대한방사선의학회지 1999;41:241-247

언어성 및 비언어성 자극을 이용한 대뇌 청각 피질의 기능적 자기공명영상 : 예비 연구[1]

강 수 진[1]·김 재 형[1,3]·신 태 민[2,4]

목적: 언어성 및 비언어성 청각 자극을 주어 대뇌 청각 피질의 기능적 자기공명영상을 시행하고 두 자극에 의해 유도된 활성화의 양상을 비교 분석하여 뇌에서 청각의 신경 경로를 이해하는 데에 필요한 예비 자료를 얻고자 하였다.

대상 및 방법: 3명의 오른손잡이 자원자를 대상으로 1.5T MR에서 고식적 경사에코기법(TR/TE/flip angle: 80/60/40°)을 이용하여 연구를 시행하였다. 영상은 양측 대뇌의 상측두회가 포함되도록 시상면으로 얻었다. Pulsed tone (1000Hz)과 사람의 말을 각각 비언어성 및 언어성 청각 자극으로 사용하였다. 두 청각 자극은 플라스틱 이어폰을 통하여 들리도록 하였으며, 양쪽 또는 한쪽 귀로 들리도록 하였다. 자체 개발한 소프트웨어로 활성화 영상을 얻기 위한 영상처리를 한 후, 좌-우 측두엽에서 활성화 화소의 수와 범위를 비교하여 자극의 종류 및 자극하는 귀의 위치 (우측 또는 좌측)에 따른 청각 피질의 활성화 양상을 분석하였다.

결과: 양쪽 귀의 청각 자극은 양측 상측두회에 활성화를 유도하였다. 한쪽 귀의 청각 자극에서는 자극을 준 귀의 반대측 측두엽이 동측 측두엽보다 더 활성화되었다. 좌측 (우세 대뇌반구의) 측두엽은 동측 귀를 자극할 때에도 다소 활성화되는 경향을 보였으며 이러한 경향은 언어성 자극을 줄 때 더 뚜렷하였다. 양쪽 귀 및 한쪽 귀의 자극에서 모두 언어성 자극이 비언어성 자극보다 더 넓은 부위의 활성화를 유도하였다.

결론: 양측 측두엽의 상측두회는 음향 및 음성의 분석 기능과 관련되어 있으며, 특히 좌측 (우세 대뇌반구의) 상측두회가 보다 중요한 역할을 하는 것으로 보인다. 생리학적 및 병리학적 측면에서 뇌의 청각 신경 경로를 보다 깊이 이해하기 위하여 앞으로 더 많은 연구가 필요하다.

기능적 자기공명 (magnetic resonance, MR)영상은 뇌조직이 활성화되었을 때 동반되는 뇌혈류의 증가 및 데옥시헤모글로빈 (deoxyhemoglobin)의 농도 감소로 인하여 활성화된 뇌조직을 영상화하는 새로운 기법이다. 1990년대 초반 단순한 운동 (1-3), 시각 (4, 5), 촉각 기능 (6) 등의 영상화로 시작한 기능적 MR영상은 최근 언어 등의 인지 기능 (7-9)을 영상화하기에 이르렀다.

청각의 기능적 MR영상은 1994년 Binder 등 (10)이 처음 보고하였으며 이들은 청각 자극에 의한 활성화를 양측 측두엽의 상측두회 (superior temporal gyrus) 및 그 주변에서 관찰함으로써 청각에 관한 기존의 신경해부학적 지식을 기능적 MR영상을 통하여 입증하였다. 이후 비언어성 청각 자극과 언어성 청각 자극에 의한 뇌 활성화 양상 (11) 및 한쪽 귀와 양쪽 귀를 자극할 때의 뇌 활성화 양상 (12-14) 등에 관한 연구가 비교적 제한적으로 진행되어 왔으나 그 결과들이 다소 상이하여 이 분야의 지식은 아직까지 확실히 정립되어 있지 않으며 특히 국내에는 이에 관한 연구가 전무한 실정이다.

이에 본 연구에서는 임상적으로 널리 사용되고 있는 일반적인 MR장치에서 정상인을 대상으로 언어성 및 비언어성 청각 자극을 주어 청각 피질의 기능적 MR영상을 얻고, 두번째 단계로 이와 같은 자극을 양쪽 및 한쪽 (우측 또는 좌측) 귀에 주었을 때 유도된 활성화 양상들을 비교-분석하여 청각의 신경 경로를 이해하는 데에 필요한 기초 자료를 얻고자 하였다.

대상 및 방법

피검자 및 청각 자극

26-28세 사이의 건강한 오른손잡이 정상인 3명(나이, 26 - 28세; 남자 2명[Subject 1, 3], 여자 1명[Subject 2])을 대상으로 하였다. 3명 모두 이 (ear) 질환 및 중추 신경계의 질환을 앓은 적이 없었고 청각 기능이 정상이었다. 대뇌 청각 피질의 활성

[1]경상대학교 의과대학 방사선과학교실
[2]경상대학교 공과대학 전기전자공학부
[3]경상대학교 신경과학 연구소
[4]경상대학교 생산기술연구소
이 논문은 1998년 2월 19일 접수하여 1999년 5월 27일에 채택되었음.

화를 유도하기 위하여 비언어성 및 언어성 청각 자극을 각각 피검자의 귀에 들려 주었다. 비언어성 청각 자극으로 1000 Hz 주파수의 pulsed tone (1초에 5회 소리가 들림)을, 언어성 청각 자극으로는 사람의 말 (모 저명인사의 자서전을 읽음)을 녹음하여 사용하였다. 녹음기에서 재생된 두 청각 자극은 MR장치에 설치되어 있는 마이크로폰과 공기-전도형 (air-conduction type) 플라스틱 이어폰을 통하여 피검자의 귀에 도달되도록 하였으며 MR장치에서 나오는 scanner noise를 줄이기 위한 occlusive earplug는 사용하지 않았다. 두 청각 자극은 마이크로폰에 입력되는 단계에서 녹음기의 소리 크기를 조절하여 플라스틱 이어폰의 끝에서 측정한 소리 크기가 100 dB SPL (sound pressure level)이 되도록 하였다. 이때 소리의 크기 측정을 위하여 pulse precision sound level meter (Breul and Kjaer, type 2235, Copenhagen, Denmark), ear coupler (type B & K 4152), insert phone coupler (type B & K 318) 등을 사용하였으며 MR장치의 gantry로 부터 3 미터 떨어진 곳에서 측정하였다. 같은 위치에서 측정한 background scanner noise의 크기는 70-75 dB SPL이었다. 검사의 전 과정은 피검자에게 미리 설명하였으며 검사하는 동안 주의깊게 소리를 듣고 있도록 요청하였다.

예비 실험

MR영상은 1.5 tesla MR장치(Siemens 63SP-4000, Erlangen, Germany)와 보편적인 head coil을 사용하여 시행하였다. 본 연구에서 기능적 MR영상은 고식적 경사에코기법을 사용하였기 때문에 한번에 여러 단면을 동시에 검사할 수 없었다. 따라서 본 실험에 앞서 다음과 같이 언어성 자극을 이용한 예비실험을 시행하여 측두엽 상측두회의 활성화를 관찰하기에 가장 적합한 단면의 위치를 설정하였다. 이를 위하여 1명의 피검자 (Subject 1)를 대상으로 먼저 대뇌의 횡단면 T1-강조영상 (TR/TE: 450/15, 200×256 matrix, 5-6 mm thickness, 1.5-1.8 mm gap)을 얻은 후, 이를 localizer 영상으로 이용하여 다시 좌측 측두엽을 포함하는 2개의 연속적인 시상면 T1-강조영상 (TR/TE: 450/15, 200×256 matrix, 10 mm thickness, no gap)을 얻었다 (Fig. 1A). 이때 localizer로 이용한 T1-강조영상은 기저핵이 잘 보이는 위치의 영상으로 하였으며, 두 시상면 영상 중 외측 영상은 좌측 측두엽의 가장 외측 피질로부터 내측으로 10 mm 떨어진 곳에 위치하였고 내측 영상은 20 mm 떨어진 곳에 위치하였다. 이어서 각 단면에서 고식적 경사에코기법 (TR/TE/flip angle : 80/60/40°, 64×128 matrix, 10 mm thickness)을 이용하여 휴식상태 (청각 자극을 주지 않는 상태)와 활성상태 (양쪽 귀로 언어성 자극을 주는 상태)를 번갈아 가며 각 상태에서 5개씩 총 40개의 연속적인 영상 (5off - 5on - 5off - 5on - 5off - 5on - 5off - 5on)을 얻었다. 따라서 스캔시간은 한 영상당 8초, 각 상태에서 40초, 각 상태 사이에 10초의 간격을 두어 한 단면의 기능적 MR영상을 얻는 데에 총 6분 30초가 소요되었다.

얻어진 모든 영상들은 개인용 컴퓨터로 전송한 후 자체 제작한 소프트웨어를 이용하여 감산 (subtraction), student *t* test, T1-강조영상과의 중첩 (overlapping) 등의 영상처리 과정을 거쳐 최종적인 기능적 MR영상을 얻었다. 이때 student *t* test에서 영상의 noise를 제거하는 역치 (threshold)는 P값 0.001로 하였다. 또 활성화 부위를 관심영역으로 지정하여 일련의 경사에코기법 영상으로부터 시간-신호강도 그래프를 그려 휴식상태와 활성상태 사이의 주기적인 신호강도 변화를 시각적으로 평가하였다. 그 결과 두 시상면에서 모두 성공적

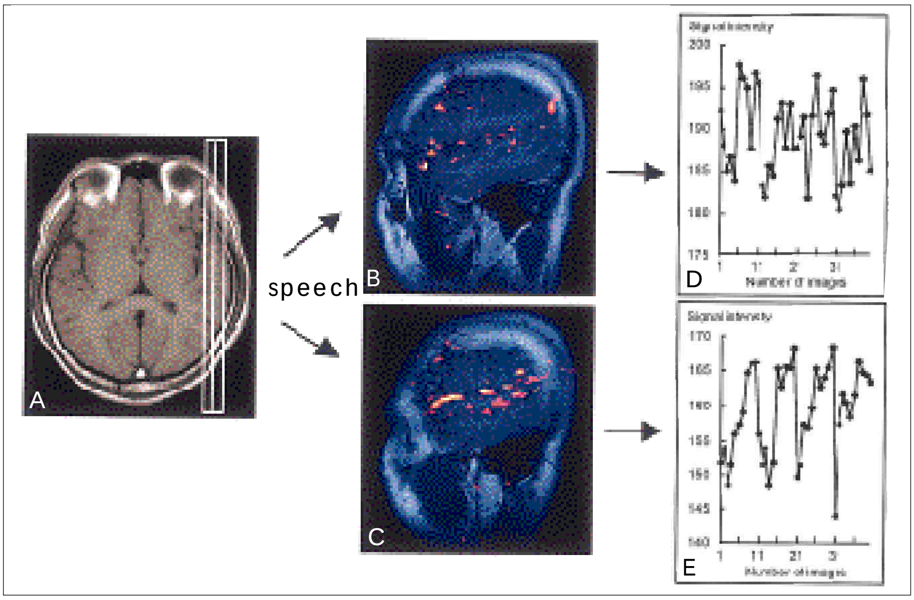


Fig. 1. Functional MR imaging with biaural linguistic stimulus in subject 1.
A. Transverse T1-weighted image shows the position of two sagittal planes for subsequent functional imaging of the left temporal lobe. The two imaging planes are 10 mm and 20 mm medial to the most lateral surface of the left temporal lobe, respectively.
B. Functional image obtained in the medial imaging plane shows activation signals along the superior margin of the superior temporal gyrus (STG). Small activation signals are also visible in the frontal lobe and the angular gyrus.
C. Functional image obtained in the lateral imaging plane shows more widespread activation signals along the STG than in the medial plane. In addition, cortical anatomy of the STG is demonstrated more optimally in this imaging plane than in the medial plane.
D, E. Signal intensity data obtained from an irregular ROI including activation signals along the STG on Fig. 1B and 1C show cyclic change of signal intensity, matching with the rest and task periods.

으로 기능적 MR영상을 얻었으며 상측두회와 그 주변 부위에서 활성화 신호를 관찰할 수 있었고 (Fig. 1B, C), 활성화 신호가 나타난 부위의 신호강도는 휴식상태와 활성상태에 따라 주기적으로 증감하는 변화를 보였다 (Fig. 1D, E). 두 영상 단면 중 외측 단면이 내측 단면보다 더 광범위한 활성화 신호를 보였으며, 해부학적으로도 외측 단면이 측두엽 상측두회의 피질 부위를 관찰하기에 더 적합하다고 판단되었다.

예비실험의 두번째 단계로 다른 1명의 피검자 (Subject 2)를 대상으로 좌측 측두엽의 외측 시상면 위치에서 두가지 청각 자극으로 기능적 MR영상을 시행하였다 (Fig. 2A). 먼저 비언어성 자극으로 검사 (5off - 5on - 5off - 5on - 5off - 5on - 5off - 5on)한 후 연속하여 언어성 자극으로 검사 (5off - 5on - 5off - 5on - 5off - 5on - 5off - 5on)하였으며 그외 모든 영상 조건과 영상처리 조건은 이전과 동일하게 하였다. 이렇게 얻어진 기능적 MR영상에서 비언어성 자극과 언어성 자극은 모두 측두엽에 활성화 신호를 유도하였으며 두가지 청각 자극에 의한 뇌 활성화를 비교하는 데에 외측 시상면이 적합한 영상 단면임을 확인하였다 (Fig. 2B-E). 따라서 본 실험에서는 좌-우 측두엽에서 이 외측 단면의 위치를 기능적 MR영상을 시행하는 영상 단면으로 정하였다.

본 실험

본 실험은 3명의 피검자를 대상으로 양쪽 귀에 자극 (biaural stimulation)을 주는 첫번째 단계와 한쪽 귀에만 자극 (monoaural stimulation)을 주는 두번째 단계로 나누어 시행하였다. 모든 영상 조건 및 영상처리 조건은 예비 실험과 동일하게 하였다.

첫번째 단계에서 청각 자극을 양쪽 귀로 들려주면서 좌-우 측두엽의 기능적 MR영상을 얻었다. 이때 먼저 비언어성 자극으로 검사한 후 연속하여 언어성 자극으로 검사하였다. 좌측과 우측 측두엽의 기능적 MR영상은 습관 효과 (habituation effect, 같은 자극에 오랫동안 노출될 때 뇌의 활성화가 감소하는 현상)를 줄이기 위하여 최소 3일의 간격을 두어 2회에 걸쳐 시행하였다.

두번째 단계는 청각 자극을 한쪽 귀로 들려주면서 좌-우 측두엽의 기능적 MR영상을 첫번째 단계와 동일한 방법으로 시행하였다. 즉 우측 귀에 자극 (비언어성 자극을 먼저 준 후 연속하여 언어성 자극을 줌)을 주면서 좌측 측두엽의 영상을, 좌측 귀에 자극을 주면서 좌측 측두엽의 영상을, 좌측 귀에 자극을 주면서 우측 측두엽의 영상을, 우측 귀에 자극을 주면서 우측 측두엽의 영상을 각각 3일 이상의 간격으로 시행하여 1명의 피검자 당 총 4회의 검사를 시행하였다.

자료 분석

이상의 과정으로 얻어진 기능적 MR영상으로 부터 청각 자극의 종류에 따른 활성화 양상의 차이 및 한쪽 귀와 양쪽 귀를 자극할 때의 활성화 양상의 차이를 비교-분석하였다. 이를 위하여 측두엽 전체와 실비우스 열 (sylvian fissure) 주위의 전두엽 일부와 두정엽 일부를 관심영역으로 포함시켜 활성화된 화소 (pixel)의 수를 계산하였고 이를 각 경우별로 비교하였다. 또 활성화 화소의 분포 위치를 각 경우별로 시각적으로 비교하였다.

결　　과

활성화 신호는 실비우스 열 주위로 상측두회의 상연을 따라 주로 분포하였다. 비언어성 자극에 비하여 언어성 자극에서 보다 많은 활성화 신호가 관찰되었으며, 비언어성 자극에서는 상측두회의 상연에만 국한된 활성화를 보였으나 언어성 자극에서는 상측두회의 중연과 상측두구 (superior temporal sulcus)에서도 활성화 신호를 나타내었다 (Fig. 3).

양측 귀에 청각 자극을 주었을 때 두 자극 모두 좌측 (우세 대뇌반구의) 측두엽에 편재된 활성화를 유도하였다 (Fig. 4).

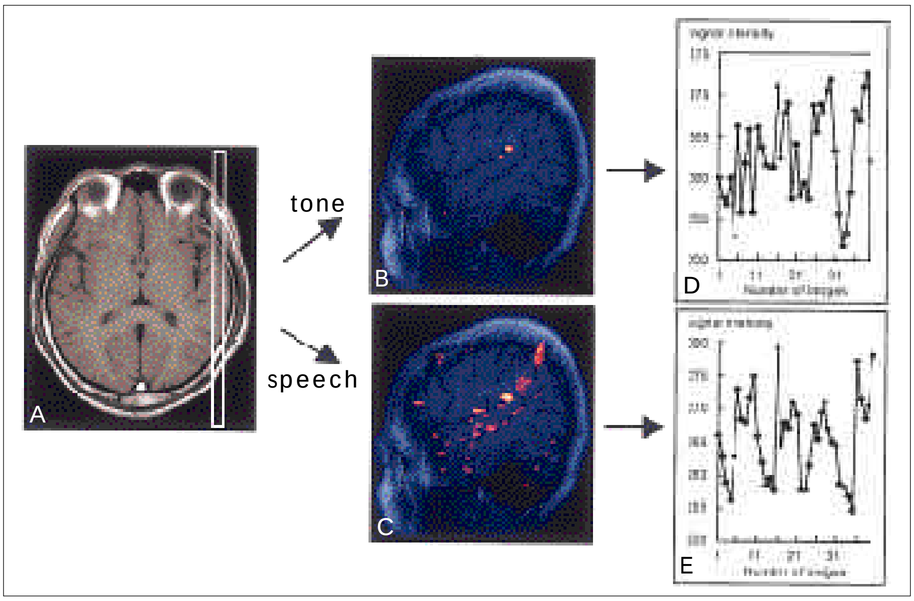


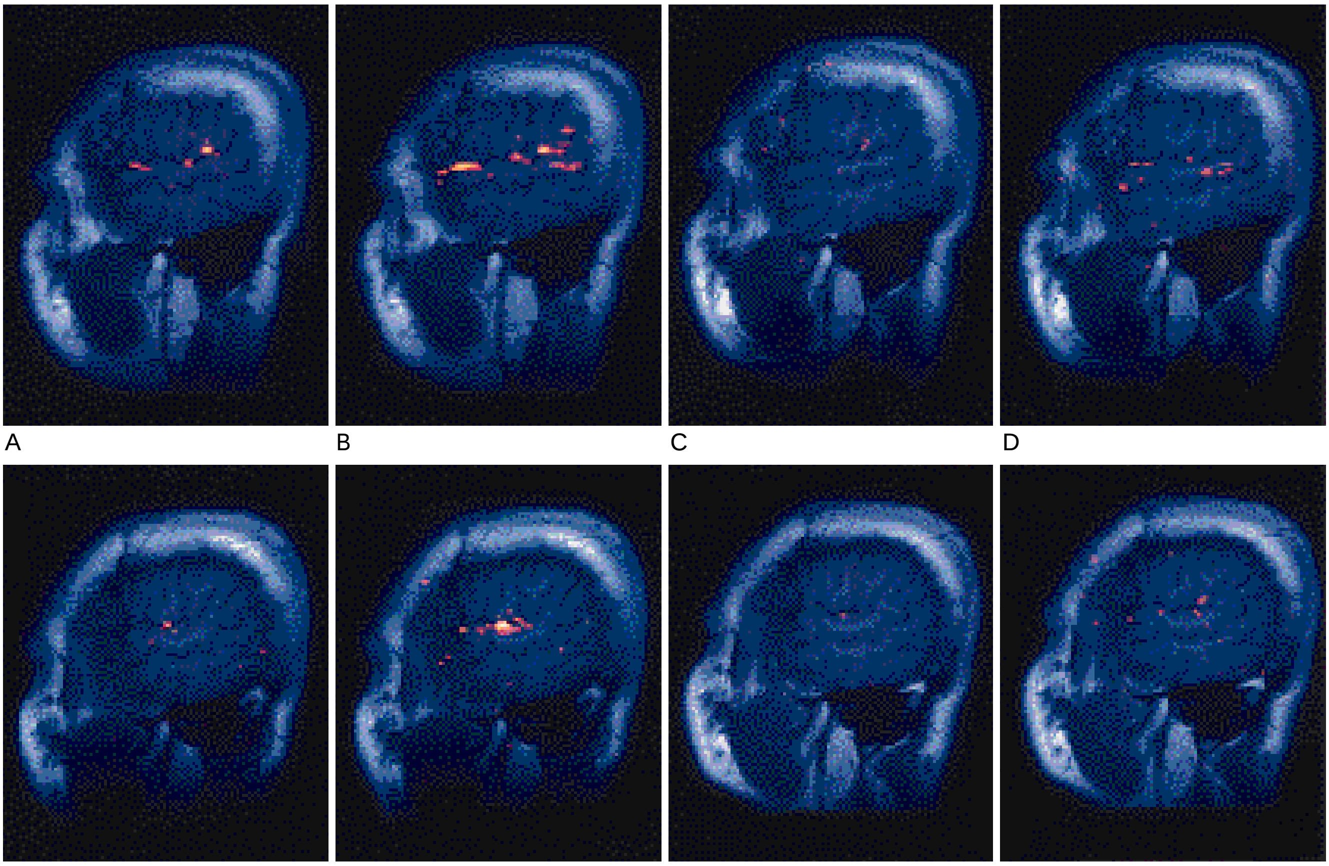
Fig. 2. Functional MR imaging using biaural linguistic and non-linguistic stimuli in subject 2.
A. Transverse T1-weighted image shows the position of sagittal imaging plane for subsequent functional imaging of the left temporal lobe.
B. Functional image obtained with non-linguistic stimulus shows activation signals along the superior margin of the superior temporal gyrus (STG).
C. Functional image obtained with linguistic stimulus shows widespread activation signals along the STG.
D, E. Signal intensity data obtained from an irregular ROI including activation signals along the STG on Fig. 2B and 2C show cyclic change of signal intensity, matching the rest and task periods.

비언어성 자극에 의한 좌측 측두엽의 평균 활성화 화소 수는 7개 (범위, 2 - 11개), 우측 측두엽의 평균 활성화 화소 수는 4개 (범위, 1- 6개)이었고, 언어성 자극에 의한 좌측 측두엽의 평균 활성화 화소 수는 93개 (범위, 82 - 113개), 우측 측두엽의 평균 활성화 화소 수는 34개 (범위, 15 - 63개)이었다.

한쪽 귀에 청각 자극을 주었을 때 자극을 준 귀의 반대측 측두엽이 동측 측두엽보다 더 활성화되었다 (Fig. 5). 좌측 (우세 대뇌반구의) 측두엽은 동측 귀를 자극할 때에도 반대측 귀를 자극할 때보다는 약하지만 활성화되는 경향을 보였고, 이러한 경향은 언어성 자극에서 더 뚜렷하였다. 비언어성 자극에 의한 좌측 측두엽의 평균 활성화 화소 수는 반대측 귀를 자극하였을 때 12개 (범위, 3 - 23개), 동측 귀를 자극하였을 때 4개 (범위, 0 - 5개)이었고, 비언어성 자극에 의한 우측 측두엽의 평균 활성화 화소 수는 반대측 귀를 자극하였을 때 5개 (범위, 4 - 8개), 동측 귀를 자극하였을 때 2개 (범위, 0 - 4개)이었다. 언어성 자극에 의한 좌측 측두엽의 평균 활성화 화소 수는 반대측 귀를 자극하였을 때 52개 (범위, 12 - 74개), 동측 귀를 자극하였을 때 29개 (범위, 3 - 60개)이었고, 언어성 자극에 의한 우측 측두엽의 평균 활성화 화소 수는 반대측 귀를 자극하였을 때 23개 (범위, 5 - 38개), 동측 귀를 자극하였을 때 4개 (범위, 0 - 10개)이었다.

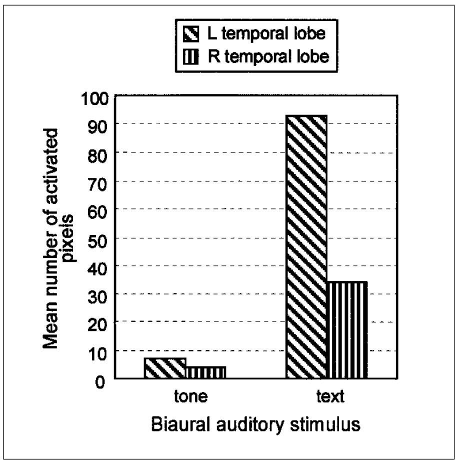
고 찰

청각의 신경 경로는 귀의 달팽이관에서 청각 신경으로 시

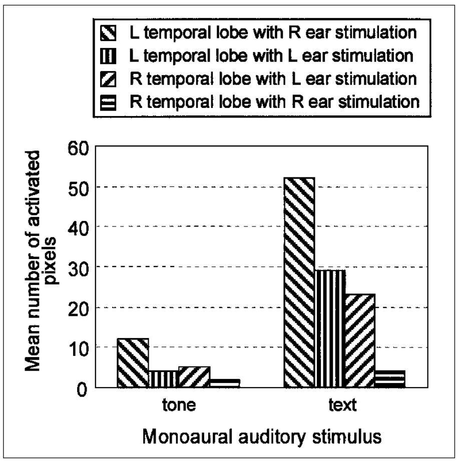


A B C D E F G H

Fig. 3. Functional MR images of the left and right temporal lobes with monoaural linguistic and non-linguistic stimuli in subject 1.
A, B. Functional images of the left temporal lobe with right aural non-linguistic (A) and linguistic (B) stimuli induce activation signals predominantly along the superior margin of the superior temporal gyrus (STG). Note that linguistic stimulus (B) induces more widespread activation throughout the STG than does non-linguistic stimulus.
C, D. Functional images of the left temporal lobe with left aural non-linguistic (C) and linguistic (D) stimuli induce less activation signals than does contralateral monoaural stimulation as seen in Fig. A and B. Note that linguistic stimulus induces greater activation than does non-linguistic stimulus.
E, F. Functional images of the right temporal lobe with left aural non-linguistic (E) and linguistic (F) stimuli induce activation signals along the superior margin of the STG. Note that linguistic stimulus induces more widespread activation than dose non-linguistic stimulus.
G, H. Functional images of the right temporal lobe with right aural non-linguistic (G) and linguistic (H) stimuli induce more weak activation than do other types of monoaural stimulation. However, linguistic stimulus induces slightly greater activation than does non-linguistic stimulus.



4



5

Fig. 4. Mean number of activated pixels in the left and right temporal lobes of three volunteers in response to biaural linguistic and non-linguistic stimulation. Linguistic stimulation produces greater activation than dose non-linguistic stimulation. Additionally the left temporal lobe is dominantly activated by both stimuli.

Fig. 5. Mean number of activated pixels in the left and right temporal lobes of three volunteers in response to monoaural linguistic and non-linguistic stimulation. Linguistic stimulation induces greater activation than dose non-linguistic stimulation as in Fig 4. Both stimuli induce more activation in the contralateral temporal lobe than in the ipsilateral temporal lobe. A trend toward slight activation of the left temporal lobe in ipsilateral stimulation particularly with linguistic stimulus is observed.

작하여 뇌간을 거쳐 측두엽 상측두회의 깊숙한 곳에 위치한 횡측두회 (transverse temporal gyrus [Heschl's gyrus])로 연결된다. 한쪽 귀로 들어온 청각 자극은 주로 반대측 횡측두회로 전달된다고 알려져 있으며 (15), 이 횡측두회는 상측두회에서 실비우스 열을 따라 안쪽으로 깊숙이 횡축 방향으로 위치한 피질로써 소리의 주파수, 크기 등을 분석하는 일차 청각 피질 (primary auditory cortex)이다. 이 피질은 Brodmann's area 41, 42에 해당하며 이는 다시 인접한 상측두회에 위치한 area 22로 연결된다. Area 22는 소리로 전달된 언어의 의미를 해석하는 기능을 가지며, 따라서 우세 반구의 상측두회가 이러한 기능을 나타낸다. 우세 반구의 상측두회에 병변이 있는 경우 소리를 들을 수는 있으나 말의 의미를 알지 못하는 word deafness를 보이게 된다. Area 22는 다시 전두엽, 두정엽, 후두엽 등에 위치한 상위 수준의 언어 관련 피질 (language association cortex)로 연결된다.

이러한 신경해부학적 지식에 의하면 비언어성 청각 자극은 측두엽의 횡측두회의 활성화를 유도하고, 언어성 청각 자극은 횡측두회 뿐만 아니라 주변의 상측두회 및 언어 관련 피질의 활성화를 유도하게 된다. 지금까지의 문헌들도 대개 이와 일치하는 결과를 보고하고 있으며 (11, 16, 17), 본 연구에서도 양쪽 귀 및 한쪽 귀의 자극 모두에서 언어성 자극이 비언어성 자극보다 더 넓은 부위의 활성화를 유도하여 이들의 보고와 일치하고 있다. 또한 본 연구에서 비언어성 자극은 주로 상측두회의 상연을 따라 활성화를 보여 일차 청각 피질이 있는 횡측두회의 위치와 일치하였으며, 반면 언어성 자극은 상측두회의 상연 뿐만 아니라 상측두회 전체에 걸쳐 활성화되는 경향을 보여 청각 관련 피질 (auditory association cortex)이 추가로 활성화된 것으로 생각된다. 그러나 본 연구에서는 사용한 MR 영상기법의 한계 때문에 상측두회와 횡측두회의 영역을 정확히 구분하여 그 활성화를 정량적으로 비교하지는 못 하였다.

한쪽 귀로 들어온 청각 자극은 위에서 언급한 바와 같이 주로 반대측 측두엽으로 전달된다고 알려져 있다. MR (12, 13) 및 PET (positron emission tomography) (18)를 이용한 비언어성 청각의 기능적 영상 연구에 의하면 대부분 이와 일치하는 결과를 보고하고 있으며 본 연구에서도 자극을 준 귀의 반대측 측두엽이 동측 측두엽보다 더 활성화되어 이들과 같은 결과를 보였다. 그러나 Strainer 등 (11)은 한쪽 귀의 자극으로 양측 측두엽이 비슷한 정도로 활성화되었다고 보고하여 다른 저자들과 상반된 결과를 보이고 있으며 앞으로 이에 관한 추가 연구가 필요한 실정이다.

언어성 청각 자극은 비언어성 청각 자극과는 달리 상측두회의 활성화를 양측성으로 유도하는 것으로 보고되어 있다. Hirano 등(18)은 언어성 자극으로 양측 측두엽에서 활성화를 관찰하였으나 반대측 측두엽에서 우세하였다고 보고하였으며, Berry 등 (19)과 Strainer 등 (11)은 양측 측두엽에서 활성화를 관찰하였으나 좌측 (즉 우세 대뇌반구의) 측두엽에서 우세하였다고 보고하여, 우세 활성화를 보인 측두엽의 위치에 있어서는 서로 차이를 보이고 있다. 이러한 차이는 이유를 확실히 알 수 없으나 언어성 자극의 종류와 관계가 있을 수 있다 (18). 즉 음의 분석 (phonological processing)만을 주로 요구하는 언어성 자극은 우세 대뇌반구와 관계없이 반대측 횡측두회에 바로 인접한 상측두회를 활성화시키나, 말의 뜻과 해석 (semantic processing)을 요구하는 언어성 자극은 횡측두회로부터 더 바깥쪽에 위치한 (우세 대뇌반구의) 상측두회를 활성화시킨다고 생각되고 있다. 본 연구에서 사용한 언어성 자극은 phonological processing과 semantic processing이 혼합된 경우로 볼 수 있다. 그러나 해부학적으로 이 두 영역 (즉 횡측두회에 바로 인접한 상측두회와 보다 바깥쪽에 위치한 상측두회)을 명확히 구분하기 어려우며 보고된 문헌마다 사용한 영상기법에 차이가 있어 연구 결과들을 비교할 때 주의가 요망된다. 본 연구에서는 언어성 자극과 비언어성 자극 모두에서 좌측 귀를 자극할 때는 측두엽이 양측성으로 활성화되었으나 우측 귀를 자극할 때는 주로 반대측 좌측 측두엽만이 활성화되어 좌측 측두엽이 우세한 활성화를 보이는 것으로 나

타났다. 즉 좌측 (즉 우세 대뇌반구의) 측두엽은 청각 자극의 종류에 관계없이 동측 귀를 자극할 때에도 다소 활성화되었으며 이러한 경향은 언어성 자극에서 좀 더 뚜렷하였다. 이러한 결과는 기존의 문헌들과 약간의 차이가 있으나 우세 대뇌반구인 좌측 측두엽이 semantic processing 뿐만 아니라 음향 및 음성의 분석 (acoustic-phonetic analysis)에 있어서도 우측보다 중요한 역할을 하는 것으로 해석할 수 있다.

본 연구는 비록 예비 연구이나 몇가지 제한점을 가지고 있다. 우선 기능적 MR영상을 위하여 고식적 경사에코기법을 사용하였기 때문에 적절하게 짧은 시간 내에 여러 단면을 동시에 스캔할 수 없었다는 점이다. 본 연구에서는 1개의 영상 단면만을 선택해야 했으므로 좌 - 우 측두엽을 함께 비교할 수 있는 관상면보다는 측두엽의 피질을 앞-뒤로 더 넓게 관찰할 수 있는 시상면을 선택하였다. 그러나 언어성 청각 자극으로 측두엽과 함께 활성화될 수 있는 전두엽, 두정엽 및 후두엽(16, 20) 등이 영상에 충분히 포함되지 않아 선택한 영상 단면 밖의 뇌조직에서 일어난 활성화는 평가할 수 없었다는 단점이 있다. 두번째, 얻어진 영상에서 상측두회의 상연을 따라 관찰되는 활성화 신호는 주로 횡측두회에서 기인하는 것으로 생각되나 상측두회와 횡측두회의 영역을 따로 구분하여 그 활성화를 정량적으로 비교하지 못하였으며 이는 저자들이 사용한 MR영상기법의 한계 때문에 두 영역 사이의 정확한 경계를 설정하기가 어려웠기 때문이다. 세번째, 보다 더 객관적인 청각의 기능적 MR영상을 위하여 MR장치의 gantry 속에서도 소리의 크기를 측정할 수 있는 MR compatible한 sound pressure level meter와 배경잡음(background scanner noise)을 줄일 수 있는 폐색 귀마개(occlusive earplug)가 필요하다. 본 연구에서는 이러한 장치가 없어 gantry로 부터 약 3 미터 떨어진 곳에서 소리 크기를 측정하여 배경잡음이 70-75 dB SPL로 측정되었으나 폐색귀마개를 사용하지 않았기 때문에 gantry 속의 실제 noise 크기는 더 크게 들렸다. 또 보다 고차원적인 청각의 기능적 MR영상을 시행하기 위하여 각종 소리 자극을 쉽게 생성하고 재생할 수 있는 컴퓨터 장치가 필요할 것이다.

결론적으로 본 연구는 비록 연구 대상의 수가 적으나 일반적인 MR영상장치에서 경사에코기법을 이용하여 청각 기능을 성공적으로 영상화하였으며 그 결과가 이전의 문헌 보고와 비슷하였다. 측두엽의 상측두회는 양측이 모두 음향 및 음성의 분석 기능과 관련되어 있으며, 특히 좌측 (우세 대뇌반구의) 상측두회가 보다 중요한 역할을 하는 것으로 보인다. 청각의 신경 경로를 보다 깊이 이해하기 위하여 앞으로 더 많은 연구가 필요하며, 본 연구의 결과는 향후 청각 기능의 기능적 MR영상에서 자극 방법 및 영상 방법 등의 고안에 기초 자료로 유용할 것이다.

참 고 문 헌

1. Thompson RM, Jack CR, Butts K, et al. Imaging of cerebral activation at 1.5 T: optimizing a technique for conventional hardware. *Radiology* 1994;190:873-877
2. Rao SM, Binder JR, Hammeke TA, et al. Somatotopic mapping of the human primary motor cortex with functional magnetic resonance imaging. *Neurology* 1995;45:919-924
3. 김재형, 신태민, 김재수등. 1.5-Tesla 자기공명영상장치를이용한 사람대뇌피질활성의기능적영상에관한연구 . *대한방사선의학회지* 1996;35:633-643
4. Connelly A, Jackson GD, Frackowiak RSJ, Belliveau JW, Vargha-Khadem F, Gadian DG. Functional mapping of activated human primary cortex with a clinical MR imaging system. *Radiology* 1993;188:125-130
5. Sorensen AG, Wray SH, Weisskoff RM, et al. Functional MR of brain activity and perfusion in patients with chronic cortical stroke. *AJNR* 1995;16:1753-1762
6. Yetkin FZ, Mueller WM, Hammeke TA, et al. Functional magnetic resonance imaging mapping of the sensorimotor cortex with tactile stimulation. *Neurosurgery* 1995;36:921-925
7. Shaywitz BA, Shaywitz SE, Pugh KR, et al. Sex differences in the functional organization of the brain for language. *Nature* 1995;373:607-609
8. Yetkin FZ, Swanson S, Fischer M, et al. Functional MR of frontal lobe activation: comparison with Wada language results. *AJNR* 1998;19:1095-1098
9. 정희영, 김재형, 신태민등. 1.5T 자기공명영상을이용한사람뇌의 언어관련기능의 Mapping: 운동성언어기능을중심으로. *대한방사선의학회지* 1998;38:205-210
10. Binder JR, Rao SM, Hammeke TA, et al. Functional magnetic resonance imaging of human auditory cortex. *Ann Neurol* 1994;35:662-672
11. Strainer JC, Ulmer JL, Yetkin FZ, Haughton VM, Daniels DL, Millen SJ. Functional MR of the primary auditory cortex: an analysis of pure tone activation and tone discrimination. *AJNR* 1997;18:601-610
12. Schmid N, Tschopp K, Schillinger C, Bilecen D, Scheffler K, Seelig J. Visualization of central auditory processes with functional magnetic resonance tomography. *Laryngorhinootologie* 1998;77:328-331
13. Scheffler K, Bilecen D, Schmid N, Tschopp K, Seelig J. Auditory cortical responses in hearing subjects and unilateral deaf patients as detected by functional magnetic resonance imaging. *Cereb Cortex* 1998;8:156-163
14. Bilecen D, Scheffler K, Schmid N, Tschopp K, Seelig J. Tonotopic organization of the human auditory cortex as detected by BOLD-FMRI. *Hear Res* 1998;126:19-27
15. Parent A. *Capenter's human neuroanatomy*. 9th ed. Philadelphia: Williams & Wilkins, 1996:905-908
16. Binder JR, Rao SM, Hammeke TA, et al. Lateralized human brain language systems demonstrated by task subtraction functional magnetic resonance imaging. *Arch Neurol* 1995;52:593-601
17. Ulmer JL, Biswal BB, Yetkin FZ, et al. Cortical activation response to acoustic echo planar scanner noise. *J Comput Assist Tomogr* 1998;22:111-119
18. Hirano S, Naito Y, Okazawa H, et al. Cortical activation by monoaural speech sound stimulation demonstrated by positron emission tomography. *Exp Brain Res* 1997;113:75-80
19. Berry I, Demonet JF, Warach S, et al. Activation of association auditory cortex demonstrated with functional MRI. *Neuroimage* 1995;2:215-9
20. Binder JR, Swanson SJ, Hammeke TA, et al. Determination of language dominance using functional MRI: a comparison with the Wada test. *Neurology* 1996;46:978-984

J Korean Radiol Soc 1999;41:241-247

Functional MR Imaging of Cerebral Auditory Cortex with Linguistic and Non-linguistic Stimulation: Preliminary Study[1]

Su Jin Kang, M.D.[1], Jae Hyoung Kim, M.D.[1,3], Taemin Shin, Ph.D.[2,4]

[1]*Department of Radiology, College of Medicine, Gyeongsang National University*
[2]*Department of Electronic Engineering, College of Engineering, Gyeongsang National University*
[3]*Gyeongsang Institute for Neuroscience, Gyeongsang National University*
[4]*Research Institute of Industrial Technology, Gyeongsang National University*

Purpose : To obtain preliminary data for understanding the central auditory neural pathway by means of functional MR imaging (fMRI) of the cerebral auditory cortex during linguistic and non-linguistic auditory stimulation.

Materials and Methods : In three right-handed volunteers we conducted fMRI of auditory cortex stimulation at 1.5 T using a conventional gradient-echo technique (TR/TE/flip angle: 80/60/40 °). Using a pulsed tone of 1000 Hz and speech as non-linguistic and linguistic auditory stimuli, respectively, images-including those of the superior temporal gyrus of both hemispheres-were obtained in sagittal plases. Both stimuli were separately delivered biaurally or monoaurally through a plastic earphone. Images were activated by processing with homemade software. In order to analyze patterns of auditory cortex activation according to type of stimulus and which side of the ear was stimulated, the number and extent of activated pixels were compared between both temporal lobes.

Results : Biaural stimulation led to bilateral activation of the superior temporal gyrus, while monoaural stimulation led to more activation in the contralateral temporal lobe than in the ipsilateral. A trend toward slight activation of the left (dominant) temporal lobe in ipsilateral stimulation, particularly with a linguistic stimulus, was observed. During both biaural and monoaural stimulation, a linguistic stimulus produced more widespread activation than did a non-linguistic one.

Conclusion : The superior temporal gyri of both temporal lobes are associated with acoustic-phonetic analysis, and the left (dominant) superior temporal gyrus is likely to play a dominant role in this processing. For better understanding of physiological and pathological central auditory pathways, further investigation is needed.

Index words : Brain, function
Magnetic resonance (MR), motion studies

Address reprint requests to : Jae Hyoung Kim, M.D., Department of Radiology, Gyeongsang National University Hospital, #90 Chilam-dong, Chinju, 660-702 Korea.
Tel. 82-591-50-8211, Fax. 82-591-758-1568