

남녀의 시각적 성자극에 의한 대뇌 활성의 국지화 (Location): Low Resolution Electromagnetic Tomography (LORETA)를 이용한 Cross Spectrum 분석

Location of Brain Electrical Source Activation by Visually Stimulated Sexual Arousal in Young Men and Women: a Cross Spectral Analysis using Low Resolution Brain Electromagnetic Tomography (LORETA)

Sung Chul Kam, Oh Young Kwon¹, Jae Seog Hyun

From the Departments of Urology and ¹Neurology, School of Medicine, Gyeongsang National University, Jinju, Korea

Purpose: To investigate the locations of the cerebral cortex activated by visually stimulated sexual arousal, and to discriminate the gender differences between the cortical activation patterns in response to sexual stimuli.

Materials and Methods: Thirty-two male and the twenty-one female volunteers from right-handed medical students were enrolled in this study. The electroencephalography (EEGs) included the segments recorded during resting, watching a music-video, intermission and watching a pornographic video. The low-resolution brain electromagnetic tomography (LORETA) images of cross-spectral analysis were obtained from the segments using the LORETA-KEY software.

Results: The beta 1, 2 and 3 activities of males showed the point of maximal current densities in both the uncus and parahippocampal gyrus of the left limbic lobe, the anterior cingulate of the right limbic lobe, the superior temporal gyrus of both temporal lobes, the precuneus of the right parietal lobe, the medial frontal gyrus and superior frontal gyrus of the right frontal lobe, the superior parietal lobule of the right parietal lobe, and the middle occipital gyrus of both occipital lobes. The delta, theta, alpha and beta 1 activities of females showed the point of maximal current densities in the postcentral gyrus and inferior parietal lobule of the left parietal lobe, the middle frontal gyrus of the left frontal lobe, the middle occipital gyrus of the left occipital lobe, the left cuneus, the superior temporal gyrus of both temporal lobes and the left parahippocampal gyrus.

Conclusions: There was a difference in the visually stimulated sexual arousal-associated with the cerebral neuroanatomical areas between men and women, as estimated using the LORETA software. These areas; therefore, were thought to play important roles in the sexual arousal of males and females in response to audiovisual sexual stimulation. (Korean J Urol 2007;48:333-343)

Key Words: Tomography, Arousal, Visual stimulation

대한비뇨기과학회지
제 48 권 제 3 호 2007

경상대학교 의과대학
비뇨기과학교실, ¹신경과학교실

감성철 · 권오영¹ · 현재석

접수일자 : 2006년 12월 20일
채택일자 : 2007년 1월 16일

교신저자: 현재석
경상대학교병원 비뇨기과
경남 진주시 칠암동 90번지
☎ 660-702
TEL: 055-750-8196
FAX: 055-757-4503
E-mail: hyunjs@gshp.
gsnu.ac.kr

서 론

성적 행동 (sexual behavior)의 반응은 성적 흥분 (sexual

arousal)에 의해서 이루어진다.¹

성적 흥분이란 성교행위에서 오르가즘에 도달하는 데 필요한 준비 과정으로, 인간의 성적 흥분은 진화를 거치면서 특히 시각자극이 가장 강한 성적 흥분을 일으킨다고 알려

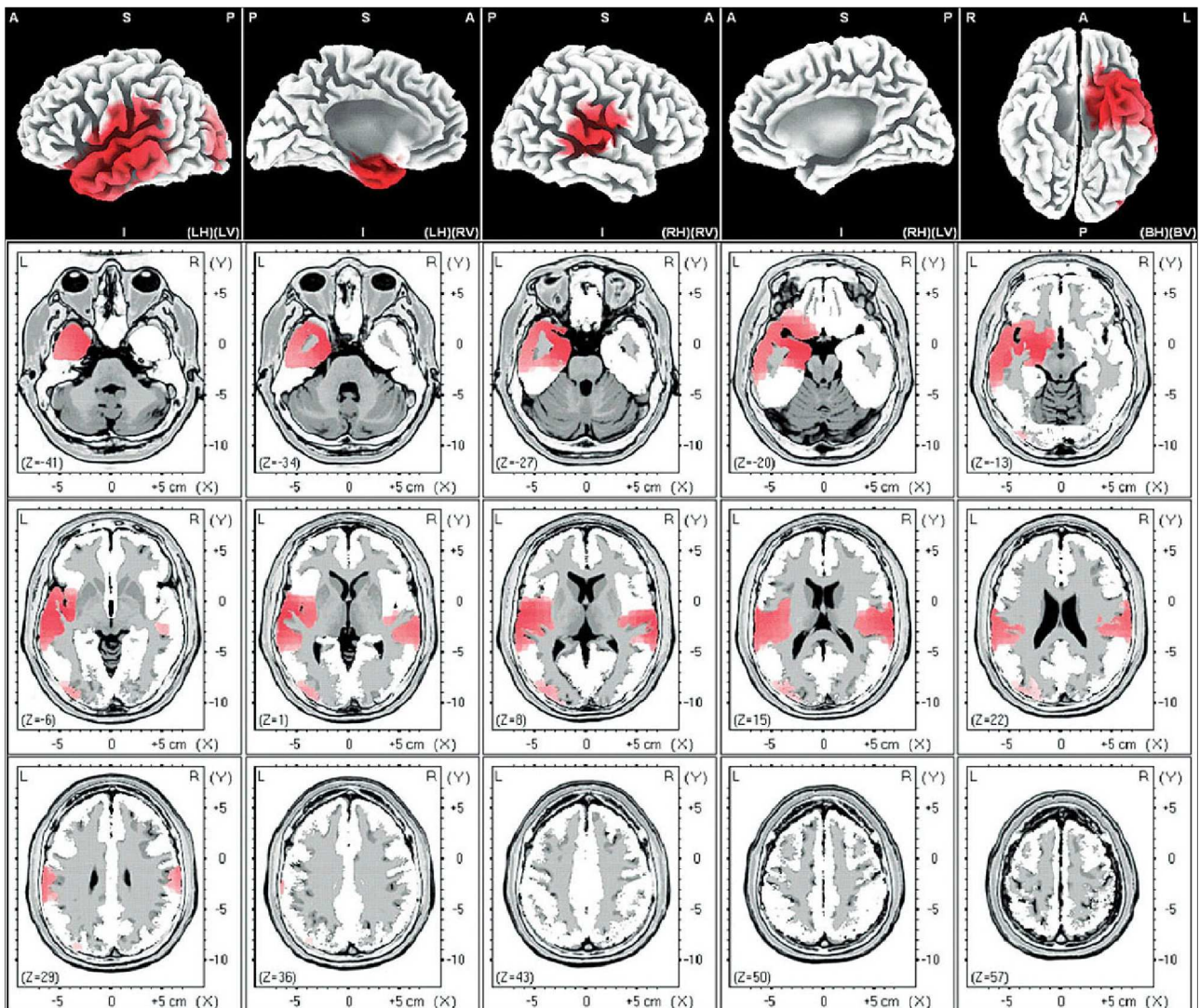


Fig. 1. Male-beta 1. The anatomical areas of current density increment of the beta 1 (13-18Hz) band of male induced by visual-sexual arousal. The current density is increased in the parahippocampal gyrus, and uncus of the left limbic lobe, superior temporal gyrus of both temporal lobes and the middle occipital gyrus of the left occipital lobe.

저 있다.² 성적반응 (sexual response)을 일으키는 대뇌중추의 영역과 신경학적 기전에 대한 연구가 진행되어져 왔다. 하지만 인간의 뇌가 성적반응을 일으키는 중추기관이면서도 대뇌중추의 활성화와 성적반응과의 관계를 객관적으로 입증하는 연구는 실험상의 어려움과 도덕적인 문제점으로 인해 제한적으로 시행되었다. 그로 인해 이러한 실험은 주로 동물실험으로 수행해 왔다.³⁻⁸

최근, 양성자방출단층촬영 (positron emission tomography; PET)과 기능적 자기공명영상술 (functional magnetic resonance imaging; fMRI) 같은 인간 뇌의 기능적 이미지를 측정하는 방법들이 개발되었다. 이러한 뇌기능 영상기법의 발전으로 인간의 성적 행동에 있어서 대뇌 중추의 역할에 관한

연구들이 활발하게 진행되고 있다. 하지만, 양성자방출단층촬영과 기능적 자기공명영상술은 신경활성의 분포를 알 수 있는 국부 대뇌 혈류 (regional cerebral blood flow)와 뇌의 혈액 산소포화도를 측정한다. 이 두 방법은 3차원에서 밀리미터 이하를 구분할 수 있는 높은 공간 해상도라는 장점이 있으나 신경 활성을 간접적으로 측정한다는 단점이 있다.

그리고 뇌기능을 측정하는 방법으로 electroencephalography (EEG)가 있다. 이 방법은 신경 활성을 직접적으로 측정할 수 있지만 두개골 밖에서 EEG 측정은 기본적인 제한이 있기 때문에 전기적 신경 활성의 3차원적 재구성에 필요한 정보를 얻을 수 없었다. 이러한 단점을 보완하기 위해 1994에 Pascual-Marqui 등⁹이 low-resolution brain electromagnetic

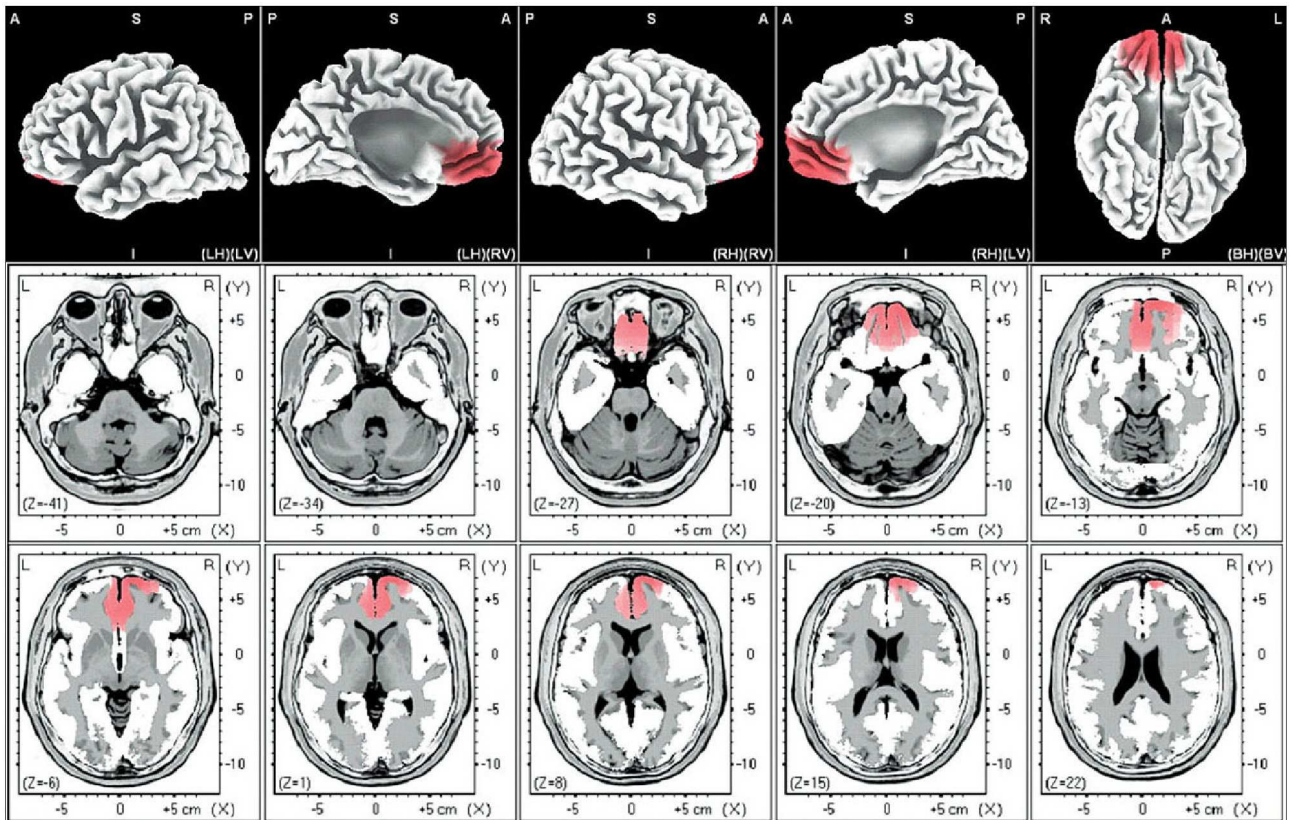


Fig. 2. Male-beta 2. The anatomical areas of current density increment of the beta 2 (19-21Hz) band of male induced by visual-sexual arousal. The current density is increased in the superior frontal gyrus and medial frontal gyrus of the right frontal lobe, and the anterior cingulate gyrus of the left limbic lobe.

tomography (LORETA)를 소개하였다. LORETA는 기준전극의 영향을 받지 않고, 3차원적으로 뇌 활성화 부위를 찾는 역 문제 (inverse problem) 풀기의 한 방법으로, 동일한 성상의 신경 세포들의 집단은 동시에 활성화되고 동기화된다는 이론에 기초하여, 많은 역 문제 풀기의 해 중에서 가장 부드러운 (smoothest) 분포를 보이는 3차원적 전기소스의 분포를 계산하여 나타낸다.¹⁰ EEG를 분석하여 3차원적 기능 영상을 얻는 LORETA는 신경활성을 직접적으로 측정하는 최신 기술이다.

저자들은 LORETA를 이용하여 시각적으로 유발된 성적 흥분과 연관된 대뇌 영역을 밝히고, 신경해부학적인 측면에서 남녀 간의 차이가 있는지 알아보았다.

대상 및 방법

오른손잡이인 40명의 남자 의과대학생과 28명의 여자 의과대학생에게 시각적 성적 자극을 주고 EEG를 측정하였다. 이 중 남자 8명과 여자 7명은 EEG상 잡파 (artifact)가 많아 평가할 수 없어 제외하였다. 오른손잡이인 남자 대학생 32명 (평

균나이; 24.7 ± 1.7)과 여자 대학생 21명 (평균나이; 23.5 ± 2.5)이 실험에 등록되었다. 모든 참가자에서 실험 모델을 자세히 설명하였으며 그들의 동의를 얻었다. 연구에 앞서 모든 참가자에게 실험에 참가한 동기에 대해 인터뷰하였다. 그리고 중대한 내과적 질환, 약물 남용의 과거력, 정신 질환, 성기능 장애의 과거력이 있는 경우에는 실험에서 제외하였다.

모든 EEG는 국제 10-20 체계에 맞추어 23 채널 (Fp1, Fp2, F3, F4, C3, C4, P3, P4, O1, O2, F7, F8, T3, T4, T5, T6, Fz, Cz, Pz, A1, A2, T1, T2)을 이용하여 기록하였다. 표본율은 200Hz이다. 각각 5분씩 휴식, 뮤직 비디오 시청, 휴식, 포르노 비디오 시청 순으로 EEG가 기록되었다. EEG 기록이 끝난 후 시각적 자극을 받았을 때 성적 흥분을 얼마나 느꼈는지에 대한 설문지를 작성하였다. 성적 흥분은 남성은 발기의 정도로 평가하였다. 발기가 없으면 0, 약간의 발기는 1, 중간 정도의 발기는 2, 완전 발기는 3으로 설문지를 작성하였다. 1을 기록한 사람이 19명, 2를 기록한 사람이 9명, 3을 기록한 사람이 5명이었다. 여성은 성적 흥분을 상, 중, 하 세부분으로 나누어 기록하였다. 하를 기록한 사람이 10명, 중을 기록한 사람이 9명, 상을 기록한 사람이 2명이었다. 뮤

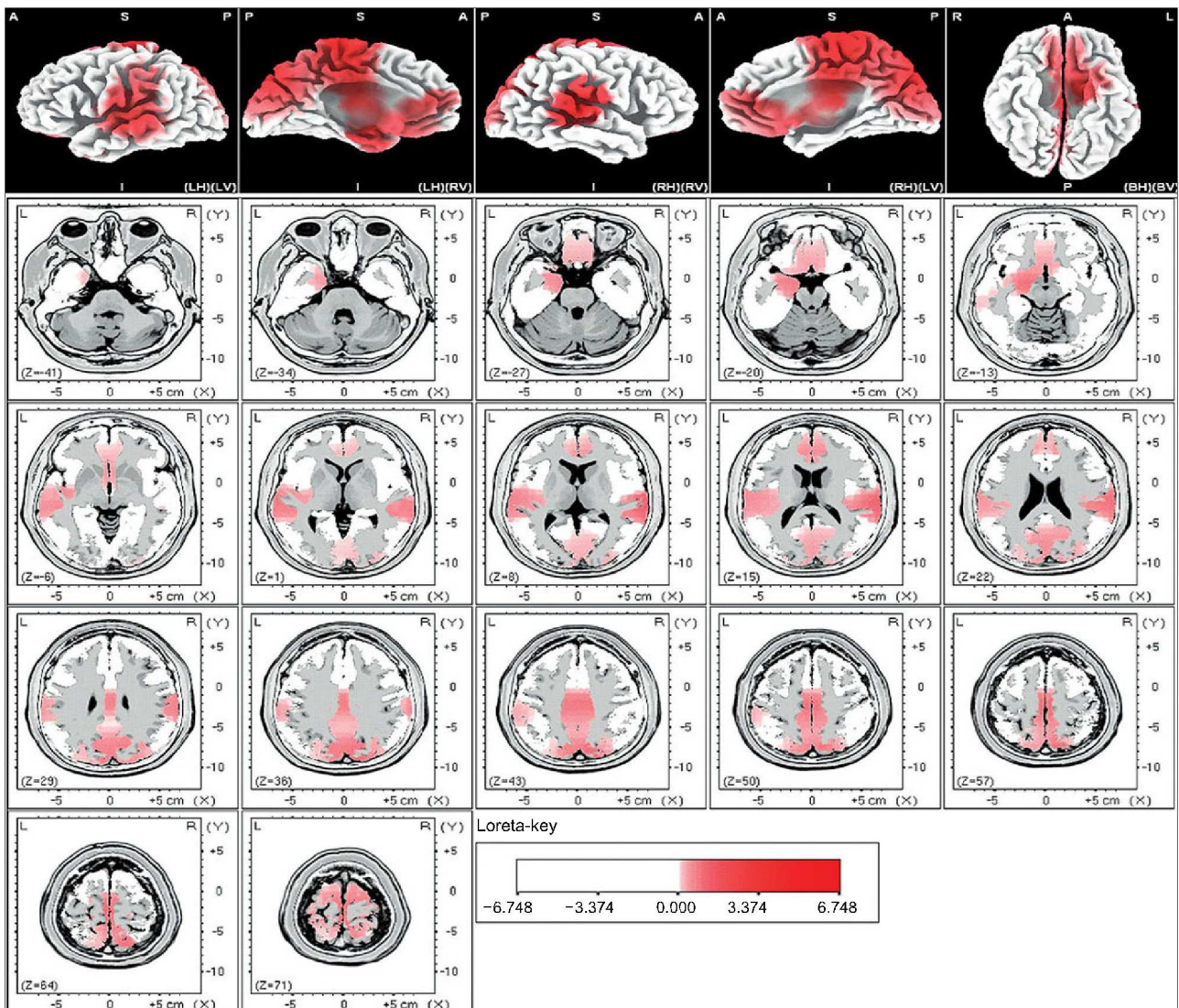


Fig. 3. Male-beta 3. The anatomical areas of current density increment of the beta 3 (22-30Hz) band of male induced by visual-sexual arousal. The current density is increased in the middle occipital gyrus of both occipital lobes, the superior temporal gyrus of both temporal lobes, the precuneus of the right parietal lobe, the superior parietal lobule of the right parietal lobe, the medial frontal gyrus and superior frontal gyrus of the right frontal lobe, the anterior cingulate gyrus of the right limbic lobe, and the parahippocampal gyrus of the left limbic lobe.

직 비디오와 포르노 비디오를 보면서 측정한 각각의 EEG를 5초 동안 잡파가 없는 부분 5군데를 선택하였다 (filter: 1.6-60Hz). 자료를 재분석하여 얻은 데이터를 brainelectrical source analysis (BESA)에 의해 처리하여 공간적 분석을 시행하였다. 데이터는 디지털화되어 6개 [delta (1-3Hz), theta (4-7Hz), alpha (8-12Hz), beta1 (13-18Hz), beta2 (19-21Hz), beta3 (22-30Hz)]의 주파수 영역으로 나누어졌다.

LORETA-KEY (KEY Institute for Brain-Mind Research, Switzerland) software는 비교 공간 (cross-spectral)분석에 의해 대뇌속의 전류밀도를 얻을 수 있다. LORETA의 현재 사

용 중인 버전은 Montreal Neurologic Institute의 Brain Imaging Center에서 디지털화된 자기공명영상으로 만들어진 Talairach human brain atlas¹¹에 등록된 Three-shell spherical head model을 사용하고 있다. Three-shell spherical head model과 Talairach head geometry 사이의 등록은 Towle 등¹²에 의해 발표된 실질적 EEG전기 좌표를 사용하였다. LORETA의 해 영역 (solution space)은 Montreal Neurologic Institute의 Brain Imaging Center에서 만들어진 유사한 Digitized Probability Atlas에 의해 정의된 Talairach atlas에서 대뇌 회백 질과 해마부위에 국한된다. 따라서 7mm 범위의 공간 해상도

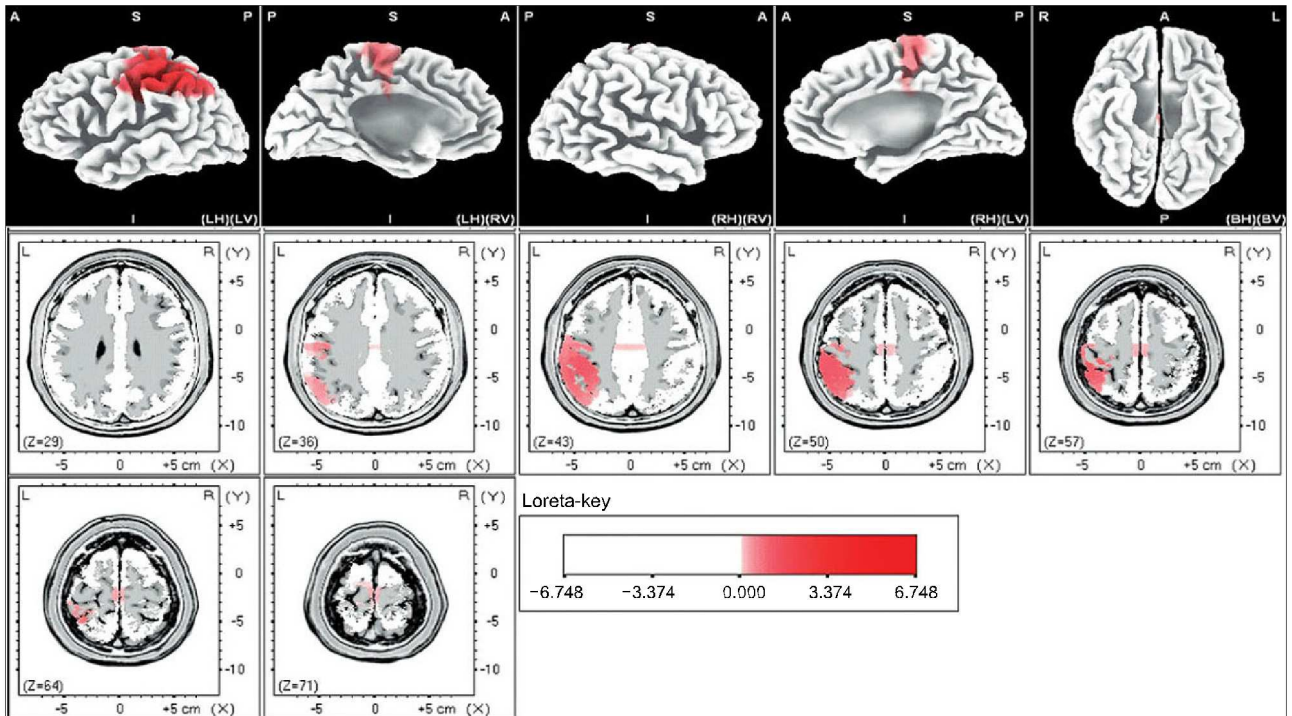


Fig. 4. Female-delta. The anatomical areas of current density increment of the delta (1-3Hz) band of female induced by visual-sexual arousal. The current density is increased in the postcentral gyrus and inferior parietal lobule of the left parietal lobe, and the middle frontal gyrus of the left frontal lobe.

에서 총 2,394개의 격자 (voxel)가 이 신경해부학적 범위에서 산출된다.^{9,10}

모든 부분을 교차 스펙트럼 분석 (cross spectral analysis) 하여 LORETA 영상을 얻은 후에, 뮤직 비디오를 보았을 때와 포르노 비디오를 보았을 때의 통계적 비모수적 지도 [statistical non parametric maps (SnPM)]를 각 주파수 영역에서 측정하였다 (delta 1-3/sec, theta 4-7/sec, alpha 8-12/sec, beta-1 13-18/sec, beta-2 19-21/sec, and beta-3 22-30/sec). 각 주파수 영역에서 가장 전류 밀도가 높은 부분을 LORETA-KEY software로 계산하여 Brodmann영역 및 대뇌 피질의 해부학적인 위치를 구하였다.

결 과

남성은 시각적 성적 자극을 주었을 때 뇌의 전류 밀도는 기저 상태에 비해 델타, 세타, 알파 주파수대의 통계적 비모수적 지도 (SnPM)에서는 차이가 미약하였다. 베타 1 주파수대에서는 좌측 변연계의 해마결이랑 (parahippocampal gyrus of left limbic lobe), 좌측 변연계의 갈고리이랑 (uncus of left limbic lobe)과 양쪽 관자엽의 위관자이랑 (superior temporal gyrus of both temporal lobes), 좌측 뒤통수엽의 중간뒤통수

고랑 (middle occipital gyrus of left occipital lobe)에서 전류 밀도가 차이가 크게 나타났다 (Fig. 1). 베타 2 주파수대에서는 우측 이마엽의 위이마이랑 (superior frontal gyrus of right frontal lobe), 우측 이마엽의 중간이마이랑 (medial frontal gyrus of right frontal lobe), 좌측 변연계의 앞 띠이랑 (anterior cingulate gyrus of left limbic lobe)에서 전류 밀도가 차이가 크게 나타났다 (Fig. 2). 베타 3 주파수대에서는 양쪽 뒤통수엽의 중간뒤통수고랑 (middle occipital gyrus of both occipital lobe), 양쪽 관자엽의 위관자이랑 (superior temporal gyrus of both temporal lobe), 그리고 우측 마루엽의 췌기앞소엽 (precuneus of right parietal lobe), 우측 마루엽의 위마루소엽 (superior parietal lobule of right parietal lobe), 우측 이마엽의 중간이마이랑 (medial frontal gyrus of right frontal lobe), 우측 이마엽의 위이마이랑 (superior frontal gyrus of right frontal lobe), 우측 변연계의 앞 띠이랑 (anterior cingulate gyrus of right limbic lobe), 좌측 변연계의 해마결이랑 (parahippocampal gyrus of left limbic lobe)에서 전류 밀도가 차이가 크게 나타났다 (Fig. 3).

여성은 베타 2, 3 주파수대의 통계적 비모수적 지도 (SnPM)에서는 차이가 미약하였다. 델타 주파수대에서는 좌측 마루엽의 중심뒤이랑 (postcentral gyrus of left parietal

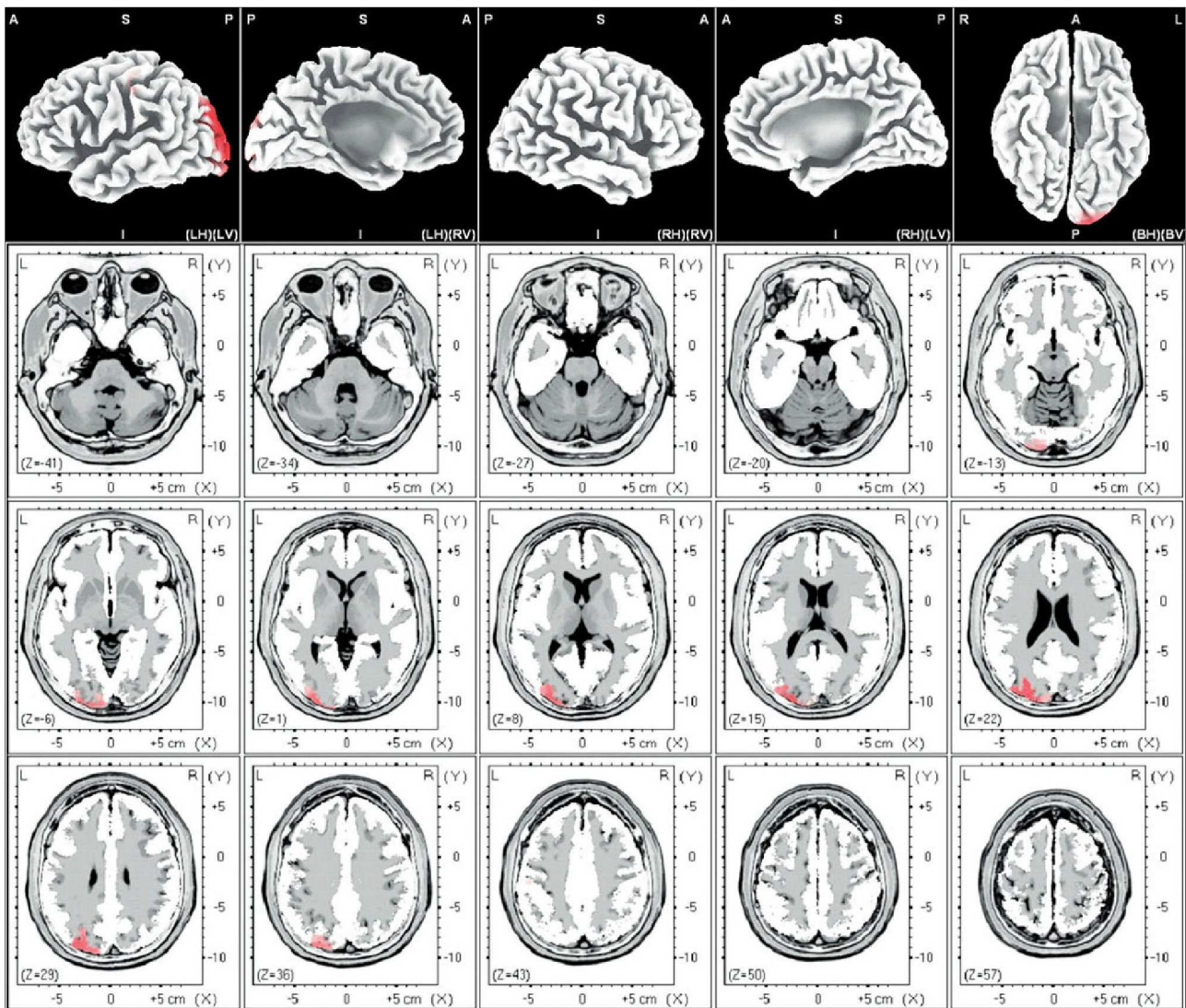


Fig. 5. Female theta. The anatomical areas of current density increment of the theta (4-7Hz) band of female induced by visual-sexual arousal. The current density is increased in the middle occipital gyrus of the left occipital lobe, the left cuneus and the postcentral gyrus of the left parietal lobe.

lobe), 좌측 마루엽의 아래마루소엽 (inferior parietal lobule of left parietal lobe), 좌측 이마엽의 중간이마이랑 (middle frontal gyrus of left frontal lobe)에서 전류 밀도가 차이가 크게 나타났다 (Fig. 4). 세타 주파수대에서는 좌측 뒤통수엽의 중간뒤통수이랑 (middle occipital gyrus of left occipital lobe), 좌측 췌기소엽 (left cuneus), 좌측 마루엽의 중심뒤텔이랑 (postcentral gyrus of left parietal lobe)에서 전류 밀도가 차이가 크게 나타났다 (Fig. 5). 알파 주파수대에서는 좌측 관자엽의 위관자이랑 (superior temporal gyrus of left temporal lobe), 좌측 마루엽의 중심뒤텔이랑 (postcentral gyrus of left parietal lobe)에서 전류 밀도가 차이가 크게 나타났다 (Fig. 6). 그리고 베타 1 주파수대에서는 양측 관자엽의 위관자이

랑 (superior temporal gyrus of both temporal lobe), 좌측 마루엽의 중심뒤텔이랑 (postcentral gyrus of left parietal lobe), 좌측 변연계의 해마결이랑 (parahippocampal gyrus of left limbic lobe)에서 전류 밀도가 증가하였다 (Fig. 7).

위 결과들을 종합하여 보면, 남성의 전류 밀도는 좌측 해마결이랑 (left parahippocampal gyrus), 좌측 갈고리이랑 (left uncus), 우측 췌기앞소엽 (right precuneus), 우측 앞 띠이랑 (right anterior cingulate gyrus), 우측 위이마이랑 (right superior frontal gyrus), 우측 위마루소엽 (right superior parietal lobule), 우측 중간이마이랑 (right medial frontal gyrus), 양측 위관자이랑 (both superior temporal gyrus), 양측 중간뒤통수고랑 (both middle occipital gyrus)에서 증가하였다. 여성의

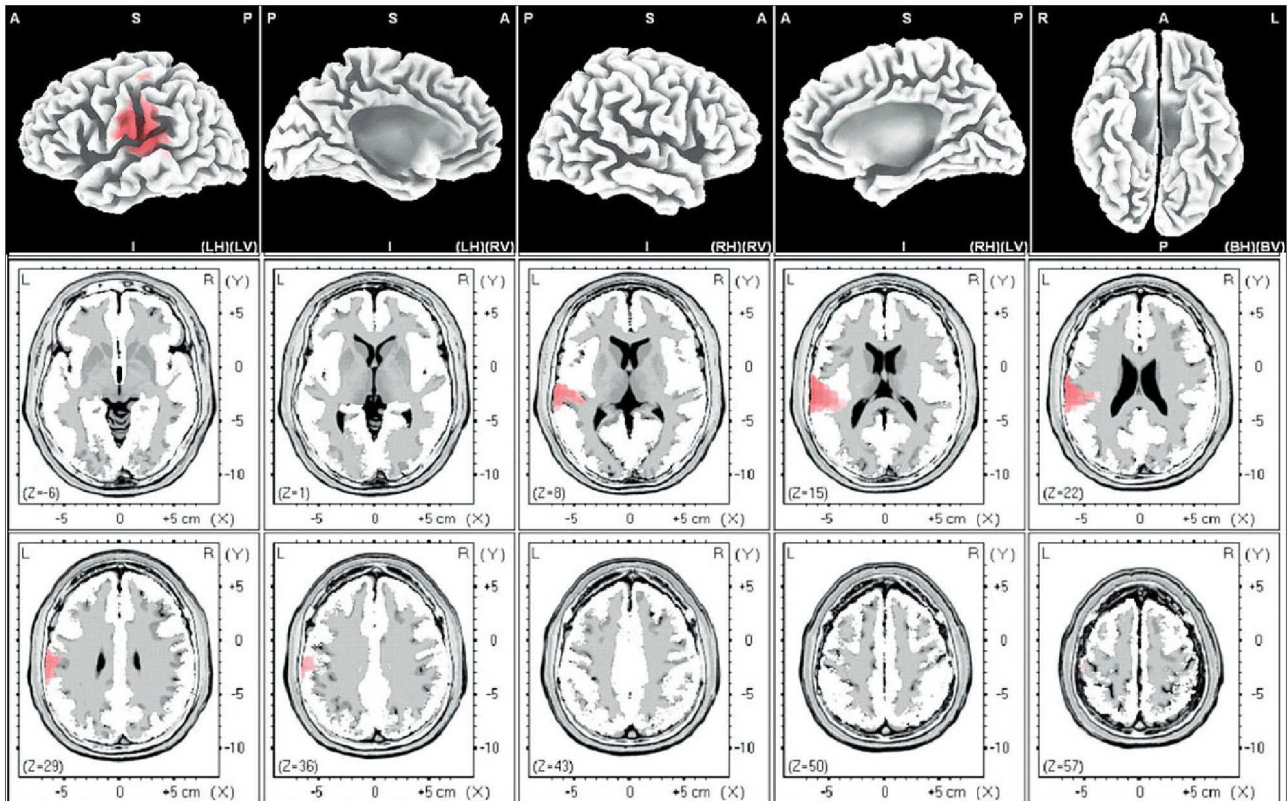


Fig. 6. Female alpha. The anatomical areas of current density increment of the alpha (8-12Hz) band of female induced by visual-sexual arousal. The current density is increased in the superior temporal gyrus of the left temporal lobe, and the postcentral gyrus of the left parietal lobe.

전류 밀도는 좌측 중심뒤이랑 (left postcentral gyrus), 좌측 아래마루소엽 (left inferior parietal lobule), 좌측 중간이마이랑 (left middle frontal gyrus), 좌측 중간뒤통수이랑 (left middle occipital gyrus), 좌측 췌기소엽 (left cuneus), 좌측 해마결이랑 (left parahippocampal gyrus), 양측 위관자이랑 (both superior temporal gyrus)에서 증가하였다 (Table 1).

고 찰

인간의 성적 흥분은 인지적, 정서적, 동기 유발적 그리고 생리학적인 요소들로 구성할 수 있는 다차원적인 경험이다. 이중 인지적인 요소는 성적 자극을 인식하는 데 관계가 있으며, 정서적인 요소는 성적 흥분의 특정한 쾌락적 속성과 관계가 있다. 동기 유발적 요소는 성적 목표에 대한 직접적인 행동과정과 관련이 있으며, 생리적인 요소는 성적 흥분과 연관된 자율신경계와 내분비계 반응들과 관계가 있다.^{13,14} 그리고 일반적으로 이러한 성적 흥분은 시각적 자극에 의해 가장 많은 반응을 나타낸다고 알려져 있다. 또한 이러한 시각적 성적 흥분 과정은 대뇌가 중추적인 역할을

담당하고 있다.¹⁴ 최근에는 외부 자극에 대한 뇌 반응을 보여주는 비침습적 방법인 양성자방출단층촬영과 기능적 자기공명영상술이 개발되어 기능적 뇌 지도에 대한 지식을 더 많이 알 수 있게 되었다.

PET를 이용한 연구들에서 시각적 성적 자극에 의해 활성화되는 뇌영역은 앞 띠고랑 (anterior cingulate gyrus), 뒤통수이마이랑 (orbitofrontal cortex), 꼬리핵 (caudate), 조가비핵 (putamen) 등이라고 보고하였다.¹⁴⁻¹⁷ 이전 연구에서 기능적 MRI를 이용하여 시각적 성적 자극 후에 국소적 뇌 혈류량 (rCBF)이 증가하는 부위는 앞, 중간 띠고랑 (anterior and mid-cingulate gyrus), 좌측 대뇌반구의 아래 관자이랑 (inferior temporal gyrus of the left hemisphere), 아래, 중간 뒤통수이마이랑 (inferior, medial and orbito-frontal gyrus), 아래 관자이랑 (inferior temporal gyrus), 우측 대뇌반구의 대뇌섬 (insula of the right hemisphere), 꼬리핵, 조가비핵 (putamen), 양측 대뇌반구의 담장 (claustrum of the both hemisphere) 등으로 보고하였다.^{13,18-23}

또한, PET연구에서 우측 대뇌반구의 아래뒤통수이랑 (inferior occipital gyrus of the right hemisphere), 담장 (claus-

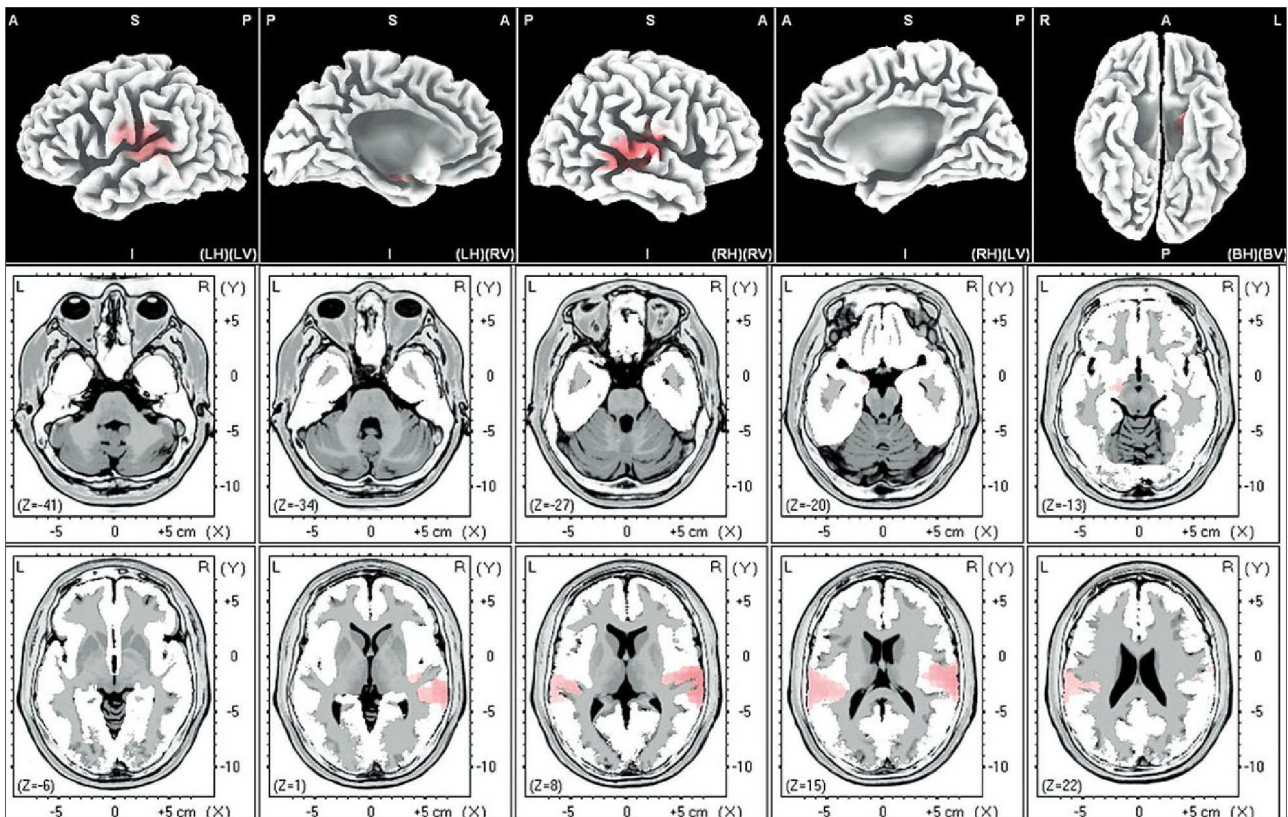


Fig. 7. Female-beta 1. The anatomical areas of current density increment of the alpha (8-12Hz) band of female induced by visual-sexual arousal. The current density is increased in the superior temporal gyrus of both temporal lobes, the postcentral gyrus of the left parietal lobe, and the parahippocampal gyrus of the left limbic lobe.

trum), 앞 띠이랑 (anterior cingulate gyrus), 조가비핵, 양쪽 대뇌반구의 꼬리핵 (caudate nucleus of the both hemisphere) 영역을 포함하여 국소적 뇌 혈류량이 증가함에 따라 성기의 강직도가 증진되었다.^{14,18} 기능적 MRI 연구에서, 성기의 강직도와 연관되어 강력하게 활성화된 뇌 영역은 담장을 포함하는 대뇌섬밀 부위 [subinsular regions (including the calystrum)], 중간뒤통수이랑 (middle occipital gyrus), 중간관자이랑 (middle temporal gyrus), 우측 대뇌반구의 감각, 운동, 전운동부위 (sensory motor and pre-motor regions of the right hemisphere), 꼬리핵, 좌측 대뇌반구의 조가비핵 (putamen of the left hemisphere), 양쪽 대뇌반구의 띠이랑 (cingulate gyrus of the both hemisphere)이다.²⁰

시각적 성적 자극에 의해 활성화되는 뇌 영역은 이전 PET와 fMRI를 이용한 연구에서 동일하게 앞, 중간 띠고랑, 좌측 대뇌반구의 아래 관자이랑, 아래 뒤통수이랑, 꼬리핵, 좌측 대뇌반구의 조가비핵, 아래, 중간 뒤통수이마이랑, 감각, 운동, 전운동부위 (sensory motor and pre-motor regions), 아래, 중간 관자이랑 (inferior and middle temporal gyrus), 대뇌섬 (insula), 대뇌섬밀 부위 (subinsular regions), 우측 대뇌 반

구의 중간 뒤통수이랑 (middle occipital gyrus of the right hemisphere), 앞 띠이랑 (anterior cingulate gyrus), 띠이랑 (cingulate gyrus), 양쪽 대뇌반구의 담장 (claustrum of the both hemisphere) 영역에서 활성화되었다.^{13,14-23}

본 LORETA를 이용한 연구에서는 남성의 전류 밀도는 해마결이랑 (parahippocampal gyrus), 갈고리이랑 (uncus), 췌기앞소엽 (precuneus), 앞 띠이랑, 위이마이랑 (superior frontal gyrus), 중간이마이랑 (medial frontal gyrus), 위관자이랑 (superior temporal gyrus), 중간뒤통수고랑 (middle occipital gyrus), 위마루소엽 (superior parietal lobe)에서 증가하였다. 여성의 전류 밀도는 중심뒤이랑 (postcentral gyrus), 아래마루소엽 (inferior parietal lobule), 중간이마이랑, 중간뒤통수이랑, 췌기소엽 (cuneus), 위관자이랑, 해마결이랑에서 증가하였다. Mulert 등²⁴은 소리에 의한 대뇌 활성화영역을 알아보기 위해 LORETA와 fMRI를 사용하여 비교 분석하였다. 그 결과 일부는 동일한 대뇌 부위들이 활성화되었고 일부는 차이가 있는 것으로 보고하였다. 이와 같이 PET와 fMRI를 사용한 연구와 본 연구 결과를 비교하면 일부는 일치하지만 일부는 차이가 나는 것으로 나타났다. PET와 fMRI를 사

Table 1. The maximal points of current density of males and females

		Talairach coordinates (X, Y, Z)	Broadman area	Nearest gray matter
Male	Beta-1	-24, -4, -13	Amygdala	Parahippocampal gyrus, LL, Lt
		-31, -4, -20	Amygdala	
		-17, 3, -27	28	
		-45, -11, -6	22	
		-59, -11, 1	22	
		60, -18, 8	41	
		-38, -88, 1	18	
		-45, -88, 1	19	
		-38, -88, 8	18	
		-45, -88, 8	19	
		-38, -88, -6	18	
	Beta-2	11, 66, -13	11	Middle frontal gyrus, FL, Rt
		11, 66, 1	10	
		11, 38, -6	10	
		18, 66, 1	10	
		11, 66, -6	10	
	Beta-3	11, 45, -6	32	Anterior cingulate, LL, Rt Superior temporal gyrus, TL, Rt Middle frontal gyrus, FL, Lt Precuneus, PL, Rt Parahippocampal gyrus, LL, Lt Superior parietal lobule, PL, Rt Superior temporal gyrus, TL, Lt Superior frontal gyrus, FL, Rt Anterior cingulate, LL, Rt Precuneus, PL, Rt Middle occipital gyrus, OL, Rt Middle occipital gyrus, OL, Lt Inferior parietal lobule, PL, Lt Postcentral gyrus, PL, Lt Middle frontal gyrus, FL, Lt Middle occipital gyrus, OL, Lt Cuneus, OL, Lt Postcentral gyrus, PL, Lt Superior temporal Gyrus, TL, Lt Postcentral gyrus, PL, Lt Superior temporal gyrus, TL, Rt Superior temporal gyrus, TL, Lt Superior temporal gyrus, TL, Lt Superior temporal gyrus, TL, Lt Superior temporal gyrus, TL, Lt Superior temporal gyrus, TL, Lt Postcentral gyrus, PL, Lt Parahippocampal gyrus, LL, Lt
		67, -25, 8	42	
		60, -25, 8	42	
		-10, -32, 71	6	
		11, -88, 36	19	
		-17, -4, -13	37	
		-10, -4, -13	34	
		11, -74, 57	7	
		18, -67, 64	7	
		-66, -25, 1	22	
		-45, -11, -6	22	
		18, -11, 71	6	
		11, 38, 15	32	
		32, -74, 29	19	
		32, -95, 8	18	
		-24, -102, 1	18	
Female	Delta	-52, -39, 50	40	
		-45, -32, 50	40	
		-3, -25, 71	6	
	Theta	-24, -95, 15	18	Middle occipital gyrus, OL, Lt
		-24, -102, 1	18	
		-3, -95, 22	19	
		-52, -25, 43	2	
	Alpha	-66, -25, 15	42	Superior temporal Gyrus, TL, Lt
		-52, -25, 57	1	
	Beta-1	60, -25, 8	42	Superior temporal gyrus, TL, Rt Superior temporal gyrus, TL, Lt Superior temporal gyrus, TL, Lt Superior temporal gyrus, TL, Lt Superior temporal gyrus, TL, Lt Superior temporal gyrus, TL, Lt Superior temporal gyrus, TL, Lt Superior temporal gyrus, TL, Lt Superior temporal gyrus, TL, Lt Superior temporal gyrus, TL, Lt Superior temporal gyrus, TL, Lt Superior temporal gyrus, TL, Lt Superior temporal gyrus, TL, Lt Superior temporal gyrus, TL, Lt Superior temporal gyrus, TL, Lt Postcentral gyrus, PL, Lt Parahippocampal gyrus, LL, Lt
		67, -18, 8	42	
		60, -18, 8	41	
		67, -25, 8	42	
		-45, -32, 8	41	
		-59, -25, 8	41	
		-59, -32, 15	42	
		-66, -32, 15	42	
		-66, -25, 15	42	
		-66, -39, 15	22	
		-66, -18, 15	43	
		-17, -11, -13	37	

LL: limbic lobe, TL: temporal lobe, PL: parietal lobe, FL: frontal lobe, OL: occipital lobe, Lt: left, Rt: right

용한 연구에서는 좌측 뇌의 아래관자이랑 (inferior temporal gyrus)이 활성화되는 것에 비교해서 본 연구에서는 좌측 뇌의 위관자이랑이 활성화되었다. 그리고 PET와 fMRI를 사용한 연구에서 우측 뇌의 대뇌섬 (insular) 또는 대뇌섬밀 부위가 활성화되는 것에 반해서 본 연구에서는 우측 뇌의 위관자이랑이 활성화되었다. 이는 신경 활성을 찾는 방법의 차이로 인한 것으로 생각한다.

LORETA는 대뇌의 신경 활성을 직접적으로 측정하여 3차원으로 나타내고, fMRI는 국부 대뇌 혈류의 양을 측정하여 간접적으로 신경활성을 측정하므로 이러한 차이가 발생하는 것으로 생각한다. 두 가지 방법 중 어떤 방법이 신경 활성을 더 정확하게 측정하는지는 알려져 있지 않다. 하지만 본 저자들은 신경활성을 직접적으로 측정하는 LORETA가 fMRI에 비해서 더 정확한 방법이라고 생각한다.

PET와 fMRI를 사용한 연구와 마찬가지로 본 연구에서도 중간 뒤통수이랑 (middle occipital gyrus)이 활성화되었다.¹³⁻²³ 이는 시각적 성적 자극 연관되는 occipital visual area가 활성화된 것으로 생각한다.

변연계 (limbic system)는 감정적 흥분과 정서적 행동을 나타내는 데 중추적인 역할을 하는 것으로 알려져 왔다. 이 중 변연계의 상부는 고도로 발달된 성행동의 통합계로서의 역할을 하고 있는데, 동물 실험에서 이 부위를 자극하면 성적 흥미를 야기하고 음경의 발기, 애무 등의 성적인 행동으로 표출된다고 한다.^{25,26} 본 실험에서도 남녀의 대뇌 활성화 부위를 비교해 보면 남성의 경우 해마겔이랑, 갈고리이랑 (uncus), 앞 띠이랑 같은 변연계가 여성에 비해 더 많이 활성화되었다. 이는 남녀의 성적 흥분에 관한 기존의 연구 결과, 일반적으로 남성이 여성에 비하여 강한 성적 흥분을 경험하는 것과 일치하는 결과라고 생각한다.^{4,27}

그리고 여성의 경우 남성에 비해 중심뒤이랑 (postcentral gyrus), 아래마루소엽 (inferior parietal lobule) 부위에서 전류 밀도가 증가 하였다. 마루소엽 (parietal lobule)과 앞, 뒤 중심이랑 (pre and postcentral gyrus)는 이전 연구에서 시각적 성적 흥분에서 주의력 과정 (attentional process)에 관계하다고 알려져 있다. 이러한 결과는 여성이 남성에 비해 시각적 성적 흥분에서 집중 (attention)이 더 좋기 때문에 나타난 것으로 생각한다.²⁸

시각적인 성적 자극 시에 일반적으로 남성이 여성에 비해 더 높은 성적 흥분을 나타낸다고 하였다. 하지만 본 실험에서 비디오 시청 후 성적 흥분에 대한 평가에서 남성은 약간의 발기를 기록한 사람이 19명, 중간 정도의 발기를 기록한 사람이 9명, 완전 발기를 기록한 사람이 3명으로 나왔으며, 여성은 성적 흥분이 하로 기록한 사람이 10명, 중을 기록한 사람이 9명, 상을 기록한 사람이 2명으로 나왔다. 이

러한 결과는 실험 참가자의 수가 적어서 나타난 것으로 생각한다. 또한 남성에서 약간의 발기를 기록한 사람이 19명, 여성에서 하로 기록한 사람이 10명으로 나타났는데, 이는 EEG를 측정하기 위해 시청각 성적 자극 시 머리에 23개의 단자 (electrode)를 붙이고 진행되어 비디오에 대한 몰입이 어려워져서 나타난 것으로 생각한다.

본 연구는 시각적 성적 자극과 뇌 영역의 활성화의 관계를 LORETA를 이용하여 시행하였다. 시각적 자극에 의한 성적 흥분은 남성에서는 해마겔이랑, 갈고리이랑, 췌기앞소엽, 앞 띠이랑, 위이마이랑, 중간이마이랑, 위관자이랑, 중간뒤통수고랑, 위마루소엽이, 여성에서는 중심뒤이랑, 아래마루소엽, 중간이마이랑, 중간뒤통수이랑, 췌기소엽, 위관자이랑, 해마겔이랑이 활성화되었다. 이러한 결과는 성인 남녀에서 변연계와 전두엽과 마루관자뒤통수부위 (parieto-temporo-occipital area)가 시각적 자극에 의한 성적 흥분에 중요한 역할을 하는 것을 시사한다.

결 론

시각 자극에 의한 성적 흥분은 대뇌 피질에서 남성은 좌측 변연계의 해마겔이랑 (parahippocampal gyrus of left limbic lobe), 좌측 변연계의 갈고리이랑 (uncus of left limbic lobe), 우측 변연계의 앞 띠이랑 (anterior cingulate gyrus of right limbic lobe), 양측 관자엽의 위관자이랑 (superior temporal gyrus of both temporal lobes), 우측 마루엽의 췌기앞소엽 (precuneus of right parietal lobe), 우측 마루엽의 위마루소엽 (superior parietal lobule of right parietal lobe), 우측 이마엽의 중간이마이랑 (medial frontal gyrus of right frontal lobe), 우측 이마엽의 위이마이랑 (superior frontal gyrus of right frontal lobe), 양측 뒤통수엽의 중간뒤통수고랑 (middle occipital gyrus of both occipital lobe), 여성은 좌측 마루엽의 중심뒤이랑 (postcentral gyrus of left parietal lobe), 좌측 마루엽의 아래마루소엽 (inferior parietal lobule of left parietal lobe), 좌측 이마엽의 중간이마이랑 (medial frontal gyrus of left frontal lobe), 좌측 뒤통수엽의 중간뒤통수이랑 (middle occipital gyrus of left occipital lobe), 좌측 췌기소엽 (left cuneus), 양측 관자엽의 위관자이랑 (superior temporal gyrus of both temporal lobe), 좌측 해마겔이랑 (left parahippocampal gyrus)이 활성화된다. 인간의 시각적 성적 자극에 의한 성적 흥분은 이러한 부분들이 중요한 작용을 한다는 것을 시사한다.

REFERENCES

1. Shepard GM. Neurobiology. 3rd ed. New York: Oxford University Press; 1994;3-12
2. Whalen RE. Sexual motivation. Psychol Rev 1966;73:151-63
3. Merboldt KD, Fransson P, Bruhn H, Frahm J. Functional MRI of the human amygdala? Neuroimage 2001;14:253-7
4. Koukounas E, McCabe M. Sexual and emotional variables influencing sexual response to erotica. Behav Res Ther 1997; 35:221-30
5. Meston CM. Sympathetic nervous system activity and female sexual arousal. Am J Cardiol 2000;86:30-4
6. McKenna K. The brain is the master organ in sexual function: central nervous system control of male and female sexual function. Int J Impot Res 1999;11 (Suppl 1):S48-55
7. Bancroft J. Human sexuality and its problems. 2nd ed. Edinburgh: Churchill Livingstone; 1989;748
8. Herbert J. Sexuality, stress and the chemical architecture of brain. Annu Rev Sex Res 1996;7:1-43
9. Pascual-Marqui RD, Michel CM, Lehmann D. Low resolution electromagnetic tomography: a new method for localizing electrical activity in the brain. Int J Psychophysiol 1994;18: 49-65
10. Kim MR, Kim KR, Ha CK, Choi SH, Lee IK. Comparative study between visual analysis and low resolution electromagnetic tomography (LORETA) method in the localization of epileptiform discharges. J Korean Neurol Assoc 2002;20:164-8
11. Talairach J, Tournoux P. Co-planar stereotaxic atlas of the human brain. 1st ed. New York: Thieme Stuttgart; 1988;1
12. Towle VL, Bolanos J, Suarez D, Tan K, Grzeszczuk R, Levin DN, et al. The spatial location of EEG electrodes: locating the best-fitting sphere relative to cortical anatomy. Electroencephalogr Clin Neurophysiol 1993;86:1-6
13. Karama S, Lecours AR, Leroux JM, Bourgouin P, Beaudoin G, Joubert S, et al. Areas of brain activation in males and females during viewing of erotic film excerpts. Hum Brain Mapp 2002;16:1-13
14. Stoleru S, Gregoire MC, Gerard D, Decety J, Lafarge E, Cinotti L, et al. Neuroanatomical correlates of visually evoked sexual arousal in human males. Arch Sex Behav 1999;28:1-21
15. Bocher N, Chisin R, Parag Y, Freedman N, Meir Weil Y, Lester H, et al. Cerebral activation associated with sexual arousal in response to a pornographic clip: a 15O-H2O PET study in heterosexual men. Neuroimage 2001;14:105-17
16. Grafton ST, Arbib MA, Fadiga L, Rizzolatti G. Localization of grasp representations in humans by positron emission tomography. 2. Observation compared with imagination. Exp Brain Res 1996;112:103-11
17. Phelps ME, Mazziotta JC. Positron emission tomography: human brain function and biochemistry. Science 1985;228: 799-809
18. Ogawa S, Lee TM, Kay AR, Tank DW. Brain magnetic resonance imaging with contrast dependent on blood oxygenation. Proc Natl Acad Sci USA 1990;87:9868-72
19. Arnow BA, Desmond JE, Banner LL, Glover GH, Solomon A, Polan ML, et al. Brain activation and sexual arousal in healthy, heterosexual males. Brain 2002;125:1014-23
20. Beauregard M, Levesque J, Bourgouin P. Neural correlates of conscious self-regulation of emotion. J Neurosci 2001;21: RC165
21. Park K, Seo JJ, Kang HK, Ryu SB, Kim HJ, Jeong GW. A new potential of blood oxygenation level dependent (BOLD) functional MRI for evaluating cerebral centers of penile erection. Int J Impot Res 2001;13:73-81
22. Park KS, Kang HK, Seo JJ, Kim HJ, Ryu SB, Jeong GW. Blood-oxygenation-level-dependent functional magnetic resonance imaging for evaluating cerebral regions of female sexual arousal response. Urology 2001;57:1189-94
23. Mouras H, Stoleru S, Bittoun J, Glutrin D, Pelegrini-Issac M, Paradis AL, et al. Brain processing of visual sexual stimuli in healthy men: a functional magnetic resonance imaging study. Neuroimage 2003;20:855-69
24. Mulert C, Jager L, Schmitt R, Bussfeld P, Pogarell O, Moller HJ, et al. Integration of fMRI and simultaneous EEG: towards a comprehensive understanding of localization and time-course of brain activity in target detection. Neuroimage 2004;22: 83-94
25. Joseph R. The limbic system: emotion, laterality, and unconscious mind. Psychoanal Rev 1992;79:405-56
26. Dagi TF, Poletti CE. Reformulation of the Papez circuit: absence of hippocampal influence on cingulate cortex unit activity in the primate. Brain Res 1983;259:229-36
27. Murnen SK, Stockton M. Gender and self-reported sexual arousal in response to sexual stimuli: a meta-analytic review. Sex Roles 1997;37:135-53
28. Mesulam MM. Pattern in behavioral neuroanatomy: association areas, the limbic system, and behavioral specialization. In: Mesulam MM, editor. Principles of behavioral neurology. 1st ed. Philadelphia: FA Davis; 1985;1-20