

삼차원 시각 자극을 이용한 f-MRI 연구

안창범¹ · 김치영² · 박호종¹ · 오승준¹

목적 : 기존의 시각 자극과 관련한 뇌기능 연구가 일반적인 이차원 시각 자극을 이용한 데 반하여 본 논문에서는 삼차원 스트레오스코픽 비전에 의한 시각 자극을 이용한 뇌기능 영상 연구를 수행하였다. 본 연구를 통하여 삼차원 시각처리와 관련한 뇌의 기능 영역 및 특징을 이차원 시각 자극 결과와 비교 검토하였다.

대상 및 방법 : Anaglyph(이차원 그림을 칼라 코딩한 후 왼쪽과 오른쪽에 서로 다른 색깔의 렌즈를 사용하여 스트레오스코픽 비전을 구현)를 이용하여 삼차원 시각 자극을 주었으며, 이와 비교를 위하여 동일한 영상으로 이차원 시각 자극을 구현하였다. 건강한 volunteer들에 대하여 삼차원 및 이차원 시각 자극에 대한 뇌기능 영상을 3.0 Tesla MRI 시스템에서 얻었다.

결과 : 삼차원 시각 자극에 의하여 활성화된 뇌의 영역은 이차원 시각 자극과 동일하게 후두엽으로 나타났으며, 삼차원 시각 자극에 의한 활성영역이 이차원 시각 자극에 의한 영역 보다 약 18% 더 넓게 나타났다.

결론 : 사람은 양 눈을 사용하여 삼차원 물체를 인식한다. 삼차원 물체 인식은 스트레오스코픽 비전에 기인하는데, anaglyph 를 이용하여 삼차원 시각 자극에 대한 뇌기능 영상을 3.0 Tesla MRI 시스템에서 수행하였다. 삼차원 시각 자극에 의하여 활성화된 뇌의 영역은 이차원 시각 자극과 동일하게 후두엽으로 나타났으나, 활성영역이 이차원 자극에 비하여 약 18% 더 넓게 나타났다. 이것은 삼차원 영상 처리가 이차원 영상 처리에 비하여 왼쪽 영상과 오른쪽 영상의 차이에서 거리 정보를 추출하는 삼차원 시각 처리 기능이 추가됨에 따라 뇌의 처리 영역이 넓어진 것으로 판단된다. 이러한 삼차원 시각 자극 뇌기능 영상은 가상현실이나 3-D 디스플레이, 3-D 멀티미디어 콘텐츠 연구 등 다양한 분야에 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

서 론

사람이 삼차원 물체를 인지하는 것은 스트레오스코픽 비전에 기인하는 것으로 왼쪽 눈과 오른쪽 눈에 맷히는 상의 차이를 이용한다 (1). 이러한 스트레오스코픽 비전의 성질을 이용하여, 왼쪽 눈과 오른쪽 눈에 약간의 차이가 있는 영상을 보여 주면 삼차원 물체로 인식하게 된다. 왼쪽 눈과 오른쪽 눈에 서로 다른 영상을 보여주기 위하여 두개의 독립적인 디스플레이를 사용

하여 각각의 눈에 차이가 있는 영상을 디스플레이하거나, 두개의 영상을 서로 다른 색(청색과 적색)으로 겹쳐서 디스플레이한 후 적-청 안경을 통해 각각의 영상을 보거나, 또는 서로 수직인 편광 렌즈를 통하여 두개의 영상을 화면에 디스플레이한 후 반사되는 영상을 비슷한 편광 렌즈를 사용하여 두개의 영상을 분리하여 보는 방법 등이 있다 (2). 사람의 시각이 삼차원임에도 불구하고, 대부분의 뇌기능 영상에서 시각 자극은 이차원 패턴에 국한되어 왔다 (3, 4). 본 연구에서는 삼차원 비전에 대한 기초연구로 삼차원 시각 자극에 의한 뇌기능 영상을 측정하여,

대한자기공명의과학회지 9:24-29(2005)

¹VIA 멀티미디어 센터, 광운대학교

²아이슬테크홀로지 (주)

*이 논문은 2004년도 광운대학교 교내 학술연구비 지원에 의해 연구되었음.

접수 : 2005년 2월 23일, 채택 : 2005년 4월 22일

통신저자 : 안창범, (139-701) 서울시 노원구 월계동 447-1, 광운대학교 VIA 멀티미디어센터

Tel. (02)940-5148 Fax. (02)909-3159 E-mail: cbahn@daisy.kw.ac.kr

기존의 이차원 시각 자극에 의한 뇌기능 영상과 비교해 봄으로써 삼차원 시각과 관련한 뇌의 기능 및 활성영역을 살펴보고자 한다 (5). 삼차원 시각 자극에 의한 뇌기능 영상은 최근 활발히 연구되고 있는 가상현실이나 삼차원 디스플레이, 삼차원 멀티미디어 컨텐츠 개발 등 다양한 분야에 활용될 수 있을 것으로 기대된다 (6, 7).

대상 및 방법

이차원 및 삼차원 시각 자극

스트레오스코픽 비전을 구현하기 위해서는 왼쪽 눈과 오른

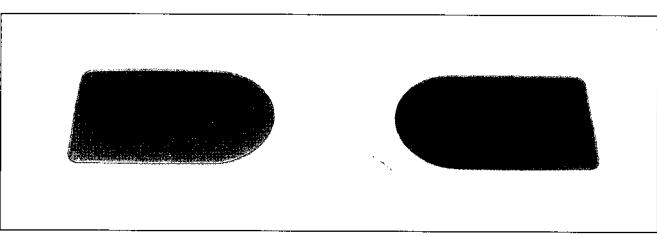
쪽 눈에 서로 다른 영상이 보여져야 한다. 본 연구에서는 기존의 이차원 시각 장치를 사용하여 anaglyph 방식으로 삼차원 시각 자극을 구현하였다. Anaglyph는 왼쪽 눈과 오른쪽 눈에 입력될 영상을 청색과 적색으로 칼라 코딩을 하여 하나의 화면에 디스플레이한 후 적-청 렌즈를 통하여 봄으로써 청색과 적색의 영상을 왼쪽과 오른쪽 눈에 입력하는 방법이다 (2). 적색과 청색을 포함하고 있는 이차원 칼라 영상의 경우 anaglyph로 나타내는데 다소 문제가 있으나, 디스플레이 하드웨어의 개선이나 추가 없이 기존의 이차원 시각장치를 사용하여 손쉽게 삼차원 시각 자극을 구현할 수 있는 장점이 있다. 본 연구에서 사용한 이차원 영상과 anaglyph를 Fig. 1a와 b에 보였



a



b



c

Fig. 1. Two-dimensional and three-dimensional visual stimuli used. Conventional two-dimensional image (left) and anaglyph (right) for "flower" (**a**) and "sea" (**b**). The red-blue glasses for the anaglyph are shown in (**c**).

안창범 외

으며 사용한 적-청 안경을 Fig. 1c에 보였다. Fig. 1a와 b에서 영상의 차이가 크게 나는 부분(예를 들면 꽃의 암술 및 수술)이 보는 사람으로부터 가까운 물체로 인식된다.

뇌기능 영상

본 연구에서는 3.0 Tesla 전신 자기공명영상시스템에서 single-shot gradient echo 기반 EPI 기법으로 뇌기능 영상을 얻었다 (8). 측정 파라미터는 repetition time(TR)과 echo time(TE)이 각각 2400 ms와 45 ms이었고, 64×64 영상 매트릭스로(FOV=240 mm) 14장의 멀티슬라이스를 얻었다. 사용한 패러데임은 Rest(15)-Active(10)-Rest(10)-

Active(10)-Rest(10)으로 총 55회 측정을 하였다. 뇌기능 영상을 overlay 하기 위한 스펜 에코 영상은 TR 및 TE 를 540 ms와 12 ms로 얻었다. 스펜 에코 영상의 영상 매트릭스는 256×256 이다. 3명의 건강한 volunteer에 대하여 Fig. 1a와 b에서 보인 두 가지 영상("flower" 및 "sea")에 대하여 2-D 및 3-D 시각 자극을 가하여 뇌기능 영상을 측정하였다. 측정한 EPI 영상과 스펜 에코 영상을 Fig. 2에 보였다.

결 과

3명의 건강한 volunteer에 대하여 Fig. 1에서 보인 두 가지

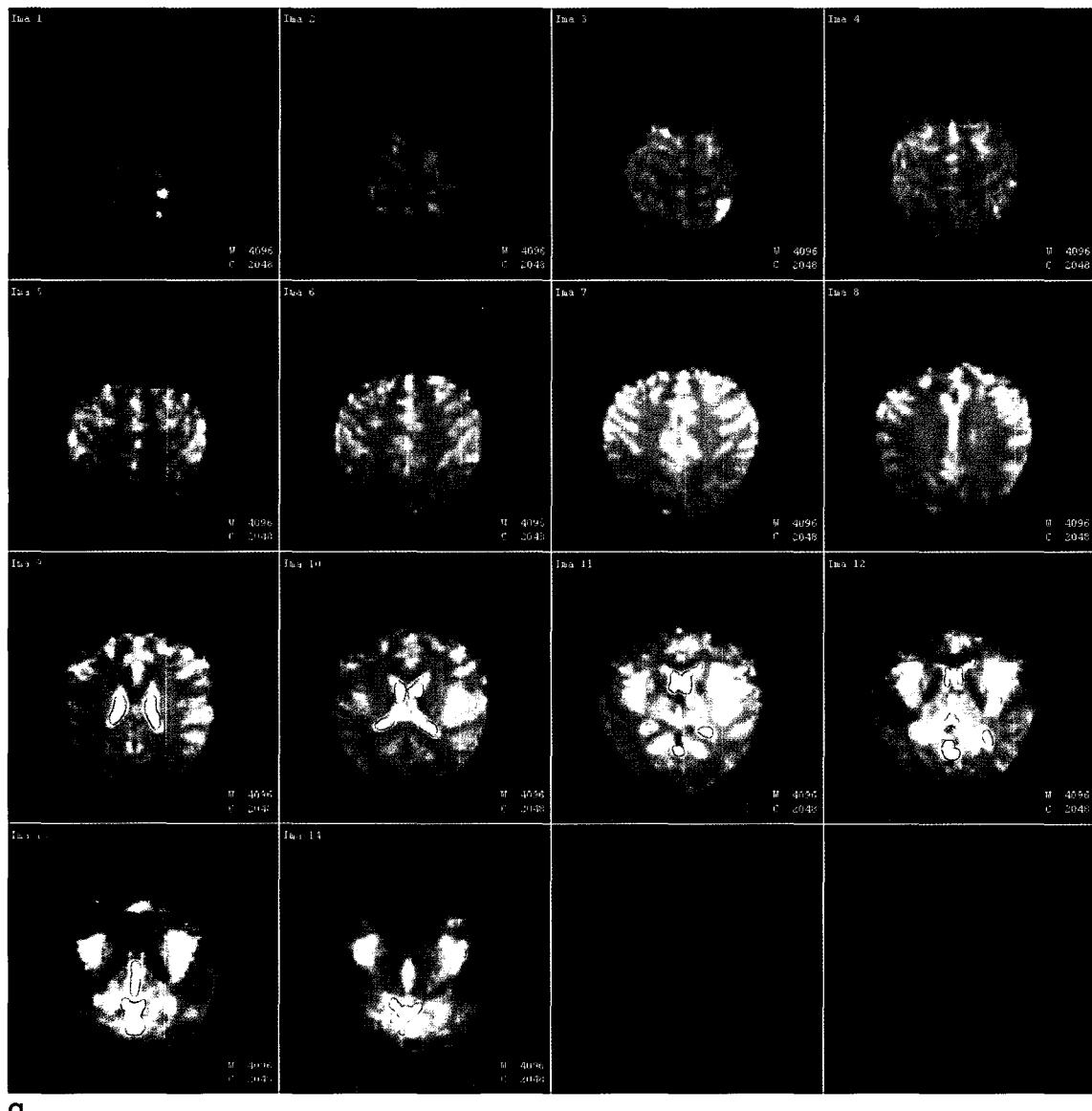


Fig. 2. Multi-slice EPI and spin echo images for 3-D visual fMRI. Multi-slices single-shot echo planar images with TR of 2400 ms and TE of 45 ms were shown in (a). Image matrix size was 64×64 . Multi-slice spin echo images with TR of 540ms and TE of 12 ms were shown in (b) for overlay of functional information.

삼차원 시각 자극을 이용한 f-MRI 연구

영상("flower" 및 "sea")에 대하여 이차원 시각 자극과 삼차원 시각 자극을 가하여 뇌기능 영상을 얻었다. 삼차원 시각 자극을 위하여 anaglyph를 디스플레이하였고, 피검자는 적청 안경을 착용하였다. 이차원 시각 자극 때에는 이차원 영상을 디스플레이하였고, 피검자는 적청 안경을 착용하지 않았다. 얻어진 EPI 영상들은 Statistical Parametric Mapping(SPM)으로 분석하였고, 분석 파라미터는 2-D와 3-D 시각 자극 f-MRI 모두에서 동일하게 적용하였다 (9). 분석된 뇌기능 영상을 스펜 에코 영상 위에 overlay 하였다.

Fig. 3은 두사람의 volunteer에 대하여 "flower" 영상에 대한 이차원 시각 자극과 삼차원 시각 자극으로 얻은 뇌기능 영상이다 ($p < 0.001$). Fig. 3의 상단의 영상은 이차원 시각 자극에 의한 뇌기능 영상이고, 하단은 삼차원 시각 자극에 의한 뇌기능 영상이다. 각각의 volunteer에 대하여 3 slice의 영상($z=-2$

mm, 0, 2 mm)을 보였다. Fig. 3에서 보듯이 삼차원 시각 자극으로 얻은 뇌기능 영상도 이차원 시각 자극에 의한 뇌기능 영상과 동일하게 후두엽에서 활성화 영역이 나타났다. 그러나 삼차원 시각 자극에 의한 활성화영역이 이차원 시각 자극에 비하여 넓은 것을 알 수 있다. Table 1은 3명의 volunteer에 대하여 두가지 영상에 대한 이차원 및 삼차원 시각자극 화소 비의 평균은 118%로 18% 정도 활성화 영역이 넓어진 것을 알 수 있다 (5). 이것은 사람의 삼차원 비전이 이차원 비전에 비하여 왼쪽 눈과 오른쪽 눈을 통하여 들어오는 영상의 차이로부터 거리 정보를 추출

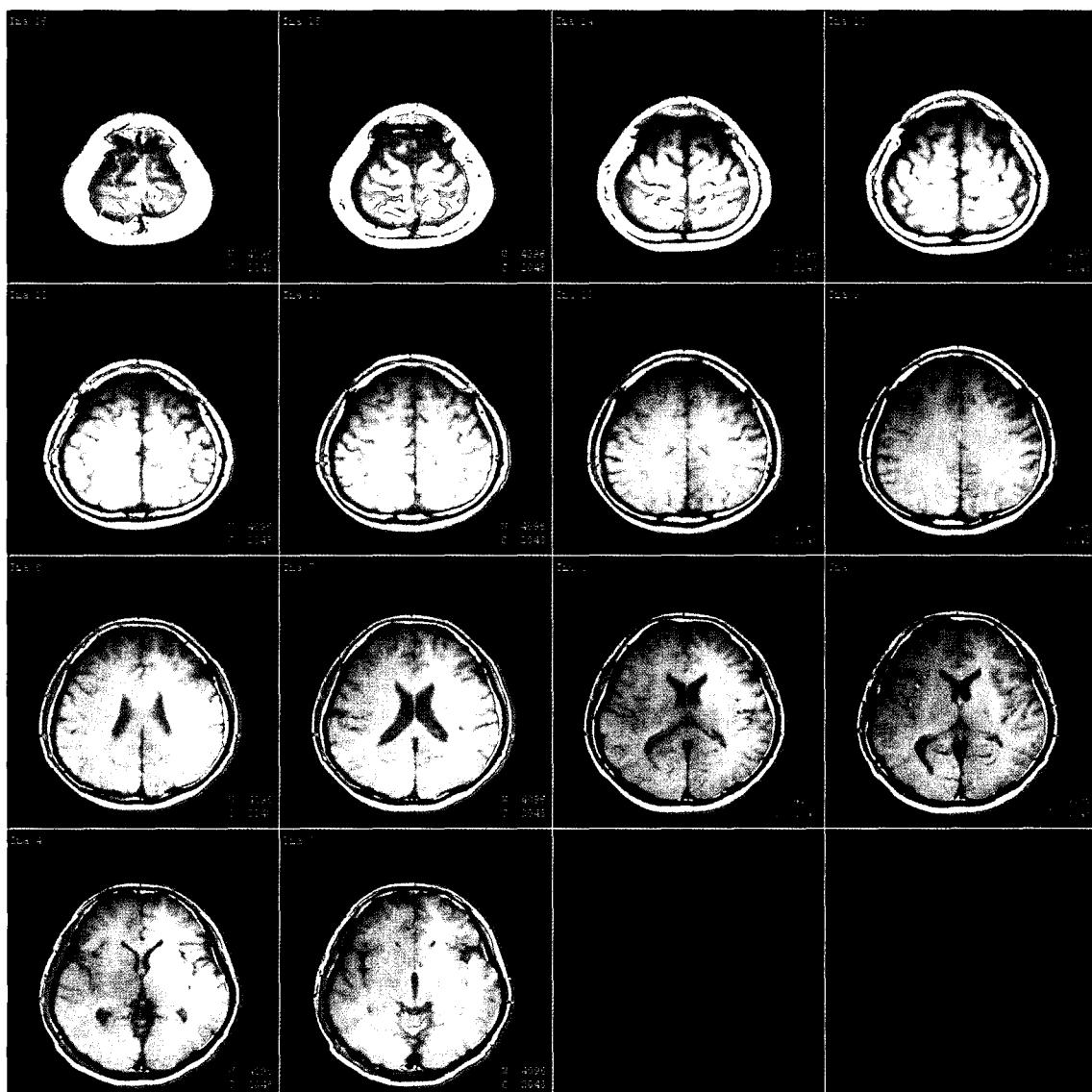


Fig. 2. b

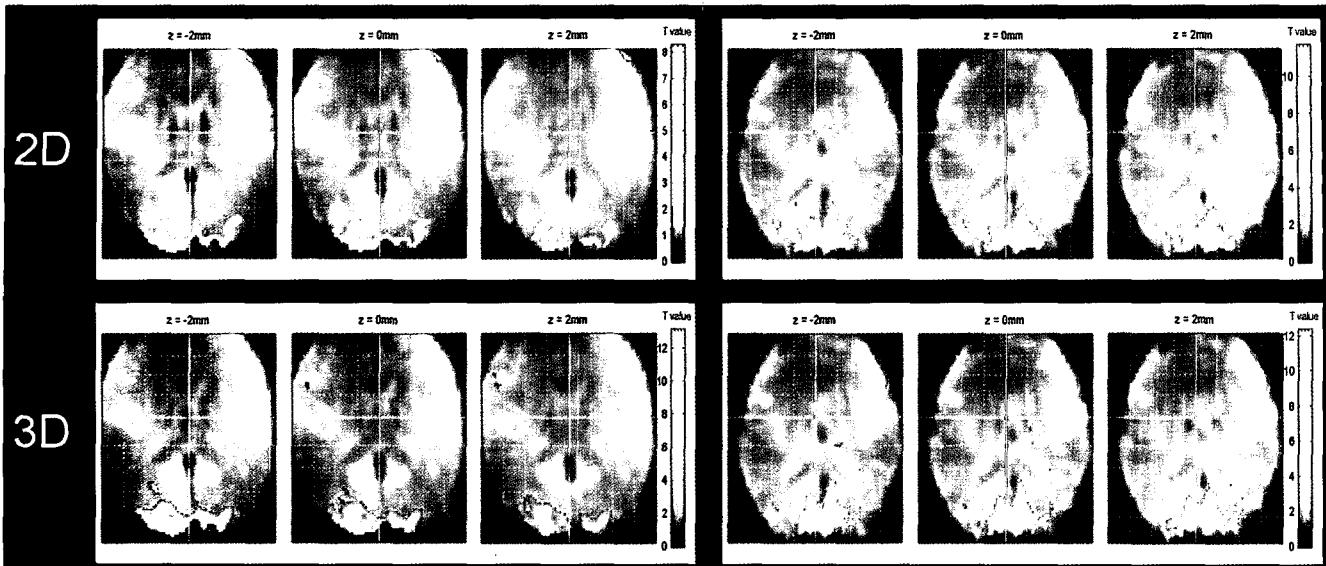


Fig. 3. Functional magnetic resonance images with 2-D visual stimuli and 3-D visual stimuli. Top left three images were three slices of functional images obtained with 2-D visual stimuli ("flower") for volunteer 1. Bottom three images were with 3-D visual stimuli. Right sided images were obtained similarly for volunteer 2. Activated regions by the 3-D visual stimuli appeared larger than those with 2-D visual stimuli.

Table 1. Number of Activated Pixels by 2-D and 3-D Visual Stimuli

Experiments (volunteer, image)	2-D stimuli	3-D stimuli	3-D/2-D
1, flower	4285	6167	143%
1, sea	3357	3833	114%
2, flower	5074	6073	119%
2, sea	5171	3953	76%
3, flower	1570	2398	152%
3, sea	5037	5372	106%
Average			118%

하는 기능이 부가되기 때문인 것으로 판단된다. 두 번째 volunteer에서 "sea" 영상에 대하여 상반된 결과가 나타난 것은 보다 상세한 원인 규명이 필요할 것으로 판단된다.

Anaglyph는 하나의 디스플레이 화면에 적색과 청색을 이용하여 두 장의 영상을 겹쳐서 디스플레이하므로 삼차원 칼라 영상의 시각 자극을 구현하는데 한계가 있는 것으로 판단되며, 따라서 검사 과정 중 피검자의 지속적인 협조가 따르지 않을 경우 삼차원 느낌을 잃어 버릴 수 있다. 보다 정확한 실험을 위해서는 안정적으로 삼차원 느낌을 유지할 수 있는 디스플레이 장치(예를 들면 왼쪽 눈과 오른쪽 눈에 독립적으로 영상을 디스플레이하는 장치)가 필요하다. 또한 가상적인 삼차원 비전이 일반적인 이차원 비전에 비하여 시청자의 피로감을 증가시키기 때문

에, 검사 과정 중 피검자의 피로 상태를 모니터할 필요가 있는 것으로 판단된다.

결 론

Anaglyph를 이용한 삼차원 시각 자극에 의한 뇌기능 영상을 측정하여 기존의 이차원 시각 자극에 의한 뇌기능 영상과 비교하였다. 삼차원 시각 자극을 위하여 청색과 적색의 영상을 겹쳐서 디스플레이 한 후 적-청 안경을 착용하는 anaglyph로 스트레오스코픽 비전을 구현하였다. 뇌기능 영상은 3.0 Tesla 전신 MRI 시스템에서 gradient echo-based single shot EPI로 얻었으며, SPM 방법으로 분석하였다. 3명의 volunteer에 대하여 두 개의 영상에 대하여 이차원 시각 자극과 삼차원 시각 자극으로 뇌기능 영상을 얻었다. 모두 6회의 이차원-삼차원 시각 자극 f-MRI 비교 실험에서 삼차원 시각 자극에 의한 뇌의 활성화 영역이 이차원 시각 자극에 의한 활성화 영역보다 넓게 나타난 경우가 5회이었으며, 삼차원 시각 자극에 의한 활성화 영역은 이차원 시각 자극에 비하여 평균적으로 18% 증가한 것으로 나타났다. 이것은 사람의 뇌가 단순한 이차원 영상의 인식에서 나아가 왼쪽 눈과 오른쪽 눈으로부터 얻은 영상의 차이에서 거리 정보를 추출하여 삼차원 물체를 인식하는 기능을 수행하는데 따른 것으로 판단된다. 삼차원 시각 자극에 의한 뇌기능 영상은 가상적인 삼차원 시각 자극에 대한 뇌의 반응을 객관적이고, 또한 정량적으로 나타낼 수 있기 때문에 다양한 삼차원 응용 분야에서 중요한 척도로 활용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. Lenny L. Foundations of the stereoscopic cinema. New York : Van Nostrand Reinhold, 1982
2. McKay HC. Three-dimensional photography: Principles of stereoscopy. New York: American Book Stratford Press, 1953
3. 정순철, 송인찬, 장기현, 유병기, 문치웅, 조장희. 시각과 운동의 뇌기능 영상: 자극에 따른 총활성화의 차이. 대한자기공명의학회지 1999;3:41-46
4. Toga AW, Mazziotta JC. Brain mapping. San Diego: Academic

- Press, 1996
5. Ahn CB, Kim CY. fMRI with 2-Dimensional and 3-Dimensional Visual Stimuli. Proc. ISMRM 2004;2537
 6. Satava RM, Jones SB. Current and future applications of virtual reality for medicine. Proc. IEEE 1998;86:484-489
 7. Motoki T, Isono H, Yuyama I. Present status of three-dimensional television research. Proc. IEEE 1995;83:1009-1021
 8. 안창범. 초고속 자기 공명 영상 기법 - Echo Planar 영상 및 spiral Scan 영상. 대한자기공명의학회지 1999;3:6-12
 9. Friston K. Introduction: experimental design and statistical parametric mapping. In Frackowiak, Friston, et. al. eds. Human brain function 2nd ed. San Diego: Academic Press, 2003

J. Korean Soc. Magn. Reson. Med. 9:24-29(2005)

f-MRI with Three-Dimensional Visual Stimulation

C.B. Ahn¹, C.Y. Kim², H.J. Park¹, S.J. Oh¹

¹VIA-Multimedia Center, Kwangwoon University

²ISOL Technology Co.

Purpose : Instead of conventional two-dimensional (2-D) visual stimuli, three-dimensional (3-D) visual stimuli with stereoscopic vision were employed for the study of functional Magnetic Resonance Imaging (f-MRI). In this paper f-MRI with 3-D visual stimuli is investigated in comparison with f-MRI with 2-D visual stimuli.

Materials and Methods : The anaglyph which generates stereoscopic vision by viewing color coded images with red-blue glasses is used for 3-D visual stimuli. Two-dimensional visual stimuli are also used for comparison. For healthy volunteers, f-MRI experiments were performed with 2-D and 3-D visual stimuli at 3.0 Tesla MRI system.

Results : Occipital lobes were activated by the 3-D visual stimuli similarly as in the f-MRI with the conventional 2-D visual stimuli. The activated regions by the 3-D visual stimuli were, however, larger than those by the 2-D visual stimuli by 18%.

Conclusion : Stereoscopic vision is the basis of the three-dimensional human perception. In this paper 3-D visual stimuli were applied using the anaglyph. Functional MRI was performed with 2-D and 3-D visual stimuli at 3.0 Tesla whole body MRI system. The occipital lobes activated by the 3-D visual stimuli appeared larger than those by the 2-D visual stimuli by about 18%. This is due to the more complex character of the 3-D human vision compared to 2-D vision. The f-MRI with 3-D visual stimuli may be useful in various fields using 3-D human vision such as virtual reality, 3-D display, and 3-D multimedia contents.

Index words : Three-dimensional vision
Three-dimensional visual stimuli
Anaglyph
Stereoscopic vision
Functional MRI (f-MRI)

Address reprint requests to : Chang Beom Ahn, Ph.D., VIA-Multimedia Center, Kwangwoon University
447-1 Wolgye-dong, Nowon-gu, Seoul 139-701, Korea.
Tel. 82-2-940-5148 Fax. 82-2-909-3159 E-mail: cbahn@daisy.kw.ac.kr