혹은 공막 코일을 착용한 피험자가 시선을 고정하고 있는 LED의 각거리에 대한 시스템 출력을 표시한 것이다. 중앙으로 표시된 0도의 위치는 조정(calibration) 과정에서 임의로 결정된 것이다. 또한 Y축에 표시된 출력도 임의의 단위이다.

가 넓다. 본 연구에서 사용된 측정 시스템은 자장 유도를 이용한 여러 변형 가운데서도 가장 저렴한 비용으로 용이하게 안구 운동을 측정할 수 있는 것이다. 이 시스템을 사용하여 수행한 정신물리학적, 신경생리학적 연구 결과들(Lee, 1991; Lee 등, 1991, 1992)과 한글을 읽을 때 관찰되는 안구운동의 특징에 관한 예비 결과들(김정훈과 이춘길, 1991)이 발표되었다.

주 자장을 형성하는 코일을 지지하는 구조물은 인간, 원숭이, 고양이의 안구운동을 측정할 수 있게 설계되어 현재 사용되고 있으며 수마리 고양이의 안구에 Judge 등(1980)이 기술한 절차에 따라 탐지코일 삽입 수술이 이루어져서 안구 운동이 측정되고 있다.

참 고 문 헌

김정훈, 이춘길. 한글 읽기에 나타나는 안구운동의 특징. 제3회 한글 및 한국어 정보처리 학술대회, 서울, 1991.

Bour, L. J., Gisbergen, J. A. M. V., Buijns, J., & Ottes, F. P. The double magnetic induction method for measuring eye movement - results in monkey and man. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, BME-31: 419-427, 1984.

Collewijn, H., Van der Mark, F., & Jansen, T. C. Precise recording of human eye movements. Vision Res., 15: 447-450, 1975.

Fuchs, A. F. & Robinson, D. A. A method for measuring horizontal and vertical eye movement chronically in the monkey. J. Appl. Physiol., 21: 1068-1070, 1966.

Judge, S. J., Richmond, B. J., & Chu, F. C. Implantation of magnetic search coils for measurement of eye position: an improved method. Vision Res., 20: 535-538, 1980.

Lee, C. The most inexpensive method of recording human eye movements used to study auditory influences in the generation of visually-guided saccades. Proceedings of the Korea-US bilateral workshop on computers, artificial intelligence and cognitive science, pp107-113. Seoul, Korea, 1991.

Lee, C., Chung, S., Kim, J., & Park, J. Auditory facilitation of visually-guided saccades. Society for Neuroscience Annual Meeting, New Orleans, 1991.

Lee, C., Kim, J., Park, J., & Chung, S. Oscillatory discharges of the cat visual cortex during saccadic eye movements. Society for Neuroscience Annual Meeting, Anaheim, 1992.

Rommel, R. S. An inexpensive eye movement monitor using the scleral search coil technique. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, BME-31: 388-390, 1984.

Reulen, J. P. H. & Bakker, L. The measurement of eye movement using double magnetic induction. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, BME-29: 740-744, 1982.

Robinson, D. A. A method of measuring eye movement using a scleral search coil in a magnetic field. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, BME-10: 137-145, 1963.

사 의

본 연구는 한국과학재단 92-01-00-04 지원에 의해 이루어졌다.