Title

Altered functional disconnectivity in Internet Addicts with resting-state functional magnetic resonance imaging

Subtitle

Altered functional disconnectivity in Internet Addicts

ABSTRACT

Objective: In this study, we used resting-state fMRI data to map differences in functional connectivity between a comprehensive set of 8 distinct cortical and subcortical brain regions in healthy controls and Internet addicts. We also investigated the relationship between resting state connectivity strength and the level of psychopathology (ex. score of internet addiction scale and score of Barratt impulsiveness scale).

Background: There is a lot of evidence of relationshop between Internet Addiction and impaired inhibitory control. Clinical evidence suggests that Internet addicts have a high level of impulsivity as measured by behavioral task of response inhibition and a self report questionnaire.

Method: 15 Internet addicts and 15 demographically similar non-addicts participated in the current rs fMRI experiment. For the connectivity analysis, regions of interests (ROIs) were defined based on previous studies of addictions. Functional connectivity assessment for each subject was obtained by correlating time-series across the ROIs, resulting in 8x8 matrixs for each subject. Within-group functional connectivity patterns were observed by entering the z maps of the ROIs of each subject into second-level one sample *t* test. Two sample *t* test was also performed to examine between group differences.

Results: Between group analysis revealed that the connectivity in between the orbito frontal cortex and inferior parietal cortex, between orbito frontal cortex and putamen, between the orbito frontal cortex and anterior cingulate cortex, between the insula and anterior cingulate cortex, and between amydgala and insula were significantly stronger in control group than in the Internet addicts, while the connectivity in between the orbito frontal cortex and insula showed stronger negative correlation in the Internet addicts relative to control group ($p < 0.001$, uncorrected). No significant relationship between functional connectivity strength and current degree of Internet addiction and degree of impulsitivy was seen.

Conclusion: This study found that Internet addicts had declined connectivity strength in the orbitofrontal cortex (OFC) and other regions (e.g., ACC, IPC, and insula) during resting-state. It may reflect deficits in the OFC function to process information from different area in the corticostriatal reward network.

Application: The results might help to develop theoretical modeling of Internet Addiction for Internet Addiction discrimination.

Keywords

Internet Addiction, Inhibitory control, Resting-state fMRI, Functional connectivity, Orbitofrontal cortex

1. Introduction

인터넷 중독이란 지나칠 정도로 인터넷을 사용하거나 몰두하고 인터넷 사용을 조절하거나 통제하지 못하여, 심리적, 사회적, 직무적으로 문제점이 발생하는 것을 의미한다(Young, 1998). 최근 들어, 인터넷과 스마트폰의 발전으로 인해 인터넷 중독자의 수가 전세계적으로 급격히 증가하고 있을 뿐 아니라 인터넷 사용으로 인한 사회적, 정서적, 심리적 문제점들로 인한 피해가 심각해 짐에 따라 인터넷 중독에 관한 관심이 높아지고 있다(Kim et al., 2010; Shaw and Black, 2008; Dong et al., 2011).

하지만 이러한 인터넷 중독의 심각성에도 불구하고 인터넷 중독에 관한 정보나 연구는 여전히 부족한 실정이며, 실증적인 증거가 부족한 탓에 정신장애로써 진단 내려야 하는가에 관한 논란이 일고 있다.

DSM-V(APA, 2013)에서 인터넷 중독을 인터넷 게임 사용 장애로써 명명하고 있지만, 여전히 질병 분류학 쪽으로나 진단 기준에 관한 합의점은 이루어지지 않고 있다. 왜냐하면 인터넷 중독은 충동 조절, 행위 중독, 강박장애와 공통된 특성을 지니고 있기 때문이다(Aboujaoude et al., 2006). 인터넷 중독을 행위 중독 혹은 충동조절 장애로 분류하는 것이 옳으냐에 관한 논란이 있음에도 불구하고, 인터넷 중독 장애가 높은 충동성과 억제 조절 능력의 결함과 관련이 있다는 점은 분명한 듯하다.

Cao et al.(2007)은 Go-No task과 자기 보고식 설문지 (BIS-2 scale)를 이용하여 인터넷 중독자들이 높은 충동성과 억제 조절 능력에 결함이 있음을 발견하였다. 또한 사건 관련 전위 (event-related potential, ERP)와 Go-No task를 이용하여 인터넷 중독자의 실행 기능을 측정한 연구에서도 인터넷 중독자가 통제집단에 비해 효율적으로 정보를 처리하지 못하였으며, 충동조절을 못하는 것으로 밝혀졌다(Dong et al., 2010). 또한 자기 공명 영상장치(functional magnetic resonance imaging, fMRI)와 color-word stroop 과제를 이용한 연구에서도 인터넷 중독자가 정상인에 비해 반응 억제 처리 능력이 떨어지는 것으로 나타났다(Dong et al., 2012). 이렇듯 몇몇 연구들이 인터넷 중독자들의 충동성과 반응 억제 결함에 대해 실증적이고 생리적인 증거를 보여주고 있다. 하지만 이들의 연구는 모두 과제에 기반한 결과, 즉 특정 자극이 제시되었을 때의 뇌의 기능적 손상을 보여주고 있는 연구이다. 만일 실제적으로 뇌의 기능적 활동에 손상이 있다면, 이는 자극이 제시 되지 않았을 때 즉 휴지기 상태의 뇌에서도 기능적 이상이 보고되어야 할 것이다.

최근 외부 자극이나 특정 과제의 수행 없이 휴지기 상태에 있는 뇌 기능을 이해하려는 연구가 이루어지고 있다. 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 and Mintun, 2006).

휴지기 상태의 기능적 연결성은 다양한 뇌 영역에서 신경생리학적 지표로 측정되는 뇌 활동도의 시간적 연결성(temporal connectivity)을 의미하며, fmri 에서는 휴지기 상태에 자발적으로 보이는 낮은 주파수(<0.1 Hz) 대역의 BOLD signal 을 신경생리학적인 지표로 하여 각 뇌 영역 간의 시간적 연결성을 분석하게 된다. 이러한

저주파 BOLD signal 은 뇌 내에서 본질적으로 발생하는 신경적 활동을 반영하는 것으로 알려지고 있으며, 뇌신경 접합부 활성도(synaptic activity)와 수상돌기 전위(dendritic potential)과 관련되어 있다고 보고되고 있다. 이렇듯 뇌의 휴지기 상태의 이해가 중요함에도 불구하고 아직까지 인터넷 중독자들의 휴지기 상태에서의 기능적 결함에 대해 보고된 연구는 거의 없다. 따라서 본 연구에서는 자기 공명영상장치를 사용하여 인터넷 중독자들의 휴지기 상태의 뇌의 기능적 연결성의 결함을 규명하고자 하였다. 즉, 자극 제시에 기반한 선행연구의 결과와 같은 인터넷 중독자들이 휴지기 상태에서도 뇌의 기능적 손상이 보일 것인지, 또 뇌의 기능적 결함을 보이는 영역이 통제 및 조절과 관련된 뇌 영역인지를 규명하고자 하였다.

2. Method

2.1 Participants

15명의 인터넷 중독 위험 집단 (남성, 평균나이= 22.20, 표준편차= 3.07)과 15명의 정상집단 대학교 학생들 (남성, 평균나이= 22.47, 표준편차= 2.53)이 fMRI 실험에 참여하였다. 온라인 게시판과 오프라인상의 pc방 및 학교 상담소의 게시판을 통해 본인 스스로가 인터넷 중독이라고 생각되는 사람을 모집하였다. 그 후, 임상심리 전문가와의 인터뷰를 통해 1차 선별을 하였다. 그리고 fMRI 실험에 참여할 최종 실험참여자를 표집하기 위해 1차 선별된 25명을 대상으로 한국어로 번역/수정된 Internet Addiction Scale (IAS) (Young, 1998; Kim, 2000)과 K 척도(한국형 인터넷 중독 자가 진단척도, Korea Agency for Digital Opportunity and Promotion, 2002). Lee et al.(2001)의 연구에서 한국형 IAS의 내적 일치도(Cronbach's α coefficient)는 0.9 였다. IAS는 인터넷 중독의 병리적인 사용(, 강박적 사용, 행동상의 문제, 정서적 변화, 인터넷 사용이 일상생활에 미치는 영향)에 대한 자기 보고형 척도로 총 20문항으로 되어있다. 각 문항은 5점 척도(1점: 전혀 그렇지 않다 ~ 5점: 매우 그렇다)로, 총점 70점 이상은 인터넷 사용이 생활에 심각한 문제를 일으키는 중증도 인터넷 중독군으로 분류되고, 40-69점은 경도 인터넷 중독군, 39점 이하는 정상적인 온라인 사용자로 분류된다. 본 연구에서 60점 이상인 사람을 인터넷 중독군(M= 70.80, SD= 10.31)로 분류하고, 39점 이하인 사람을 정상 성인집단(M= 28.60, SD= 7.35)으로 분류하였다(P< 0.001).

K 척도는 2000여명의 인터넷 사용자의 설문조사를 기반으로 개발된 표준화된 인터넷 중독 자가 진단 척도이다. K 척도는 20문항으로 구성되어 있으며, 네 개의 하위 척도-현실구분 장애, 인터넷에 대한 긍정적 기대, 내성과 금단, 인터넷에 대한 자기 인식-를 포함하고 있다. 각 질문은 1(전혀 아니다) – 4(매우 그렇다)에 까지 4점 척도로 이루어져 있으며, 54점 이상인 사람을 인터넷 중독군으로 분류하고 53점 이하를 일반 사용 집단으로 분류한다. 본 fMRI 실험에 참가한 최종 인터넷 중독군 집단의 IAS 평균점수는 70.80(표준편차=9.31), K 척도의 평균점수는 60.00(표준편차=4.47)이였고, 정상집단의 IAS 평균점수는 28.68(표준편차=7.35), K 척도의 평균점수는 32.60(표준편차=7.70)이였다($p < 0.001$). 모든 실험 참여자는 본 실험 내용을 숙지한 후 실험참가 동의서를 작성하였다. 인터넷 중독군이 정상집단에 비해 충동성이 높은지를 알아보기 위하여, Lee(2002) 에 의해 한국어로 번역/수정된 Barrett'의 충동성 척도-2판(BIS-II)을 사용하였다. Barrett'의 충동성 척도는 35문항으로 구성되어있으며, 예 혹은 아니오로 대답하게 되어있다. 점수 범위는 0에서 35점으로, 높은 점수일수록 충동성이 크다는 것을 의미한다. 이 척도의 내적 일치도는 0.85였다.

2.2 Functional MRI Image Acquisition

fMRI 실험은 카이스트에 있는 MRI scanner (ISOL Forte 3.0T)를 사용하였다. fMRI 자료는 T2*-weighted gradient echo-planar imaging(EPI) sequence를 사용하였다. Parameter 조건은 TR/TE 3000/40ms, Flip Angle 80°, FOV (field of view) 240m×24cm, Matrix Size 64×64 mm, Slice thickness 4mm without gap, 35 slices였다. 검사는 dummy 포함하여 369초 동안 진행되었고, 영상은 dummy를 9초를 제외하고 120 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 Analysis- Psychological data

집단 간 충동성 정도의 차이를 알아보기 위해 SPSS 18.0 (Statistical Package for the Social Science, release 15.0, SPSS, Inc.,Chicago IL)를 이용하여 독립집단 t-test를 실시하였다.

2.4 Analysis- Functional Connectivity of MRI data

대뇌 휴지기 상태의 기능적 연결성에 관한 분석의 순서도는 그림 1과 같다.

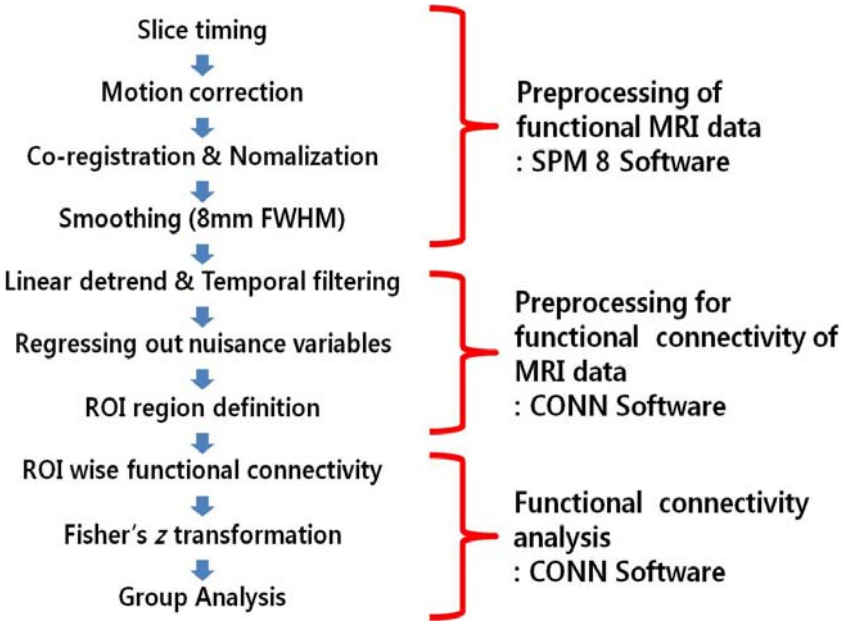

Figure 1. The flow chart of resting-state functional connectivity analysis

fMRI 자료는 SPM8 (http://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm/software/spm8)과 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 Isotrophic Gaussian Kernel을 사용하여 공간적 편평화하여 최종 영상을 얻었다. 또한 기능적 영상을 공간적으로 표준화 시킨 후, 시간적 표준화(temporal normalization)을 시행하여, 모든 피험자의 같은 위치의 복셀 대 복셀의 대응 일치도(voxel by voxel correspondence)를 보장하였다.

SPM8을 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)를 통해 residual signal 제거하였다.

선행 연구를 바탕으로 인터넷 중독자의 실행기능 에 관여하는 뇌 영역들 (Inferior parietal cortex (IPC), anterior cingulate gyrus, caudate nucleus, putamen, orbito frontal cortex (OFC), dorsolateral prefrontal cortex (DLPFC))을 ROIs로 지정하였다(그림 2)(Dong et al., 2012; Cabeza and Nyberg., 2000). WFU PickAtlas Tool 2.4를 이용하여 각 ROI의 mask image를 정의 내렸다. ROIs로 지정된 뇌 영역의 모든 voxel에서 신호를 추출하고, 그 신호의 평균값을 대표신호로 하여 각 ROIs의 상관을 피어슨 상관계수(pearson's correlation coefficient)를 통해 계산하고, 그 상관계수 값을 뇌에 영상화 하여 ROIs의 기능적 뇌 연결성 지도를 계산하였다. 그룹내의 통계분석을 위하여, 각 피험자의 기능적 뇌 연결성 지도를 one sample t-test로 분석하였고, 분석한 통계적 지도에 대한 다중 비교(multiple comparison) 분석에는 False Discovery Rate 방법을 이용하였고, $p<0.05$ 수준에서 통계적인 지도를 만들었다. 두 집단간의 차이를 분석하기 위하여 순열검정(permutation test)을 실시하였고, 두 집단간 통계적인 차이 유무를 $p<0.05$ 유의 수준에서 검증하였다. ROIs 영역의 Fisher's Z값의 평균값과 인터넷 중독의 심각성 및 충동성 점수간의 상관관계를 구하기 위해 pearson's correlation coefficient를 계산하였다.

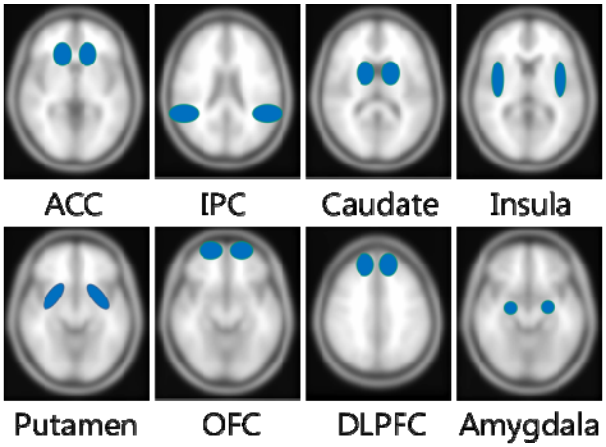

Figure 2. Selected ROIs for connectivity
(ACC, Anterior Cingulate Cortex; IPC, Inferior Parietal Cortex; OFC, Orbito Frontal Cortex; DLPFC, DorsoLateral PreFrontal Cortex)

3. Results

3.1 Result of Psychological data

인터넷 중독 집단(M = 18.27, SD= 5.29)이 정상 성인집단 (M = 7.87, SD = 5.35)에 비해 유의하게 충동성이 높은 것으로 나타났다(t28=-5.34, p < 0.001).

3.2 Within Group Analysis

정상 성인집단은 휴지기 상태에서 caudate nucleus - anterior cingulate cortex, putamen - insula, putamen - caudate nucleus, dorso lateral prefrontal cortex - inferior parietal cortex, dorso lateral prefrontal cortex - orbito frontal cotrex, amygdala – putamen 의 기능적 연결성에서 정적 상관을 보였으며, dorso lateral prefrontal cortex – insula 의 기능적 연결성에서 부적 상관이 나타났다(p < 0.05, FDR)(표 1).
인터넷 중독 집단은 caudate nucleus - anterior cingulate cortex, putamen - anterior cingulate cortex, putamen - insula, caudate nucleus - putamen, dorso lateral prefrontal cortex - inferior parietal cortex, dorso lateral prefrontal cortex - orbito frontal cotrex, amygdala – putamen의 영역간에 기능적 연결성에서 정적 상관을 보였으며, orbito frontal cortex - insula, dorso lateral prefrontal cortex - insula의 영역간에 기능적 연결성에서 부적 상관은 보였다(p < 0.05, FDR)(표 2). 정상 성인 집단과 달리 orbito frontal cortex - anterior cingulate cortex, orbito frontal cortex - inferior parietal cortex, orbito frontal cortex - putamen, amygdala - insula의 기능적 연결성이 유의하게 나타나지 않았다.

Table 1. Correlation coefficient between two ROIs in Healthy Controls (P<0.05, FDR)
(*p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001, Abbreviations: ACC, Anterior Cingulate Cortex; IPC, Inferior Parietal Cortex; OFC, Orbito Frontal Cortex; DLPFC, Dorso Lateral Prefrontal Cortex, Black: Significant functional connectivity in both groups Red: Significant functional connectivity in healthy controls only)

Control group	ACC	IPC	Insula	Cau-date	Puta-men	OFC	DLPFC	Amygdala
ACC			0.13**	0.17**	0.16**	0.21**		
IPC						0.16**	0.65**	
Insula					0.33**		-0.19**	0.22**
Cau-date					0.17**			
Puta-men						0.17**		0.34**
OFC							0.19**	
DLPFC								

Amyg-dala								

Table 2. Correlation coefficient between two ROIs in Sexual Addicts (P<0.05, FDR)
(*p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001, Abbreviations: ACC, Anterior Cingulate Cortex; IPC, Inferior Parietal Cortex; OFC, Orbito Frontal Cortex; DLPFC, Dorso Lateral Prefrontal Cortex, Black: Significant functional connectivity in both groups Red: Significant functional connectivity in sexual addicts only)

Control group	ACC	IPC	Insu-la	Cau-date	Puta-men	OFC	DLPFC	Amyg dala
ACC				0.17**	0.15**			
IPC							0.65**	
Insula					0.19**	-0.12**	-0.20**	
Cau-date					0.23**			
Puta-men								0.31**
OFC							0.12**	
DLPFC								
Amyg-dala								

3.3 Between Group Analysis

두 집단간 기능적 연결성의 차이를 알아보기 위하여, p < 0.001 (uncorrected)의 유의도로 two sample t test 를 실시한 결과, 인터넷 중독 집단은 정상 성인 집단에 비해 orbito frontal cortex 를 포함한 회로의 기능적 연결성이 저하된 것으로 나타났다. 즉 정상 성인 집단은 인터넷 중독 집단에 비해 orbito frontal cortex - putamen, orbito frontal cortex - anterior cingulate cortex 의 기능적 연결성이 유의하게 증가하였다(그림 3). 인터넷 중독 집단은 정상 성인 집단에 비해 orbito frontal cortex - insula 의 기능적 연결성이 저하된 것으로 나타났다(그림 4).

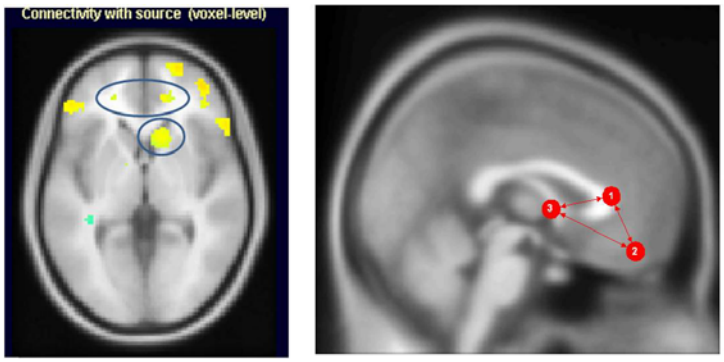

Figure 3. Group differences of resting state functional connectivity- Healthy controls > Internet addicts (1- Anterior cingulate cortex; 2- Orbitofrontal cortex; 3- Putamen, p<0.05 FDR correction).

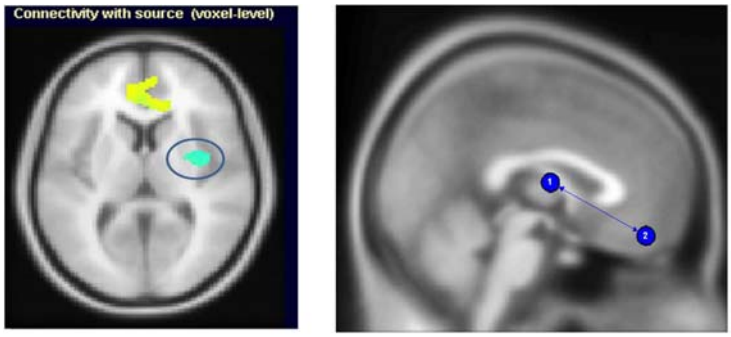

Figure 4. Group differences of resting state functional connectivity- Healthy controls < Internet addicts (1- Orbitofrontal cortex; 2- Putamen, p < 0.001 uncorrected).

3.4 Relationship between Resting State Connectivity Strength and Degree of Internet Addiction

인터넷 중독 증상의 점수와 기능적 연결성 강도의 상관관계를 관찰하였을 때, 인터넷 중독 증상 점수와 기능적 연결성 강도와 상관관계가 관찰된 영역은 없었다.

4. Conclusion

본 연구에서 인터넷 중독자들이 휴지기 상태에서 orbitofrontal cortex와 연결된 다른 영역에서의(예, ACC, IPC, insula) 연결성이 저하된 것을 발견했다. 이는 피질-선조 보상회로의 뇌 영역들로부터 정보를 받아 처리하는 orbito frontal cortex 기능이 손상되었음을 의미하는 결과이다. orbito frontal cortex는 vetromedial prefrontal cortex에 근접한 영역으로 prefrontal cortex의 일부이며, amygdala, dorsolateral prefrontal corte, anterior cingulate cortex를 포함한 영역들에서 대량의 투사를 받고, 받아들인 정보를 보내는 역할을 한다고 알려져 있다.

선행연구에 따르면 orbito frontal cortex는 부적절하고, 불필요하며 불쾌한 자극 정보나 행동과 관련된 신경활동(neural activity) 억제함으로써 정보처리 및 행동표출 시 실행제어(executive control)를 하는 역할을 한다고 하였다. 사회 및 정서처리와 관한 신경연구에 따르면 orbito frontal cortex의 억제 기능을 담당할 뿐 아니라,

오류예측 기능을 통해 보상 및 처벌과 관련된 학습 시 중요한 역할을 담당 하는 것으로 밝혀졌다.
Birbaumer et al.(2005)은 사이코패스들이 정상인에 비해 orbito frontal cortex의 활성화(activation)가 저하되었음을 발견하였고, 변연계-전전두 회로의 감소된 활성화 패턴을 보임을 입증하였다.
또한 주의력 결핍장애(Attention Deficit Hyperactivity Disorder) 환자를 대상으로 한 연구에서도 주의력 결핍장애 환자의 통기, 보상, 충동성을 통제하는데 어려움을 겪는 것이 orbito frontal cortex를 포함한 대뇌 보상 회로에 기능적 손상과 관련이 있음을 밝혔다(Fox et al., 2009).
Volkow(2001)는 중독과 orbito frontal cortex의 해부학적, 기능적 병리와 관련이 있다고 하였으며, 약물 중독자들의 행동 문제(통제력 상실, 갈망, 높은 충동성, 몰입)등이 striato-thalamo-orbito frontal circuit의 손상과 관련이 있다고 하였다. 인터넷 중독과 유사한 행위 중독으로 알려진 병적 도박 환자들은 orbito frontal cortex와 ventromedial prefrontal cortex에 신경학적 손상이 있으며 이로 인해 실행기능에 결함이 있다고 보고되고 있다(Cavedini et al., 2002). 병적 도박자의 행동을 보면 통상적인 임상심리척도나 지적 능력에서는 별다른 문제를 보이지 않지만, 의사결정시 결과가 장기적 안목에서 보면 부정적이라는 것을 충분히 인지하고 있으면서도 단기적으로 지금 바로 얻을 수 있는 즉각적인 만족을 추구하는 특징을 보인다. 이러한 의사결정의 문제와 충동적인 특징은 병적 도박 뿐 아니라 또다른 행위 중독인 인터넷 중독군에서도 나타나는 특성이다(Ko et al., 2010). 즉, orbito frontal cortex의 비정상적인 활성화 패턴이 충동적이고 무책임한 행동에 대한 기본 신경학적 원인과 관련이 있다고 유추할 수 있다.
본 연구 결과에서도 인터넷 중독군이 정상군에 비해 의사결정 및 충동 통제를 담당하는 부분인 orbito frontal cortex와 관련된 functional connectivity가 저하된 것으로 나타났으며, 인터넷 중독군 집단이 정상군 집단에 비해 충동성이 유의하게 높은 것으로 나타났다.
자극 제시를 통한 선행연구와 휴지기 상태를 이용한 본 연구 결과를 종합해보면, 인터넷 중독자는 자극의 유무와 상관없이 orbito frontal cortex의 기능적 활동 및 기능성 연결성에 결함을 보였고, 또한 다른 중독군과 마찬가지로 인터넷 중독자의 문제 행동(인터넷 사용에 관한 몰입, 갈망, 높은 충동성 등)이 이러한 orbito frontal cortex의 기능적 결함과 관련이 있음을 시사한다.
본 연구의 문제점은 다음과 같다. 참가자들이 정확히 인터넷 중독이 발병한 시기를 알지 못하여, 인터넷 중독의 유병기간에 따른 orbito frontal cortex의 손상 정도의 상관을 보지 못하여 인터넷 중독의 심각성에 따른 대뇌 기능의 손상 정도를 예측할 수 없다는 점이다. 또한 인터넷 사용에 가장 쉽게 노출되어 있는 연령대가 청소년기라는 점에서, 또 전두엽이 가장 발달하는 시기라는 점에서 청소년을 대상으로 한 추후 연구가 필요할 것으로 보인다.
이러한 제한점에도 불구하고 현재까지 국내외적으로 인터넷 중독자들과 관련된 뇌 기능 연구가 거의 없는 실정에서 인터넷 중독군에 관한 연구는 인터넷 중독을 병리학적으로 진단 내릴 중요한 자료가 될 것이다. 또한 본 연구를 통해 규명한 인터넷 중독증에서의 전두-피질 하 회로 이상에 대한 결과는 향후 임상적 증상을 기반으로 분류되어있는 중독장애의 진단분류에 객관적인 지표로서 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

Acknowledgements

This work was funded by grants from Korean Federation of Science and Technology Societies (No. NRF-2006-2005087).

References

Association, A.P., DSM 5 American Psychiatric Association, 2013.

Birbaumer, N., Veit, R., Lotze, M., Erb, M., Hermann, C., Grodd, W., and Flor, H., Deficient fear conditioning in psychopathy: a functional magnetic resonance imaging study', Archives of general psychiatry, 62, (7), 799-805, 2005.

Cao, F.l., and Su, L.y., Internet addiction among Chinese adolescents: prevalence and psychological features', Child: care, health and development, 33, (3), 275-281, 2007.

Cavedini, P., Riboldi, G., Keller, R., D'Annucci, A., and Bellodi, L.,: Frontal lobe dysfunction in pathological gambling patients', Biological psychiatry, 51, (4), 334-341, 2002.

Dong, G., DeVito, E.E., Du, X., and Cui, Z., Impaired inhibitory control in internet addiction disorder': A functional magnetic resonance imaging study', Psychiatry Research: Neuroimaging, 203, (2), 153-158, 2012.

Dong, G., Lu, Q., Zhou, H., and Zhao, X., Impulse inhibition in people with Internet addiction disorder: electrophysiological evidence from a Go/NoGo study', Neuroscience letters, 485, (2), 138-142, 2010.

Dong, G., Lu, Q., Zhou, H., and Zhao, X., Precursor or sequela: pathological disorders in people with Internet addiction disorder', PloS one, 6, (2), e14703, 2011.

Fox, M.D., Zhang, D., Snyder, A.Z., and Raichle, M.E., The global signal and observed anticorrelated resting state brain networks', Journal of neurophysiology, 101, (6), 3270-3283, 2009.

Kim, H.S., Internet Addiction Nanum Press, 2000.

Kim, J.H., Lau, C., Cheuk, K.-K., Kan, P., Hui, H.L., and Griffiths, S.M., Brief report: Predictors of heavy Internet use and associations with health-promoting and health risk behaviors among Hong Kong university students', Journal of adolescence, 33, (1), 215-220, 2010

Ko, C.H., Hsiao, S., Liu, G.-C., Yen, J.-Y., Yang, M.-J., and Yen, C.-F., The characteristics of decision making, potential to take risks, and personality of college students with Internet addiction', Psychiatry research, 175, (1), 121-125, 2010.

Lee, H.S., Impulsivity test Korea Guidance, 2002.

Lee, M.S., Oh, E.Y., Cho, S.M., Hong, M.J., and Moon, J.S., An assessment of adolescent Internet addiction problems related to depression, social anxiety and peer relationship', Journal of Korean Neuropsychiatric Association, 40, (4), 616-628, 2001.

Promotion, K.A.f.D.O.a., The development study of Internet addiction to prevent program and K-scale Korea Agency for Digital Opportunity and Promotion Press, 2002.

Raichle, M.E., and Mintun, M.A., Brain work and brain imaging', Annu. Rev. Neurosci., 2006, 29, 449-476

Shaw, M., and Black, D.W., Internet addiction', CNS drugs, 22, (5), 353-365, 2008.

Shulman, R.G., Rothman, D.L., Behar, K.L., and Hyder, F., Energetic basis of brain activity: implications for neuroimaging', Trends in neurosciences, 27, (8), 489-495, 2004.

Spectr, C., Prevalence underestimated in problematic Internet use study', CNS Spectr, 12, 14-15, 2006.

Volkow, N.D., Fowler, J.S., Wang, G.-J., and Goldstein, R.Z., Role of dopamine, the frontal cortex and memory circuits in drug addiction: insight from imaging studies', Neurobiology of learning and memory, 78, (3), 610-624, 2002.

Young, K.S., Caught in the net: How to recognize the signs of internet addiction--and a winning strategy for recovery John Wiley & Sons, 1998.