

# 시각추적과제의 뇌자도 : 예비실험

강원대학교 의과대학 신경과학교실, 서울대학교 의과대학 신경과학교실\*, 동국대학교 의과대학 일산병원 신경과학교실†

김성훈 · 이상건\* · 김광기†

## A Pilot MEG Study During A Visual Search Task

Sung Hun Kim, M.D., Sang Kun Lee, M.D.\*, Kwang-Ki Kim, M.D.†

*Department of Neurology, Kangwon National University, College of Medicine*

*Department of Neurology, Seoul National University, College of Medicine\**

*Department of Neurology, Dongguk University, College of Medicine†*

**Background:** The present study used magnetoencephalography (MEG) to investigate the neural substrates for modified version of Treisman's visual search task. **Methods:** Two volunteers who gave informed consent participated MEG experiment. One was 27-year old male and another was 24-year-old female. All were right handed. Experiment were performed using a 306-channel biomagnetometer (Neuromag LTD). There were three task conditions in this experiment. The first was searching an open circle among seven closed circles (open condition). The second was searching a closed circle among seven uni-directionally open circles (closed condition). And the third was searching a closed circle among seven eight-directionally open circles (random (closed) condition). In one run, participants performed one task condition so there were three runs in one session of experiment. During one session, 128 trials were performed during every three runs. One participant underwent one session of experiment. The participant pressed button when they found targets. Magnetic source localization images were generated using software programs that allowed for interactive identification of a common set of fiduciary points in the MRI and MEG coordinate frames. **Results:** In each participant we can found activations of anterior cingulate, primary visual and association cortices, posterior parietal cortex and brain areas in the vicinity of thalamus. **Conclusions:** we could find activations corresponding to anterior and posterior visual attention systems.

**Key Words:** Visual search, Magnetoencephalography, Attention

### 서 론

영상류의 시지각 경로는 안구에 있는 망막으로부터 가쪽무릎핵(lateral geniculate nucleus)를 거쳐서 일차시각피질로 연결되는 구조로 되어 있다. 일차시각피질에서 신경세포의 활성 양상이 시각영상으로 변환된다. 망막과 가쪽무릎핵의 신경세포들이 각 시점에서 영상대비 정보를 변환한다. 그런 후에 가쪽무릎핵으로부터 대량의 정보를

전달 받은 일차시각영역의 신경세포들이 영상의 크기, 방위, 운동의 방향, 깊이 등에 대한 정보를 변환하게 된다.<sup>1</sup>

영상류에서는 망막의 신경세포로부터 가쪽무릎핵을 거쳐 일차시각피질에 이르기 까지, 두 종류의 병렬적인 경로를 통하여 정보가 전달된다. 그것은 P 경로와 M 경로로서 각각 P 경로는 영상의 색깔과 모양 정보를, M 경로는 운동선택적인 정보를 처리한다.<sup>2</sup> 앞서 언급한 P 경로, M 경로와 함께, 일차시각피질로부터 두정엽 쪽으로의 등쪽경로, 후측두엽 쪽으로의 배쪽경로 등으로 각각 구분되며, 그 기능이 특화되어 있다고 생각되는 한편으로, 일차영역과 이차 및 연합영역 등으로 나뉘어져 있어서, 정보의 가공 및 이용이 가능하게 될 것으로 생각된다. 최근 뇌영상 기법의 발달로 기능적 자기공명 영상 연구를 통해 시지각 영역에 대한 연구들이 행해져 왔다. 초기 시지각

Address for correspondence;

**Kwang-Ki Kim, M.D.**

Department of Neurology, Dongguk University International Hospital

814 Siksa-dong, Ilsan dong-gu, Goyang-si,

Gyeonggi-do, 411-773, Korea

Tel: +82-31-961-7218 Fax: +82-31-961-7977

E-mail: neukim@duih.org

영역에 대한 연구로 V1, V2, V3, V4/V8 영역들로 생각되는 뇌영역에 대한 지도화 연구가 있었다.<sup>3-5</sup> 또한, 운동을 감지하는 고위뇌영역<sup>6,7</sup> 및 깊이 감각과 물체에 선택적인 반응을 하는 고위뇌영역들에 대한 보고도 있었다.<sup>8,9</sup>

이러한 연구들을 통하여 기본적으로 시지각 과정에는 일차영역으로부터 고위연합영역에 이르기까지 그 영역이 기능적으로 특화되어 있을 뿐만 아니라, 또한 계층적으로 (hierarchically) 구성되어 있다고 생각된다. 최근 일련의 실험을 통한 배쪽경로에 대한 시지각 연구에서 초기 시지각 영역과 고위연합영역에서의 자극에 대한 반응패턴의 분석을 통해 계층적인 구성을 시사하는 소견이 관찰되었다.<sup>10</sup>

한편, Treisman은 주의 집중에 관련된 과제로 열린 원과 닫힌 원에 대한 실험을 시행한 바가 있다.<sup>11</sup> 이 실험에서 열린 원들 중 닫힌 원을 찾는 것이 닫힌 원들 중 열린 원을 찾는 것보다 반응시간이 오래 걸린다는 재미있는 사실을 발견하였다. 또한, 열린 원들 중 닫힌 원을 찾는 과제를 수행할 때 열린 원의 개수가 늘어날수록 그 반응시간이 비교적 비례적으로 증가하는 현상을 발견하였다. Treisman 등은 이러한 현상을 시각적 주의 조절의 관점에서 설명하려고 노력하였다. 본 논문에서는 Treisman 등의 실험과제를 변형한 시각추적 과제를 시행하는 동안의 뇌의 활성화 양상을 뇌자도를 통하여 알아본 예비실험의 결과를 보고하고자 한다.

## 대상과 방법

### 1. 대상

27세인 1명의 남자와 24세인 1명의 여자 자원자가 충분한 설명을 듣고, 동의한 후에 뇌자도 예비실험에 참여하였다.

### 2. 실험과제

Treisman 과 Gormican의 실험 과제에 1가지를 추가하여 변형한 아래의 3가지 과제를 수행하도록 하였다.<sup>11</sup> 1) 8개의 원 중 열린 원 찾기, 2) 8개의 원(7개의 한 방향으로 열린 원) 중 닫힌 원 찾기, 3) 8개의 원(7개의 서로 다른 방향으로 열린 원) 중 닫힌 원 찾기. 자원자들은 뇌자도 촬영기 안에서 스크린을 통하여 제시되는 과제를 수행하도록 하였다. 각각의 원 안에는 번호가 쓰여 있어서 자원자들은 원의 번호를 말함으로써 반응을 보이도록 하였다. 음성 발화의 반응시간을 기록하고, 그 내용을 녹음하여 반응 시간 및 정답 유무를 확인하였다. 각 과제 조건별로 총 128개의 시행을 하였다.

### 3. 뇌자도 촬영 및 데이터 분석

뇌자도 촬영은 직각 평면의 쌍으로 된 자기경사기록계

와 102개의 기록 장치가 장착된 306 채널의 뇌자기측정기 (Neuromag LTD) 를 이용하였다. 뇌자도 촬영을 하기 전에 3 차원 자기 디지털타이저를 이용하여 양쪽 귓바퀴 앞과 코뿌리점을 기준으로 머리중심의 좌표계를 정하였다. 모든 실험은 자기적으로 차폐된 방에서 시행되었다. 실험 데이터 신호들을 평균화한 후에 추가적인 디지털 필터 적용(10~100Hz) 및 기저선 교정을 시행하였다. 통계적 분석은 상용 프로그램인 Curry (Neuroscan, Hamburg)를 이용하여 sLORETA<sup>12</sup>를 적용하여 분석하였다. 분석은 반응시간을 참조하여 1) 조건은 자극 제시 후 800 msec 까지를, 2), 3) 조건은 자극 제시 후 1000 msec까지를 시행하였다. 이렇게 분석된 결과는 각 자원자의 T1 강조 영상에 표시하였다.

## 결 과

분석결과는 Fig. 1, 2에 제시하였다. 시간 순서에 따른 뇌 활성화 양상의 변화를 관찰할 수 있었는데, 전두엽의 띠이랑(cingulate gyrus) 부분, 전두엽, 일차시각피질, 두정엽, 외측 후두엽, 시상근처 부위의 활성화가 관찰되었다. 특히 과제 수행의 초반에는 띠이랑의 활성화가 주로 관찰되다가 중반 이후부터 띠이랑, 전전두엽의 활성화와 함께 일차 시각피질, 두정엽, 외측 후두엽, 시상근처 부위의 활성화가 관찰되었다.

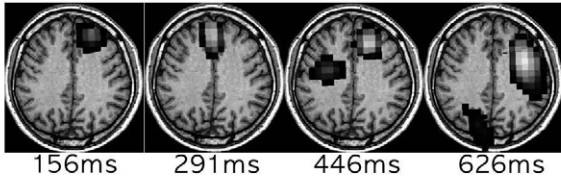
## 고 찰

우리가 친숙한 광경을 볼 때에 공간적인 뼈대로 조직된 즉각적인 인상을 만들어 낸다. 이러한 시각적인 장면은 빠른 시간 안에 방향성, 색깔, 공간 빈도, 움직임 이라는 각 요소에 대해 선택적으로 반응하는 수용체들에 의해 분석되고, 이러한 성질들을 각각 뇌의 다른 부위에 그려 넣을 것이라고 생각할 수 있다.<sup>13</sup> 원숭이 실험을 통하여 4백만 개 이상의 원추형 광수용체를 통하여 빛 정보를 집적하고, 수 백만개의 다른 망막 신경세포에 의해 처리되어 1600만 개의 망막결절세포(retinal ganglion cell)에서 일련의 활동전위가 생성된다고 알려졌다.<sup>14</sup> 이러한 신호들은 시신경을 통하여 시상의 가쪽무릎핵을 거쳐 일차시각피질의 1억 2천만개의 신경세포에 연결되어 있다.<sup>15,16</sup> 망막결절세포로부터의 이러한 신호들은 시각피질에서 정보의 추출 및 재구성 등을 통해서 시각 장면을 나타내기 위해 최적화된다.<sup>17</sup>

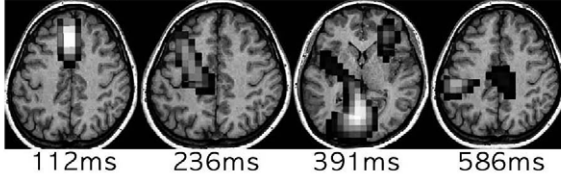
한편으로 이러한 시각 장면들을 분석하는 과정에 시각적 주의집중 기전이 포함되는데, 특별히 눈에 잘 띄는 모양은 “튀어 나오는(pop-out)” 효과를 통하여 저절로 집중을 이끌어 내게 된다.<sup>18</sup> 정신물리적인 실험 등을 통하여 ‘튀어 나오는’ 효과는 주위의 다른 사물의 수와 무관하

1) Open condition

a) Participant 1

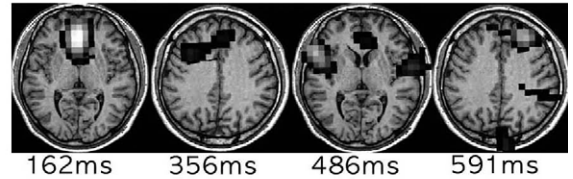


b) Participant 2

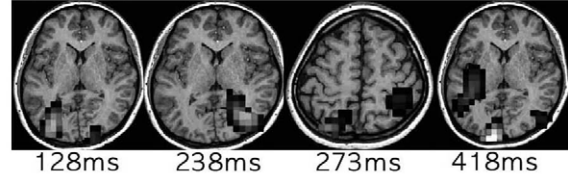


2) Closed condition

a) Participant 1

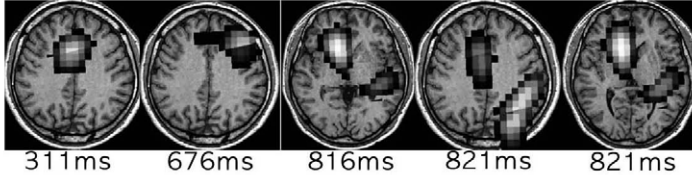


b) Participant 2

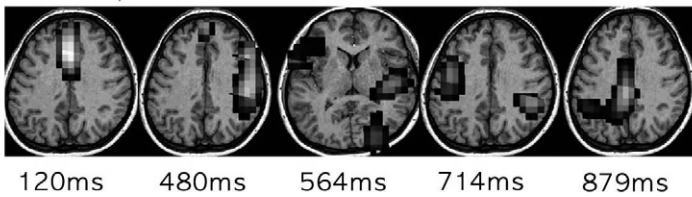


3) Random condition

a) Participant 1



b) Participant 2



**Figure 1.** Results of MEG study in participants 1 and 2. Activations in anterior cingulate, prefrontal cortex, primary visual cortex, posterior parietal cortex and pulvinar area were shown. Interestingly, anterior cingulate and prefrontal activations were prominent all over the response time in every participant. On the other hand, in the latter part of response time, primary visual cortex, posterior parietal cortex, and pulvinar area activations were shown more frequently than in the first part of response time especially in closed and random condition.

게 순간적으로 이루어지는 자동적이고, 주의집중 이전의 (pre-attentive) 과정으로 알려져 있다.<sup>13,19,20</sup>

이것과 관련하여 ‘눈에 띄는 모양의 지도(salientcy map)’ 라는 개념이 제기되었다.<sup>21</sup> 그리고, 이러한 지도에 해당하는 해부학적 구조로 전두안구운동영역, 두정안구운동영역, 위둔덕(superior colliculus), 시상베개(pulvinar), 일차시각영역 등이 제안되었다.

한편으로, Treisman과 Gelade는 시각추적의 기전을 두 단계로 구분하였다.<sup>13</sup> 첫 단계는 주의집중 이전의 단계로 제한된 수의 기본 모양 들을 병렬적으로 처리하는 단계이고, 두 번째 단계는 복잡한 과정으로 한 가지 물체를 순서적으로 인식하는 단계이다. 이러한 현상은 시각 추적 과제의 비대칭성에서 관찰할 수 있는데, Treisman 의 여러 과제 중에 닫힌 원과 열린 원을 이용한 과제도 이에 해당한다. 닫힌 원 중에서 열린 원을 찾는 과제를 수행할 때에는 열린 원이 ‘튀어 나오는’ 현상을 통하여 주변 닫힌 원의 갯수와 상관없이 병렬적인 처리과정을 거치는데 비해, 열린 원 중에 닫힌 원을 찾는 과제에서는 순서적인 처

리과정을 거치게 되어 주변 열린 원의 갯수가 많아짐에 따라 닫힌 원을 찾는데 시간이 오래 걸리는 현상이 관찰되었다. 이러한 두 과정은 전주의조직(anterior attention system) 과 후주의조직(posterior attention system)이라는 두 개의 독특한 조직망에 의해 수행된다고 알려져 있다.<sup>22</sup> 전주의조직(전대상회 와 기저핵)은 복잡한 작업을 수행하기 위해 좀 더 실행적인 기능을 하면서 여러 뇌영역이 주의집중과정에 참여하도록 하면서 조절을 하는 기능을 하는데 비해 후주의조직(superior parietal cortex, pulvinar and superior colliculus)은 한 개의 자극 위치를 선택하고, 주의 집중을 한 자극으로부터 다른 자극으로 이동하는 역할을 한다. 본 연구에서는 시각추적 기전의 두 단계를 수행하는데 전주의조직과 후주의조직이 실제로 활성화 되는지, 시간 순서의 차이가 있는 지 등을 알아보고자 하였다. 결과적으로, 두 명의 자원자 모두 전주의조직인 전대상의 활성이 과제의 전 부분에 걸쳐서 잘 관찰되는 데에 비해, 후주의조직인 두정엽, 시상부위 등은 과제 수행의 중반 이후부터 후반부에 활성화가 관찰되

었다. 이것은 전주의조직은 주의집중 이전의 단계부터 과제 수행의 전체에 관여하는 것으로 생각되고, 후주의조직은 시각추적과제 수행의 후반부에 주의집중의 조절을 통하여 순서적인 정보처리 과정에 많은 관여를 하는 것으로 유추할 수 있다.

본 실험은 예비 연구로서 추후 더 많은 피험자에서의 정보 수집과 그룹분석 등의 추가적 분석이 필요할 것으로 생각된다.

## REFERENCES

- Gazzaniga M. The Cognitive Neurosciences Third ed: A Bradford Book, 2004:303-323.
- Livingstone M, Hubel D. Segregation of form, color, movement, and depth: anatomy, physiology, and perception. *Science* 1988;240:740-749.
- DeYoe EA, Carman GJ, Bandettini P, et al. Mapping striate and extrastriate visual areas in human cerebral cortex. *Proc Natl Acad Sci U S A* 1996;93:2382-2386.
- Sereno MI, Pitzalis S, Martinez A. Mapping of contralateral space in retinotopic coordinates by a parietal cortical area in humans. *Science* 2001;294:1350-1354.
- Wandell BA. Computational neuroimaging of human visual cortex. *Annu Rev Neurosci* 1999;22:145-173.
- Tootell RB, Reppas JB, Kwong KK, et al. Functional analysis of human MT and related visual cortical areas using magnetic resonance imaging. *J Neurosci* 1995; 15:3215-3230.
- Watson JD, Myers R, Frackowiak RS, et al. Area V5 of the human brain: evidence from a combined study using positron emission tomography and magnetic resonance imaging. *Cereb Cortex* 1993;3:79-94.
- Grill-Spector K, Malach R. fMR-adaptation: a tool for studying the functional properties of human cortical neurons. *Acta Psychol (Amst)* 2001;107:293-321.
- Stanley DA, Rubin N. fMRI activation in response to illusory contours and salient regions in the human lateral occipital complex. *Neuron* 2003;37:323-331.
- Kandel E. Principles of Neural Science. Fourth ed: McGraw-Hill, 2000:492-545.
- Treisman A, Gormican S. Feature analysis in early vision: evidence from search asymmetries. *Psychol Rev* 1988; 95:15-48.
- Pascual-Marqui RD. Standardized low-resolution brain electromagnetic tomography (sLORETA): technical details. *Methods Find Exp Clin Pharmacol* 2002;24 Suppl D:5-12.
- Treisman AM, Gelade G. A feature-integration theory of attention. *Cognit Psychol* 1980;12:97-136.
- Rodieck RW, Watanabe M. Survey of the morphology of macaque retinal ganglion cells that project to the pretectum, superior colliculus, and parvocellular laminae of the lateral geniculate nucleus. *J Comp Neurol* 1993;338:289-303.
- Beaulieu C, Kisvarday Z, Somogyi P et al. Quantitative distribution of GABA-immunopositive and -immunonegative neurons and synapses in the monkey striate cortex (area 17). *Cereb Cortex* 1992;2:295-309.
- Van Essen DC, Newsome WT, Maunsell JH. The visual field representation in striate cortex of the macaque monkey: asymmetries, anisotropies, and individual variability. *Vision Res* 1984;24:429-448.
- Van Essen DC, Anderson CH, Felleman DJ. Information processing in the primate visual system: an integrated systems perspective. *Science* 1992;255:419-423.
- Nothdurft H. Saliency from feature contrast: additivity across dimensions. *Vision Res* 2000;40:1183-1201.
- Wolfe JM. Moving towards solutions to some enduring controversies in visual search. *Trends Cogn Sci* 2003;7:70-76.
- Bergen JR, Julesz B. Parallel versus serial processing in rapid pattern discrimination. *Nature* 1983;303:696-698.
- Koch C, Ullman S. Shifts in selective visual attention: towards the underlying neural circuitry. *Hum Neurobiol* 1985;4:219-227.
- Posner MI, Petersen SE. The attention system of the human brain. *Annu Rev Neurosci* 1990;13:25-42.