

인터넷게임 과사용자의 성격 관련 신경해부학적 특질: 부피소-기반 형태 연구*

김진희¹⁾ 김학진²⁾ 조희연¹⁾ 정호진¹⁾ 강은주^{1),†}

¹⁾강원대학교 심리학과

²⁾고려대학교 심리학과

본 연구는 부피소-기반 형태분석법(voxel-based morphometry)을 이용하여 인터넷게임장애의 잠재적 위험군인 인터넷게임 과사용 집단의 심리적 특성과 더불어 관련된 회백질의 미세구조 변화를 알아보고자 수행되었다. 이를 위해 인터넷게임 과사용 집단($n = 18$, 평균 연령 22.2 ± 2.0 세)과 대조집단($n = 20$, 평균 연령 21.2 ± 2.2 세)의 고해상도 구조적 T1 영상을 획득하여 집단 간 회백질 부피 차이를 검증하고 성격 특질과의 관련성을 조사하였다. 그 결과, 대조집단에 비해 인터넷게임 과사용 집단의 양측 일차운동 피질의 회백질 부피가 유의하게 크다는 것이 관찰되었다. 또한, 성격 특질 중 충동성과 보상민감성의 개인 차이에 따른 두뇌 회백질의 부피 변화는 인터넷게임 과사용 집단에서만 좌측 소뇌 회백질 부피의 감소, 그리고 양측 편도체 및 우측 췌장전소엽의 회백질 부피 감소 경향으로 각각 관찰되었다. 본 연구는 인터넷게임 과사용자 집단에서 게임 활동과 관련된 일차운동피질의 구조적 적응이 나타났음을 보였다. 인터넷게임 과사용 집단의 성격 특성과 회백질 부피 간의 관련성에 관한 본 연구의 발견은 인터넷게임장애가 반응 억제 및 보상처리의 신경해부학적 결함과 관련될 가능성을 시사한다.

주제어 : 인터넷게임 과사용, 충동성, 보상민감성, 회백질 부피, 운동피질

* 본 연구는 한국연구재단을 통해 미래창조과학부의 뇌과학원천기술개발사업으로부터 지원받아 수행됨 (NRF-2006-2005112).

이 논문은 제1저자 김진희의 박사학위 청구 논문의 일부를 활용하여 재구성하였음.

† 교신저자: 강은주, 강원대학교 심리학과, (24341) 강원도 춘천시 강원대학길 1

E-mail: ekang@kangwon.ac.kr

인터넷게임장애(internet gaming disorder)란 반복적으로 게임 조절에 어려움을 겪고 일상생활(가정, 직장, 학교 등)에 적응하지 못하는 행동적 문제를 보이며, 인터넷게임에 관한 몰입, 내성, 금단과 같은 임상적 증상을 나타내는 경우를 말한다(American Psychiatric Association, 2013; Block, 2008). 인터넷게임장애를 이해하고 원인을 규명하기 위한 시도로, 공존 질환, 유전적 요인, 심리 특성, 인지적 변화, 생물학적 특성을 알아보고자 하는 연구가 행해지고 있다. 인터넷게임장애의 심리 특성에 관한 선행 연구들에 의하면 인터넷게임장애에서 나타나는 높은 우울(Ha et al., 2006; Morrison & Gore, 2010; Young & Rogers, 1998)과 충동성(Mottram & Fleming, 2009)이 중독 행동의 시작과 유지와 관련되어 있음을 보여주고 있다. 그 외에도 신경증(neuroticism), 위험회피(harm avoidance) 등과 같은 부정 정서성(Ko, Yen, Chen, & Chen, 2006), 자극추구(novelty seeking)와 같은 성격 특질이 인터넷(게임)중독집단에서 높게 보고되어, 인터넷게임장애가 물질 및 도박 중독과 유사하게 보상의 접근 행동과 관련된 정신병리 질환과 연관될 가능성을 시사한다(Franken & Muris, 2006; Kim & Ahn, 2005; Voigt et al., 2009). 다수의 신경영상 연구(neuroimaging study)는 인터넷게임장애가 물질 관련 및 도박 중독의 신경학적 메커니즘을 공유하고 있음을 나타내는 결과를 보고하는데, 중독과 유사하게 인터넷게임장애의 생리병태적 기제로 두뇌 도파민 보상 회로(reward circuits) 및 의사결정, 행동 억제 및 정서 조절과 같은 집행 기능을 담당하는 전전두엽의 결함이 제안되고 있다(Braind, Young, & Laier, 2014; Hou et al., 2012).

개인의 기저선 상태의 병리적 기제를 밝히는 데 널리 사용되는 유용한 방법은 두뇌 구

조적, 해부학적 특성을 살펴보는 것이다. 선행 연구들은 신경망 수준에서 남용 약물사용 및 중독 행위의 장기간 반복된 두뇌 활성화에 따른 신경학적 적응과 뇌 구조적 변화를 규명하고자 하였으며, 관련 두뇌 영역이 중독의 발생과 지속에 관여함을 밝혀냈다(Nestler, 2001; Ungless, Whistler, Malenka, & Bonci, 2001). 이러한 노력의 일환으로 다수의 형태 연구(morphometric study)는 인터넷게임장애를 가진 개인에서 선조체(striatum), 안와전두피질(orbitofrontal cortex), 하측두엽(inferior temporal cortex), 대상피질(cingulate cortex), 도(insula), 보조운동영역(somatosensory motor cortex) 등의 두뇌 영역의 회백질 부피(gray matter volume) 및 밀도(density)가 변화되어 있음을 보고하였다(Hong et al., 2013; Kühn & Gallinat, 2015; Lin et al., 2012; Wang et al., 2015; Weng et al., 2013; Zhou et al., 2011). 예를 들어, 인터넷게임 중독 집단에서 의사결정 및 정서 조절 결함과 관련된 하측두엽, 도, 대상피질의 회백질 밀도 감소가 보고되었다(Lin, Dong, Wang, & Du, 2015). 인터넷게임장애를 가진 청소년 집단을 대상으로 한 연구에서는 안와전두피질과 도의 회백질 부피 감소를 보고하였는데, 이들 영역의 회백질 부피가 인터넷게임장애의 심각도와 부정 상관을 보였다(Weng et al., 2013). 이러한 발견은 기존의 물질 중독에서 보고된 결과(Bartistella et al., 2014; Chang, Alicata, Ernst, & Volkow, 2007; Franklin et al., 2002; Tanabe et al., 2009)와 유사하며, 이들 두뇌 영역의 구조적 변화가 이들 집단에서 나타나는 의사결정, 행동 억제 및 보상 처리 과정에서의 기능적 결함과 관련될 가능성을 시사한다.

본 연구에서는 인터넷게임장애 위험군 수준의 초기 성인 남성을 모집하여 인터넷게임 과

사용과 관련된 두뇌 형태학적 변화를 알아보았다. 기존 인터넷게임장애 연구들은 주로 병원에 내원해서 인터넷게임 문제를 호소한, 증상이 비교적 심각한 사람을 대상으로 한 것이다. 그러나 인터넷게임에 많은 시간을 보내지만 일상생활에 어려움이 없는 일반 성인, 즉 인터넷게임 과사용자에서 이와 같은 두뇌 구조 변화가 나타나는지에 대해서는 알려지지 않았다. 즉, 정신과 및 신경과적 질환 진단을 받은 과거력이 없고 일상적인 생활을 하면서 인터넷게임장애의 위험성을 가진 인터넷게임 과사용자에서 그렇지 않은 개인과는 다른 두뇌 특성이 존재하는지, 또는 심리적 특성과 관련된 신경학적 기제가 다를 가능성이 있는가를 살펴봄으로서 인터넷게임장애로 발전하기 전의 신경학적 위험인자(risk factor)에 관한 정보를 얻을 수 있을 것이다.

본 연구에서 인터넷게임 과사용 집단과 대조집단 간의 회백질 부피 차이를 보이는 두뇌 영역이 확인된다면 이는 두 가지 가능성을 고려할 수 있다. 먼저, 인터넷게임장애의 병리생리학적 기제로 알려진 보상처리 및 집행 기능에 관여하는 두뇌 영역에서 집단 차이가 관찰될 수 있다. 인터넷게임 과사용 집단이 일상생활을 큰 어려움을 겪지 않더라도, 인터넷게임장애를 가진 개인들을 대상으로 한 선행 연구에서 보고된 두뇌 영역의 구조적 변화를 보일 수 있다. 기존 연구에서 보고된 선조체, 안와전두피질, 하 측두엽, 대상피질, 도, 보조운동영역 등의 두뇌 영역(Hong et al., 2013; Lin et al., 2012; Wang et al., 2015; Weng et al., 2013; Zhou et al., 2011)에서 회백질 부피가 감소되는 병적 진행이 이루어지고 있음을 확인할 수 있을 것이며, 이런 병적 진행은 게임중독 심각성(severity) 정도와 관련이 있을 것으로

예측하였다. 다른 가능성으로 인터넷게임장애가 기존 물질중독과 달리 중독이 되는 대상이 인터넷게임을 하는 행위라는 점에서 인터넷게임 사용과 같은 훈련에 기인한 해부학적 차이가 관찰될 수 있다. 선행 연구들에 의하면 키보드 연주자 집단에서 손 표상을 담당하는 양측 운동영역의 회백질 부피가 증가되어 있으며(Amunts et al., 1997), 전문 바이올린 연주자들에게서 좌측 손 표상에 관여하는 일차 운동 및 체감각 피질의 확장이 관찰되었다는 보고도 있다(Schwenkreis et al., 2007). 여러 행동 연구에서 게임 훈련의 효과로 시공간 주의(visuospatial attention) 향상 및 반응시간 감소 등과 같은 수행 향상을 보고하기도 하였다(Dye, Green, & Bavelier, 2009; Green & Bavelier, 2012). 이와 유사한 맥락에서 살펴보자면 인터넷게임의 과도한 수행이 개개인의 훈련효과를 수반하게 되고 그 결과 관련 두뇌 영역의 구조적 변화를 일으킬 가능성이 있다. 인터넷게임에서 키보드 조작의 민첩성 및 화면에서 빠른 이동하는 물체의 시각적 추적을 요구한다는 점을 고려할 때 손 운동에 관여하는 운동 피질 영역 또는 시공간 처리에 관여하는 두뇌 영역의 회백질 부피에 영향을 줄 것이라 예측된다. 컴퓨터 게임의 훈련 결과로 인한 변화가 있다면 게임이용시간(usage time)과 회백질 부피 변화 정도 간에 상관을 보일 가능성도 예측해 볼 수 있다. 특히 평소 인터넷게임을 거의 하지 않는다고 보고한 개인을 대조집단으로 모집하고 인터넷게임 과사용 집단과 비교하면 게임 사용으로 인한 두뇌 구조적 변화를 민감하게 탐지할 수 있을 것이다.

더불어 본 연구에서는 인터넷게임장애에 쉽게 빠지게 하는 심리적 취약성, 즉 성격특성이 특정 두뇌 영역의 회백질 부피 차이와 관

련될 가능성을 알아보고자 하였다. 이를 위해 집단에 따라 성격 특질과 두뇌 회백질 부피 변산성 간 관련성에 차이를 보이는 두뇌 영역을 탐색하였다. 대조집단과 인터넷게임 과사용 집단에서 특정 성격 특성이 회백질 부피와 같은 구조적 변산과 연관이 서로 달리 나타난다면, 이는 인터넷게임장애의 성격에 영향을 미치는 신경생물학적 기제와 밀접한 관련이 있을 것이다. 즉, 두뇌 회백질의 차이에 따른 심리적 특질의 개인차이가 인터넷게임장애의 성격 특성과 연관된 생물학적 취약 요인(risk-factor)일 가능성을 나타낸다. 그와 반대로, 두 집단 모두에서 어느 심리 특성이 특정 두뇌 영역의 회백질 부피 정도와 상관을 보인다면 집단 간 성격 특성의 차이는 관찰되더라도 이 차이를 성격 특질 관련 생물학적 위험 요인에 의한 것으로 가정하지는 않아도 될 것이다. 이를 검증하기 위하여 본 연구에서는 인터넷게임 과사용 집단을 대상으로 선행 연구에서 보고된 인터넷게임장애 관련 심리 특질(예, 우울, 충동, 부적 정서, 보상 민감성 등)을 측정하여 두뇌 회백질 부피와의 관련성을 살펴보았다.

본 연구는 두뇌의 해부학적 차이에서 나타나는 상대적으로 안정적인 생물학적 변산성에 관심을 가지고, 인터넷게임장애와 관련된 신경생리학적 기제를 알아보기 위하여 두뇌 국소 회백질 부피 차이를 관찰할 수 있는 부피소 기반 형태분석법(Voxel-based morphometry, 이하 VBM)을 사용하였다. VBM 방법은 연구자의 주관성이 개입되지 않으면서도, 작은 범위의 회백질 또는 백질 부피 차이를 자동으로 수량화할 수 있는 객관적 분석법이다(Ashburner & Friston, 2000). 이 방법은 만성적인 정신질환을 보이는 임상 집단과 정상 집단 간 두뇌 구조

적 차이(예, 회백질 부피)를 살펴봄으로써 질환과 관련된 병리형태학적 원인을 규명하는 목적으로 이용되기도 한다. 예를 들어 알츠하이머병(Ferreira, Diniz, Forlenza, Busatto, & Zanetti, 2011), 파킨슨병(Beyer, Janvin, Larsen, & Aarsland, 2007)과 같은 퇴행성 질환 뿐만 아니라, 조현병(Kubicki, et al., 2002), 우울증(Vasic, Walter, Höse, & Wolf, 2008), ADHD(Mostofsky, Cooper, Kates, Denckla, & Kaufmann, 2002) 등의 임상군을 대상으로 한 다수의 연구가 두뇌 구조적 차이를 보고하고 있다. 또한 VBM 기법은 정상인에게서 보이는 다양한 인지기능뿐만 아니라 성격 특질의 개인차와 관련된 두뇌 영역을 국지화(localization)하는 데 사용되기도 한다. 예를 들어, 학습(Kim & Kang, 2013), 주의(Carlson et al., 2012), 충동성(Matsuo et al., 2009), 그리고 집행기능(Dolk, Liepelt, Villringer, Prinz, & Ragert, 2012)의 개인차에 기저하는 두뇌 형태학적 특성이 보고되고 있다. 그 외에도 발달(Giedd et al., 1999; Gogtay et al., 2004), 그리고 훈련(Draganski & May, 2008; Lovden, Wenger, Martensson, Lindenberger, & Backman, 2013)에 따른 변화의 해부학적 기제를 알아보는 데도 널리 사용된다. 따라서 인터넷게임 과사용 관련 구조적 차이와 더불어 성격 특성과의 관련성을 알아보자 하는 본 연구의 목적에 부합하는 방법론이라 볼 수 있다.

요약하자면 본 연구는 VBM 기법을 이용하여 인터넷게임 과사용 관련 신경해부학적 기저 특성을 살펴보았다. 첫째, 인터넷게임 과사용과 관련된 차이가 나타나는 두뇌 영역을 확인하고자 하였다. 둘째, 성격 특성과 관련하여 두뇌 회백질 부피 변산을 보이는 정도나, 관련성 양상이 인터넷게임 과사용자와 대조집단 간 차이를 보이는 두뇌 영역을 규명하고자 하

였다. 이러한 연구 질문들에 답하는 것은 인터넷게임장애의 성격 특질과 두뇌 해부학적 특성의 관련성을 이해하여 인터넷게임장애의 잠재적인 취약성과 관련된 병태생리학적 원인을 규명하는 데 중요한 정보를 제공할 것으로 보인다.

연구방법

참가자

본 연구에 인터넷게임 과사용 집단 18명(internet gaming over-user [IO]; 평균 연령 22.2세, $SD=2.0$)과 대조집단 20명(normal control [NC]; 평균 연령, 21.2세, $SD=2.1$)이 최종적으로 모집되었다. 아래에 기술한 모집 절차를 통하여 선정된 예비 인터넷게임 과사용 집단의 참가자 20명 중 인터넷(게임)중독 관련 두 척도에 모두 만족하지 않는 2명이 제외되어 최종적으로 18명의 자료를 사용하였다. 인터넷게임 과사용 집단의 참가자는 정신과, 신경과에서 임상적으로 어떠한 질환도 진단을 받은 과거력이 없으며 Young의 인터넷 중독 척도(Internet Addiction Test, IAT)의 진단 기준(50점 이상)에 부합하는 초기 성인기 남성이다. 대조집단은 인터넷게임 과사용 집단과 유사한 연령과 교육수준을 가진, 인터넷게임을 거의 하지 않는다고 보고한 성인 남성이 선별되었다. 21명의 예비 대조집단의 참가자 중 게임이 아닌 전반적 인터넷사용에 높은 중독 성향을 보인 1명이 제외되었다. 본 연구는 강원대학교 생명윤리위원회(IRB)에 승인을 받았으며, 모든 참가자는 연구 목적과 실험 절차에 관해 충분한 설명을 듣고 서면에 동의하였다.

집단 선정 및 배제 기준

본 연구는 두 단계에 걸친 선발 과정을 통해 최종 참여자를 선정하였다. 먼저, 예비 선발단계에서 참가자는 강원도 춘천지역에 있는 대학교 캠퍼스 및 PC방의 포스터 공고, 웹사이트 모집광고, 심리학과 개설 강의 중 설문조사를 통해 일차적으로 모집되었다. 인터넷 사용 유형 중 게임에 대한 의존이 높은 사람들을 모집하기 위해, 주된 인터넷 사용 용도에 관한 문항(예: 게임, 메신저, 음악, 검색 등)과 인터넷게임 중독 진단척도(Internet Game Addiction Diagnostic Scale, IGADS; Lee & Ahn, 2002)를 포함하였다. IGADS 척도는 학업태도의 저하, 부적응 행동, 부정적 정서 경험, 심리적 몰입 및 집착, 대인관계 문제를 포함하는 인터넷게임 사용에 관한 질문 총 25문항(Cronbach's $\alpha = 0.93$; Lee & Ahn, 2002)으로 구성되어 있다. 예비 인터넷게임 과사용 집단의 참가자 선정은 Lee와 Ahn (2002)의 IGADS 척도개발 연구에서 2,048명에게 얻어진 점수 분포의 상위 20% 수준에 해당하는 63점 이상을 기준으로 하였다. 반면 인터넷게임을 하지 않는다고 답변한 동시에 IGADS 척도 47점 이하인 참가자들은 예비 대조집단으로 분류되었다. 최종 선발 단계에서는 예비 참가자를 대상으로 Kim, Lee와 Oh (2003)가 번안한 한국판 인터넷 중독 척도(Internet Addiction Test, IAT)를 면대면 검사로 실시하였다. IAT 척도는 의존성, 금단증상, 부정적 결과 그리고 내성 요인을 포함하는 인터넷 사용에 관한 질문 총 20문항(Cronbach's $\alpha = 0.91$; Kim et al., 2003)으로 구성되어 있다. 척도 점수의 범위는 20~100점으로 그 검사 결과에 따라 3가지 유형의 인터넷사용자 그룹(20~49점: 평균이용자,

50~79점: 중독 성향자, 80점 이상: 중독군)으로 구분된다. Young (1996)의 연구에서 사용된 기준에 따라 예비 인터넷게임 과사용 집단으로 분류된 참여자 중에서 IAT 50점 이상을 받은 중독 성향자에 해당하는 참가자를 최종 선정하였다. 결론적으로, 인터넷게임 과사용 집단은 1) IGADS > 67점, 2) IAT > 50점, 3) 주된 인터넷사용유형이 게임이라는 3가지 기준을 모두 충족시키는 성인 남성으로 구성되었다. 대조집단은 1) 게임 사용시간 주 2시간 미만 2) IAT < 50 점인 기준을 만족하는 성인 남성으로, 2차 선발된 참가자 중 인터넷게임 과사용 집단의 연령과 대응되도록 선정하였다. 두 집단 모두 에든버러 손잡이 검사(Oldfield, 1971)를 기준으로 오른손 우세성을 가진 참가자만이 선별되었다.

성격 및 행동 측정

본 연구에 최종적으로 선발된 참가자는 자기공명영상(MRI) 촬영 최소 일주일 전 사전 방문을 통해 동의서를 작성하고, 일련의 자기 보고식 심리검사를 수행하였다. MRI 촬영이 끝난 직후에는 모든 참가자로부터 인터넷게임 사용시간(주중, 주말 하루 사용 시간)과 주로 하는 게임 유형(예: 전략시뮬레이션, 다중접속 역할수행, 스포츠, 액션 등)에 대한 정보를 수집하였다.

심리 특성을 측정하기 위해 사용된 자기 보고식 척도와 그 목적은 다음과 같다. 첫째, Beck(1967)이 개발하고 Lee와 Song(1991)이 번안한 Beck 우울척도(Beck depression inventory, BDI)를 이용해 현재의 우울 증상 정도를 측정하였다. BDI는 총 21문항(Cronbach's $\alpha = 0.78$)으로 구성되어 있으며 각 문항에 대한 정도를 3점

척도로 평정한다. 점수 범위는 0~63점으로 측정점수가 높을수록 우울 증상이 심각한 것으로 평가한다. 둘째, 개인의 충동성 정도를 측정하기 위해 한국판 충동성 척도(Korean version of Barratt Impulsiveness Scale-11-Revised, BIS-11; Lee et al., 2012)를 사용했다. BIS-11은 4점 척도의 30개 문항(Cronbach's $\alpha = 0.78$; Lee et al., 2012)으로 구성되어 있으며, 인지적 충동성(cognitive impulsivity), 운동 충동성(motor impulsivity) 그리고 무계획 충동성(no-planning impulsivity)의 하위 척도를 포함하고 있다. 셋째, 보상에 대한 접근성향 및 처벌에 대한 회피 성향의 개인 민감성 정도를 측정하기 위해 Carver와 White(1994)가 개발하고 Kim과 Kim(2001)이 번안한 한국판 행동활성화 및 행동억제체계 척도(Behavioral Inhibition System and Behavioral Activation System, BIS/BAS)를 사용하였다. BIS/BAS 척도는 4점 척도의 총 20문항(Cronbach's $\alpha = 0.78-0.87$; Kim & Kim, 2001)으로 이루어져 있으며 단일 BIS 척도와 BAS 관련 3개의 하위 척도를 포함한다. BIS 척도는 처벌 단서에 대한 예민 정도를 나타내는 반면, BAS 척도는 바라는 목표를 추구하려는 열망과 지속성을 의미하는 '추동(drive)', 새로운 보상 및 잠재적으로 보상이 될 수 있는 사건에 대한 접근 경향을 나타내는 '재미추구(fun seeking)', 그리고 보상에 대한 기대에 긍정적으로 반응하는 성향을 뜻하는 '보상민감성(reward responsiveness)'을 포함한다. 마지막으로 Cloninger, Svrakic와 Przybeck(1993)에 의해 개발된 기질 및 성격 검사(Temperament and Character Inventory, TCI)를 국내에서 표준화한 한국판 기질 및 성격 검사(Min, Oh, & Lee, 2007)를 사용하였다. 이 검사는 4개의 기질 척도와 3개의 성격 척도로

나뉘며 5점 척도의 140문항(Cronbach's $\alpha = 0.77-0.88$; Min, et al., 2007)으로 구성되어 있다. 본 연구에서는 감정적 자극에 대한 자동적 반응 경향성을 측정할 수 있는 기질 척도(81문항)인 자극추구(novelty seeking, NS), 위험회피(harm avoidance, HA), 사회적 민감성(reward dependence, RD), 인내력(persistence, P)에 대한 측정이 이루어졌다. 각 척도를 요약하면, 자극추구는 새로운 자극이나 잠재적 보상 단서에 의해 행동이 활성화되는 경향성을 나타내며 위험회피는 위험 또는 혐오 자극에 행동이 억제되는 경향성을 측정한다. 사회적 민감성은 사회적 보상이나 타인 감정에 대한 민감성을 측정하며 인내력은 지속적인 강화가 없더라도 일정 기간 꾸준히 행동을 지속하려는 경향성을 나타낸다.

측정된 심리 변인들의 집단 간 차이를 검증하기 위해 독립표본 t검증(two sample t-test)을 실시하였다. 자료 검증을 위해 SPSS 22.0 (IBM Corp. Released 2013. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 22.0. Armonk, NY: IBM Corp.)을 사용하였으며 통계적 유의수준은 $p < .05$ 를 기준으로 하였다.

고해상도 구조적 영상 획득 및 VBM 분석

고해상도 구조 영상을 획득을 위해 T1-weighted 3D fast-field echo sequence가 사용되었다. 영상의 파라미터는 다음과 같다, TR = 1900ms, TE = 2.52 ms, flip angle = 9°, FOV (field of view) = 256×256 mm², matrix size = 256×256×192, voxel size = 1.0×1.0×1.0mm³. 개인의 구조 영상의 전처리분석과 통계검증은 SPM12 (Statistical Parametric Mapping; Wellcome Department of Cognitive Neurology, London, UK)

과 DARTEL toolbox를 사용해 다음의 순서로 이루어졌다. 첫째, 개인의 뇌를 표준공간(standard space)에 정합(coregistration)하는 단계의 정확도를 높이기 위해 전교련(anterior commissure)이 영상의 중심 좌표(coordinate x, y, z = 0, 0, 0)가 되도록 조정하였다. 둘째, 조정된 개인의 구조 영상을 회백질, 백질(white matter), 뇌척수액(cerebrospinal fluid)로 분할하고 조직 유형별 영상을 생성하였다. 셋째, 회백질 영상을 표준공간(standard ICBM gray matter/white matter template)에 맞추는 1차 공간 정규화(spatial normalization)가 이루어졌다. 넷째, DARTEL 툴박스를 이용하여 '연구-특정적 표준판(study-specific template)'을 생성하였다. 다섯째, 분할된 각 개인의 회백질 영상을 다시 연구-특정적 표준판에 맞추는 2차 공간 정규화 과정을 수행하였다. 부피소(voxel) 값이 국소 영역의 부피 확장과 수축 정보를 반영할 수 있도록 하기 위해 2차 공간 정규화 과정에서 얻어진 야코비안 행렬식(jacobian determinant)을 개인의 회백질 영상에 곱하는 변조(modulation) 과정이 수행되었다. 마지막으로 8mm의 반치폭(full width at half maximum)의 가우시안 커널(gaussian kernel)을 중첩적분(convolution)함으로써 공간 평편화(spatial smoothing)가 수행되었다. 일련의 과정을 통해 획득한 최종 회백질 영상의 각 부피소(voxel)의 신호 값은 회백질 부피 정보를 반영한다. 전처리분석이 끝난 개인의 회백질 영상은 제2수준 집단검증에서 종속변인으로 사용되었다.

제2수준 집단 통계 검증에는 일반선형모델(general linear model)을 이용한 두 가지 전체-뇌 분석(whole-brain analysis)을 실시하였다. 첫째, 인터넷게임 과사용 집단과 대조집단 간의 회백질 차이를 규명하기 위하여 독립 표본 t 검

중(two sample t-test)을 하였다. 유의한 집단 차이를 보이는 두뇌 영역의 회백질 부피에 관해 아래의 각 성격 측정치 개인 점수와 상관분석을 실시하였다. 즉, 개인의 회백질 부피 정도가 게임중독 심각 정도(IGADS 및 IAT 척도), 인터넷게임 이용시간(자기 보고), 그리고 성격

특성(BDI, BIS-11, TCI, 및 BIS/BIS 척도)과 관련되었는지 알아보았다. 둘째, 집단에 따라 우울, 충동성, 기질 특성 등의 심리 특성과 회백질 부피와의 관련성이 달리 나타나는 두뇌 영역을 규명하기 위하여 공분산분석(analysis of covariance, 이하 ANCOVA)을 실시하였다. 각

Table 1. Participant characteristics

	IO Group (n=18)		NC Group (n=20)		t	p
	M	SD	M	SD		
Age (years)	22.17	2.0	21.20	2.2	1.40	0.17
IGADS	75.61	6.4	31.05	6.0	22.11	< 0.001**
IAT	62.78	10.3	29.75	5.9	12.30	< 0.001**
Gaming usage time (hr)	24.06	11.5	0.91	3.3	7.66	< 0.001**
Depression (BDI)	14.17	8.8	6.45	4.9	3.39	0.01*
Impulsivity (BIS-11)	72.56	9.6	59.20	7.8	4.70	< 0.001**
Cognitive	19.72	3.3	16.25	2.7	3.52	0.01*
Motor	26.28	5.6	18.80	3.5	4.89	< 0.001*
No-planning	26.56	4.1	24.15	3.6	1.92	0.062 [†]
Temperament (TCI)						
Novelty seeking	44.06	6.8	38.10	7.4	2.58	< 0.05*
Harm avoidance	48.50	10.7	37.30	8.8	3.55	0.001*
Reward dependence	48.33	8.9	48.15	12.5	0.05	0.96
Persistence	39.39	7.4	48.85	10.6	-3.15	0.01*
BIS/BAS scale						
BAS-Drive	10.78	2.2	11.70	2.2	-1.29	0.20
BAS-Fun seeking	11.94	2.0	10.55	2.2	2.02	0.05 [†]
BAS-Reward responsiveness	16.50	2.5	16.10	2.6	0.49	0.63
BIS	23.17	3.7	20.75	4.2	1.89	0.07 [†]

Note. IO group: Internet gaming overuse group, NC group: normal control group, IGADS: Internet Game Addiction Diagnostic Scale, IAT: Internet Addiction Test, BDI: Beck depression inventory, BIS-11: Barret Impulsivity Scale-11, TCI: Temperament and character inventory, BAS/BAS: Behavioral Inhibition System and Behavioral Activation System.

[†] : $p < .10$, * : Statistical significant at $p < .05$ (2-tailed), ** : $p < .001$ (2-tailed)

집단 변수($\beta_{\text{Group-IO}}$ and $\beta_{\text{Group-NC}}$), 집단과 성격 특성 측정치 간의 상호작용 항(interaction term: $\beta_{\text{r-IO}}$ and $\beta_{\text{r-NC}}$)을 모델링 하였으며, 주 관심인 상호작용 항에 대하여 통계 검증(contrast = [+1, -1] for $\beta_{\text{r-IO}} > \beta_{\text{r-NC}}$; contrast = [-1, +1] for $\beta_{\text{r-IO}} < \beta_{\text{r-NC}}$)을 실시하였다.

개인의 머리 크기 차이에 따른 효과를 통제하기 위하여 모든 통계검증에 두뇌 내 공간 부피 값(total intracranial volume)을 비관심변인으로 추가하였다. 개인의 두뇌 내 공간 부피 정보는 전처리 2단계에서 분할된 조직 유형별 영상(회백질, 백질, 뇌실)의 모든 부피소 값을 추출하여, 이를 1리터(10cm^3)당 부피량으로 환산하였다. 인터넷게임 과사용 집단과 대조집단의 두뇌 내 공간 부피는 각각 1.58 ± 0.10 L 와 1.57 ± 0.09 L로 차이가 없었다, $t(37) = .34$, $p = .736$. VBM 분석의 통계적 기준으로 전체 두뇌에 대한 다중비교 검증으로 인한 제 1종 오류 증가를 통제한 덩이소 수준의 family-wise error rate(이하 cluster-level FWE) 0.05를 적용하였다. 이를 위해 AFNI program 3dClustSim의 몬테카를로 시뮬레이션(Monte Carlo simulation)을 이용하여 덩이소 크기 401 개를 추정하였다.

특정 두뇌 영역의 회백질 부피가 성격 검사, 인터넷게임중독 척도, 게임사용시간 등 같은 관심 변인들과 어떤 관련성을 보이는 가를 추가로 분석하기 위해서 유의한 덩이소(cluster)에 대하여 관심 영역(Volume of Interest, VOI) 분석이 수행되었다. 덩이소의 평균 VBM 신호 값의 추출에는 MarsBar (0.41, <http://marsbar.sourceforge.net>)가 사용되었다. VOI 분석의 통계 검증은 SPSS 22.0을 사용하여 이루어졌으며, 통계적 유의수준은 $p < .05$ 를 기준으로 하였다. 회백질 영상 결과에 대한 정확한 해부학적 국지화

(localization) 판단을 위하여 Anatomical toolbox (Eickhoff et al., 2005)가 사용되었다. 집단 간 유의한 차이를 보이는 심리검사 척도에 대해서만 VOI 분석을 수행하였다.

결 과

인구통계학적 및 성격 특성

본 연구에 참여한 인터넷게임 과사용 집단과 대조집단의 심리 특성은 Table 1에 제시한 바와 같다. 집단 간 심리 특성 차이를 알아보기 위해 독립표본 t 검증을 한 결과, 인터넷게임 과사용 집단이 대조집단보다 현저하게 높은 우울 성향(BDI)을 보였다, $t(37) = 3.39$, $p < .01$. 충동성 검사(BIS-11)에서도 인터넷게임 과사용 집단은 대조집단보다 유의하게 높은 점수를 보였는데, $t(37) = 4.70$, $p < .01$, 특히 인지적 충동성과 운동 충동성 하위 척도에서 높은 것으로 나타났다, $t(37) = 3.52$, $p < .05$, $t(37) = 4.89$, $p < .001$. 무계획 충동성에서는 집단 간 차이가 없었다, $t(37) = 1.92$, $p = .06$. TCI 기질척도에서는 인터넷게임 과사용 집단이 대조집단에 비해 자극추구(NS)와 위험회피(HA) 척도에서 유의하게 높은 점수를 보인 반면, $t(37) = 3.55$, $p < .05$, $t(37) = 2.58$, $p < .01$, 인내력(P) 척도 점수는 유의하게 낮았다, $t(37) = -3.15$, $p < .05$. 반면 사회적 보상이나 타인 감정에 관한 사회적 민감성(RD) 척도에 대해서는 집단 간 유의한 차이가 발견되지 않았다, $t(37) = 0.05$, $p = .96$. BIS 척도와 BAS-재미추구 척도에서는 인터넷게임 과사용 집단이 대조집단에 비해 높은 경향성을 보인 반면, $t(37) = 1.89$, $p < .10$, BAS-추동 및 BAS-

보상민감성 척도에서는 집단 간 유의한 차이가 발견되지 않았다, $t(37) = -1.29, p = .20, d(37) = 0.49, p = .63$.

인터넷게임 과사용 집단은 대조집단보다 우울이 높기도 하였지만 IAT 점수가 높은 개인일수록 더 높은 우울 심각도를 보였다, $t(16) = .53, p < .05$. 인터넷게임 과사용 집단이 대조집단보다 위험회피도 높을 뿐 아니라 인터넷게임 과사용 집단의 개인 중 인터넷 중독점수가 높을수록 위험회피 경향이 더 높았다, $t(16) = .59, p < .05$. 흥미로운 점은 인터넷게임 과사용 집단이 대조집단에 비해 BAS-재미추구와 BIS 척도 점수가 유의미한 차이를 보이지 않았으나, 인터넷게임 과사용 집단에서 IAT 척도 점수가 높은 개인일수록 이 BAS-재미추구 경향이 유의미하게 높았고, $t(16) = .52, p < .05$, BIS 척도에서 유의미하게 높은 점수를 보였다, $t(16) = .49, p < .05$.

VBM 결과

회백질 부피의 집단 차이

회백질 부피 영상에 대한 전체 뇌 독립표본 t 검증을 실시한 결과, 인터넷게임 과사용 집단의 좌측 일차운동피질(primary motor cortex, BA4)의 회백질 부피가 대조집단에 비해 유의미하게 더 큰 것으로 나타났다(Table 2와 Figure 1). 우반구의 경우에도 통계적 경향성(uncorrected $p < .001$)이 보여 인터넷게임 과사용에 따른 운동피질의 회백질 부피 증가는 양반구에서 나타난 특성으로 볼 수 있다. VOI 분석 결과에 의하면 인터넷게임 과사용 집단이 보이는 일차운동피질 영역의 회백질 부피 증가는 인터넷게임중독 심각성 정도와 무관하였다. 인터넷게임중독척도 점수(IAT: 좌반구 $t(16) = .01, ns$; 우반구 $t(16) = -.14, ns$, IGADS: 좌반구 $t(16) = .35, ns$; 우반구 $t(16) = -.04$)와 게임 사용시간(좌반구 $t(16) = .05, ns$; 우반구 $t(16) = -.11, ns$)은 일차 운동피질의 회백질 부피 증가와 아무런 관련성이 없었다. 또한, 인터넷게임 과사용 집단의 모든 성격변인 측정치는 일차 운동영역의 회백질 부피 증가 정도와 무관하였다(all $p > .05$). 예를 들

Table 2. Brain regions showing difference in gray matter volume between IO group and NC group

Seed Region	R/L/M	BA	MNI coordinate			Stats [*]	
			x	y	z	T	Size
IO group > NC group							
primary motor cortex	L	4	−36	−35	71	5.10	580
	R	4	42	−29	60	4.44	239 [†]
IO group < NC group							
n.s							

* Cluster-level FWE corrected $p < .05$ ($k > 407$), [†] *italic, uncorrected* $p < .001$. n.s = non-significant, IO: Internet gaming overuse, NC: normal control.

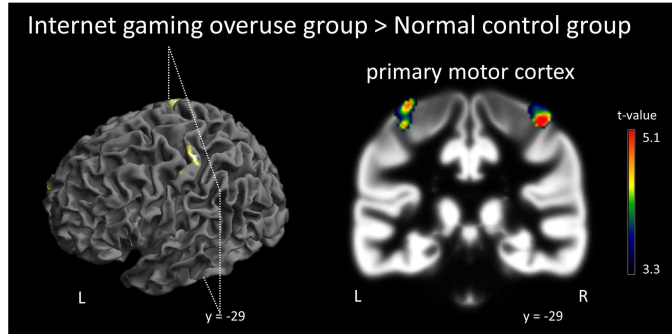


Figure 1. VBM results. Gray matter volume decrease in bilateral primary motor cortex (left: MNI coordinates $x, y, z = -36, -35, 71$, $t=5.1$, cluster-level corrected $p < .05$; right: MNI coordinates $x, y, z = 42, -29, 60$, $t=4.4$, uncorrected $p < .001$) when comparing IO group relative to NC group. Right: The background image is the gray matter of tissue probability map.

어 일차 운동영역의 회백질 부피는 충동성(좌반구 $r(16) = .21$, ns; 우반구 $r(16) = .18$, ns), 우울 점수(좌반구 $r(16) = .37$, ns; 우반구 $r(16) = .03$, ns), TCI 척도의 위험 회피(좌반구 $r(16) = .19$, ns; 우반구 $r(16) = .17$, ns), 자극추구(좌반구 $r(16) = .23$, ns; 우반구 $r(16) = .23$, ns), 그리고 인내력(좌반구 $r(16) = .05$, ns; 우반구 $r(16) = -.22$, ns)과 유의한 상관관계를 보이지 않았다.

성격 특성과 회백질 부피의 관련성

국소 회백질 부피 영상에 대해 집단과 성격 척도 간 상호작용 효과를 공분산분석을 통해 검증한 결과, BIS-11척도와 BAS-보상민감성 척도에서 유의한 상호작용을 발견하였다. 먼저, BIS-11척도 점수와 집단 간 상호작용 효과를 보이는 두뇌 영역으로 소뇌(cerebellum; lobules VIIIB/VIIIA)를 발견하였다(Table 3). 소뇌의 VOI 분석에 따르면 인터넷게임 과사용 집단에서 충동성 성향이 높은 개인일수록 소뇌의 회백질 부피 감소를 보여 유의한 부적 상관을 나

타낸 반면, $r(16) = -.57$, $p < .05$, 대조집단에서는 충동성 점수와 회백질 부피 간 관련성이 나타나지 않았다, $r(18) = -.31$, $p = .19$ (Figure 2A).

양측 편도체(amygdala)와 우측 췌기전소엽(precuneus)에서는 BAS-보상민감성과 집단의 유의한 상호작용 효과가 발견되었다(Table 3, Figure 2B). 편도체의 VOI 분석에 의하면 대조집단에서 보상민감성과 회백질 부피 간 유의한 상관이 없었던 것과 달리, $r(16) = .18$, $p = .43$, 인터넷게임 과사용 집단의 경우 보상민감성이 높은 개인일수록 우측 편도체의 회백질 부피 감소를 나타냈다, $r(18) = -.63$, $p < .01$ (Figure 2B). 췌기전소엽의 VOI분석에서 인터넷게임 과사용 집단은 보상민감성이 높은 개인일수록 회백질 부피 감소를 보였으며, $r(18) = -.84$, $p < .001$, 대조집단의 경우 그와 반대로 보상민감성이 회백질 부피와 유의한 정적인 관련성을 보였다, $r(16) = .48$, $p < .05$.

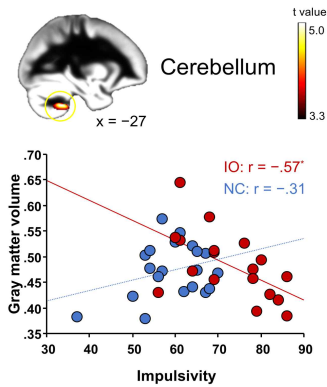
Table 3. Brain regions showing interaction effect between personality scale scores and group factor on regional gray matter volume

Seed Region	R/L	BA	MNI coordinate			Stats*		Interaction [‡]
			x	y	z	T	Size	
Impulsivity								
cerebellum (VIII A, VIIB)	L		−27	−50	−42	4.85	1204	IO−/NC+ $F(1,34) = 8.22, p < .01$
BAS-reward responsiveness								
amygdala	R	28	35	−3	−23	6.26	686	IO−/NC+ $F(1,34) = 10.52, p < .005$
	L	28	−32	−3	−23	4.65	578 [*]	IO−/NC+ $F(1,34) = 9.73, p < .005$
precuneus	R	5	12	−42	66	5.92	1002	IO−/NC+ $F(1,34) = 35.99, p < .001$

* cluster-level corrected $p < .05$ ($k > 676$), [‡] *italic, uncorrected* $p < .001$, IO: Internet gaming overuse, NC: normal control, BAS: Behavioral Activation System.

[‡] significant interaction term between the personality scales and the group factor performed by ANCOVA; IO-/NC+ represents contrast $[-1, 1]$ for regression slopes $\beta_{\text{IO}} < \beta_{\text{NC}}$ in ANCOVA.

A. Correlation between GMV and Impulsivity



B. Correlation between GMV and BAS-RR

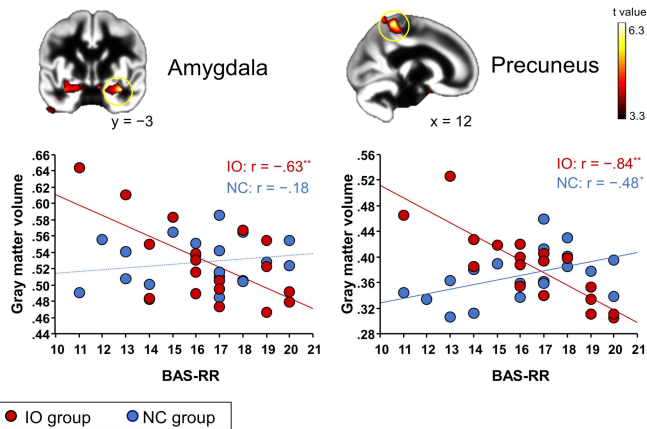


Figure 2. Brain regions showing group-specific relationship between personality trait and regional gray matter volumes.

A) Impulsivity trait was negatively correlated with the gray matter volume in left cerebellum only for the IO group. No such correlation was found in the NC group.

B) Left: BAS-Reward responsiveness (BAS-RR) score was negatively correlated with gray matter volume in bilateral amygdala in only the IO group. Right: BAS-RR was negatively correlated with the gray matter volume of the right precuneus in the IO group whereas positively correlated in the NC group. * $p < .05$, ** $p < .001$,

논 의

본 연구는 VBM 기법을 이용하여 인터넷게임 장애의 신경해부학적 기제(neuroanatomical correlates)를 규명하고자 하였다. 인터넷게임 장애의 위험군인 인터넷게임 과사용 집단을 대상으로 두뇌 미세구조적 차이를 검증한 결과, 인터넷게임 과사용 집단에서 평소 인터넷게임을 하지 않은 개인보다 일차운동피질의 회백질 부피가 증가되어 있음을 발견하였다. 또한, 인터넷게임장애와 관련된 성격 특질의 해부학적 기제를 탐색한 결과, 충동성과 BAS-보상민감성 성격 특질에서 두뇌 회백질 부피와의 관련성이 집단에 따라 달리 나타나는, 즉 유의한 상호작용 효과를 보이는 두뇌 영역이 발견되었다. 이는 인터넷게임 과사용 집단에서 충동성이 높은 개인일수록 소뇌의 회백질 부피가 감소하며, 보상민감성이 높은 개인일수록 편도체와 췌기전소엽의 회백질 부피가 감소하는 양상으로 나타났다.

인터넷게임 과사용 집단의 심리적 특성

인터넷게임 과사용 집단의 심리 특성을 살펴본 결과는 인터넷게임 과사용 집단이 기존 다양한 중독 연구에서 보고된 유사한 심리특성을 공유하고 있음을 보여준다. 예를 들어 인터넷게임 과사용 집단이 대조집단에 비해 높은 우울 성향과 충동성을 보였는데, 이는 기존의 인터넷게임장애 환자들을 대상으로 한 충동성(Mottram & Fleming, 2009)과 우울(Ha et al., 2006; Morrison & Gore, 2010; Young & Rogers, 1998) 연구 결과와 일치하는 발견이다. 우울증은 인터넷게임장애의 가장 흔히 볼 수 있는 공존 질환으로(Kim et al., 2006; Ko, Yen,

Chen, Chen, & Yen, 2008; Lin, Ko, & Wu, 2011), 우울한 사람에게 나타나는 낮은 자존감, 인정받고자 하는 욕구가 인터넷 사용을 촉진한다(Young & Rogers, 1998). 충동성은 약물남용(Kreek, Nielsen, Butelman, & LaForge, 2005)이나 도박 중독(Yi, 2004)뿐만 아니라 인터넷 중독(Mottram & Fleming, 2009; Seo, Kang, & Yom, 2009)을 증가시키는 취약 요인으로 제안되고 있다. 또한 인터넷게임 과사용 집단에서 높은 점수를 보인 BAS-재미추구 및 자극추구 같은 성격 특질들은 약물, 알코올, 담배 등의 위험한 행동을 하는 경향과도 밀접한 관련이 있다고 알려진 특성들이다(Franken & Muris, 2006; Voigt et al., 2009). 부정 정서(negative emotionality)를 경험하는 정도를 반영하는 두 측정치, 즉 TCI-위험회피 척도와 BIS 척도에서도 인터넷게임 과사용 집단이 대조집단에 비해 높은 점수를 보였는데, 높은 위험회피 성향은 우울증의 위험 요인으로 제안된다(Pelissolo & Corbule, 2001; Pezawas et al., 2005). 또한, 높은 부정적 정서성은 불안과 우울, 스트레스 등의 부정적 감정에서 벗어나게 해주는 부정 강화물으로써 물질 및 도박 중독에 영향을 주는 것으로 알려져 있다(McCarthy, Curtin, Piper, & Baker, 2010; Miller, Vogt, Mozley, Kaloupek, & Keane, 2006). 본 연구의 발견은 인터넷게임 과사용 집단이 기존에 알려진 중독의 위험 요인으로 제안된 심리적 취약성 특성을 가지고 있음을 시사한다.

인터넷게임 과사용 관련 두뇌 회백질 부피 차이

인터넷게임 과사용 집단이 대조집단과 유의한 회백질 차이를 보인 두뇌 영역으로 유일하게 양측 일차운동피질이 발견되었다. 인터넷

게임 과사용 집단에서 대조집단에 비해 회백질 부피 증가를 보인 영역은 손가락에 감각자극을 제시하는 동안 높은 활성화를 보인 손 표상을 담당하는 영역(Eickhoff, Grefkes, Fink, & Zilles, 2008)과 유사한 좌표에 위치해 있었다. 본 연구의 참가자는 모두 오른손 우세성을 가진 개인들로, 집단 간 손 우세성 차이에 따른 영향은 통제되었다. 인터넷게임 과사용 집단에서 평소 인터넷게임을 전혀 하지 않는 개인들로 구성된 대조집단과의 차이가 양반구의 운동피질에서 관찰된 것은 예측 가능할 수 있던 결과이다. 인터넷게임을 하는 동안 시각, 청각과 같은 정보를 통합하는 빠른 판단과정과 이를 운동으로 산출하는 과정이 요구된다. 게임에 익숙해진 사용자의 손놀림이 능숙하고 빠름을 고려하면 이런 차이가 훈련의 결과라고 볼 수 있을 것이다. 본 연구에서 모집된 인터넷게임 과사용 집단의 개인들에게서 높은 빈도로 즐기는 게임 유형을 조사한 결과, 전략시뮬레이션(13명)이 다른 종목(다중접속역할수행게임 3명, 기타 2명)에 비해 월등하게 주된 게임 종목이었다. 이 게임 유형이 주로 전략적인 판단과 더불어 양손을 능숙하게 조작하는 기술이 요구되는 게임임을 고려하면 본 연구의 회백질 부피의 집단 간 차이가 손 움직임과 연관될 가능성이 크다. 이런 해석은 손을 사용하는 훈련이 운동피질의 회백질 증가와 관련되어 있음을 밝힌 기존 연구 결과(Amunts et al., 1997; Draganski & May, 2008; Schwenkreis et al., 2007)에 근거한다. 또한, 인터넷게임중독을 대상으로 휴식상태 두뇌 활동의 동질성(homogeneity) 정보를 이용해 두뇌의 기능적 통합성 살펴본 연구에서 인터넷게임장애를 가진 개인에서 뇌교, 소뇌, 전두엽 등 감각-운동 협응(coordination)을 담당하는 두뇌 영

역의 통합성이 증가되어 있음을 보고된 바 있다(Dong, Huang, & Du, 2012).

그러나 본 연구에서 일차 운동피질에서 발견된 회백질 부피 증가가 인터넷게임 사용 시간이나 인터넷게임중독 척도의 점수와 관련성이 없었다는 점은 위와 같은 해석을 주의해야 할 필요성을 시사한다. 일차운동피질의 회백질 차이가 게임 사용으로 인한, 즉 인터넷게임 과사용에 따른 결과가 아닌 인터넷게임 과사용의 원인으로 작용했을 가능성이 있다. 2달 동안 매일 30분씩 게임 훈련(예, Super Mario)을 시킨 전후 회백질 변화를 측정한 연구에서는 체감각 및 운동피질의 회백질 부피 변화가 발견되지 않았다(Khn, Gleich, Lorenz, Lindenberger, & Gallinat, 2014). 즉, 손 표상을 담당하는 일차 운동 영역이 발달된 개인들이 인터넷게임에서 빠른 손 움직임이 가능하고 이런 용이성이 그들로 하여금 게임에 더 몰두하게 만드는 요인으로 작용했을 수 있다. 현재로는 위의 두 가능성을 모두 고려해야 할 것으로 본다.

본 연구의 인터넷게임 과사용 집단에서 선행 연구에서 보고된 성격 특질이 나타난 것과 달리, 운동피질 외 다른 두뇌 영역에서 회백질 부피 차이의 증거를 발견하지 못하였다. 본 연구의 부적 발견은 인터넷게임장애를 대상으로 한 선행 연구에서 보상 및 인지 통제에 관여하는 두뇌 영역에서 회백질 부피 변화(Lin et al., 2012; Wang et al., 2015; Weng et al., 2013; Zhou et al., 2011)가 보고된 선행 연구 결과와 차이를 보이는데, 이에 대한 몇 가지 가능성을 생각해 볼 수 있다. 첫째, 인터넷게임장애의 초기 단계(early stage)에서는 회백질 부피를 살펴보는 것으로는 탐지되기 어려운 미세한 구조적 변화만 일어났을 수 있다.

기존 연구에서 보고된 회백질 부피 변화가 인터넷게임 반복적 사용에 따른 결과(consequence) 또는 인터넷게임장애의 위험 요인(risk factor)을 반영할 가능성을 고려한다면, 대학교 커뮤니티에서 모집된 인터넷게임장애의 위험군인 본 연구의 참가자에서는 병적인 인터넷게임중독의 신경해부학적 소인(predisposition)에 의한 차이나, 인터넷게임의 심각한 중독 결과(consequence)에 의한 변화와 관련된 구조적 차이는 발견되지 못했을 수 있다. 둘째, 다수의 선행 연구(Hong et al., 2013; Lin et al., 2012; Weng et al., 2013; Zhou et al., 2011)의 발견이 청소년을 대상으로 획득되었다는 점에서 본 연구 결과와 차이를 보였을 가능성이 있다. 청소년기는 보상 및 동기과 연관된 두뇌 영역에서 발달적 변화가 일어나는 시기로 중독에 대한 취약성(vulnerability)이 높아지며(Chambers, Taylor, & Potenza, 2014), 성인보다 중독으로 인한 구조적 변화가 더 뚜렷하게 나타나는 것으로 알려져 있다(Potenza, 2013).

인터넷게임 과사용 집단의 성격 특성과 회백질 부피 간 관련성: 충동성과 보상민감성

인터넷게임 과사용과 관련된 심리적 취약요인의 신경해부학적 기제(correlates)를 탐색하기 위하여 자기보고식 설문문을 통해 획득된 성격 척도에 대해 회백질 부피와의 관련성의 집단 차이를 검증한 결과, 충동성 및 BAS-보상 민감성 척도에서 인터넷게임 과사용 집단에 특징적으로 회백질 부피와 상관을 보인 두뇌 영역을 발견하였다. 먼저, 인터넷게임 과사용 집단에서 개인의 충동성 정도와 비례하여 소뇌 영역의 회백질 부피 감소가 나타난 반면 대조 집단의 경우 소뇌의 회백질 부피가 충동성과

관련성을 보이지 않았다. 소뇌는 운동 근육의 조정과 제어 역할을 하는 것으로 알려져 있는데(Kim et al., 2001; Makris et al., 2003), 충동적 행동과 관련되어 보고되는 영역이기도 하다(Moers-Hornikx et al., 2009). 예를 들어, 반응 억제 능력을 측정하는 Go/No-go 과제를 수행하는 동안 반응 억제를 성공한 조건에서 높은 소뇌 활성이 보고되며(Steele et al., 2013), 소뇌가 손상된 환자들이 해당 과제 수행에 어려움을 보인다(Tanaka, Harada, Arai, & Hirata, 2003). 또한, 강박장애(obsessive-compulsive disorder)는 높은 충동성 성향을 보이는데(Grassi et al., 2015), 소뇌의 회백질 부피 감소(Narayanawamy et al., 2016)와 전두-기저-소뇌 시스템(fronto-striatal-cerebellar circuits)의 연결성 손상을 특징으로 한다(Anticevic et al., 2014). 이러한 소뇌 기능 결함은 주의력결핍 과잉행동장애의 신경생리학적 기저로 제안되기도 한다(Vaidya, 2012). 특히 물질중독장애 집단에서 보고되는 높은 충동 성향과도 밀접한 관련이 있다고 보고된 바 있다(Ersche et al., 2011; Jung et al., 2014). 선행연구를 종합해봤을 때, 본 연구의 인터넷게임 과사용 집단에서 발견된 충동성과 소뇌 회백질 부피 간 관련성은 소뇌의 운동 반응 억제 기능의 손상과 전두-소뇌 회로의 기능 결함(Hu, Salmeron, Gu, Stein, & Yang, 2015)이 반영된 결과로 볼 수 있을 것이다. 인터넷게임장애에서 충동성과 두뇌 영역 간의 관련성이 정상 집단과 다름을 보고한 선행 연구 결과(Du et al., 2016; Kim et al., 2015)와 더불어 인터넷게임장애의 충동성과 관련된 특징적인 신경망 결함을 발견한 본 연구 결과는 인터넷게임장애의 충동적 행동 경향이 소뇌의 반응 억제 기능의 결함과 관련되어 있음을 시사한다.

본 연구에서 BAS-보상민감성은 본 연구에서 집단 간 유의한 차이를 보이지 않은 성격 특성이었음에도 양측 편도체와 췌기전소엽에서 보상민감성의 개인차와 관련된 두뇌 구조적 변산성이 집단 간 차이를 보인 점은 흥미로운 발견이다. 대조집단과 달리 인터넷게임 과사용 집단의 경우만 보상민감성이 높은 개인일수록 양측 편도체의 회백질 부피가 낮음이 발견되었는데, 이는 최근 여러 선행 연구에서 보고된 보상처리에서의 편도체의 역할과 연관 지어 고려해 볼 수 있다. 편도체는 보상 관련 단서 자극을 탐지하며 이 신호를 측핵과 안와 전두피질에 전달함으로써 보상 추구 및 접근 행동에 관여하는 것으로 알려져 있다(Gottfried, O'Doherty, & Dolan, 2003; Stuber et al., 2011). 중독 연구에서도 편도체의 동기화된 주의 기능이 보상처리 및 중독 행동과 관련되어 있음에 주목하고 있다(Stamatakis et al., 2014; Wassum & Izquierdo, 2015). 특히 약물 중독 집단에서 편도체의 회백질 부피가 감소되어 있음이 보고되며, 편도체의 부피 감소 정도가 중독 약물에 대한 갈망 증가와 관련이 있었다(Dager et al., 2015; Makris et al., 2004). 본 연구 결과는 인터넷게임장애 집단에서 편도체의 회백질 밀도 감소를 보고한 선행연구(Ko et al., 2015)와 일치하는데, 선행 연구에서 나아가 편도체의 구조적 결함이 보상 민감성 성격 특성과 밀접한 관련이 있다는 점을 보여주고 있다. 본 연구의 인터넷게임장애와 관련된 편도체의 신경해부학적 차이는 인터넷게임장애에서 관찰되는 인터넷게임에 대한 보상 접근 행동의 문제가 편도체의 해부학적 결함과 관련될 가능성을 시사한다.

편도체와 더불어, 인터넷게임 과사용 집단의 BAS-보상민감성과 회백질 간의 관련성이

췌기전소엽에서 관찰되었다. 췌기전소엽은 피질하 및 피질 영역의 광범위한 두뇌 영역으로부터 정보를 주고받는 두뇌 허브(hub)로 제안되는 영역으로(Hagmann et al., 2008), 현재 내적 경험, 과거 기억, 미래 계획을 포함한 자기-참조 처리(self-referential processing), 기억, 시공간 처리 등 다양한 고등 인지 기능에 관여한다고 알려져 있다(Cavanna & Trimble, 2006; Northoff et al., 2006). 최근 췌기전소엽에 대한 형태 연구(Sato et al., 2015)에서는 췌기전소엽의 회백질 부피가 큰 사람일수록 긍정 및 부정 정서 강도와 인지적 요인을 모두 고려하는 특성이 강하며, 또한 주관적 행복감을 느끼는 정도와 관련됨을 보고하였다. 본 연구의 인터넷게임 과사용 집단에서 관찰된 보상민감성 관련 췌기전소엽의 회백질 부피 변산이 대조집단과는 반대로 나타났음을 고려할 때 인터넷게임 과사용 집단의 보상민감성 성격 특성은 췌기전소엽의 구조적 결함으로 인해 부적응적 양상으로 나타날 가능성을 시사한다. 즉, 대조집단의 높은 보상 민감성을 가진 개인이 췌기전소엽의 기능이 발달한 것과 달리 인터넷게임 과사용 집단의 높은 보상 민감성은 췌기전소엽의 기능 저하와 관련되어 있고, 그 결과 부적응적인 인터넷게임 사용을 촉진하는 원인으로 작용할 수 있다. 인터넷게임 과사용 집단에서 관찰된 췌기전소엽의 기제에 명확한 이해는 추후 기능적 연구를 통해 검증될 필요가 있다.

추가로 인터넷게임 과사용 집단에서만 BAS-보상민감성과 BIS 척도 점수 간의 높은 정적 상관관계($r = .54, p < .05$)가 발견된 점도 논의될 필요가 있다. 편도체는 위험 자극을 탐지하고 부적 정서 처리에 관여하는 것으로 알려진 영역이기도 하다(LeDoux, Iwata, Cicchetti,

& Reis, 1988; Phelps et al., 2001). 부적 자극에 대한 편도체의 활성 차이가 개인의 부적 정서성 정도(Davidson, 2000)와 관련이 있고, 불안 장애를 가진 개인들의 편도체 회백질 부피가 감소되어 있다는 보고도 있다(Milham et al., 2005). 또한, 췌기전소엽의 회백질 부피가 개인의 BIS 특질과 부적 상관을 가짐을 보고된 바 있다(Fuentes et al., 2012). 이를 고려했을 때 인터넷게임 과사용 집단에서 발견된 편도체와 췌기전소엽의 특성은 BAS-보상민감성과 BIS, 두 심리 특성이 모두 연관될 가능성을 시사한다.

본 연구의 발견을 해석하는 데 몇 가지 고려할 점이 있다. 먼저, 본 연구는 인터넷게임 과사용 문제를 가진 초기 성인 남성을 대상으로 한 연구로, 본 연구의 발견을 다른 연령군 또는 여성에게 일반화하는데 어려움이 있다. 앞서 논의된 연령에 따른 차이와 더불어, 성별은 중독의 발달과 유지 양상(Hoeft, Watson, Kesler, Bettinger, & Reiss, 2008; Mann et al., 2005) 및 두뇌 구조적 기제(Takahashi, Ishii, Kakigi, & Yokoyama, 2011)에서도 중요한 요인으로 고려된다. 특히 여성은 인터넷게임 동기 양상에 남성과 차이를 보이며(Ko, Yen, Chen, Chen, & Yen, 2005) 다른 유형의 인터넷 사용(예, 쇼핑, SNS)에 문제를 보인다(Heo, Oh, Subramanian, Kim, & Kawachi, 2014). 후속 연구에서 여성 집단을 대상으로 본 연구의 발견을 반복검증하고 성별 차이를 탐색해 볼 가치가 있다. 둘째, 본 연구에서 사용한 IAT 척도는 인터넷게임장애 심각 정도를 측정하는데 가장 널리 이용되고 있는 자기보고식 척도이지만, 인터넷게임 사용 양상에 대한 질문이 주관적인 평정이란 점에서 한계점을 가진다(Petry et al., 2014). 게임 사용시간을 축소해서 보고하거

나 속이는 경향이 인터넷게임중독을 보이는 개인의 행동 특성으로 논의되고 있기 때문이다(Bakken, Wenzel, Grestam, Johansson, & REN, 2009). 본 연구에서 IAT 척도와 회백질 부피 관련성을 보이는 두뇌 영역을 없었던 점과 인터넷 과사용 집단의 운동피질 회백질 부피가 게임 사용 시간과 유의미한 상관을 보이지 않았던 발견이 이 한계점과 관련될 가능성이 있다. 인터넷게임장애와 관련된 구조적 변화를 탐지하는 검증력을 높이기 위해 추후 연구에는 인터넷게임장애의 구조화된 면담 도구(Cho & Kwon, 2016)를 이용하거나 친구와 부모와 같은 주변 사람들의 보고를 함께 고려한, 정확하고 객관화된 방법을 이용할 필요가 있다.

본 연구는 인터넷게임중독의 위험군인 인터넷게임 과사용 집단을 대상으로 두뇌 회백질의 미세구조적 변화 및 성격 특성과의 관련성을 알아보고자 하였다. 본 연구 결과를 요약하면, 대조집단에 비해 인터넷게임 과사용 집단에서 게임 훈련 효과를 반영하는 것으로 여겨지는 일차운동피질의 회백질 부피 변화만 발견하였다. 또한, 인터넷게임 과사용 문제를 가진 개인에서만 충동성과 BAS-보상민감성과 같은 심리적 특성들이 신경해부학적 두뇌 특성(회백질 부피 감소)과 관련되어 있음을 보여주고 있다. 인터넷게임장애의 위험군이 가질 수 있는 해부학적 특성에 대한 본 연구 발견은 인터넷게임장애의 병리 메커니즘을 이해하는데 신경해부학적 원인에 의한 충동성과 보상반응성을 취약 요인으로 고려하여야 함을 시사하는 결과이다. 나아가 본 연구 결과는 기존의 성격 특질척도(자기 보고 설문지 측정 방식)를 인터넷게임 중독/과사용에 일괄적으로 사용하고 정상인들과 같은 동일한 성격 특질을 측정한 것으로 간주하는 것에 대해 의문을

제기하게 된다. 인터넷게임장애를 포함한 다양한 병리적 현상, 그리고 그 생물학적 취약성을 규명하고 이해하는 데 있어서 설문지나 자기 보고를 점수 그 자체로 이해하기보다는 성격 특질의 신경생물학적 기제가 함께 고려될 필요가 있음을 시사한다.

참고문헌

- American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders* (5th ed.). Arlington, VA: American Psychiatric Publishing.
- Amunts, K., Schlaug, G., Jäncke, L., Steinmetz, H., Schleicher, A., Dabringhaus, A., & Zilles, K. (1997). Motor cortex and hand motor skills: structural compliance in the human brain. *Human Brain Mapping*, 5(3), 206-215.
- Anticevic, A., Hu, S., Zhang, S., Savic, A., Billingslea, E., Wasylinski, S., Repovs, G., Cole, M. W., Bednarski, S., & Krystal, J. H. (2014). Global resting-state functional magnetic resonance imaging analysis identifies frontal cortex, striatal, and cerebellar dysconnectivity in obsessive-compulsive disorder. *Biological Psychiatry*, 75(8), 595-605.
- Ashburner, J., & Friston, K. J. (2000). Voxel-based morphometry--the methods. *Neuroimage*, 11(6), 805-821.
- Bakken, I. J., Wenzel, H. G., Götestam, K. G., Johansson, A., & ØREN, A. (2009). Internet addiction among Norwegian adults: a stratified probability sample study. *Scandinavian Journal of Psychology*, 50(2), 121-127.
- Battistella, G., Fornari, E., Annoni, J.-M., Chtioui, H., Dao, K., Fabritius, M., Favrat, B., Mall, J.-F., Maeder, P., & Giroud, C. (2014). Long-term effects of cannabis on brain structure. *Neuropsychopharmacology*, 39(9), 2041-2048.
- Beck, A. T. (1967). *Depression: Clinical, experimental, and theoretical aspects*. University of Pennsylvania Press.
- Beyer, M. K., Janvin, C. C., Larsen, J. P., & Aarsland, D. (2007). A magnetic resonance imaging study of patients with Parkinson's disease with mild cognitive impairment and dementia using voxel-based morphometry. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, 78(3), 254-259.
- Block, J. J. (2008). Issues for DSM-V: Internet Addiction. *American Journal of Psychiatry*, 165(3), 306-307.
- Brand, M., Young, K. S., & Laier, C. (2014). Prefrontal control and Internet addiction: A theoretical model and review of neuropsychological and neuroimaging findings. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8.
- Carlson, J. M., Beacher, F., Reinke, K. S., Habib, R., Harmon-Jones, E., Mujica-Parodi, L. R., & Hajcak, G. (2012). Nonconscious attention bias to threat is correlated with anterior cingulate cortex gray matter volume: A voxel-based morphometry result and replication. *Neuroimage*, 59(2), 1713-1718.
- Carver, C. S., & White, T. L. (1994). Behavioral inhibition, behavioral activation, and affective responses to impending reward and punishment: the BIS/BAS scales. *Journal of*

- Personality and Social Psychology*, 67(2), 319.
- Chambers, R. A., Taylor, J. R., & Potenza, M. N. (2014). Developmental neurocircuitry of motivation in adolescence: a critical period of addiction vulnerability. *American Journal of Psychiatry*, 160(6), 1041-1052.
- Chang, L., Alicata, D., Ernst, T., & Volkow, N. (2007). Structural and metabolic brain changes in the striatum associated with methamphetamine abuse. *Addiction*, 102(1), 16-32.
- Cho, S. H., & Kwon, J. H. (2016). The validation of structured clinical interview for internet gaming disorder (SCI-IGD) and evaluation of the DSM-5 internet gaming disorder criteria : findings from a community sample of adults. *Korean Journal of Clinical Psychology*, 35(4), 831-842.
- Cloninger, C. R., Svrakic, D. M., & Przybeck, T. R. (1993). A psychobiological model of temperament and character. *Archives of General Psychiatry*, 50(12), 975-990.
- Dager, A. D., McKay, D. R., Kent, J. W., Curran, J. E., Knowles, E., Sprooten, E., Göring, H. H., Dyer, T. D., Pearson, G. D., & Olvera, R. L. (2015). Shared genetic factors influence amygdala volumes and risk for alcoholism. *Neuropsychopharmacology*, 40(2), 412-420.
- Davidson, R. J. (2000). Affective style, psychopathology, and resilience: brain mechanisms and plasticity. *American Psychologist*, 55(11), 1196.
- Dolk, T., Liepelt, R., Villringer, A., Prinz, W., & Ragert, P. (2012). Morphometric gray matter differences of the medial frontal cortex influence the Social Simon Effect. *Neuroimage*, 61(4), 1249-1254.
- Dong, G., Huang, J., & Du, X. (2012). Alterations in regional homogeneity of resting-state brain activity in internet gaming addicts. *Behavioral and Brain Functions*, 8(1), 41.
- Draganski, B., & May, A. (2008). Training-induced structural changes in the adult human brain. *Behavioral Brain Research*, 192(1), 137-142.
- Du, X., Qi, X., Yang, Y., Du, G., Gao, P., Zhang, Y., Qin, W., Li, X., & Zhang, Q. (2016). Altered Structural Correlates of Impulsivity in Adolescents with Internet Gaming Disorder. *Frontiers in Human Neuroscience*, 10, 4.
- Dye, M. W., Green, C. S., & Bavelier, D. (2009). The development of attention skills in action video game players. *Neuropsychologia*, 47(8), 1780-1789.
- Eickhoff, S. B., Grefkes, C., Fink, G. R., & Zilles, K. (2008). Functional lateralization of face, hand, and trunk representation in anatomically defined human somatosensory areas. *Cerebral Cortex*, 18(12), 2820-2830.
- Eickhoff, S. B., Stephan, K. E., Mohlberg, H., Grefkes, C., Fink, G. R., Amunts, K., & Zilles, K. (2005). A new SPM toolbox for combining probabilistic cytoarchitectonic maps and functional imaging data. *Neuroimage*, 25(4), 1325-1335.
- Erste, K. D., Barnes, A., Jones, P. S., Morein-Zamir, S., Robbins, T. W., & Bullmore, E. T. (2011). Abnormal structure of

- frontostriatal brain systems is associated with aspects of impulsivity and compulsivity in cocaine dependence. *Brain*, 134(7), 2013-2024.
- Ferreira, L. K., Diniz, B. S., Forlenza, O. V., Busatto, G. F., & Zanetti, M. V. (2011). Neurostructural predictors of Alzheimer's disease: a meta-analysis of VBM studies. *Neurobiology of Aging*, 32(10), 1733-1741.
- Franken, I. H., & Muris, P. (2006). BIS/BAS personality characteristics and college students' substance use. *Personality and Individual Differences*, 40(7), 1497-1503.
- Franklin, T. R., Acton, P. D., Maldjian, J. A., Gray, J. D., Croft, J. R., Dackis, C. A., O'Brien, C. P., & Childress, A. R. (2002). Decreased gray matter concentration in the insular, orbitofrontal, cingulate, and temporal cortices of cocaine patients. *Biological Psychiatry*, 51(2), 134-142.
- Fuentes, P., Barrós-Loscertales, A., Bustamante, J. C., Rosell, P., Costumero, V., & Ávila, C. (2012). Individual differences in the Behavioral Inhibition System are associated with orbitofrontal cortex and precuneus gray matter volume. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 12(3), 491-498.
- Giedd, J. N., Blumenthal, J., Jeffries, N. O., Castellanos, F. X., Liu, H., Zijdenbos, A., Paus, T., Evans, A. C., & Rapoport, J. L. (1999). Brain development during childhood and adolescence: a longitudinal MRI study. *Nature Neuroscience*, 2(10), 861-863.
- Gogtay, N., Giedd, J. N., Lusk, L., Hayashi, K. M., Greenstein, D., Vaituzis, A. C., Nugent, T. F., Herman, D. H., Clasen, L. S., & Toga, A. W. (2004). Dynamic mapping of human cortical development during childhood through early adulthood. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101(12), 8174-8179.
- Gottfried, J. A., O'Doherty, J., & Dolan, R. J. (2003). Encoding predictive reward value in human amygdala and orbitofrontal cortex. *Science*, 301(5636), 1104-1107.
- Grassi, G., Pallanti, S., Righi, L., Figee, M., Mantione, M., Denys, D., Piccagliani, D., Rossi, A., & Stratta, P. (2015). Think twice: Impulsivity and decision making in obsessive-compulsive disorder. *J Behav Addict*, 4(4), 263-272.
- Green, C. S., & Bavelier, D. (2012). Learning, attentional control, and action video games. *Current Biology*, 22(6), R197-R206.
- Ha, J. H., Kim, S. Y., Bae, S. C., Bae, S., Kim, H., Sim, M., Lyoo, I. K., & Cho, S. C. (2006). Depression and Internet addiction in adolescents. *Psychopathology*, 40(6), 424-430.
- Hagmann, P., Cammoun, L., Gigandet, X., Meuli, R., Honey, C. J., Wedeen, V. J., & Sporns, O. (2008). Mapping the structural core of human cerebral cortex. *PLoS Biology*, 6(7), e159.
- Heo, J., Oh, J., Subramanian, S. V., Kim, Y., & Kawachi, I. (2014). Addictive Internet Use among Korean Adolescents: A National Survey. *PloS One*, 9(2), e87819.
- Hoefl, F., Watson, C. L., Kesler, S. R., Bettinger, K. E., & Reiss, A. L. (2008). Gender differences in the mesocorticolimbic system during computer game-play. *Journal of*

- Psychiatric Research*, 42(4), 253-258.
- Hong, S.-B., Kim, J.-W., Choi, E.-J., Kim, H.-H., Suh, J.-E., Kim, C.-D., Klauser, P., Whittle, S., Yucel, M., & Pantelis, C. (2013). Reduced orbitofrontal cortical thickness in male adolescents with internet addiction. *Behavioral and Brain Functions*, 9(1), 9081-9089.
- Hou, H., Jia, S., Hu, S., Fan, R., Sun, W., Sun, T., & Zhang, H. (2012). Reduced striatal dopamine transporters in people with internet addiction disorder. *Journal of Biomedicine and Biotechnology*, 2012, 854524.
- Hu, Y., Salmeron, B. J., Gu, H., Stein, E. A., & Yang, Y. (2015). Impaired functional connectivity within and between frontostriatal circuits and its association with compulsive drug use and trait impulsivity in cocaine addiction. *JAMA Psychiatry*, 72(6), 584-592.
- Jung, Y.-C., Schulte, T., Müller-Oehring, E. M., Namkoong, K., Pfefferbaum, A., & Sullivan, E. V. (2014). Compromised frontocerebellar circuitry contributes to nonplanning impulsivity in recovering alcoholics. *Psychopharmacology*, 231(23), 4443-4453.
- Kim, E. J., Lee, S. Y., & Oh, S. G. (2003). The validation of korean adolescent internet addiction scale (K-AIAS). *Korean Journal of Clinical Psychology*, 22(5), 125-139.
- Kühn, S., & Gallinat, J. (2015). Brains online: structural and functional correlates of habitual Internet use. *Addiction Biology*, 20(2), 415-422.
- Kühn, S., Gleich, T., Lorenz, R., Lindenberger, U., & Gallinat, J. (2014). Playing Super Mario induces structural brain plasticity: gray matter changes resulting from training with a commercial video game. *Molecular Psychiatry*, 19(2), 265-271.
- Kim, H., Kim, Y. K., Gwak, A. R., Lim, J.-A., Lee, J.-Y., Jung, H. Y., Sohn, B. K., Choi, S.-W., & Choi, J.-S. (2015). Resting-state regional homogeneity as a biological marker for patients with Internet gaming disorder: A comparison with patients with alcohol use disorder and healthy controls. *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*, 60, 104-111.
- Kim, J.-J., Lee, M. C., Kim, J., Kim, I. Y., Kim, S. I., Han, M. H., Chang, K.-H., & Kwon, J. S. (2001). Grey matter abnormalities in obsessive-compulsive disorder. *The British Journal of Psychiatry*, 179(4), 330-334.
- Kim, J., & Kang E. (2013). Individual differences in feedback learning and regional gray matter volume. *Korean Journal of Cognitive and Biological Psychology*, 25(4), 517-538.
- Kim, K., Ryu, E., Chon, M.-Y., Yeun, E.-J., Choi, S.-Y., Seo, J.-S., & Nam, B.-W. (2006). Internet addiction in Korean adolescents and its relation to depression and suicidal ideation: A questionnaire survey. *International Journal of Nursing Studies*, 43(2), 185-192.
- Kim, K. H., & Kim, W. S. (2001). Korean - BAS / BIS Scale. *Korean Journal of Health Psychology*, 6(2), 19-37.
- Kim, S. H., & Ahn, C. I. (2005). Personality trait and decision-making of addicted internet game users. *Korean Journal of Health Psychology*, 10, 415-430.
- Ko, C.-H., Yen, J.-Y., Chen, C.-C., & Chen, S.-H. (2006). Tridimensional personality of

- adolescents with Internet addiction and substance use experience. *Canadian Journal of Psychiatry*, 51(14), 887-894.
- Ko, C.-H., Yen, J.-Y., Chen, C.-C., Chen, S.-H., & Yen, C.-F. (2005). Gender differences and related factors affecting online gaming addiction among Taiwanese adolescents. *The Journal of Nervous and Mental Disease*, 193(4), 273-277.
- Ko, C. H., Hsieh, T. J., Wang, P. W., Lin, W. C., Yen, C. F., Chen, C. S., & Yen, J. Y. (2015). Altered gray matter density and disrupted functional connectivity of the amygdala in adults with Internet gaming disorder. *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*, 57, 185-192.
- Ko, C. H., Yen, J. Y., Chen, C. S., Chen, C. C., & Yen, C. F. (2008). Psychiatric comorbidity of internet addiction in college students: an interview study. *CNS spectrums*, 13(2), 147-153.
- Kreek, M. J., Nielsen, D. A., Butelman, E. R., & LaForge, K. S. (2005). Genetic influences on impulsivity, risk taking, stress responsivity and vulnerability to drug abuse and addiction. *Nature Neuroscience*, 8(11), 1450-1457.
- LeDoux, J. E., Iwata, J., Cicchetti, P., & Reis, D. (1988). Different projections of the central amygdaloid nucleus mediate autonomic and behavioral correlates of conditioned fear. *The Journal of Neuroscience*, 8(7), 2517-2529.
- Lee, H. C., & Ahn, C. Y. (2002). Development of the internet game addiction diagnostic scale. *Korean Journal of Clinical Psychology*, 10, 98-113.
- Lee, S. R., Lee, W. H., Park, J. S., Kim, S. M., Kim, J. W., & Shim, J. H. (2012). The study on reliability and validity of korean version of the Barratt impulsiveness scale-11-revised in nonclinical adult subjects. *Journal of Korean Neuropsychiatric Association*, 51(6), 378-386.
- Lee, Y. H., & Song, J. Y. (1991). A study of the reliability and the validity of the BDI, SDS, and MMPI-D scales. *Korean Journal of Clinical Psychology*, 10(1), 98-113.
- 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.
- Lin, M.-P., Ko, H.-C., & Wu, J. Y.-W. (2011). Prevalence and psychosocial risk factors associated with Internet addiction in a nationally representative sample of college students in Taiwan. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, 14(12), 741-746.
- Lin, X., Dong, G., Wang, Q., & Du, X. (2015). Abnormal gray matter and white matter volume in 'Internet gaming addicts'. *Addictive Behaviors*, 40, 137-143.
- Lovden, M., Wenger, E., Martensson, J., Lindenberger, U., & Backman, L. (2013). Structural brain plasticity in adult learning and development. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 37(9), 2296-2310.
- Makris, N., Gasic, G. P., Seidman, L. J., Goldstein, J. M., Gastfriend, D. R., Elman, I., Albaugh, M. D., Hodge, S. M., Ziegler, D. A., Sheahan, F. S., Caviness Jr, V. S., Tsuang, M. T., Kennedy, D. N., Hyman, S.

- E., Rosen, B. R., & Breiter, H. C. (2004). Decreased Absolute Amygdala Volume in Cocaine Addicts. *Neuron*, 44(4), 729-740.
- Makris, N., Hodge, S. M., Haselgrove, C., Kennedy, D. N., Dale, A., Fischl, B., Rosen, B. R., Harris, G., Caviness Jr, V. S., & Schmahmann, J. D. (2003). Human cerebellum: surface-assisted cortical parcellation and volumetry with magnetic resonance imaging. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 15(4), 584-599.
- Mann, K., Ackermann, K., Croissant, B., Mundle, G., Nakovics, H., & Diehl, A. (2005). Neuroimaging of gender differences in alcohol dependence: are women more vulnerable? *Alcoholism: Clinical and Experimental Research*, 29(5), 896-901.
- Matsuo, K., Nicoletti, M., Nemoto, K., Hatch, J. P., Peluso, M. A., Nery, F. G., & Soares, J. C. (2009). A voxel-based morphometry study of frontal gray matter correlates of impulsivity. *Human Brain Mapping*, 30(4), 1188-1195.
- McCarthy, D. E., Curtin, J. J., Piper, M. E., & Baker, T. B. (2010). Negative reinforcement: Possible clinical implications of an integrative model. In Kassel, J. D. (Eds), *Substance abuse and emotion* (pp 15-42). Washinton, DC: American Psychological Association.
- Milham, M. P., Nugent, A. C., Drevets, W. C., Dickstein, D. S., Leibenluft, E., Ernst, M., Charney, D., & Pine, D. S. (2005). Selective reduction in amygdala volume in pediatric anxiety disorders: a voxel-based morphometry investigation. *Biological Psychiatry*, 57(9), 961-966.
- Miller, M. W., Vogt, D. S., Mozley, S. L., Kaloupek, D. G., & Keane, T. M. (2006). PTSD and substance-related problems: the mediating roles of disconstraint and negative emotionality. *Journal of Abnormal Psychology*, 115(2), 369.
- Min, B. B., Oh, H. S., & Lee, J. Y. (2007). Temperament and Character Inventory-Revised-Short. Seoul: Maumsarang.
- Moers-Hornikx, V. M. P., Sesia, T., Basar, K., Lim, L. W., Hoogland, G., Steinbusch, H. W. M., Gavilanes, D. A. W. D., Temel, Y., & Vles, J. S. H. (2009). Cerebellar nuclei are involved in impulsive behaviour. *Behavioural Brain Research*, 203(2), 256-263.
- Morrison, C. M., & Gore, H. (2010). The relationship between excessive Internet use and depression: a questionnaire-based study of 1,319 young people and adults. *Psychopathology*, 43(2), 121-126.
- Mostofsky, S. H., Cooper, K. L., Kates, W. R., Denckla, M. B., & Kaufmann, W. E. (2002). Smaller prefrontal and premotor volumes in boys with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Biological Psychiatry*, 52(8), 785-794.
- Mottram, A. J., & Fleming, M. J. (2009). Extraversion, impulsivity, and online group membership as predictors of problematic Internet use. *CyberPsychology & Behavior*, 12(3), 319-321.
- Narayanaswamy, J. C., Jose, D., Kalmady, S. V., Agarwal, S. M., Venkatasubramanian, G., & Janardhan Reddy, Y. C. (2016). Cerebellar volume deficits in medication-naive obsessive compulsive disorder. *Psychiatry Research*, 254,

- 164-168.
- Nestler, E. J. (2001). Molecular basis of long-term plasticity underlying addiction. *Nature reviews neuroscience*, 2(2), 119-128.
- Northoff, G., Heinzl, A., de Greck, M., Birmpohl, F., Dobrowolny, H., & Panksepp, J. (2006). Self-referential processing in our brain—A meta-analysis of imaging studies on the self. *Neuroimage*, 31(1), 440-457.
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9(1), 97-113.
- Pelissolo, A., & Corruble, E. (2001). Personality factors in depressive disorders: contribution of the psychobiologic model developed by Cloninger. *L'Encephale*, 28(4), 363-373.
- Petry, N. M., Rehbein, F., Gentile, D. A., Lemmens, J. S., Rumpf, H. J., Mößle, T., Bischof, G., Tao, R., Fung, D. S., & Borges, G. (2014). An international consensus for assessing internet gaming disorder using the new DSM-5 approach. *Addiction*, 109(9), 1399-1406.
- Pezawas, L., Meyer-Lindenberg, A., Drabant, E. M., Verchinski, B. A., Munoz, K. E., Kolachana, B. S., Egan, M. F., Mattay, V. S., Hariri, A. R., & Weinberger, D. R. (2005). 5-HTTLPR polymorphism impacts human cingulate-amygdala interactions: a genetic susceptibility mechanism for depression. *Nature Neuroscience*, 8(6), 828-834.
- Phelps, E. A., O'Connor, K. J., Gatenby, J. C., Gore, J. C., Grillon, C., & Davis, M. (2001). Activation of the left amygdala to a cognitive representation of fear. *Nature Neuroscience*, 4(4), 437-441.
- Potenza, M. N. (2013). Biological Contributions to Addictions in Adolescents and Adults: Prevention, Treatment and Policy Implications. *The Journal of adolescent health : official publication of the Society for Adolescent Medicine*, 52(2), S22-S32.
- Sato, W., Kochiyama, T., Uono, S., Kubota, Y., Sawada, R., Yoshimura, S., & Toichi, M. (2015). The structural neural substrate of subjective happiness. *Scientific Reports*, 5, 16891.
- Schwenkreis, P., El Tom, S., Ragert, P., Pleger, B., Tegenthoff, M., & Dinse, H. R. (2007). Assessment of sensorimotor cortical representation asymmetries and motor skills in violin players. *European Journal of Neuroscience*, 26(11), 3291-3302.
- Stamatakis, A. M., Sparta, D. R., Jennings, J. H., McElligott, Z. A., Decot, H., & Stuber, G. D. (2014). Amygdala and bed nucleus of the stria terminalis circuitry: implications for addiction-related behaviors. *Neuropharmacology*, 76(7534), 320-328.
- Steele, V. R., Aharoni, E., Munro, G. E., Calhoun, V. D., Nyalakanti, P., Stevens, M. C., Pearson, G., & Kiehl, K. A. (2013). A large scale (N= 102) functional neuroimaging study of response inhibition in a Go/NoGo task. *Behavioural Brain Research*, 256, 529-536.
- Stuber, G. D., Sparta, D. R., Stamatakis, A. M., Van Leeuwen, W. A., Hardjoprajitno, J. E., Cho, S., Tye, K. M., Kempadoo, K. A., Zhang, F., & Deisseroth, K. (2011). Excitatory transmission from the amygdala to

- nucleus accumbens facilitates reward seeking. *Nature*, 475(7356), 377-380.
- Takahashi, R., Ishii, K., Kakigi, T., & Yokoyama, K. (2011). Gender and age differences in normal adult human brain: Voxel-based morphometric study. *Human Brain Mapping*, 32(7), 1050-1058.
- Tanabe, J., Tregellas, J. R., Dalwani, M., Thompson, L., Owens, E., Crowley, T., & Banich, M. (2009). Medial orbitofrontal cortex gray matter is reduced in abstinent substance-dependent individuals. *Biological Psychiatry*, 65(2), 160-164.
- Tanaka, H., Harada, M., Arai, M., & Hirata, K. (2003). Cognitive dysfunction in cortical cerebellar atrophy correlates with impairment of the inhibitory system. *Neuropsychobiology*, 47(4), 206-211.
- Ungless, M. A., Whistler, J. L., Malenka, R. C., & Bonci, A. (2001). Single cocaine exposure in vivo induces long-term potentiation in dopamine neurons. *Nature*, 411(6837), 583-587.
- Vaidya, C. J. (2012). Neurodevelopmental Abnormalities in ADHD. *Current Topics in Behavioral Neurosciences*, 9, 49-66.
- Vasic, N., Walter, H., Höse, A., & Wolf, R. C. (2008). Gray matter reduction associated with psychopathology and cognitive dysfunction in unipolar depression: a voxel-based morphometry study. *Journal of Affective Disorders*, 109(1), 107-116.
- Voigt, D. C., Dillard, J. P., Braddock, K. H., Anderson, J. W., Sopory, P., & Stephenson, M. T. (2009). BIS/BAS scales and their relationship to risky health behaviours. *Personality and Individual Differences*, 47(2), 89-93.
- Wang, H., Jin, C., Yuan, K., Shakir, T. M., Mao, C., Niu, X., Niu, C., Guo, L., & Zhang, M. (2015). The alteration of gray matter volume and cognitive control in adolescents with internet gaming disorder. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 9, 64.
- Wassum, K. M., & Izquierdo, A. (2015). The basolateral amygdala in reward learning and addiction. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 57, 271-283.
- Weng, C.-B., Qian, R.-B., Fu, X.-M., Lin, B., Han, X.-P., Niu, C.-S., & Wang, Y.-H. (2013). Gray matter and white matter abnormalities in online game addiction. *European Journal of Radiology*, 82(8), 1308-1312.
- Yi, I. H. (2004) The relationship between types of Casino gambling activities, gender, gambling problems, and psychological characteristics in a Korean casino gambler sample: cognitive and personality determinants. *Korean Journal of Health Psychology*, 9(2), 351-378.
- Young, K. S. (1996). Psychology of computer use: XL. Addictive use of the Internet: a case that breaks the stereotype. *Psychological Reports*, 79(3), 899-902.
- Young, K. S., & Rogers, R. C. (1998). The relationship between depression and Internet addiction. *CyberPsychology & Behavior*, 1(1), 25-28.
- Zhou, Y., Lin, F.-c., Du, Y.-s., Zhao, Z.-m., Xu, J.-R., & Lei, H. (2011). Gray matter

abnormalities in Internet addiction: a voxel-based morphometry study. *European Journal of Radiology*, 79(1), 92-95.

1차원고접수 : 2016. 11. 18.

수정원고접수 : 2017. 03. 13.

최종게재결정 : 2017. 03. 14.

Neuroanatomical Correlates of Personality Traits for Internet Gaming Overuse: a VBM study

Jinhee Kim¹⁾ Hackjin Kim²⁾ Hee-Youn Cho¹⁾ Hojin Jeong¹⁾ Eunjoo Kang^{1),*}

¹⁾Department of Psychology, Kangwon National University

²⁾Department of Psychology, Korea University

The neuroanatomical correlates of personality traits in individuals with internet gaming overuse were investigated using voxel-based morphometry (VBM). High-resolution T1-weighted whole-brain images and questionnaires measuring impulsivity, depression, and personality traits were collected from 18 young male adults with internet gaming overuse (IOs; 22.2 ± 2.0 years) and 20 normal controls (NCs; 21.2 ± 2.2 years). We examined 1) the regional gray matter volume (rGMV) difference between groups and 2) group difference in the relationship between rGMV and the scores on the psychological tests. The IO group showed greater rGMV in the bilateral primary motor cortex, relative to the NC group. Significant interaction effects were found between personality traits and groups on rGMV, showing that the IO group exhibited negative correlations between impulsivity and rGMV in the left cerebellum, and between reward responsiveness scales and rGMV in the bilateral amygdala and right precuneus. These findings suggest a structural adjustment in the motor cortex due to internet gaming overuse, and structural abnormalities in brain regions associated with inhibitory motor control and reward processing for individuals at-risk for internet gaming disorder.

Keywords : Internet gaming overuse, impulsivity, reward responsiveness, gray matter volume, primary motor cortex