

## 문제적 과잉 성 행동자의 휴지기 상태 시 집행 통제 회로의 기능적 연결성 변화

Altered Functional Connectivity of the Executive Control Network  
During Resting State Among Males with Problematic Hypersexual Behavior

석지우<sup>1†</sup>

Ji-Woo Seok<sup>1†</sup>

### Abstract

Individuals with problematic hypersexual behavior (PHB) evince the inability to control sexual impulses and arousal. Previous studies have identified that these characteristics are related to structural and functional changes in the brain region responsible for inhibitory functions. However, very little research has been conducted on the functional connectivity of these brain areas during the resting state in individuals with PHB. Therefore, this study used functional magnetic resonance imaging devices with the intention of identifying the deficit of the functional connectivity in the executive control network in individuals with PHB during the resting state. Magnetic resonance imaging data were obtained for 16 individuals with PHB and 19 normal controls with similar demographic characteristics. The areas related to the executive control network (LECN, RECN) were selected as the region of interest, and the correlation coefficient with time series signals between these areas was measured to identify the functional connectivity. Between groups analysis was also used. The results revealed a significant difference in the strength of the functional connectivity of the executive control network between the two groups. In other words, decreased functional connectivity was found between the superior/middle frontal gyrus and the caudate, and between the superior/middle frontal gyrus and the superior parietal gyrus/angular gyrus in individuals with PHB. In addition, these functional Connectivities related to the severity of hypersexual behavior. The findings of this study suggest that the inability to control sexual impulses and arousal in individuals with PHB might be related to the reduced functional connectivity of executive control circuits.

**Key words:** Problematic Hypersexual Behavior, Functional Magnetic Resonance Imaging, Executive Control Network, Functional Connectivity, Superior/Middle Frontal Gyrus

---

※ 이 논문은 2018년도 '성중독자의 인지처리 관련 뇌 영역간 유효연결성 연구과제'로 호남대학교 교내연구비 지원을 받아 수행된 연구임.

<sup>1†</sup> (교신저자) 석지우: 호남대학교 상담심리학과 조교수 / E-mail : suk6124@naver.com / TEL : 062-940-5484

## 요 약

문제적 과잉 성 행동은 성 충동과 각성을 통제하지 못하는 것과 관련이 있으며, 억제 기능을 담당하는 뇌 영역의 구조적, 기능적 변화와 관련이 있음이 밝혀졌다. 그러나 아직까지 문제적 과잉 성 행동의 휴지기 상태 시 뇌의 기능적 연결성에 관한 연구는 거의 없다. 따라서 본 연구에서는 자기공명영상장치를 사용하여 휴지기 상태 시 문제적 과잉 성 행동자의 집행 통제 회로(RECN, LECN)의 기능적 연결성의 결함을 규명하고자 하였다. 이를 위해 17명의 문제적 과잉 성 행동자와 인구통계학적 특성이 유사한 20명의 정상대조군을 대상으로 휴지기 상태 시 자기공명영상데이터가 획득하였다. 실행기능 제어 회로(LECN, RECN)와 관련된 영역을 관심 뇌 영역으로 선정하였으며, 이들 영역간 시계열 신호와의 상관계수를 기능 연결성 정도로 가정하고 집단 간 비교 검증을 하였다. 그 결과, 정상대조군과 문제적 과잉 성행동군의 집행 통제회로의 기능적 연결 강도에 유의한 차이가 나타났다. 즉, 정상대조군에 비해 문제적 과잉 성행동군은 상/중전두회와 미상핵, 상/중전두회와 두정회의 기능적 연결성이 저하된 것으로 나타났다. 또한, 이 영역간 기능적 연결강도는 과잉 성 행동 지수와 부적상관이 있는 것으로 나타났다. 본 연구 결과는 문제적 과잉 성행동자들이 성 충동과 각성을 제어하지 못하는 것이 집행 통제회로의 기능적 연결성 저하와 관련이 있음을 시사한다.

**주제어:** 문제적 과잉 성 행동자, 휴지기 자기공명영상, 집행 통제 회로, 기능적 연결성, 상/중 전두회

## 1. 서론

성 중독이란 심리적, 사회적으로 문제점이 발생하는 것을 알면서도, 과도하게 성 행위를 반복하거나, 성적 욕구와 환상에 몰두하는 것을 의미한다(Carnes, 2001; Laaser & Earle, 2001; Kafka, 2010). 대다수의 성 중독자들은 가족이나 연인을 제외한 다수의 파트너와의 무분별한 성 행위를 반복하고 있으며, 이러한 무분별한 성 행위로 인해 성병 및 에이즈 등의 감염의 위험성에 노출되어 있다(Fong, 2006; Parsons et al., 2008). 또한 성 중독자는 타인과 관계를 맺는데 있어 성과 성행위의 가능성에만 관심이 있으며, 성관계에 대한 비현실적인 기대를 가지고 있다(Schneider, 2000). 따라서, 성 중독자들은 다른 사람들과 건강한 관계를 형성하거나 유지하는데 있어 어려움을 겪고, 결국 이혼이나 고립을 초래한다(Fong, 2006). 이렇듯 성 중독으로 인한 사회적, 심리적 문제점들로 인한 피해가 심각해짐에 따라 성 중독에 관한 관심이 높아지고 있다(Carnes, 2001; Kafka, 2010).

하지만 이러한 성 중독의 심각성에도 불구하고 성 중독에 관한 정보나 연구는 여전히 부족한 실정이며, 실증적이고 객관적인 증거가 부족한 탓에 정신장애로써 진단 내려야 하는가에 관한 논란이 일고 있다. 또한, 정신장애로써의 진단여부 뿐 아니라, 질병분류학 쪽으로나 진단기준에 관한 합의점도 이루어지지 않고

있다. 왜냐하면 문제적 과잉 성행동은 강박적으로 성 행위를 반복한다는 점에서 강박장애로, 과도한 성 충동과 욕구를 제어하지 못하는 것과 관련해서는 충동 조절장애로, 또 성적 판타지에 대한 몰입과 금단현상 등으로 보면 중독 장애와 공통된 특성이 있기 때문이다(Bancroft & Vukadinovic, 2004).

이런 여러 논란이 있음에도 불구하고, 문제적 과잉 성행위자들이 높은 성욕구와 성 충동을 억제하는 능력에 결함이 있다는 점은 분명한 듯하다. Reid et al.(2010)은 자기보고식 설문지(Behavior Rating Inventory of Executive Function-Adult Version, BRIEF-A 와 Hypersexual Behavior Inventory, HBI)를 사용하여 문제적 과잉 성행위자들이 감정조절, 사고전환과 관련된 요인에서 정상대조군에 비해 유의한 저하가 있음을 발견하였다. 또한 최근에는 기능적 자기공명영상 장치를 이용하여 이러한 억제기능의 결함이 뇌의 기능적 손상과 관련이 있음을 밝혀졌다(Seok & Sohn, 2015; 2018). Seok & Sohn(2015)은 자기보고식 설문지(HBI, SAST)와 성 충동 유발 자극을 이용하여 문제적 과잉 성 행동자들이 정상대조군에 비해 더 빈번하게 그리고 더 강하게 성적 각성이 유발됨을 확인하였고, 기능적 자기 공명영상장치를 이용하여 충동 조절과 관련된 뇌 영역에 결함이 있음을 밝혔다. 또한, 이들은 Stroop 과제와 기능적 자기공명영상장치를 이용하여 문제적 과잉 성 행동자들의 실행 기능을 측정하

였다. 그 결과 문제적 과잉 성행위자가 정상대조군에 비해 인지 억제 처리 능력이 떨어지는 것으로 나타났다. 즉, 문제적 과잉 성 행동자들은 효율적으로 정보를 처리하지 못하였으며, 이러한 실행기능의 결함은 고차 인지 조절 능력과 주의전환과 관련된 영역의 기능적 저하와 관련이 있음이 밝혀졌다(Seok & Sohn, 2018). 이렇듯 몇몇 연구들이 문제적 과잉 성행위자들의 높은 성 충동과 조절 능력의 결함에 대한 실증적인 증거들을 제시하고 있다. 하지만 이 연구들은 모두 과제에 기반한 결과, 즉 특정 자극이 제시되었을 때나 혹은 과제를 수행하는 동안의 뇌의 기능적 손상을 보여주는 연구이다.

최근 외부 자극이나 특정 과제의 수행 없이 휴지기 상태에 있는 뇌 기능을 이해하려는 연구가 이루어지고 있다. 과제수행 동안 이루어지는 기능적 자기 공명영상 연구의 결과들은 특정과제에 관여하는 신경 실질(neural substrate)들을 규명하는데 효과적이지만, 휴지기 상태 시 기능적 자기 공명영상 연구들은 어떤 특징을 가진 집단과 그렇지 않은 집단 간에 기능적 연결성이 어떻게 달라지는지를 밝히는데 유용하다(Hampson et al., 2006).

인간의 뇌는 전체 체중의 2%에 지나지 않지만 전체 에너지의 20%를 소모한다고 알려져 있다(Shulman, 2004). 또한 뇌에서 사용되는 에너지 중 60-80%의 에너지가 휴지기에 사용되고 있다고 알려져 있으며, 인지 과정 중에 소모가 증가되는 대사량이 휴지기에 사용하는 에너지의 0.5%에서 1%미만임을 감안하여 보면 휴지기 상태의 뇌에 대한 이해가 중요하다고 할 수 있다(Raichle & Mintun, 2006).

휴지기 상태의 기능적 연결성은 다양한 뇌 영역에서 신경생리학적 지표로 측정되는 뇌 활동도의 시간적 연결성(temporal connectivity)을 의미하며, 휴지기 상태에 자발적으로 보이는 낮은 주파수(<0.1 Hz) 대역의 BOLD signal을 신경생리학적인 지표로 하여 각 뇌 영역 간의 시간적 연결성을 분석하게 된다. 이러한 저주파 BOLD signal은 뇌 내에서 본질적으로 발생하는 신경적 활동을 반영하는 것으로 알려지고 있으며, 뇌 신경 접합부 활성화도(synaptic activity)와 수상돌기 전위(dendritic potential)와 관련되어 있다고 보고되고 있다(Biswal et al., 1995). 최근의 연구에 따르면 휴지기

상태의 두뇌의 자발적 활동 패턴이 대뇌 포도당 대사량(glucose metabolism)과 밀접한 연관이 있으며(Aiello et al., 2015), 휴지기 상태 시 기능적 연결성을 보이는 회로가 과제 수행동안 나타나는 기능적 회로와 유사한 특성을 갖는 다는 것이 밝혀졌다(Cole et al., 2014). 즉, 만일 과제 수행동안 뇌의 기능적 활동에 손상이 있다면, 이는 자극이 제시되지 않았을 때 즉 휴지기 상태의 뇌에서도 기능적 이상이 나타날 수 있음을 시사한다. 이렇듯 뇌의 휴지기 상태의 이해가 중요함에도 불구하고 아직까지 문제적 과잉 성행위자의 휴지기 상태에서의 기능적 결함에 대해 보고된 연구는 거의 없다.

따라서 본 연구에서는 자기 공명영상장치를 사용하여 문제적 과잉 성행위자의 휴지기 상태의 뇌의 기능적 연결성의 결함을 규명하고자 하였다. 즉, 자극 제시에 기반한 선행연구의 결과와 같이 문제적 과잉 성행위자가 휴지기 상태에서도 집행 통제 회로의 기능적 연결성에 결함을 보일 것인지를 규명하고자 하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1. 참가자

16명의 문제적 과잉 성행위자 집단(남성, 평균나이=22.20, 표준편차=3.07)과 19명의 정상집단(남성, 평균나이=22.47, 표준편차=2.53)이 fMRI 실험에 참여하였다. 온라인 게시판과 오프라인상의 상담소 및 모임을 통해 본인 스스로가 성 중독이라고 생각되는 사람을 모집하였다. 그 후, 2010년 Carnes에 의해 개발된 성중독 진단척도(Sexual Addiction Screening Test-R, SAST-R)와 과잉성행동 척도(Hypersexual Behavior Inventory, HBI), 성 행위와 관련된 특성(주당 성행위 빈도 수, 성 행위 파트너 수)을 바탕으로 1차 예비 집단을 선발하였다(Carnes, 2010; Reid et al., 2011).

SAST-R은 성적 중독 경향을 평가하기 위해 고안된 20개의 문항으로 구성되어 있으며 내적일치도는 .91이었다. SAST-R은 몰입, 통제력 상실, 정서적 변화, 관계성의 변화 등을 측정하며, 총 점수는 0점에서 20점 사이로, 절단점은 6점이다. HBI 척도는 성행위의 병리성(강박적 성행위, 성적 환상에 대한 몰입, 행동

적 특성 등)에 대한 자기 보고형 척도로 총 19문항으로 구성되어 있다. 총점 95점 중에 53점 이상은 성행위로 인해 일상생활에 심각한 문제를 일으키는 문제적 과잉 성행동자로 분류되며, 이 척도의 내적일치도는 .96이었다. 1차 예비 집단의 피험자 중 문제적 과잉 성행동과 관련된 증상이외에 다른 정신 병리적 증상(우울, 불안, 약물 사용 장애 등)을 보이지 않고, 현재 복용하는 약물이 없으며, 자기공명영상 장치를 촬영할 수 있는 사람들을 최종 실험 집단으로 선별하였다.

본 실험에 참여한 최종 문제적 과잉 성행동자 집단의 SAST 평균점수는 12.94(표준편차=3.92), HBI 척도의 평균점수는 62.75(표준편차=9.20)이었고, 정상대조군의 SAST 평균점수는 0.58(표준편차=0.69), HBI 척도의 평균점수는 23.95(표준편차=5.48)로 나타났다(Table 1). 본 연구는 충남대학교의 생명윤리위원회에 승인(201309-SB-003-01)을 받았으며, 모든 참가자는 휴지기 상태의 기능적 자기공명영상 촬영에 대한 목적과 절차에 대해 충분한 설명을 들은 후 서면으로 동의하였다.

Table 1. Demographic characteristics of the PHB group and healthy controls

	Control group	Problematic hypersexual behavior group
Age	26.30(3.82)	26.49(2.94)
SAST	0.58(0.69)	12.94(3.92)
HBI	23.95(5.48)	62.75(9.20)
Number of sexual partners	1.68(0.95)	17.63(16.20)
Frequency of sexual intercourse per week	2.42(1.58)	4.88(1.54)
Frequency of masturbation per week	1.52(1.07)	4.69(1.40)

Mean(standard deviation) are presented.

## 2.2. 영상 획득 방법

fMRI 실험은 한국기초과학지원연구원에 있는 MRI scanner (3.0 T Philips MR scanner)를 사용하였다. fMRI 자료는 T2\*-weighted gradient echo-planar imaging (EPI) sequence를 사용하였다. Parameter 조건은 TR/TE 2000/28ms, Flip Angle 80°, FOV (field of view) 24cm×24cm, Matrix Size 64×64, Slice thickness 5mm

without gap, 35 slices였다. 검사는 dummy 포함하여 8분 52초 동안 진행되었고, 영상은 dummy를 6초를 제외하고 263 volumes를 얻었다. 휴지기 상태의 뇌를 촬영하기 위하여 피험자에게는 뇌 영상 검사를 하는 동안 편안히 눈을 감은 상태에서 별다른 생각을 하지 않으며, 수면을 취하거나 졸지 않도록 지시하였다.

## 2.3. 뇌 영상 분석 방법

fMRI 자료는 SPM12 (<http://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm/software/spm12>)와 CONN (<http://www.nitrc.org/projects/conn>)을 이용하여 분석하였다. 3-D rigid body registration을 이용하여 피험자의 머리 움직임을 보정한 후, 머리 보정 과정에서 발생하는 축(x, y, z축)의 translation과 rotation의 정도를 구하였다. 영상획득 시 발생하는 slice간의 시간차를 slice timing과정을 수행하여 보정한 후, 각 개인의 뇌 형태적 차이를 교정하기 위하여 SPM에서 제공된 template image (Montreal Neurologic Institute: MNI)를 이용하여 표준화된 뇌 공간으로 위치 정규화(Normalization)하여 각 피험자의 기능적 자기 공명영상을 표준화된 좌표계로 정합하였다. 이후 8mm (FWHM)의 Isotropic Gaussian Kernel을 사용하여 공간적 편평화하여 최종 영상을 얻었다. 또한 기능적 영상을 공간적으로 표준화 시킨 후, 시간적 표준화(temporal normalization)를 시행하여, 모든 피험자의 같은 위치의 voxel 대 voxel의 대응 일치도(voxel by voxel correspondence)를 보장하였다.

SPM12를 이용하여 fMRI 영상의 전처리 과정(pre-processing)이 끝난 후, 휴지기 자기공명영상의 연결성(connectivity) 분석을 위한 전처리 과정을 수행하였다. Band-pass filtering 기법을 통하여 신경세포의 활동 신호와 관련된 특정 주파수 영역의 신호를 추출하였다 (0.01Hz<f<0.08Hz). 또한 신경세포의 활동 신호와 관계없는 noise를 제거하기 위하여 residual signal을 계산하였다. 뇌 전체 영역, 백질, 뇌 척수액, 6개의 머리 움직임 보정 파라미터를 nuisance covariates로 사용하여 회귀분석(regression analysis)을 통해 residual signal 제거하였다.

집행 통제 회로의 기능적 연결성 저하를 규명하기 위하여, Cole & Schneider(2007)에 의해 발견된 좌측

집행 통제 회로(Left executive control network, LECN)와 우측 집행 통제회로(Right executive control network, RECN)에 해당하는 뇌 부위를 관심 영역(Region of interest, ROI)으로 정의하였다(http://findlab.stanford.edu/functional\_ROIs.html; Shirer et al., 2012) (Fig. 1).

LECN의 뇌 영역으로는 좌측 배외측 전전두 피질(Dorsolateral prefrontal cortex, DLPFC), 좌측 상/중전두회(Superior/middle frontal gyrus, MFG), 좌측 두정회/각회(superior parietal gyrus/angular gyrus, PAR), 좌측 중/하 측두회(inferior/middle temporal gyri, TL), 우측 상/하반월소엽(crus I/crus II/Lobule, CE), 좌측 시상(Thalamus, TH) 등이 포함되었다. RECN의 뇌 영역으로는 우측 배외측 전전두 피질, 우측 상/중전두회, 우측 두정회/각회, 우측 내측 상전두회(medial superior frontal gyrus, SFG), 좌측 상/하반월소엽 및 우측 미상핵(Caudate, CU)이 포함되었다.

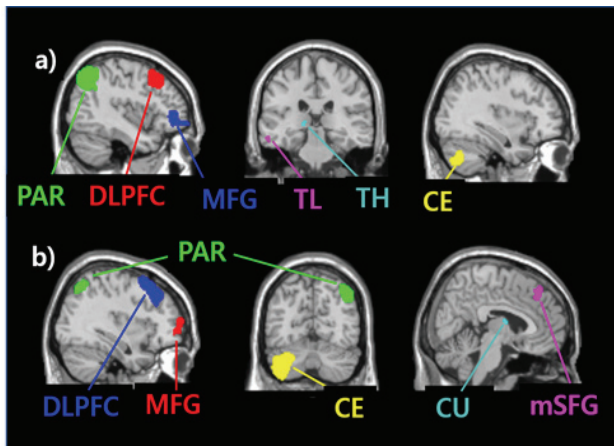


Fig. 1. Executive control networks. a) Regions of interest of right executive control network. b) Regions of interest of left executive control network. abbreviations: CE, crus I/crus II/Lobule VI; CU, right caudate; DLPFC, dorsolateral prefrontal cortex; L, Left; MFG, middle/superior frontal gyrus; mSFG, medial superior frontal gyrus; PAR, superior parietal gyrus/angular gyrus; R, Right; TH, thalamus; TL, inferior/middle temporal gyri.

관심 영역으로 지정된 뇌 영역의 모든 voxel에서 신호를 추출하고, 그 신호의 평균값을 대표신호로 하여 각 관심 뇌 영역의 상관을 피어슨 상관계수(Pearson's correlation coefficient)를 통해 계산하고, 그 상관계수 값을 뇌에 영상화 하여 관심 뇌 영역의 기능적 뇌 연결성 지도를 계산하였다. 그룹 내의 통계분석을 위하

여, 각 피험자의 기능적 뇌 연결성 지도를 one sample t-test로 분석하였다. 분석한 통계적 지도에 대한 다중 비교(multiple comparison) 분석에는 False Discovery Rate 방법을 이용하였고,  $p < .05$  수준에서 통계적인 지도를 만들었다. 두 집단 간의 차이를 분석하기 위하여 순열검정(permutation test)을 실시하였고, 두 집단 간 통계적인 차이 유무를  $p < .05$  유의 수준에서 검증하였다. 피어슨 상관계수를 이용하여 관심 뇌 영역의 Fisher's Z값의 평균값과 과잉 성행동의 중증도(HBI 점수)간의 상관관계를 확인하였다.

### 3. 연구결과

#### 3.1. 집단 내 휴지기 상태의 연결성

정상대조군은 휴지기 상태 시 우측 집행통제 회로 중 배외측 전전두 피질 - 상/중전두회, 배외측 전전두 피질 - 두정회/각회, 배외측 전전두 피질 - 내측 상전두회, 상/중전두회 - 두정회/각회, 상/중전두회 - 내측 상전두회의 기능적 연결성에서 정적 상관을 보였으며, 좌측 집행 통제 회로 중 배외측 전전두 피질 - 두정회/각회, 상/중전두회 - 두정회/각회, 두정회/각회 - 상/하반월소엽에서 정적 상관을 보였다( $p < .05$ , FDR)(Table 2).

문제적 과잉 성행동군은 휴지기 상태 시 우측 집행 통제 회로 중 배외측 전전두 피질 - 두정회/각회의 기능적 연결성에서 정적 상관을 보였으며, 좌측 집행 통제 회로 중 배외측 전전두 피질 - 두정회/각회에서 정적 상관을 보였다( $p < .05$ , FDR)(Table 2). 문제적 과잉 성행동군은 정상군에 비해 휴지기 상태 시 집행통제 회로내 유의한 기능적 연결성이 적은 것으로 나타났다.

#### 3.2. 집단 간 휴지기 상태의 연결성 차이

두 집단 간 기능적 연결성의 차이를 알아보기 위하여, two sample t test를 실시한 결과, 문제적 과잉 성행동군은 정상대조군에 비해 상/중전두회를 포함한 회로의 기능적 연결성이 저하된 것으로 나타났다( $p < .001$ , uncorrected). 즉 정상 성인 집단은 문제적 과잉 성행동군에 비해 우측 상/중전두회 - 우측 미상핵,

좌측 상/중전두회 - 좌측 두정회/각회의 기능적 연결성이 유의하게 증가하였다(Table 3, Fig. 2). 문제적 과

잉 성행동군이 정상대조군에 비해 집행통제 회로내의 기능적 연결성이 증가한 영역은 발견되지 않았다.

Table 2. Correlation coefficient between two regions of executive control circuit in each group a) Correlation coefficient between two regions of right executive control circuit, b) Correlation coefficient between two regions of left executive control circuit.

RECN	R. DLPFC		R. MFG		R. PAR		R. mSFG		L. CE		R. CU	
	PHB	HC	PHB	HC	PHB	HC	PHB	HC	PHB	HC	PHB	HC
R. DLPFC	N.A.											
R. MFG	.49	.69**	N.A.									
R. PAR	.81**	.81**	.50	.62*	N.A.							
R. mSFG	.51	.58*	.46	.58*	.58*	.44	N.A.					
L. CE	.52	.54*	.14	.20	.42	.40	.18	.37	N.A.			
R. CU	.21	.17	.28	.49	.18	.12	.26	.23	.13	.25	N.A.	
LECN	L. DLPFC		L. MFG		L. PAR		L. TL		R. CE		L. TH	
	PHB	HC	PHB	HC	PHB	HC	PHB	HC	PHB	HC	PHB	HC
L. DLPFC	N.A.											
L. MFG	.41	.49	N.A.									
L. PAR	.81**	.73**	.44	.66*	N.A.							
L. TL	.26	.26	.21	.29	.38	.49	N.A.					
R. CE	.49	.51	.37	.44	.52	.55*	.10	.22	N.A.			
L. TH	-.00	-.01	-.04	-.04	.03	-.00	.02	-.03	-.08	-.06	N.A.	

Standardized coefficients are presented. \* $p < .05$ , \*\* $p < .01$ .

Abbreviation: CE, crus I/crus II/Lobule VI; CU, right caudate; DLPFC, dorsolateral prefrontal cortex; HC, healthy controls; L, Left; MFG, middle/superior frontal gyrus; mSFG, medial superior frontal gyrus; PAR, superior parietal gyrus/angular gyrus; PHB, problematic hypersexual behavior group; R, Right; TH, thalamus; TL, inferior/middle temporal gyri.

Table 3. Group differences of functional connectivity in executive control network

Functional Connectivity	Beta		t value	p-value
	PHB	HC		
R. MFG - R. CU	.28	.48	-2.17	.04
L. MFG - L. PAR	.44	.66	-2.42	.02

Abbreviations: CU, caudate; L, Left; MFG, middle/superior frontal gyrus; PAR, superior parietal gyrus/angular gyrus; R, Right.

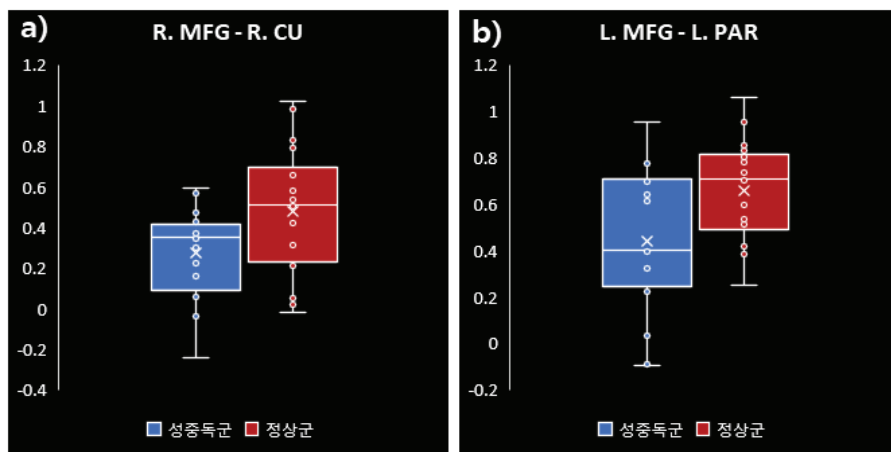


Fig. 2. The relationship between two regions of interest among executive control network in each group. a) The average coefficient of connectivity between the right middle/superior frontal gyrus and the right caudate. b) The average coefficient of connectivity between the left middle/superior frontal gyrus and the left superior parietal gyrus/angular gyrus.

### 3.2. 과잉 성행동 지수와 관심 뇌 영역의 기능적 연결성 사이의 관련성

각 집단 별 과잉 성행동 지수와 집행통제 회로내 관심 뇌영역의 기능적 연결성 사이의 강도간 상관관계를 관찰하였을 때, 문제적 과잉 성행동군에서 과잉 성행동 지수가 증가 할수록 우측 상/중전두회 - 우측 미상핵( $r=-0.55$ ), 좌측 상/중전두회 - 좌측 두정회/각회( $r=-0.60$ )의 기능적 연결성이 유의하게 저하 되는 것으로 나타났다( $p<.05$ , FDR)(Fig. 3). 정상대조군에서는 과잉 성행동 지수와 우측 상/중전두회 - 우측 미상핵( $r=-0.07$ ), 좌측 상/중전두회 - 좌측 두정회/각회( $r=-0.12$ )의 기능적 연결성간에 유의한 상관성이 나타나지 않았다( $p<.05$ , FDR)(Fig. 3).

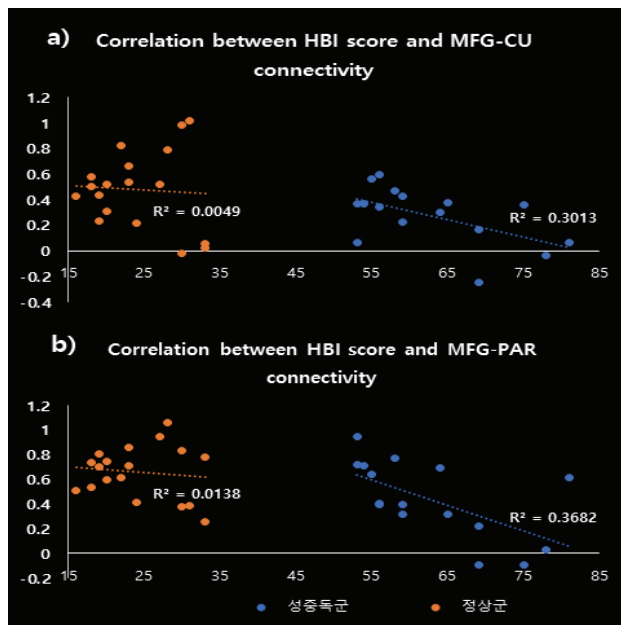


Fig. 3. The relationship between functional connectivity measures and HBI score in each group. a) Correlation between HBI score and R. MFG - R. CU connectivity b) Correlation between HBI score and L. MFG - L. PAR connectivity.

Abbreviations: CU, caudate; HBI, Hypersxual Behavior Inventory; L, Left; MFG, middle/superior frontal gyrus; PAR, superior parietal gyrus/angular gyrus; R, Right.

## 4. 논의

본 연구에서는 억제기능 관련 집행 통제 회로를 중심으로 문제적 과잉 성 행동군이 정상대조군과 다른 기능적 연결성을 보이는 가를 살펴보고자 하였다. 그

결과, 문제적 과잉 성 행동군에서 우측 상/중 전두회와 우측 미상핵 그리고 좌측 상/중 전두회와 좌측 두정영역 사이의 기능적 연결성 감소가 발견되었다. 또한 이 영역들의 기능적 연결성 감소는 문제적 과잉 성행동의 중증도와도 관련이 있음이 밝혀졌다.

집행 통제 회로의 뇌 영역 간에 기능적 연결성 감소는 물질중독과 같은 병리적 문제를 가진 집단에서 흔히 발견되는 현상이다(Krmpotich et al., 2013; Weiland et al., 2014; Weiland et al., 2015). 즉, 알코올 사용 장애자를 대상으로 한 연구에서, 집행 통제 회로의 기능적 연결성의 매개 효과는 만성적인 음주와 알코올에 기인한 행동간의 관계에서 유의하게 나타났다(Weiland et al., 2014). 집행 통제 회로의 기능적 연결성 감소는 담배 사용 장애군에서도 나타났다(Weiland et al., 2015). 특히 흡연 기간이 길수록 집행통제회로의 연결성이 저하되어 있음이 밝혀져, 연구자들은 만성적인 담배 사용이 흡연자들이 담배를 끊는데 어려움을 겪을 수 있다고 제안하였다.

이러한 물질중독 이외에 행위 중독자에서도 집행 통제 회로의 저하가 발견되었다(Dong et al., 2015). Dong et al.(2015)은 인터넷 게임장애군이 정상군에 비해 휴지기 상태 시 집행 통제 회로에 기능적 저하가 나타났음을 보고하였으며, 이러한 집행 통제 회로내 기능적 연결성의 저하가 스트룹 과제의 저조한 수행과 관련이 있음을 밝혔다. 또한 이 연구자들은 휴지기 상태의 집행 통제회로내 기능적 연결성이 과제 수행시의 실행 기능에 영향을 미칠 수 있으며, 또한 중독 장애의 회복탄력성과 관련이 있다고 제안하였다. 본 연구에서도 문제적 과잉 성행동군이 정상군에 비해 집행 통제 회로내 영역간 유의한 기능적 연결성의 수가 적은 것으로 나타나, 전반적으로 집행통제회로내 기능적 연결성의 저하되어 있음이 밝혀졌다.

특히 이러한 기능적 연결성의 저하는 상/중전두회를 중심으로 발견되었다. 문제적 과잉행동군은 정상대조군에 비해 휴지기 상태 시 상/중전두회와 관련된 모든 기능적 연결성이 저하된 것으로 나타났다. 이는 집행 통제 회로의 뇌 영역들로부터 정보를 받아 처리하는 상/중전두회의 기능이 손상되었음을 의미하는 결과이다. 이 부위는 브로드만 영역 10번에 해당하는 영역으로 전전두엽의 앞부분에 해당한다(Knowlton et al., 2012). Koechlin & Hyafil(2007)은 이 영역이 인지적 분기망

(cognitive branching)의 핵심 중추라고 제안하였다. 인지적 분기망은 진행 중인 작업이 완료된 후속 인출과 집행을 위해 이전의 실행된 작업을 대기 상태로 유지시키는 것을 가능하게 한다. 우리의 행동과 정신활동은 복잡하며, 여러 과제의 수행이 동시에 이루어져야 할 때도 있다. 연구자들은 이렇게 스케줄 관리가 필요할 때, 전측 전전두엽이 영역-일반적 기능(domain-general function)을 담당한다고 제안하였다. 즉, Baddeley(1999)의 작업 기억 모형에서 설명하는 중앙관리자와 역할 면에서 유사한 특징을 보인다고 설명하였다.

본 연구에서 전측 전전두엽과의 기능적 연결성이 저하된 영역으로 미상핵이 나타났다. 미상핵은 선조체의 주요 하위 영역이며, 쾌락과 동기 부여와 관련되어 보상기반 행동학습에 중요한 역할을 한다. 특히 이 부위는 중독 행동을 유지시키는 것과 관련이 깊다고 알려져 있다 (Vanderschuren & Everitt, 2005; Ma et al., 2012). 뇌 영상 기법을 사용한 행위 중독 연구들은 일관되게 미상핵의 기능적, 구조적 결함을 보고하였다. 즉, 정상대조군에 비해 자극 제시 동안 미상핵의 활성화 저하가 나타났고, 기능적 연결성이 저하되어 있으며, 부피소가 감소되어 있음이 밝혀졌다(Jacobsen et al., 2001; Lin et al., 2012; Hong et al., 2013; Seok et al., 2015). 최근에는 포르노와 같은 성적 자극 영상을 반복적으로 시청하였을 때, 보상 체계에 대한 강렬한 자극의 결과로 인해 미상핵을 포함한 선조체의 기능적, 구조적 변화가 나타날 수 있음이 보고되었다(Kühn & Gallinat, 2014). 따라서 본 연구에서 나타난 전측 전전두엽과 미상핵의 기능적 연결성 저하는 문제적 과잉 행동군의 성 행위에 대한 과도한 기대감이나 성 충동을 제어하지 못하는 요인이 될 수 있음을 시사한다.

또한 본 연구에서 전측전전두엽과 두정회/각회 부분의 기능적 연결성 저하가 나타났다. 두정회/각회는 두정엽의 일부 영역으로 작업기억이 활성화되는 동안 입력된 정보를 재배열하거나 조직화하는 것과 관련이 되어있다고 알려져 있다. 선행연구들은 두정엽 중에서도 좌측 두정엽이 각기 다른 감각 입력 기관들에게서 받아들여진 정보를 통합하고, 처리하는 역할을 담당한다고 하였다(Simon et al., 2001; Cavanna & Trimble, 2006). 즉 수많은 정보 중 몇몇 정보에만 주의를 유지시키거나 기 정보에서 새로운 정보로 주의를 전환시

킴으로써 작업기억을 관장한다. 뇌 영상에 근거한 선행연구에 따르면 중독자들에게서 주의전환에 결함이 있음이 나타났으며, 이러한 주의전환의 결함이 두정엽의 활성화 패턴의 변화와 관련이 있다고 제안하였다(Courtney et al., 2014; Dong et al., 2014). 선행연구의 결과를 바탕으로 볼 때, 문제적 과잉 행동군의 성 충동을 제어하지 못하는 요인으로써 두정엽과 전측전전두엽의 기능적 연결성 저하와 관련한 작업 기억 능력의 결함이 될 수 있음을 시사한다.

전체적으로 자극 기반 관련 선행연구와 휴지기 상태를 이용한 본 연구 결과를 종합해보면, 문제적 과잉 행동자는 자극의 유무와 상관없이 집행 통제 회로의 기능적 활동 및 기능성 연결성에 결함을 보였고, 또한 과도한 성적 각성이나 높은 성충동이 집행 통제 회로 내 전측 전전두엽의 기능적 결함과 관련이 있음을 시사한다.

본 연구의 문제점은 다음과 같다. 첫째로, 연구 참여자수가 적고, 실험이 남성 그리고 자발적 참여자에게만 국한되어 이루어졌다는 점이다. 선행연구에 따르면 약 2-6%가 문제적 과잉 성 행동자들과 예상하였으며, 성비가 유사할 것이라고 제안했다(Coleman, 1992; Black, 2000; Seegers, 2003; Kim & Kwak, 2011). 그러나 문제적 과잉 성행동자들은 우리 사회의 전통적 가치관과 맞물려 성행동과 관련된 문제점을 쉽게 노출하기 어려워하였다. 이러한 이유로 다수의 실험 참여자들을 모집하는데 어려움이 있었다. 둘째로, 참가자들이 정확히 문제적 과잉 성행동이 발생한 시점을 알지 못하였다는 점이다. 이에 따라 문제적 과잉 성행동의 기간에 따른 상/중전두회의 기능적 연결성의 손상 정도의 관련성을 보지 못하여, 문제적 과잉 성행동의 기간에 따른 대뇌 기능의 손상 정도를 예측할 수 없다는 점이다. 이에 따라 본 연구 결과의 해석에 주의가 필요하다.

이러한 제한점에도 불구하고 현재까지 국내외적으로 문제적 과잉 성행동군과 관련된 뇌 기능 연구가 거의 없는 실정에서 문제적 과잉 성행동군에 관한 연구는 문제적 과잉 성행동 병리학적으로 진단 내릴 중요한 자료가 될 것이다. 본 연구를 통해 규명한 문제적 과잉 성행동군에서의 집행 통제 회로 이상에 대한 결과는 향후 임상적 증상을 기반으로 분류되어 있는 정신장애의 진단분류에 객관적인 지표로서 활용될 수 있을 것으로 기대된다.



## REFERENCES

- Aiello, M., Salvatore, E., Cachia, A., Pappatà, S., Cavaliere, C., Prinster, A., Nicolai, E., Salvatore, M., Baron, J. C., & Quarantelli, M. (2015). Relationship between simultaneously acquired resting-state regional cerebral glucose metabolism and functional MRI: a PET/MR hybrid scanner study. *Neuroimage*, *113*, 111-121.
- Baddeley, A. D., & Logie, R. H. (1999). Working memory: The multiple-component model. In A. Miyake & P. Shah (Eds.), *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control*, New York: Cambridge University Press.
- Bancroft, J., & Vukadinovic Z. (2004). Sexual addiction, sexual compulsivity, sexual impulsivity, or what? Toward a theoretical model. *Journal of Sex Researches*, *41*, 225-34.
- Biswal, B., Yetkin, F. Z., Haughton, V. M., & Hyde, J. S. (1995). Functional connectivity in the motor cortex of resting human brain using echo-planar MRI. *Magnetic Resonance in Medicine*, *34*(4), 537-541.
- Black, D. W. (2000). The epidemiology and phenomenology of compulsive sexual behavior. *CNS Spectrums*, *5*(1), 26-35.
- Carnes, P. (2001). *Out of the shadows: Understanding sexual addiction*, Center City, MN: Hazelden Publishing.
- Carnes, P., Green, B., & Carnes, S. (2010). The same yet different: Refocusing the Sexual Addiction Screening Test (SAST) to reflect orientation and gender. *Sexual Addiction & Compulsivity*, *17*(1), 7-30.
- Cavanna, A. E., & Trimble, M. R. (2006). The precuneus: a review of its functional anatomy and behavioural correlates. *Brain*, *129*(3), 564-583.
- Cole, M. W., & Schneider, W. (2007). The cognitive control network: Integrated cortical regions with dissociable functions. *Neuroimage*, *37*(1), 343-360.
- Cole, M. W., Bassett, D. S., Power, J. D., Braver, T. S., & Petersen, S. E. (2014). Intrinsic and task-evoked network architectures of the human brain. *Neuron*, *83*(1), 238-251.
- Coleman, E. (1992). Is your patient suffering from compulsive sexual behavior?. *Psychiatric Annals*, *22*(6), 320-325.
- Courtney, K. E., Ghahremani, D. G., London, E. D., & Ray, L. A. (2014). The association between cue-reactivity in the precuneus and level of dependence on nicotine and alcohol. *Drug and Alcohol Dependence*, *141*, 21-26.
- Dong, G., Lin, X., Zhou, H., & Lu, Q. (2014). Cognitive flexibility in internet addicts: fMRI evidence from difficult-to-easy and easy-to-difficult switching situations. *Addictive Behaviors*, *39*(3), 677-683.
- Dong, G., Lin, X., & Potenza, M. N. (2015). Decreased functional connectivity in an executive control network is related to impaired executive function in Internet gaming disorder. *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*, *57*, 76-85.
- Fong, T. W. (2006). Understanding and managing compulsive sexual behaviors. *Psychiatry (Edgmont)*, *3*(11), 51.
- Hampson, M., Driesen, N. R., Skudlarski, P., Gore, J. C., & Constable, R. T. (2006). Brain connectivity related to working memory performance. *Journal of Neuroscience*, *26*(51), 13338-13343.
- Hong, S. B., Zalesky, A., Cocchi, L., Fornito, A., Choi, E. J., Kim, H. H., Suh, J.E., Kim, C.D., Kim, J.W., & Yi, S. H. (2013). Decreased functional brain connectivity in adolescents with internet addiction. *PLoS one*, *8*(2), e57831.
- Jacobsen, L. K., Giedd, J. N., Gottschalk, C., Kosten, T. R., & Krystal, J. H. (2001). Quantitative morphology of the caudate and putamen in patients with cocaine dependence. *American Journal of Psychiatry*, *158*(3), 486-489.
- Kafka, M. P. (2010). Hypersexual disorder: A proposed diagnosis for DSM-V. *Archives of Sexual Behavior*, *39*(2), 377-400.
- Knowlton, B. J., Morrison, R. G., Hummel, J. E., & Holyoak, K. J. (2012). A neurocomputational system for relational reasoning. *Trends in Cognitive Sciences*, *16*(7), 373-381.
- Kim, M., & Kwak, J. B. (2011). Youth cybersex addiction in the digital media era. *Soonchunhyang Journal of Humanities*, *29*, 283-326.
- Koechlin, E., & Hyafil, A. (2007). Anterior prefrontal function and the limits of human decision-making.

- Science*, 318(5850), 594-598.
- Koenigs, M., Barbey, A. K., Postle, B. R., & Grafman, J. (2009). Superior parietal cortex is critical for the manipulation of information in working memory. *Journal of Neuroscience*, 29(47), 14980-14986.
- Krmpotich, T. D., Tregellas, J. R., Thompson, L. L., Banich, M. T., Klenk, A. M., & Tanabe, J. L. (2013). Resting-state activity in the left executive control network is associated with behavioral approach and is increased in substance dependence. *Drug and Alcohol Dependence*, 129(1-2), 1-7.
- Kühn, S., & Gallinat, J. (2014). Brain structure and functional connectivity associated with pornography consumption: the brain on porn. *JAMA Psychiatry*, 71(7), 827-834.
- LAASER, M., & Earle, R. (2001). *The pornography trap*. Kansas City, MO: Beacon Hill.
- Lin, F., Zhou, Y., Du, Y., Qin, L., Zhao, Z., Xu, J., & Lei, H. (2012). Abnormal white matter integrity in adolescents with internet addiction disorder: a tract-based spatial statistics study. *PloS one*, 7(1), e30253.
- Ma, C., Ding, J., Li, J., Guo, W., Long, Z., Liu, F., Gao, Q., Zeng, L., Zhao, J., & Chen, H. (2012). Resting-state functional connectivity bias of middle temporal gyrus and caudate with altered gray matter volume in major depression. *PloS one*, 7(9), e45263.
- Raichle, M. E., & Mintun, M. A. (2006). Brain work and brain imaging. *Annual Review of Neuroscience*, 29, 449-476.
- Parsons, J. T., Grov, C., & Golub, S. A. (2012). Sexual compulsivity, co-occurring psychosocial health problems, and HIV risk among gay and bisexual men: further evidence of a syndemic. *American Journal of Public Health*, 102(1), 156-162.  
DOI: <https://doi.org/10.2105/AJPH.2011.300284>
- Reid, R. C., Karim, R., McCrory, E., & Carpenter, B. N. (2010). Self-reported differences on measures of executive function and hypersexual behavior in a patient and community sample of men. *International Journal of Neuroscience*, 120(2), 120-127.
- Schneider, J. P. (2000). Effects of cybersex addiction on the family: Results of a survey. *Sexual Addiction & Compulsivity: The Journal of Treatment and Prevention*, 7(1-2), 31-58.
- Seegers, J. A. (2003). The prevalence of sexual addiction symptoms on the college campus. *Sex Addict Compulsivity*, 10, 247-58.
- Seok, J. W., & Sohn, J. H. (2015). Neural substrates of sexual desire in individuals with problematic hypersexual behavior. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 9, 321.
- Seok, J. W., & Sohn, J. H. (2018). Gray matter deficits and altered resting-state connectivity in the superior temporal gyrus among individuals with problematic hypersexual behavior. *Brain Research*, 1684, 30-39.
- Shulman, R. G., Rothman, D. L., Behar, K. L., & Hyder, F. (2004). Energetic basis of brain activity: implications for neuroimaging. *Trends in Neurosciences*, 27(8), 489-495.
- Simon, O., Mangin, J. F., Cohen, L., Le Bihan, D., & Dehaene, S. (2002). Topographical layout of hand, eye, calculation, and language-related areas in the human parietal lobe. *Neuron*, 33(3), 475-487.
- Vanderschuren, L. J., & Everitt, B. J. (2005). Behavioral and neural mechanisms of compulsive drug seeking. *European Journal of Pharmacology*, 526(1-3), 77-88.
- Weiland, B. J., Sabbineni, A., Calhoun, V. D., Welsh, R. C., Bryan, A. D., Jung, R. E., Mayer, A. R., & Hutchison, K. E. (2014). Reduced left executive control network functional connectivity is associated with alcohol use disorders. *Alcoholism: Clinical and Experimental Research*, 38(9), 2445-2453.
- Weiland, B. J., Sabbineni, A., Calhoun, V. D., Welsh, R. C., & Hutchison, K. E. (2015). Reduced executive and default network functional connectivity in cigarette smokers. *Human Brain Mapping*, 36(3), 872-882.

원고접수: 2019.02.26

수정접수: 2019.03.05

게재확정: 2019.03.06