

Brain Connectivity-based Validation of Trait Impulsivity Scale*

Seyul Kwak¹, Dasom Lee², Sooyun Cho², Jeanyung Chey^{2†}

¹Department of Psychology, Pusan National University

²Department of Psychology, Seoul National University

Trait impulsivity is known as a psychological construct that explains behavioral problems, including lack of attention, personality disorders, and substance use disorders in children and adolescents. While neurobiological mechanisms of adolescents' impulsivity measured with behavioral lab tasks have been revealed using functional brain imaging techniques, little has been known whether trait impulsivity measured with self-reporting scales reflects a relevant neurobiological entity. In this study, multi-dimensional trait impulsivity scale (UPPS-P) and resting-state fMRI were acquired from 63 typically developing adolescents. We used a canonical correlation analysis (CCA) to examine whether trait impulsivity reflects the brain connectivities of impulsivity network by targeting the brain regions with the Neurosynth meta-analysis system. We found that the linear combination of UPPS-P item-level responses was associated with the linear combination of impulsivity-relevant brain connectivities in the factor items of negative urgency, sensation seeking, and positive urgency. On the contrary, the brain connectivities that were not based on the meta-analysis of impulsivity did not show a meaningful canonical correlation. These results suggest that specific questionnaires that compose the trait impulsivity scale are reflective of individual differences of adolescents' neural circuitry of impulsiveness.

Keywords: trait impulsivity, UPPS-P, functional connectivity, canonical correlation, validation

1차원고접수 21.10.18; 수정본접수: 22.02.04; 최종게재결정 22.02.07

충동성이란 지나치게 위험하고 상황에 부적절하며 원하지 않았던 결과를 낳는 미숙한 행동 특성을 의미한다(Dalley, Everitt, & Robbins, 2011). 충동성은 양극성장애, 경계성 및 반사회성 성격장애 등의 주요 정신장애의 증상 수준과 상관 관계를 보일 뿐만 아니라(Miller et al., 2003; DeShong & Kurtz, 2013), 알코올 남용(Cyders & Smith, 2007), 휴대폰 사용(Billieux et al., 2008), 병리적 도박(Whiteside et al., 2005), 그리고 아동·청소년기의 주의력결핍 과잉행동장애, 품행장애의 문제 행동을 포괄적으로 설명하는 잠재적 구성개념으로 알려져 있다(Beauchaine et al., 2017). 충동성과 같은 잠재적 구성개념에 주목하는 이유는 본격적인 행동 문제와 임상적 증상이 나타나기 이전의 위험성을 민감하게 포착할

수 있는 내적 표현형(endophenotype)의 차원적 특질을 잘 반영하기 때문이다(Robbins et al., 2012).

충동성과 관련된 외현화 문제는 아동기와 성인기 사이의 청소년기에 특히 두드러지는 것으로 알려져 있다(Casey et al., 2015). 청소년기에는 뇌 구조와 기능적 발달이 관찰되는데, 보상 자극에 대해 아동과 성인에 비해 피질하 복측 선조체의 과활성화가 나타난다. 한편, 상대적으로 피질하 구조물에 억제성 관계를 맺고 있는 전전두피질 구조물의 발달이 충분히 이루어지지 않았기 때문에 자동적이고 즉각적인 보상을 따르는 반응을 억제하지 못하는 경향을 보인다(Somerville et al., 2011; Casey, 2015).

이처럼 충동성과 관련된 구체적인 신경 회로가 밝혀지

* 이 과제는 부산대학교 기본연구지원사업(2년)에 의하여 연구되었음.

† 교신저자: 최진영, 서울대학교 심리학과, (08826) 서울특별시 관악구 관악로 1

Tel: 02-880-6432, E-mail: jychey@snu.ac.kr, Fax: 02-877-6428

고 있지만, 여기에서 충동성의 개인차가 어떻게 발생하는지에 대해서는 알려진 바가 적다(Seidman et al., 2005; Castellanos et al., 2008; Decety et al., 2009; Yang & Raine, 2009; Arnsten & Rubia, 2012; Meng et al., 2015). 충동성의 개인차를 측정하기 위해 두 가지 구분되는 방법을 취할 수 있는데, 한 가지는 실험실 장면에서 충동적 반응을 억제해야 하는 행동 과제의 수행을 측정하는 것(행동 충동성)이고, 다른 한 가지는 성격 특질을 이론적 배경으로 둔 자기보고 응답을 측정하는 것(특질 충동성)이다(King et al., 2014). 두 가지 접근은 모두 충동성의 이론적 기반을 공유하면서 하나의 구성개념을 지칭하고 있지만, 누적되는 연구에 따르면 자기보고 척도로 측정된 특질 충동성은 행동 과제 수행과 미미한 상관관계를 보인다(Cyders & Coskunpinar, 2011; Duckworth & Kern, 2011; Sharma et al., 2014; Eisenberg et al., 2019). 행동 충동성은 조작적으로 정의된 인지 과제의 수행을 관찰하기 때문에 측정하고자 하는 인지적 과정이 분명하며, 측정하는 인지적 속성과 그 신경 회로의 관여 여부에 대해서는 분명한 정보를 제공한다. 하지만 안정적으로 통제된 실험실 장면에서는 충동적 행동을 드러내지 않는다 하더라도, 스트레스를 받거나 피로감이 높은 등의 간헐적이고 도전적인 상황에서는 충동적으로 행동할 수 있다. 반면, 자기보고에 기반한 특질 충동성은 현재의 정신장에 증상과 미래의 위험 행동을 유용하게 예측하며(Lim & Lee, 2016; Kim & Kwon, 2016; Lim & Lee, 2017), 행동 충동성보다 실제 생활 기능에서의 문제를 잘 설명하는 경향이 있다(Whelan et al., 2014; Ahn et al., 2016; Coskunpinar et al., 2013). 개인은 모든 맥락 조건에서 충동적 행동을 보이는 것이 아니며, 따라서 자기보고 척도로 얻은 특질 충동성은 일상생활에서 경험했던 간헐적인 충동적 행동에 대한 중요한 정보를 제공할 가능성이 높다(King et al., 2014).

이와 같은 특질 충동성의 유용성이 잘 알려져 있지만, 특질 충동성을 어떤 도구로 측정할 것인지, 알려진 도구들이 실제로 측정하고자 하는 대상을 측정하는지 확인하는 타당화 방법에는 제약이 많다. 흔히 문항 내용의 액면적 적합성이나 구조방정식이 가정하는 모형의 적합성을 통해 특질 충동성의 타당도를 검증해왔다. 그러나 이러한 접근의 대부분은 자기보고식 측정 방법에 의존하고 있기 때문에 측정 방법에 의한 상관관계와 공통 심리 구성개념에 의한 상관관계를 구분하기 어렵다(Campbell & Fiske, 1959; Strauss & Smith, 2009). 또한 문항을 구성하는 과정이 응답자의 액면적 개념에 크게 의존할 수밖에 없으며, 응답자의 추상적 개념 표상에 따라

같은 문항의 심리측정질이 달라질 수 있다. 즉, 특질 충동성은 주관적 자기 평정에 의존하는 방법이기 때문에 정확히 어떤 개인의 속성이 문항의 응답으로 이어진 것인지(개인의 반응 편향, 문제 행동의 판단 기준, 문제 행동의 메타 인지 수준) 명확히 구분되기 어렵다.

이러한 문제점들을 보완하는 방안으로 신경생리 수준의 개인차를 통한 심리 구성개념의 타당화 접근이 가능하다(Kragel et al., 2018). 충동성이라는 특질이 직접 관찰되지 않으나 관찰된 변수들 간의 체계적 상관을 인과적으로 야기하는 잠재 변인이라면(Borsboom et al., 2004), 그것은 특정 상황에서의 정보를 종합하고 행동 양식을 결정하는 신경학적 계산 방식의 개인차에서 기인할 가능성이 높으며 이러한 뇌 기능이 적절히 측정될 경우 문항 응답이 측정하고자 하는 바를 측정하는지 판단하는 준거가 될 수 있다(DeYoung & Gray, 2009; Kragel et al., 2016). 이러한 접근은 잠재적 심리 구성개념이 단순히 편의를 위해 조작적으로 정의된 것(Peter & Cruzen, 2017)이 아니라 신경회로라는 물리적 실체를 직접 지칭하는 개념인지 확인할 수 있다. 다시 말해, 자기보고 응답으로 측정된 특질 충동성의 문항들이 충동성과 관련된 뇌 기능적 속성을 체계적으로 반영하고 있다면, 해당 척도가 충동성의 개인차를 일부분 타당하게 측정하고 있다는 추론을 할 수 있다.

뇌 기능적 속성은 다양한 신경영상 촬영 방식에 따라 고유한 정보들을 얻을 수 있으나, 신경 속성의 개인차를 가장 효율적이고 안정적으로 확인할 수 있는 방법으로 휴지기 뇌 기능 연결성 방법이 제안되고 있다. 휴지기 뇌 기능 연결성은 기저 수준의 기능적 발화의 특성이나 멀리 떨어진 영역들 간의 동시 활성화를 반영하는데, 정서 상태나 향후 인지 과제에서 뇌가 어떻게 기능적으로 활용될지 우수하게 예측할 수 있으며(Kragel et al., 2016; Tavor et al., 2016), '지문'처럼 개인에 대한 고유 정보를 가질 뿐만 아니라 촬영 프로토콜이 간단하기 때문에 다양한 장면의 활용성이 높을 것으로 전망된다(Fox & Greicius, 2010; Castellanos et al., 2013; Finn et al., 2015). 분산된 뇌 기능 연결망은 인터넷 게임 과 사용(Kim, & Kang, 2017), 행동접근체계(Jeong et al., 2017), 자기애성 성격(Feng et al., 2018), 성격 5요인(Hsu et al., 2018; Jiang et al., 2018; Markett et al., 2018)과 같은 심리적 특질의 개인차를 예측하는 정보로 활용할 수 있다.

이처럼 뇌 영상으로 얻는 신경 정보는 심리 상태와 특질에 대한 정보를 제공할 수 있는 도구이지만, 적절한 분석법을 사용하지 않을 경우 뇌-행동 관계를 효과적으로 확인하

기 어렵다. 모든 개별 연결성의 수치들을 대상으로 통계적 검증을 할 수 있으나, 자료의 수보다 변수의 수가 압도적으로 많은 조건에서는 뇌와 행동 간의 관계에 대한 효과적인 결론을 내릴 수 없다. 선행 연구에서는 개별 뇌 영역과 충동성 간의 상관관계를 반복적으로 검증하고 이 과정에서 높아지는 1종 오류율을 통제했기 때문에, 다양한 충동성 관련 영역에 대한 발견을 누적할 수 있었으나, 국소 뇌 영역만을 특정하는 결론을 도출해왔다. 또한 선행 연구들은 척도의 문항들을 요인 총점으로 합산했기 때문에 개별 문항 단위에서 뇌 기능과 맺는 체계적 관계를 해석하기 어렵다(Muherlert et al., 2015; Moreno-Lopez et al., 2012; Rochat et al., 2018). 이러한 문제를 극복하기 위해 본 연구에서는 정준상관분석(Canonical correlation analysis) 방법을 사용하여, 방대한 뇌 측정치와 문항 반응(리커트 척도 응답)을 공통적으로 묶는 잠재적 변량 간의 관계를 탐색하고자 한다(Wang et al., 2020). 정준상관분석은 탐색하고자 하는 양쪽 변수 세트들의 높은 차원성을 동시에 줄이기 때문에 뇌와 행동 간의 다대다(many-to-many) 관계를 검증하는 데에 최적의 방법이며, 정신장애 증상, 인지과제 수행 측정치들의 조합을 포착하는 데에 사용된 바 있다(Smith et al., 2015; Petrician & Grady, 2017; Perry et al., 2017; Xia et al., 2018). 이는 일대일(one-to-one) 검증을 반복 실시하는 단변량적 방법이나 다대일(many-to-one) 관계를 검증하는 중다회귀 방법의 한계를 보완할 수 있는 방법으로 제안되고 있다. 이러한 접근을 통해 문항 반응의 조합으로 구성된 정준변량이 뇌 측정치의 조합으로 구성된 정준변량과 실제로 관계성이 있는지, 더 나아가 그렇게 관찰된 정준변량이 구체적으로 어떤 척도 문항의 조합으로 구성된 것인지 확인할 수 있다. 이를 통해 뇌 측정치의 변산에 준거한 문항과 그렇지 않은 문항을 구분할 수 있게 된다.

본 연구에서는 특질 충동성과 충동성-관련 뇌 연결망 간의 체계적 관계가 있는지 정준상관분석을 통해 밝히고자 한다. 특질 충동성은 뇌 기능적 연결망의 속성 중에 충동성과 특정적으로 관련된 뇌 영역의 연결망을 반영할 것으로 예측하였다. 또한 추가 탐색을 통해 정준상관관계가 유의미한 특질 충동성의 요인에 대해서는 어떤 문항이 더 주요하게 충동성 뇌 연결망의 개인차를 반영하는지 확인하고, 더 나아가서 정준상관분석으로 구성된 특질 충동성의 다변량 점수가 부정정서성(Lim & Lee, 2017), 행동 중독(Cao et al., 2007) 경향과도 관련되는지 탐색하고자 한다.

방 법

연구 참가자

본 연구의 참가자들은 인지통제훈련 프로그램의 효과를 알아보기 위한 연구의 참가자들로, 수도권에 위치하고 있는 중학교, 학원, 웹사이트를 통하여 모집되었다. 신경정신과적 병력이 있거나 관련 약물을 복용한 경우 연구에서 제외하였다. 첫 번째 방문에서는 설문 응답과 인지기능 검사를, 두 번째 방문에서는 뇌영상 촬영이 이루어졌다. 총 71명의 참가자 중, 보호자 인터뷰를 통해 ADHD, 강박장애, 우울 장애 등의 이력이 있는 참가자(n = 4), 인지검사와 뇌영상 촬영을 완료하지 못한 참가자(n = 4)가 제외되고, 최종적으로 63명의 자료가 분석에 사용되었다. 최종 참가자들은 12세에서 14세에 이르는 청소년이었으며(평균 = 13.21, 표준편차 = 0.62), 30명의 여성(52.4%)으로 구성되었다. 본 연구는 서울대학교 기관윤리심의위원회(IRB)의 승인을 받고 진행되었다.

측정도구

한국판 다차원적 충동성 척도(UPPS-P). 특질 충동성의 개인차를 측정하기 위해 한국판 다차원적 충동성 척도(UPPS-P)가 사용되었다. 총 59문항이며, 각 문항은 1점 '매우 동의한다', 2점 '어느 정도 동의한다', 3점 '동의하지 않는다', 4점 '매우 동의하지 않는다' 범위의 4점 리커트식 척도로 구성되어 있으며, 점수가 높을수록 충동적인 성향이 높아짐을 의미한다. UPPS-P는 NEO-PI-R의 성격 하위 5요인에 기반하여 충동성의 요소가 세분화된 척도이다(Whiteside & Lynam, 2001). 한국판으로 변안된 척도는 선행 연구에서 부정 긴급성, 지속성 부족, 계획성 부족, 감각추구, 긍정 긴급성으로 구분되는 5개의 요인 구조에 대한 구성 개념 타당도가 확인되었으며(Lim & Lee, 2014), 본 연구에서는 5요인 구조에 기반하여 각 요인별 정준상관분석을 실시하였다. 모든 역문항은 역채점되어 정준상관분석에서의 부하 가중치를 동일한 방향으로 해석할 수 있도록 하였다.

부정정서성. 부정정서성은 지각된 스트레스 척도(Perceived Stress Scale, PSS)와 한국판 역학연구센터 우울 척도(Center for Epidemiologic Studies Depression Scale, CES-D)를 통해 측정했다. 지각된 스트레스 척도는 한 달 동안 삶에서 경험하는 상황을 스트레스로 지각되는 정도를 측정하는 문항으로 구성된다(Cohen et al., 1983; Baek, 2010). 각 문항들은 일상생활이 얼마나 예측할 수 없고 통제 불가능하다고 생각되며, 이에 대해 과도한 부담이 느껴지는지에 관한 10개의

문항으로 구성되어 있다. 각 문항에서 해당 기분이나 생각을 느낀 정도가 0-5점의 리커트 척도로 평정되었다. 10개의 문항 총점이 사용되었으며 점수가 높을수록 통제 효능감이 낮고 스트레스 경험에 대한 무력감이 높음을 반영했다. 우울 척도는 일주일 동안 우울 상태와 관련된 일들이 얼마나 자주 나타났는지 빈도(1: 1일 이하, 2: 1~2일, 3: 3~4일, 4: 5일 이상)를 묻는 20문항을 합산하였다(Cho & Kim, 1993). 추후 정준상관분석에서 도출된 연결성-관련 특질 충동성의 정준변량이 지각된 스트레스와 우울 증상과 상관관계를 보이는지 탐색되었다.

스마트폰 중독 자가진단 척도. 스마트폰 중독의 수준과 양상을 선별하기 위한 질문지로 일상생활장애, 금단, 내성과 관련된 15문항으로 구성되어 있다(Shin et al., 2011). 각 문항에 대해 1-4점 리커트 척도로 스마트폰 사용 패턴에 대한 자신의 동의 정도를 표시했다. 점수는 15점에서 60점 사이에 분포하며, 총점이 42점 이상이거나 요인 점수 중 한 가지 이상에서 일정 수준 이상(일상생활장애 14점 이상, 금단 12점 이상, 내성 13점 이상)을 보고할 경우 잠재적 위험 사용자군으로 분류된다. 본 연구에서는 19명의 참가자(30.2%)가 잠재적 위험 사용자군인 것으로 나타났으며, 임의적인 절단점을 적용하지 않고 연속적인 중독 위험 수준을 나타내는 합산 점수가 사용되었다.

뇌 영상 획득. 뇌 영상 자료 수집은 서울대학교 뇌영상센터에 있는 Siemens 3-Tesla 스캐너(Erlangen, Germany)로 수집되었다. 모든 참가자로부터 고해상도 T1-강조 영상(MPRAGE; TR = 2.3s, TE = 2.36ms, FOV = 256 × 256mm, FA = 9°, voxel size 1 × 1 × 1mm³)과 휴지-상태 기능 영상(TR = 2.2s, TE = 30ms, FOV = 240 × 240mm, FA = 79°, voxel size 3 × 3 × 3.5mm, thickness = 3.5, gap = 1mm, 33 slices, interleaved)이 촬영되었다. 휴지기 뇌영상은 총 6분 동안 163장이 획득되었다. 참가자들은 눈을 뜬 채로 잠들지 않도록 지시받았으며, 검은색 화면 이외에는 시각 자극이 제시되지 않았다. 뇌 영상이 획득되는 동안 시선추적 장치를 통해 실시간으로 수면 여부가 모니터링 되었다. 촬영 후에는 모든 T1-강조 구조 영상과 기능 영상은 하측 뇌간을 제외한 모든 구조물이 누락되지 않았음이 점검되었다.

뇌 연결성 분석

기본적인 전처리 절차는 MATLAB 2015b에서 실행되는

SPM12(Statistical Parametric Mapping; Wellcome Trust Centre for Neuroimaging, London, UK)와 Conn17.f 툴박스(Whitfield-Gabrieli & Nieto-Castanon, 2012)를 통해 이루어졌다. 먼저 연속적인 영상 간의 움직임은 보정하였고, 추정된 움직임은 추후 통제 변수로 사용하였다. 이후 단면 획득 순서의 시간차가 보정된 후, 모든 휴지기 기능 영상은 평균 영상을 중심으로 해부학적 영상에 맞춰졌다. 해부학적 영상은 표준 형판에 공간적으로 정규화되었으며, 회백질, 백질, 뇌척수액으로 분리되었다. 모든 기능 영상은 위의 공간적 정규화 과정에서 추정된 비선형적 변형과 동일한 방법으로 표준 공간상으로 정규화되었다. 연결성의 강도 계산에서 극단값의 영향을 줄이기 위해 ART(https://www.nitrc.org/projects/artifact_detect/)를 이용하여 전체 영상의 신호 강도가 5 표준편차를 넘거나, 첫 영상을 기준으로 0.9mm이상의 움직임을 보인 영상을 탐지하였고 해당 영상의 시계열 효과는 제거하였다(평균 = 5.79, 표준편차 = 9.29, 범위 = 0 - 43). 모든 영상은 최대 3mm 이상의 평균 움직임이 없었음을 확인하였으며, 편평화는 반치폭(FWHM) 8mm으로 이루어졌다. 신경 신호와 관련없는 생리적 잡음을 제거하기 위해서 0.008에서 0.09 사이의 신호를 통과시키는 주파수 필터를 사용하고, 백질과 뇌척수액의 신호의 영향력을 제거하였다. 머리 움직임의 평균치 및 시계열 효과가 제거된 영상의 수는 UPPS-P의 5가지 충동성 척도 점수와 상관관계를 보이지 않았다(움직임: $r = -.11 - .10, ps \geq 0.411$; 시계열 제거: $r = -0.03 - 0.20, ps \geq 0.106$). 영역 별로 추출된 신경 신호는 Shen 등(2013)에서 개발된 지도와 네트워크 분류 정의에 기반하여 이루어졌으며, 누락된 지도 영역이 없었음을 확인하였다(Shen et al., 2013). 각 영역 간 연결성의 강도는 해당 영역 내에서의 신호 평균을 통해 계산한 시계열 상관관계를 Fisher z-변환하여 측정하였다.

충동성 뇌 연결망

충동성에 특정한 뇌 연결망을 구성하기 위해 Shen 등(2013)의 뇌 지도와 함께 뇌 영상 메타분석 데이터베이스인 뉴로신스(Neurosynth)를 사용하였다(Yarkoni et al., 2011). 뉴로신스에서 총 14,371개(2018년 기준)의 연구 중에 ‘impulsivity’ 단어가 높은 빈도로 출현한 120개의 연구에서 보고된 뇌 활성화 좌표의 역추론 지도가 자동적으로 메타분석 되었다. “impulsivity” 단어가 출현했을 때 해당 영역의 뇌 활성화가 보고될 확률(정방향 추론; forward inference)가 아닌, 해당 뇌 활성화가 나타났을 때 “impulsivity” 단어가 출현할 확률(역방향 추론; reverse inference)이 높은 뇌 영역

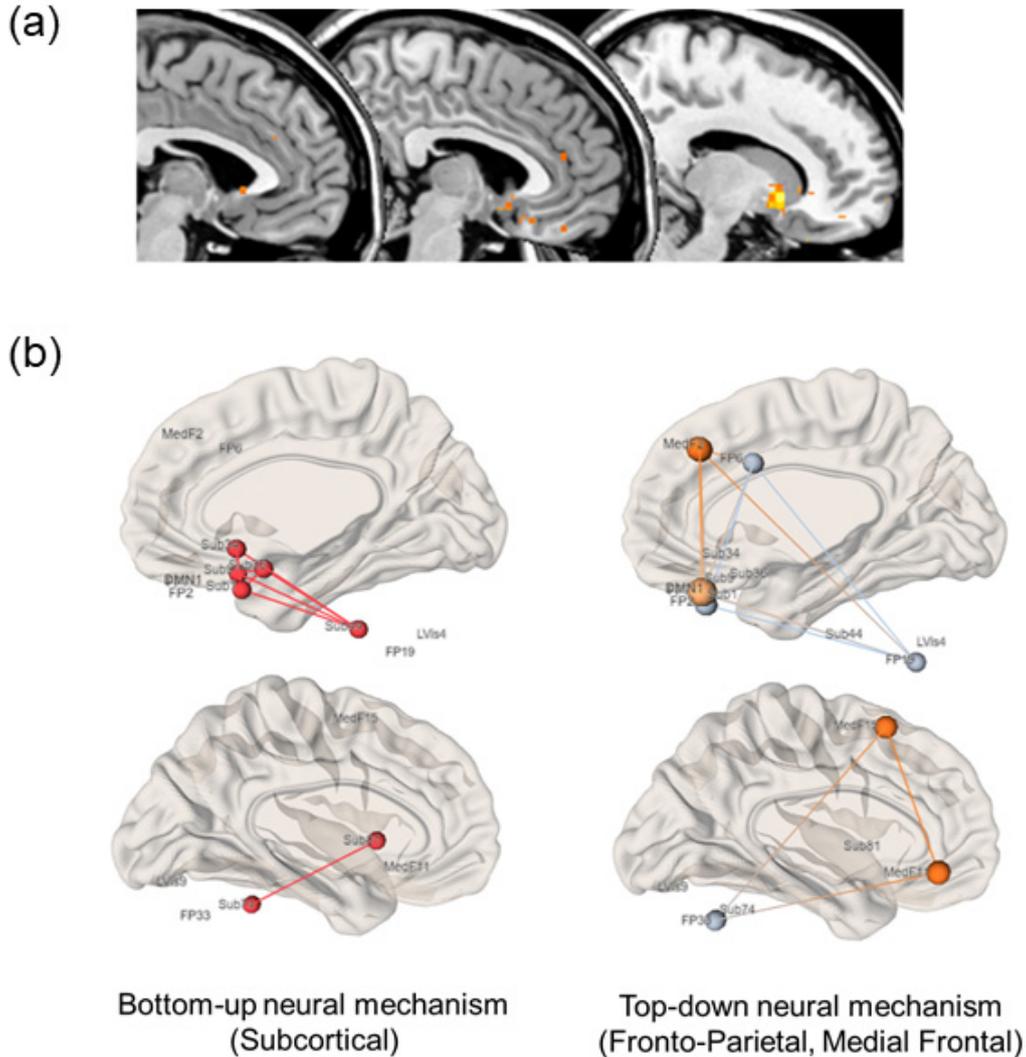


Figure 1. (a) Meta-analyzed Neurosynth reverse inference map by the term of “impulsivity.” (b) Shen et al. (2013) atlas regions that overlap with the clusters of meta-analysis map. The identified 18 regions were composed of pre-defined functional labels, including subcortical, fronto-parietal, and medial frontal networks. External nodes under the cerebrum indicate cerebellar regions.

들이 추출되었다.

Shen의 뇌 지도에서 분할된 268개의 영역 중에서 뉴로신스에서 “impulsivity” 단어로 추출된 영상과 부피소 5단위 이상($k > 5$) 중첩되는 국소 영역을 연결망 분석에 사용하였다. 이 결과 복측 선조체, 내측전전두피질, 안와전두피질, 상측전전두피질, 소뇌 등을 포함하는 18개의 영역이 충동성 연결망의 관심 영역으로 정의되었다(Figure 1). 정준상관분석에서 과적합이 발생하지 않도록 차원을 축소하기 위해 총 153개의 연결성(18개 영역들 간의 연결) 측정치의 변산을 19.78% 설명하는 3개의 주성분 성분으로 분해하여 정준상관분석에 사용했다(Perry et al., 2017).

정준상관분석

MATLAB(2015b, Mathworks, Natick, MA)에 내장된 canoncorr 함수를 사용하여 정준상관분석을 실시했다. 이를 통해 3개의 충동성 연결망 주성분 점수의 정준변량(U)과 UPPS-P의 각 요인별 문항(부정 긴급성: 12문항, 지속성 부족: 10문항, 계획성 부족: 11문항, 감각추구: 12문항, 긍정 긴급성: 14문항)의 정준변량(V) 간의 가장 높은 상관관계를 갖는 선형적 조합을 찾는다(Figure 2). 정준상관분석은 자료 내에서 가장 높은 상관관계의 조합을 찾는 과정에서 과적합이 발생하기 때문에 정준상관관계 값의 통계적 유의성을 확인하는 순열검증(permutation test)을 실시했다. 척도 문항 반응을 참가자의 순서에 대해 무선적으로 섞은 5,000회 동일 분석으로 정준상관의 영 분포(null distribution)으로 생성하

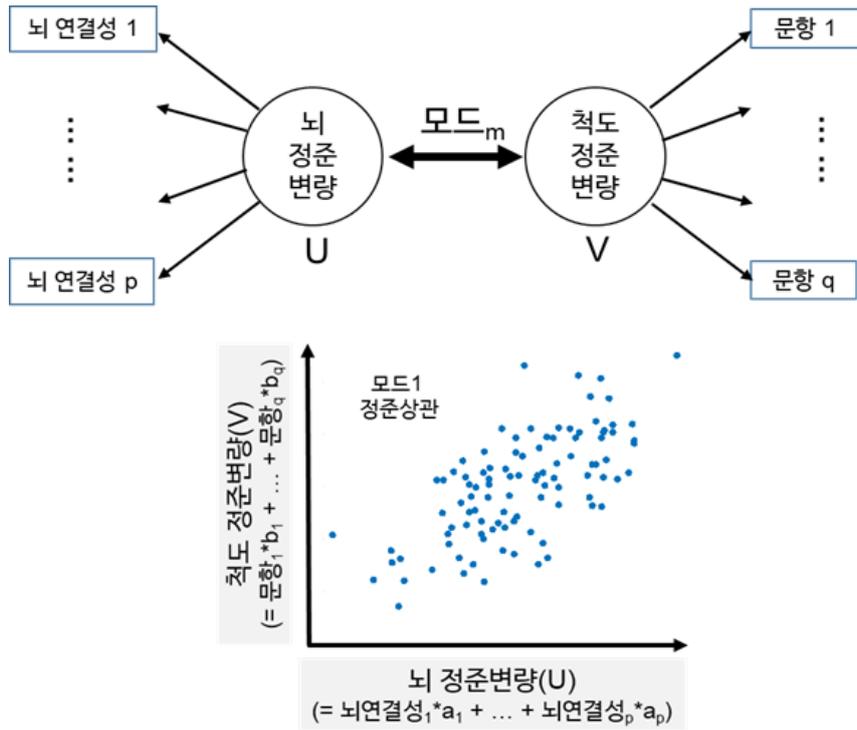


Figure 2. Canonical Correlation Analysis (CCA) scheme. CCA is applied to find the combined correlation modes between brain functional connectivity and self-reported item responses.

여 실제 정준상관 값의 유의 확률(p -value)를 다음과 같이 계산하였다: $p = (\text{순열검증에서 계산된 } r \text{ 중 관찰된 } r \text{보다 크거나 같은 경우의 수}) / 5000$. 순열검증에 따른 정준상관의 유의수준은 $p < 0.05$ 의 기준을 적용하였다. 또한 충동성-관련 뇌 연결망의 설명적 타당도를 확인하기 위해, 268개의 전체 영역 중 18개의 영역을 무선적으로 선택한 뇌 연결망을 사용하여 동일한 5,000회의 분석을 실시한 후 생성된 영 분포에서 유의 수준을 계산하였다. 도출된 정준변량이 충동성 측정치와 부적 상관관계인 경우에는 해석의 편이를 위해 정준변량이 충동성과 정적 상관을 가지도록 (-1)을 곱했다. 정준상관분석은 도입된 측정치의 최소 차원에 따라 세계의 정준상관 모드(mode)가 도출되었다. 각 모드는 뇌와 척도의 정준변량 쌍(U, V)으로 구성되며, 다른 모드의 정준변량 간에서는 상관관계를 갖지 않도록 구성된다. 본 연구에서는 선행연구에 기반하여 UPPS-P의 각 요인이 단일한 변량을 구성할 것으로 예상하고(Smith et al., 2015), 가장 높은 설명량을 갖는 첫 번째 모드를 주요 결과로 해석했다.

정준변량의 부하 가중치

순열검증에서 통계적으로 정준상관관계가 유의미한 경우, 뇌 연결망 주성분의 선형적 조합으로 구성된 정준변량 점수 U (주성분1*부하1 + 주성분2*부하2 + 주성분3*부하3)과 UPPS-P의 각 요인 문항 반응의 선형적 조합으로 구성된 정

준변량 점수 V(문항1*부하1 + 문항2*부하2 ... 문항n*부하n)를 구했다(Figure 2). UPPS-P의 문항 반응의 정준변량(V)과 개별 문항과의 Pearson 상관관계를 통해 척도 정준변량의 표준화된 부하 가중치를 확인했으며, 뇌 연결망 정준변량(U)과 뇌 영역 간 연결성 간의 상관관계를 통해 뇌 정준변량의 표준화된 부하 가중치를 확인했다($r > .30$). 동일 요인 내에서 다른 추가적 모드의 존재 가능성을 완전히 배제하지 않았기 때문에 추가로 도출된 두 번째 또는 세 번째 정준상관 모드가 유의미한 경우 문항 가중치의 사후적 해석이 이루어졌다.

부정정서성 및 행동 중독 관계

정준상관분석이 통계적으로 유의미한 경우, 문항 중 특히 충동성 연결망을 반영하는 척도 정준변량(V)이 충동성과 관련 있는 부정정서성, 중독 성향과 맺는 관계를 추가로 탐색했다.

신뢰도 분석

윈도우용 SPSS 23.0이 신뢰도 분석에 사용되었다. 선행 연구와 유사한 수준의 내적 합치도계수(Cronbach alpha)를 갖추었는지 확인되었다(alpha = .78 - .92). 정준상관분석이 문항의 정준변량 가중치가 내적 합치도와 같은 신뢰도 속성과 관련된지 확인하기 위해, 개별 문항이 해당 요인의 나머지 문항 총점과 맺는 상관관계를 계산했다. 이 상관관계가 높을

수록 요인 전체의 속성과 합치하는 문항으로 보고, 정준상관관계가 유의미하게 관찰된 요인의 문항들에 대해서 내적 합치도가 클수록 정준변량의 부하가 클 것인지 상관관계의 정적 관계(Spearman 서열 상관관계) 여부를 탐색했다.

결 과

UPPS-P의 신뢰도 및 요인구조

한국판 UPPS-P 척도의 기술통계와 내적 합치도 계수는 Table 1에 제시되어 있으며, 0.84에서 0.91에 이르는 우수한 신뢰도를 나타냈다. 문항별 상관행렬을 확인했을 때 5개 요인에 따라 구분되는 구조를 갖추었으며, 부정 긴급성은 긍정

긴급성과, 그리고 지속성 부족은 계획성 부족과 높은 상관관계를 보임에 따라 긴급성과 신중성(지속성, 계획성 부족), 감각추구 요인으로 포괄되는 3요인 구조의 형태도 갖추었다 (Figure 3). 감각추구 요인은 계획성, 지속성, 부정 긴급성과 부적 상관관계를 보였다. 즉, 감각추구 성향이 있는 청소년들은 스스로 신중하게 행동하는 사람으로 평정하는 경향이 있었다.

정준상관분석

각 UPPS-P 요인별 정준상관관계와 순열검증 결과, 다섯 개의 요인 중 부정 긴급성, 감각추구, 긍정 긴급성 요인의 문항들은 첫 번째 모드의 변량 간 상관관계가 유의미했다

Table 1. Descriptive characteristics, internal consistency, and Pearson's correlations of UPPS-P subfactor sum scores.

| Subfactors (number of items) | Mean (SD) | Internal consistency | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|------------------------------|-----------|----------------------|--------|---------|---------|-------|---|
| Negative Urgency (12) | 27.6(6.0) | .840 | 1 | | | | |
| Lack of Persistence (12) | 20.9(5.6) | .855 | .371** | 1 | | | |
| Lack of Premeditation (11) | 23.7(5.3) | .853 | .230 | .513** | 1 | | |
| Sensation Seeking (10) | 34.3(7.7) | .858 | -.279* | -.420** | -.330** | 1 | |
| Positive Urgency (14) | 28.0(7.7) | .906 | .830** | .225 | .092 | -.034 | 1 |

* $p < .05$, ** $p < .01$

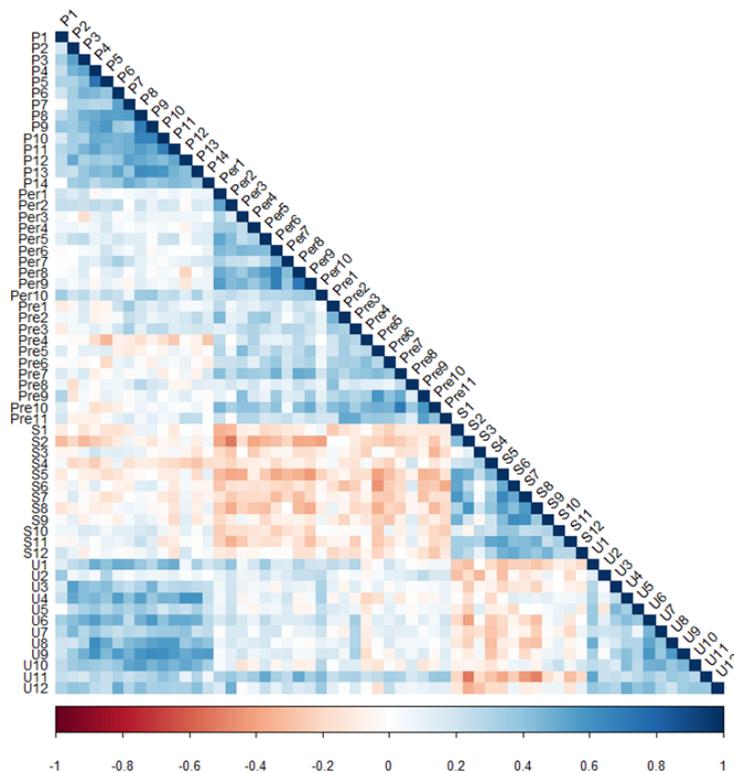


Figure 3. Item-level correlation matrix of UPPS-P scale. U: Negative Urgency, S: Sensation Seeking, Pre: Lack of Premeditation, Per: Lack of Persistence, P: Positive Urgency.

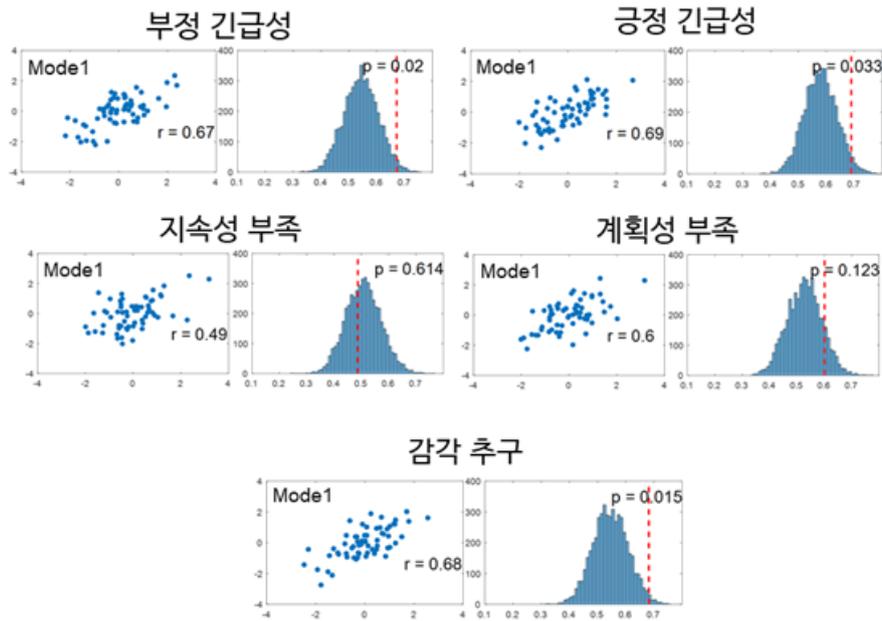


Figure 4. Canonical correlation analysis and permutation test result of UPPS-P subfactors. Scatter plot: X-axis, canonical variate (U) of brain connectivity; Y-axis: canonical variate (V) of UPPS-P items. Histogram: Null distributions of permutation test results. Red-dashed lines: True canonical correlation value.

(Figure 4, $ps < .05$). 즉, 충동성 연결망의 선형적 조합과 요인 내 문항의 선형적 조합 간의 상관관계를 최대화하는 정준상관($r = .67-.69$)은 통계적으로 유의미하게 영 분포를 상회하는 값이었다. 부정 긴급성의 경우 총 3개의 정준상관 모드 중에서 세 번째 모드의 정준변량 상관관계에서도 유의미했다($r = .42, p = .021$). 즉, 부정 긴급성의 일부 문항들은 첫 번째 모드에서 맺는 뇌 연결성-문항반응 간의 관계와 독립적인 차원에서 다른 선형적 조합 패턴으로 관계를 맺고 있었다.

관찰된 정준상관관계가 충동성-관련 뇌 기능의 개인차를 특징적으로 반영하는 것인지 확인하기 위해, 18개의 충동성 영역을 제외한 나머지 영역에서 무선적으로 18개의 영역을 선택하거나, Shen 등(2013)의 지도에서 정의된 나머지 250개의 영역에서 동일한 정준상관분석을 실시했을 때에는 유의미한 정준상관관계가 관찰되지 않았다($ps > .343$). 또한 무선적으로 18개의 영역을 선택해서 5,000회의 정준상관분석을 실시한 결과를 영 분포로 설정한 경우에도 충동성-관련 연결망의 정준상관관계는 통계적으로 유의미하게 높은 값을 보였다($ps < .030$). 즉, 충동성-관련 영역으로 도출한 정준상관관계 값은 뇌 영역 선행 가설이 없이 도출하는 정준상관관계 값의 영 분포를 유의미하게 상회했다(부정 긴급성: $p = .013$, 지속성 부족: $p = .490$, 계획성 부족: $p = .151$, 감각 추구: $p = .006$; 긍정 긴급성: $p = .022$).

문항-단위 정준변량 상관

통계적으로 유의미한 정준변량이 어떤 문항을 조합한 잠재적 구조인지 확인하기 위해서 사후적으로 정준변량과 각 문항의 상관분석을 실시했다(Table. 2 - 4). 정준변량 간 관계가 확인된 3개 요인을 구성하는 34개 문항은 내적 합치도(총점-문항 상관)($r_s(36) = .10, p = .553$) 또는 표준편차($r_s(36) = -.03, p = .849$) 유의미한 상관관계가 관찰되지 않았다. 즉, 정준변량의 부하(loading) 수준은 해당 문항의 내적 합치도나 문항 반응의 변산을 반영하는 것은 아님을 확인했다.

사후적 상관분석 결과

문항 반응을 조합한 정준변량(V)이 어떤 구성개념 특성을 갖는지 탐색하기 위해 인접 요인(부정정서성, 행동 중독)과 사후적 상관분석을 실시했다(Table 5). 부정 긴급성 요인의 정준변량은 우울 증상(CES-D), 스마트폰 중독 자가진단 척도 점수와($p < .001$), 긍정 긴급성 요인의 정준변량은 지각된 스트레스(PSS)와 우울 증상 간의 정적 상관관계를 보였다($p < .005$). 스마트폰 중독 자가진단 척도 점수의 경우, 부정 긴급성에서는 높은 상관관계를 보였으나($p < .005$), 감각추구 요인과 긍정 긴급성에서 정적 관계가 관찰되지 않았다.

뇌 연결성의 정준변량(U) 특성을 확인하기 위해 충동성 연결망에서 어떤 영역 대 영역 간의 연결이 정준변량과 높은 상관관계를 갖는지 탐색했다(Figure 5). 내측 전전두피질 네

Table 2. Weights of Negative Urgency items. Correlation between canonical variate (V) and item responses indicate brain connectivity based weights (first and second column coefficients). Correlation between sum score and item responses indicate internal consistency (third column coefficients).

| Negative Urgency items | Correlation with canonical variate (mode 1) | Correlation with canonical variate (mode 3) | Correlation with factor score |
|---|---|---|-------------------------------|
| 나는 충동을 통제하는 데에 어려움이 있다 | 0.44 | 0.52 | 0.55 |
| 기분이 나쁠 때면 당장 기분이 좋아지게 하기 위해서 나중에 후회할 일을 종종 하게 된다 | 0.43 | 0.05 | 0.51 |
| 나는 때때로 나중에 후회할 충동적인 행동을 한다 | 0.36 | 0.13 | 0.60 |
| 나의 욕구(음식, 담배 등에 대한)에 저항하는 것이 어렵다 | 0.34 | -0.32 | 0.17 |
| 나중에 빠져 나오기를 원하는 일에 종종 말려들곤 한다 | 0.29 | 0.56 | 0.39 |
| 나는 기분이 나빠지면 생각 없이 행동하기 때문에 종종 문제를 악화시킨다 | 0.25 | 0.28 | 0.60 |
| 거부당했다고 느끼게 되면, 나는 종종 나중에 후회할 말을 하게 된다 | 0.20 | -0.16 | 0.48 |
| 속이 상할 때, 나는 종종 생각 없이 행동하곤 한다 | 0.19 | 0.01 | 0.67 |
| 감정에 따라 행동하는 것을 억제하기 어렵다 | 0.07 | 0.05 | 0.57 |
| 논쟁이 격해지면, 나는 종종 나중에 후회할 말을 하곤 한다 | 0.05 | 0.21 | 0.56 |
| 나는 내 감정들을 항상 잘 통제한다 | -0.14 | 0.43 | 0.50 |
| 기분이 나쁠 때면 가끔씩, 내가 하고 있는 일이 내 기분을 더 나쁘게 하더라도 그 일을 멈추기가 어렵다 | -0.19 | 0.46 | 0.44 |

Table 3. Weights of Sensation Seeking items. Correlation between canonical variate(V) and item responses indicate brain connectivity based weights (first column coefficients). Correlation between sum score and item responses indicate internal consistency (second column coefficients).

| Sensation Seeking Items | Correlation with canonical variate (mode 1) | Correlation with factor score |
|--|---|-------------------------------|
| 대체로 나는 새롭고 흥미로운 경험과 감각을 쫓아다닌다 | 0.46 | 0.53 |
| 나는 스쿠버 다이빙을 하고 싶다 | 0.32 | 0.61 |
| 나는 높은 산비탈에서 빠르게 내려오는 스키의 감각을 즐길 것 같다 | 0.29 | 0.39 |
| 나는 모험하는 것을 상당히 즐긴다 | 0.22 | 0.76 |
| 나는 재빠르게 다음 움직임을 선택해야 하는 운동경기나 게임을 좋아한다 | 0.16 | 0.21 |
| 나는 다소 두렵고 이색적인 것일지라도 새롭고 자극적인 경험과 감각을 좋아한다 | 0.03 | 0.68 |
| 나는 낙하산 점프를 즐길 것 같다 | 0.02 | 0.63 |
| 나는 수상스키를 즐길 것 같다 | -0.04 | 0.49 |
| 나는 빠른 속도로 운전하는 것을 즐길 것 같다 | -0.04 | 0.54 |
| 때때로 나는 다소 두려운 일을 하는 것을 좋아한다 | -0.06 | 0.54 |
| 나는 어떤 일이든 일단 시도해보려고 한다 | -0.25 | 0.44 |
| 나는 비행기 조종법을 배우고 싶다 | -0.38 | 0.64 |

트위크(Medial Frontal network) 영역 간의 연결이 약할수록, 그리고 피질하 네트워크(Subcortical network)와 전두-두정 네트워크(Fronto-Parietal Network) 내의 연결이 약할수록 부정 긴급성의 정준변량이 컸다. 전두-두정 네트워크 내의 연결이 강할수록, 그리고 피질하 네트워크와 전두-두정 네트워크 또는 소뇌 간의 연결이 강할수록 감각추구 요인의

정준변량이 컸다. 긍정 긴급성의 경우 전두-두정 네트워크의 일부는 다른 네트워크와의 연결이 강할수록 긍정 긴급성의 정준변량이 높은 경향이 있었으나, 소뇌(시각 네트워크)와 피질하 네트워크의 일부의 연결성은 낮을수록 긍정 긴급성 변량이 높았다.

Table 4. Weights of Positive Urgency items. Correlation between canonical variate (V) and item responses indicate brain connectivity based weights (first column coefficients). Correlation between sum score and item responses indicate internal consistency (second column coefficients).

| Item | Correlation with canonical variate (mode 1) | Correlation with factor score |
|--|---|-------------------------------|
| 다른 사람들은 내가 매우 기분이 좋아 흥분했을 때 하는 행동에 대해서 충격을 받거나 우려한다 | 0.57 | 0.55 |
| 다른 사람들은 내가 어떤 일로 기분이 매우 좋아졌을 때 잘못된 선택을 한다고 말하곤 한다 | 0.50 | 0.61 |
| 정말 기분이 좋아 흥분할 때는 내 행동의 결과를 생각하지 않는 경향이 있다 | 0.48 | 0.70 |
| 어떤 일로 매우 기분이 좋아졌을 때, 나는 나쁜 결과를 가져올 수 있는 일을 하는 경향이 있다 | 0.34 | 0.76 |
| 기분이 매우 좋은 상태에서 내가 하는 행동에 대해 스스로 놀라곤 한다 | 0.28 | 0.51 |
| 기쁨에 넘칠 때, 나는 극단적으로 행동하는 것을 멈추기가 어렵다고 느낀다 | 0.24 | 0.71 |
| 정말 기분이 좋아 흥분했을 때, 나는 생각 없이 행동하는 경향이 있다 | 0.21 | 0.70 |
| 매우 행복하다고 느낄 때, 나는 내 삶에 문제를 야기할지도 모르는 일을 해버리는 경향이 있다 | 0.19 | 0.61 |
| 아주 기분이 좋을 때, 나는 나에게 문제가 될 수 있는 상황에 빠져 드는 경향이 있다 | 0.19 | 0.51 |
| 매우 기분이 좋을 때, 나는 욕구에 몸을 맡기거나 내 멋대로 해도 괜찮다고 느낀다 | 0.10 | 0.63 |
| 강렬한 환희를 느낄 때, 나는 통제력을 상실하는 경향이 있다 | 0.07 | 0.63 |
| 기분이 매우 좋아졌을 때, 나는 평소라면 편안하게 느끼지 않았을 상황에 처하곤 한다 | -0.03 | 0.62 |
| 기분이 아주 좋을 때, 나는 통제력을 잃어버리는 경향이 있다 | -0.06 | 0.67 |
| 매우 행복하다고 느낄 때는 나쁜 결과를 초래할 수도 있는 행동을 멈출 수가 없을 것 같다 | -0.35 | 0.31 |

Table 5. Correlation between canonical variate (CV) of UPPS-P scale (V), negative emotionality and behavior addictiveness.

| | Negative Urgency CV (mode 1) | Negative Urgency CV (mode 3) | Sensation Seeking CV (mode 1) | Positive Urgency CV (mode 1) |
|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| Depressive symptoms (CES-D) | 0.45** | 0.09 | 0.00 | 0.39** |
| Smartphone additive behavior | 0.41** | 0.10 | -0.25* | 0.00 |
| Perceived Stress (PSS) | 0.19 | 0.31* | 0.16 | 0.36** |

** $p < .01$, * $p < .05$

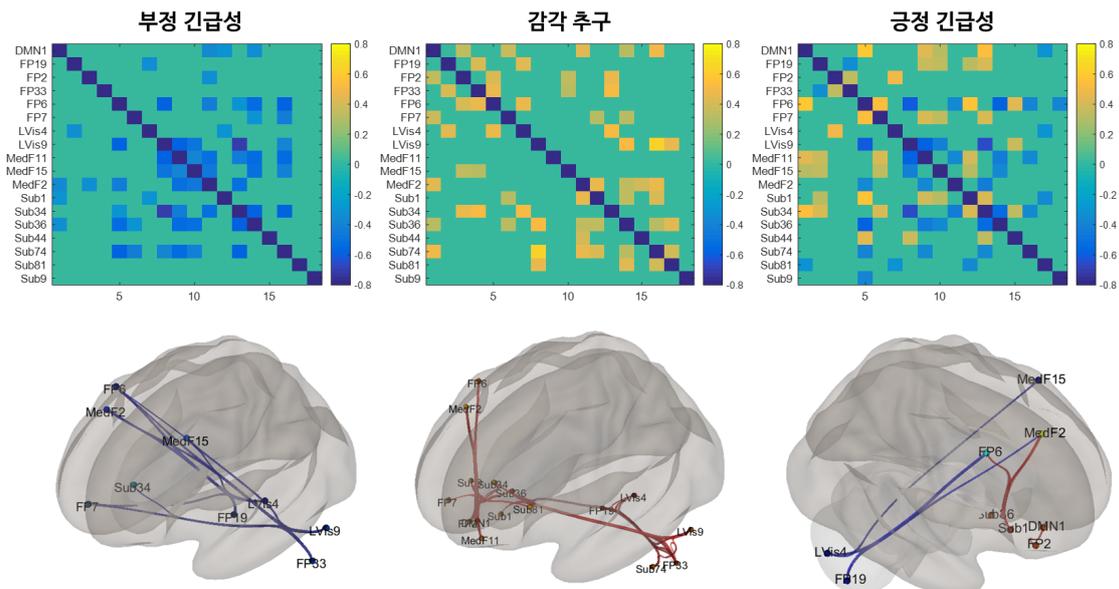


Figure 5. Weights of brain canonical variate (U). Arbitrary threshold ($|r| > 0.30$) are applied for the purpose of visualization and interpretability. Correlation between canonical variate score and brain connectivity are shown. Network membership labels are based on the Shen's parcellation atlas. DMN: Default Mode Network, FP: Fronto-Parietal Network, LVis: Lateral Visual Network, MedF: Medial Frontal Network, Sub: Subcortical Network.

논 의

본 연구에서는 정준상관분석을 통해 다차원적 충동성 척도(UPPS-P)의 자기보고 응답이 충동성과 관련된 뇌 연결망과 유의미한 다변량적 관계를 맺는지 탐색했다. 정준상관분석 결과, 충동성에 특정적으로 관련되는 뇌 연결성은 부정 긴급성, 감각추구, 긍정 긴급성의 일부 문항을 통해 가장 잘 설명되었다. 긴급성과 감각추구 요인의 일부 문항들은 충동성-특정적인 뇌 연결망에 기반하고 있음을 확인했다. 본 연구 결과는 자기보고 응답으로 측정된 특질 충동성 척도가 충동성의 구성개념을 타당하게 측정하는 도구일 수 있음을 제안한다.

부정 긴급성과 긍정 긴급성은 UPPS-P의 3요인 구조에서 공통 요인으로 묶일 수 있으며(Lim & Lee, 2014) 본 연구에서도 높은 요인 점수 간 상관관계를 보였다($r = .83$). 두 긴급성의 뇌 정준변량 부하 가중치를 탐색했을 때, 연결성 상관자의 공통점과 차이점이 관찰되었다. 두 가지 긴급성 요인은 공통적으로 외측 소뇌(전두-두정 네트워크; FP33, FP19)에서 내측전전두피질 네트워크에 이르는 장거리 연결성이 약할수록 특질 충동성이 높았다. 긍정 긴급성 요인에서는 보상 회로의 중심인 복측 선조체의 연결성이 강할수록 특질 충동성이 높았다. 그리고 긍정 긴급성과 감각추구 요인에서는 보상 민감성과 관련된 복측 선조체와 내측 전전두피질 간을 잇는 보상경로의 강한 연결성을 반영했다. 청소년기 충동성을 설명하는 불균형 모델에 따르면, 청소년들은 보상 자극을 민감하게 추구하는 행동 경향이 빠르게 발달하는 반면, 이를 억제하고 조절하는 하향 조절(top-down) 능력이 늦게 발달함에 따라 충동적 행동 조절에 어려움이 발생한다(Casey et al., 2015). 본 연구 결과에서 복측 선조체 중심의 강한 연결성은 보상 자극에 대한 민감성을, 그리고 소뇌에서 내측 전전두피질에 이르는 전두-두정 네트워크는 과잉 보상반응을 하향 조절하는 기전을 의미할 수 있다. 최근 연구에 따르면 소뇌는 과제-일반적인 역할을 수행하는 동시에, 전두-두정 네트워크의 주요 일부로서 적응적 통제에 중요한 역할을 수행한다(Marek et al., 2018). 청소년기를 거치며 아동들은 소뇌와 전전두피질 간의 기능적 연결성이 발달하며(Fair et al., 2008), 이는 충동 조절의 문제를 겪고 있는 행동 중독 집단에서 소뇌 구조 및 기능적 연결성의 차이를 보고한 선행 연구와도 일관된다(Moulton et al., 2014; Kim et al., 2017).

많은 선행 연구에서는 충동적 특성을 반영하는 초점적인 신경 상관자를 탐색했으나, 개별 영역을 통계 검증할 경우

다중 비교에서 생존한 영역과의 관계만이 최종적인 결과로 요약되기 때문에 개인차의 발생에 기여하는 종합적 신경 기전을 타당하게 확인하기 어렵다. 본 연구에서는 뇌 영역별 기능적 연결성을 검증의 개별 단위로 두지 않고, 주성분 분석을 통해 자료의 차원을 축약한 이후의 정준상관관계에 대해서만 검증함으로써 그러한 한계점을 일부 해소할 수 있었다. 실제로 긍정 긴급성의 경우 동일한 네트워크에 소속된 뇌 영역이라 하더라도(Shen의 기능적 지도에서 정의된 피질 하 네트워크) 충동성을 단일한 방향성으로 설명하지 않았으며, 연결성의 정적 관계와 부적 관계의 혼합된 조합이 긍정 긴급성을 잘 설명했다. 즉, 특정 영역의 연결성이 특질의 개인차로 일대일 대응이 될 것을 예상하는 것은 직관적 이해에 도움이 될 수 있지만, 단순화된 뇌-행동 대응 모형으로는 특질의 개인차를 설명하기에 어려우며, 여러 영역 간 연결성의 다변량적 조합이 특질 충동성을 타당하게 설명할 수 있다. 이는 복합적인 심리적 구성개념(지능, 성격특질)의 개인차가 정적/부적, 네트워크 내/외 간의 연결이 혼합된 패턴에 의해 가장 잘 설명된다는 선행연구와도 일관된 결과이다(Smith et al., 2015; Rosenberg et al., 2017).

문항-수준의 정준변량 가중치에서는 정준변량(V)과 높은 상관을 보였던 문항과 그렇지 않은 문항이 구분되었다. 총점 간 상관관계가 현저히 낮은 문항은 정준변량과도 관련성이 낮은 경향이 있었으나(“기분이 나쁠 때면 가끔씩, 내가 하고 있는 일이 내 기분을 더 나쁘게 하더라도 그 일을 멈추기가 어렵다”(22-부정 긴급성), “나는 어떤 일든 일단 시도해보려고 한다”(8-감각추구), “매우 행복하다고 느낄 때는 나쁜 결과를 초래할 수도 있는 행동을 멈출 수가 없을 것 같다”(5-긍정 긴급성)), 내적 합치도가 높은 문항 중에서도 정준변량의 부하를 반영하지 않는 문항이 많았다. 문항의 질문에서 사용된 구체적인 어휘는 개인마다 다른 내적 표상을 지칭할 수 있으며, 한국 청소년에게 관련성이 낮은 예시(“나는 수상스키를 즐길 것 같다”)나 단일 문장 내에서 두 가지 이상의 이질적인 속성(“논쟁이 격해지면, 나는 종종 나중에 후회할 말을 하곤 한다”)을 묻는 경우 충동성의 신경 기반을 효과적으로 반영하지 못했을 가능성이 있다. 충동성-관련 뇌 연결망이라는 준거에 부합하지 않는 문항들은 특질 충동성을 측정한다 하더라도, 지금까지 밝혀진 충동성의 신경회로 개인차를 반영하지는 않을 가능성이 높다.

UPPS-P는 요인 내의 내적 합치도가 높기 때문에 첫 번째 정준상관 모드가 요인의 전체 문항을 포괄하여 구성될 것으로 예상되었으나, 일부 문항만 정준변량을 구성했을 뿐만 아니라, 부정 긴급성의 경우 세 번째 정준상관 모드에서 독립

적인 충동성 연결망과의 정준상관관계가 관찰되었다. 세 번째 모드에서는 첫 번째 모드에 포착되지 않은 문항들(“나는 내 감정들을 항상 잘 통제한다”)로 구성되었으며, 이는 첫 번째 모드와 달리 우울 증상과 스마트폰 중독과의 관련성이 낮은 반면, 높은 지각된 스트레스와 관련이 있었다. 이는 부정정서의 조절 곤란을 반영하는 문항과 충동 억제를 반영하는 문항이 뇌 연결망 패턴에 따라 구분될 수 있음을 시사한다. 이처럼 뇌 기능의 다변량적 패턴은 혼재되어있는 인지적 속성 내의 세분화된 요소를 포착하는 도구로 활용될 수 있다(Drysdale et al., 2017; Woo et al., 2017).

정준변량이 갖는 속성을 추론하기 위해 탐색한 상관분석에서는 긴급성 요인이 우울 증상, 지각된 스트레스, 또는 스마트폰 중독 성향과 관련이 있음을 확인했다. 특히 우울 증상은 특질 충동성 척도 문항과 유사한 수준으로 높은 정준변량과의 상관관계를 보였다($r = .39 \sim .45$). 이러한 경향은 긍정적으로 고양된 정서상태를 질문하는 긍정 긴급성 문항에도 비슷한 양상이었기 때문에 충동을 지연하지 못하고 조급하게 처리하려는 긴급성 요인이 우울 증상과도 관련이 있음을 의미한다. 이는 발달 과정의 공통적 정신병리 요인(p-factor) 하에서 외현화(externalizing) 행동 문제와 우울 증상과 같은 내현화(internalizing)는 서로 높은 상관관계를 보일 수 있으며, 청소년기 충동 억제 능력의 결함은 다양한 정신병리와 동시에 나타날 가능성을 시사한다(Caspi et al., 2014; Rice et al., 2018). 본 연구에서 감각추구 요인은 오히려 낮은 수준의 중독 성향과 관련이 있었다. 선행 연구에서도 감각추구 요인은 행동 문제와 관련성이 낮았으며($r \leq .10$) 음주문제 또는 위험 성행동에서만 경미한 관계를 보였던 것을 고려할 때(Lim & Lee, 2016), 충동성 척도에서 측정되는 감각추구 요인은 청소년기 문제 행동에는 직결되지 않는 높은 활동성과 보상 민감성 경향을 반영하는 것으로 보인다.

신중성 요인(지속성, 계획성)에서는 충동성-관련 뇌 연결망의 정준상관이 관찰되지 않았다. 선행연구에서 신중성 부족 요인은 긴급성과도 높은 상관관계를 보일 뿐만 아니라, 충동 관련 행동 문제와도 관련성이 높았으나(Whelan et al., 2014; Lim & Lee, 2016), 본 연구에서 충동성 연결망의 선행적 조합은 신중성 요인을 적절히 설명하지 못했다. 그 이유는 신중성 요인이 충동성 신경회로 간의 관계가 직접적이지 않기 때문일 수 있다. 신중성 요인은 긍정정서 기질, 부정정서성, 보상 민감성과 같은 상향적(bottom-up) 충동성의 생물학적 기질보다는 피질 수준에서의 하향적 통제를 주요하게 반영할 가능성이 높다(Beauchaine et al., 2017). 문항을 구성하는 내용에서도 긴급성 요인은 부정 또는 긍정적 정서

가 높아진 충동적 상태에 대해 구체적으로 묻고 있는 반면, 신중성 요인의 문항들은 정서적으로 고양된 상황을 가정하지 않은 전반적인 자기 평정을 묻고 있다. 이 때, 개인들은 높은 신중성을 취하도록 하는 활용 가능한 전략의 다양성이 높아질 수 있으며, 개인마다 다른 인지 과정을 매개해서 신중성을 갖춘 경우 신경 상관자가 뚜렷하지 않을 수 있다. 선행 연구에서도 보상 민감성과 부정정서성과 같은 기질에 비해 성실성(conscientiousness)과 같은 특질에 대한 뇌 기능 연결망의 예측력이 상대적으로 저조했다(Nostro et al., 2018; Jiang et al., 2018). 또 다른 가능성은 연구 참가자들 대부분이 충동 행동의 문제를 겪고 있지 않으며, 통상적 발달 과정의 청소년들은 행동 문제를 겪고 있는 집단에 비해 신경상관자가 뚜렷하지 않을 수 있다(Plichta et al., 2014; Kim et al., 2017). 유의미한 관계성이 관찰되지 않은 또 다른 가능성으로는 개인 내의 기질(temperament) 수준을 벗어나는 외적 요인(또래 관계, 가정 환경, 이웃 및 지역사회 환경)은 기질이 충동적 행동에 이르는 과정을 장기적 과정을 매개했기 때문일 수 있다(Beauchaine et al., 2017). 즉, 신중성은 외적 요인과 상호작용하면서 누적된 자기개념과 충동 행동의 통제 경험에 대한 평정을 반영할 수 있으며, 이러한 경우에는 현 시점의 신경회로 특성을 드러내는 뇌 연결성의 개인차와는 직접적인 관계를 맺지 못할 수 있다.

본 연구는 특정 충동적 문제 행동을 보이는 진단 범주 또는 위험군 집단을 구성하여 정상 통제 집단과 비교를 하는 접근법을 사용했던 선행 연구들과 중요한 차별점을 갖는다. 임상적 집단의 속성의 차이를 밝히는 접근은 구체적인 충동 행동(예. 물질 사용, 인터넷 중독 등)에 대한 결론을 내릴 수 있지만, 해당 집단의 특성이 장기간의 행동 중독이 특정적으로 뇌 구조 및 기능의 재구조화를 야기한 차이인지, 기존의 중독 취약성에 의한 차이인지 구분하기가 어렵다는 한계가 있다. 또한, 특정 장애 진단은 인지 과정의 결함에서 비롯된 결과가 아닐 경우, 뇌에서의 집단 간 차이를 관찰한다 하더라도 그 차이가 인지 및 신경학적 과정의 개인차와 어떻게 관련되는지 설명하기 어렵다(Cuthbert & Kozak, 2013). 본 연구에서 임상적 집단을 임의로 구분하는 것이 아니라, 심리 측정적 속성에서 타당화된 구성개념의 신경 기반을 포착함으로써, 특질 충동성이 관련 신경회로의 이상에서 비롯됨을 추론할 수 있었다(Beauchaine & McNulty, 2013).

본 연구에서 고려할 몇 가지 한계점이 있다. 첫째로, 연구로 모집된 청소년이 참가자들이 충분히 대표성을 갖지 않을 수 있다. 참가자들을 연구 참여에 동의한 보호자들은 상대적으로 학업적 교육 동기 수준이 높은 동시에 청소년 참가자들

의 행동 문제에 대한 개선의 필요성을 느꼈을 가능성이 있다. 신경정신과적 장애의 여부가 선별된 집단이었기 때문에 문제적 수준의 충동 행동을 겪고 있는 개인차가 미미했을 수 있으나, 일부 참가자는 높은 부정정서성과 스마트폰 중독 행동을 보이고 있다는 점을 고려할 때, 전형-발달(typically developing) 청소년 집단이라는 대표성이 혼재되었을 수 있다. 두 번째로, 본 연구에서는 자료의 수가 제한되었기 때문에 UPPS-P 척도의 요인 분석을 실시한 선행 연구의 요인 구조(Lim & Lee, 2014)에 기반해서 문항을 분류했고 정준상관분석을 각 요인에 개별적으로 검증되었다. 하지만 청소년 집단에서 동질적인 요인 구조와 측정 동일성을 갖추지 못했을 가능성이 있다. 척도의 모든 59개 문항에 대한 정준상관분석이 실시된다면, 기존의 요인 구조에 의존하지 않고 뇌 연결망 차원에서 여러 차원의 직교하는 문항-뇌 연결성 관계로 구분될 수 있는지 확인할 수 있을 것이다(Xia et al., 2018). 세 번째로 본 연구에서 사용한 휴지기 뇌 기능 영상은 특질 충동성의 개인차를 확인하기에 충분한 정보를 담지 않았을 수 있다. 청소년의 뇌는 부정 또는 긍정 정서가 고양되었을 때에 충동적 상태를 민감하게 반영할 수 있으며, 특정 인지 상태를 유도했을 때에 충동성의 개인차가 극대화될 가능성이 있다(Finn et al., 2017; Rudolph et al., 2017). 마지막으로 본 연구는 뇌의 다변량적 속성이 체계적 문항 반응으로 이어질 것이라는 인과적 설명 모델에 기반하고 있으나(Kievit et al., 2011), 횡단적 상관관계의 관찰만으로는 인과적 추론에 제약이 있다. 반복적인 충동적 행동으로 인해 대인관계나 학업 및 일상생활의 어려움을 겪었을 수 있으며, 포착된 뇌 정준변량은 충동성을 넘어서 포괄적 적응 수준의 개인차를 반영했을 가능성이 있다.

자기보고에 기반한 척도가 측정하고자 하는 구성개념을 측정하는지 확인하는 타당화 방법은 문항 반응 간의 상관 구조를 통해 추론하는 방법에 대부분 의존한다(Hughes, 2017). 문항 응답이나 임상적 증상과의 상관관계만으로는, 인지적 과정을 시사하는 보다 기본적인 단위의 개인 속성에 대한 추론이 어렵기 때문에, 측정 구성개념에 대해서 순환적 설명에 빠지기 쉽다. 또한 특질 충동성이라는 구성개념은 실용적 목적을 위해 개발된 도구적 개념(예. 사회경제적 지위 지수)이 아니라 실제로 존재하는 신경 속성이 행동 수준에서의 개인차로 발현한다는 인과적 특질 이론에 기반을 두고 있다(Borsboom et al., 2004; Kievit et al., 2011; Fried, 2017). 따라서 신경생물학적 수준에서 관찰된 개인의 내적 속성을 사용할 경우 특질 척도의 타당도를 검증하는 새로운 방법이 될 수 있다(Depue & Collins, 1999; Strauss & Smith,

2009). 특정 특질 문항이 신경 속성을 더 크게 반영하는 것은 그 자체로 외적 타당도를 담보하지 않으나, 본 연구에서 보고된 문항의 신경 가중치는 추후 문항의 개발 및 선별 과정에서 문항의 질적 속성에 대한 유용한 자료로 고려될 수 있다. 추후 연구에서 뇌 연결성의 반영도가 높은 문항이 그렇지 않은 문항과 병리적 행동을 다르게 예측하는지에 대해 탐색될 필요가 있다.

참고문헌

- Arnsten, A. F., & Rubia, K. (2012). Neurobiological circuits regulating attention, cognitive control, motivation, and emotion: disruptions in neurodevelopmental psychiatric disorders. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry, 51*(4), 356-367.
- Baek, Y. (2010). Korean Version of the Perceived Stress Scale-10: Development of the Scale and Exploring the Effects of Perceived Stress on the Memory. *Seoul National University*.
- Banca, P., Lange, I., Worbe, Y., Howell, N. A., Irvine, M., Harrison, N. A., ... & Voon, V. (2016). Reflection impulsivity in binge drinking: behavioural and volumetric correlates. *Addiction biology, 21*(2), 504-515.
- Beauchaine, T. P., & McNulty, T. (2013). Comorbidities and continuities as ontogenic processes: Toward a developmental spectrum model of externalizing psychopathology. *Development and Psychopathology, 25*, 1505-1528.
- Beauchaine, T. P., Zisner, A. R., & Sauder, C. L. (2017). Trait impulsivity and the externalizing spectrum. *Annual review of clinical psychology, 13*, 343-368.
- Billieux, J., Van der Linden, M., & Rochat, L. (2008). The role of impulsivity in actual and problematic use of the mobile phone. *Applied Cognitive Psychology, 22*(9), 1195-1210.
- Borsboom, D., Mellenbergh, G. J., & van Heerden, J. (2004). The concept of validity. *Psychological review, 111*(4), 1061.
- Campbell, D. T., & Fiske, D. W. (1959). Convergent and discriminant validation by the multitrait-multimethod matrix. *Psychological Bulletin, 56*(2), 81-105.
- Cao, F., Su, L., Liu, T. Q., & Gao, X. (2007). The relationship between impulsivity and Internet addiction in a sample of Chinese adolescents. *European Psychiatry, 22*(7), 466-471.
- Casey, B. J. (2015). Beyond Simple Models of Self-Control to Circuit-Based Accounts of Adolescent Behavior. *Annual*

- Review of Psychology*, 66, 295-319.
- Caspi, A., Houts, R. M., Belsky, D. W., Goldman-Mellor, S. J., Harrington, H., Israel, S., ... & Moffitt, T. E. (2014). The p factor: one general psychopathology factor in the structure of psychiatric disorders? *Clinical Psychological Science*, 2(2), 119-137.
- Castellanos, F. X., Margulies, D. S., Kelly, C., Uddin, L. Q., Ghaffari, M., Kirsch, A., ... Milham, M. P. (2008). Cingulate-Precuneus Interactions: A New Locus of Dysfunction in Adult Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *Biological Psychiatry*, 63(3), 332-337.
- Cho, M., & Kim, K. (1993). Diagnostic Validity of the CES-D (Korean Version) in the Assessment of DSM-III-R Major Depression. *Journal of Korean Neuropsychiatric Association*, 32, 381-399.
- Cohen, S., Kamarck, T., Mermelstein, R., Cohen, S., Kamarck, T., and Mermelstein, R., Cohen, S., Kamarck, T., ... Mermelstein, R. (1983). A global measure of perceived stress. *Journal of Health and Social Behavior*, 24, 385-396.
- Coskunpinar, A., Dir, A. L., & Cyders, M. A. (2013). Multidimensionality in impulsivity and alcohol use: A meta analysis using the UPPS model of impulsivity. *Alcoholism: Clinical and Experimental Research*, 37(9), 1441-1450.
- Cuthbert, B. N., & Kozak, M. J. (2013). Constructing constructs for psychopathology: The NIMH research domain criteria. *Journal of Abnormal Psychology*, 122(3), 928-937.
- Cyders, M. A., & Coskunpinar, A. (2011). Measurement of constructs using self-report and behavioral lab tasks: Is there overlap in nomothetic span and construct representation for impulsivity? *Clinical Psychology Review*, 31(6), 965-982.
- Cyders, M. A., & Smith, G. T. (2007). Mood-based rash action and its components: Positive and negative urgency. *Personality and Individual Differences*, 43(3), 839-850.
- Decety, J., Michalska, K. J., Akitsuki, Y., & Lahey, B. B. (2009). Atypical empathic responses in adolescents with aggressive conduct disorder: A functional MRI investigation. *Biological Psychology*, 80(2), 203-211.
- Depue, R. A., & Collins, P. F. (1999). Neurobiology of the structure of personality: Dopamine, facilitation of incentive motivation, and extraversion. *Behavioral and Brain Sciences*, 22(3), 491-569.
- DeShong, H. L., & Kurtz, J. E. (2013). Four Factors of Impulsivity Differentiate Antisocial and Borderline Personality Disorders. *Journal of Personality Disorders*, 27(2), 144-156.
- DeYoung, C. G., & Gray, J. R. (2009). Personality neuroscience: Explaining individual differences in affect, behavior, and cognition. In P.J. Corr & G. Matthews (Eds.), *The Cambridge handbook of personality psychology* (pp. 323-346). New York: Cambridge University Press.
- Dosenbach, N. U. F., Fair, D. A., Cohen, A. L., Schlaggar, B. L., & Petersen, S. E. (2008). A dual-networks architecture of top-down control. *Trends in Cognitive Sciences*, 12, 99-105.
- Drysdale, A. T., Grosenick, L., Downar, J., Dunlop, K., Mansouri, F., Meng, Y., ... & Schatzberg, A. F. (2017). Resting-state connectivity biomarkers define neurophysiological subtypes of depression. *Nature medicine*, 23(1), 28.
- Duckworth, A. L., & Kern, M. L. (2011). A meta-analysis of the convergent validity of self-control measures. *Journal of Research in Personality*, 45(3), 259-268.
- Eisenberg, I. W., Bissett, P. G., Enkavi, A. Z., Li, J., MacKinnon, D. P., Marsch, L. A., & Poldrack, R. A. (2019). Uncovering the structure of self-regulation through data-driven ontology discovery. *Nature communications*, 10(1), 1-13.
- Feng, C., Yuan, J., Geng, H., Gu, R., Zhou, H., Wu, X., & Luo, Y. (2018). Individualized prediction of trait narcissism from whole brain resting state functional connectivity. *Human brain mapping*, 39(9), 3701-3712.
- Finn, E. S., Scheinost, D., Finn, D. M., Shen, X., Papademetris, X., & Constable, R. T. (2017). Can brain state be manipulated to emphasize individual differences in functional connectivity? *NeuroImage*, 1-12.
- Finn, E. S., Shen, X., Scheinost, D., Rosenberg, M. D., Huang, J., Chun, M. M., ... Constable, R. T. (2015). Functional connectome fingerprinting: Identifying individuals using patterns of brain connectivity. *Nature Neuroscience*, 18, 1664-1671.
- Fox, M. D., & Greicius, M. D. (2010). Clinical applications of resting state functional connectivity. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 4, 19.
- Fried, E. I. (2017). What are psychological constructs? On the nature and statistical modelling of emotions, intelligence, personality traits and mental disorders. *Health psychology review*, 11(2), 130-134.
- Henríquez-Henríquez, M. P., Billeke, P., Henríquez, H., Zamorano, F. J., Rothhammer, F., & Aboitiz, F. (2015).

- Intra-individual response variability assessed by ex-Gaussian analysis may be a new endophenotype for attention-deficit/hyperactivity disorder. *Frontiers in Psychiatry*, 6, 1-8.
- Hsu, W. T., Rosenberg, M. D., Scheinost, D., Constable, R. T., & Chun, M. M. (2018). Resting-state functional connectivity predicts neuroticism and extraversion in novel individuals. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 13, 224-232.
- Hughes, D. J. (2017). Psychometric validity: Establishing the accuracy and appropriateness of psychometric measures. *The Wiley Handbook of Psychometric Testing: A Multidisciplinary Reference on Survey, Scale and Test Development*.
- Jeong, H., Kim, J., & Kang, E. (2017). Behavioral approach system (BAS) sensitivity and functional brain networks during rest: graph-theory analysis. *The Korean Journal of Cognitive and Biological Psychology*, 29(2), 105-125.
- Jiang, R., Calhoun, V. D., Zuo, N., Lin, D., Li, J., Fan, L., ... Sui, J. (2018). Connectome-based individualized prediction of temperament trait scores. *NeuroImage*, 183, 366-374.
- Kim, B., & Kwon, S. (2017). Behavioral Activation System Sensitivity and Functional Impairment in Undergraduates with Hypomanic Personality: Moderating Role of Impulsivity. *Korean Journal of Clinical Psychology*, 36(2), 143-153.
- Kim, J., & Kang, E. (2017). Impaired resting-state functional connectivity of frontostriatal regions in internet game over-use. *The Korean Journal of Cognitive and Biological Psychology*, 29(1), 63-80.
- Kim, J., Kim, H., Cho, H., Jeong, H., & Kang, E. (2017). Neuroanatomical Correlates of Personality Traits for Internet Gaming Overuse: a VBM study. *Korean Journal of Psychology: General*, 36(1), 109-135.
- King, K. M., Patock-Peckham, J. A., Dager, A. D., Thimm, K., & Gates, J. R. (2014). On the Mismeasurement of Impulsivity: Trait, Behavioral, and Neural Models in Alcohol Research among Adolescents and Young Adults. *Current Addiction Reports*, 1(1), 19-32.
- Kragel, P. A., Knodt, A. R., Hariri, A. R., & LaBar, K. S. (2016). Decoding spontaneous emotional states in the human brain. *PLoS biology*, 14(9), e2000106.
- Kragel, P. A., Koban, L., Barrett, L. F., & Wager, T. D. (2018). Representation, Pattern Information, and Brain Signatures: From Neurons to Neuroimaging. *Neuron*, 99(2), 257-273.
- Lenartowicz, A., Kalar, D. J., Congdon, E., Poldrack, A., Poldrack, R. A., & Poldrack, A. (2010). Towards an Ontology of Cognitive Control. *Topics in Cognitive Science*, 2(4), 678-692.
- Lim, S., & Lee, Y. (2014). A Test of the Criterion Validity of the Korean UPPS-P Impulsive Behavior Scale Among College Students. *Korean Journal of Clinical Psychology*, 33(1), 51-71.
- Lim, S., & Lee, Y. (2016). A Korean Validation of the UPPS-P Impulsive Behavior Scale in College Students. *Korean Journal of Health Psychology*, 21(4), 791-814.
- Lim, S., & Lee, Y. (2017). The Effects of Negative Urgency, Negative Affect, and Emotion Regulation Difficulties on Self-Harm Behavior in Borderline Personality Disorder. *The Korean Journal of Health Psychology*, 22(3), 565-585.
- Marek, S., Siegel, J. S., Gordon, E. M., Raut, R. V., Gratton, C., Newbold, D. J., ... Dosenbach, N. U. F. (2018). Spatial and Temporal Organization of the Individual Human Cerebellum. *Neuron*, 100(4), 977-993.e7.
- Markett, S., Montag, C., & Reuter, M. (2018). Network neuroscience and personality. *Personality Neuroscience*, 1.
- Meng, Y., Deng, W., Wang, H., Guo, W., & Li, T. (2015). The prefrontal dysfunction in individuals with Internet gaming disorder: a meta analysis of functional magnetic resonance imaging studies. *Addiction biology*, 20(4), 799-808.
- Miller, J., Flory, K., Lynam, D., & Leukefeld, C. (2003). A test of the four-factor model of impulsivity-related traits. *Personality and Individual Differences*, 34(8), 1403-1418.
- Moreno-lópez, L., Catena, A., Fernández-serrano, M. J., Delgado-rico, E., Stamatakis, E. A., Pérez-garcía, M., & Verdejo-garcía, A. (2012). Trait impulsivity and prefrontal gray matter reductions in cocaine dependent individuals. *Drug and Alcohol Dependence*, 125(3), 208-214.
- Moulton, E. A., Elman, I., Becerra, L. R., Goldstein, R. Z., & Borsook, D. (2014). The cerebellum and addiction: Insights gained from neuroimaging research. *Addiction Biology*, 19(3), 317-331.
- Muhler, N., & Lawrence, A. D. (2015). Brain structure correlates of emotion-based rash impulsivity. *Neuroimage*, 115, 138-146.
- Nostro, A. D., Müller, V. I., Varikuti, D. P., Pläschke, R. N., Hoffstaedter, F., Langner, R., ... Eickhoff, S. B. (2018). Predicting personality from network-based resting-state functional connectivity. *Brain Structure and Function*, 223(6), 2699-2719.

- Petrican, R., & Grady, C. L. (2017). Contextual and Developmental Differences in the Neural Architecture of Cognitive Control. *Journal of Neuroscience*, *37*(32), 7711-7726.
- Perry, A., Wen, W., Kochan, N. A., Thalamuthu, A., Sachdev, P. S., & Breakspear, M. (2017). The independent influences of age and education on functional brain networks and cognition in healthy older adults. *Human Brain Mapping*, *38*(10), 5094-5114.
- Plichta, M. M., & Scheres, A. (2014). Ventral-striatal responsiveness during reward anticipation in ADHD and its relation to trait impulsivity in the healthy population: A meta-analytic review of the fMRI literature. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *38*, 125-134.
- Poldrack, R. A., & Yarkoni, T. (2016). From Brain Maps to Cognitive Ontologies: Informatics and the Search for Mental Structure. *Annual Review of Psychology*, *67*, 1-26.
- Rice, F., Riglin, L., Thapar, A. K., Heron, J., Anney, R., O'Donovan, M. C., & Thapar, A. (2018). Characterizing developmental trajectories and the role of neuropsychiatric genetic risk variants in early-onset depression. *JAMA psychiatry*, *76*(3), 306-313.
- Robbins, T. W., Gillan, C. M., Smith, D. G., de Wit, S., & Ersche, K. D. (2012). Neurocognitive endophenotypes of impulsivity and compulsivity: Towards dimensional psychiatry. *Trends in Cognitive Sciences*, *16*(1), 81-91.
- Rochat, L., Billieux, J., Gagnon, J., & Linden, M. Van Der. (2018). A multifactorial and integrative approach to impulsivity in neuropsychology: insights from the UPPS model of impulsivity. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, *40*(1), 45-61.
- Rosenberg, M. D., Finn, E. S., Scheinost, D., Constable, R. T., & Chun, M. M. (2017). Characterizing attention with predictive network models. *Trends in cognitive sciences*, *21*(4), 290-302.
- Rudolph, M. D., Miranda-Domínguez, O., Cohen, A. O., Breiner, K., Steinberg, L., Bonnie, R. J., ... Fair, D. A. (2017). At risk of being risky: The relationship between "brain age" under emotional states and risk preference. *Developmental Cognitive Neuroscience*, *24*, 93-106.
- Seidman, L. J., Valera, E. M., & Makris, N. (2005). Structural brain imaging of attention-deficit/hyperactivity disorder. *Biological Psychiatry*, *57*(11), 1263-1272.
- Sharma, L., Markon, K. E., & Clark, L. A. (2014). Toward a theory of distinct types of "impulsive" behaviors: A meta-analysis of self-report and behavioral measures. *Psychological Bulletin*, *140*(2), 374-408.
- Shen, X., Tokoglu, F., Papademetris, X., & Constable, R. T. (2013). Groupwise whole-brain parcellation from resting-state fMRI data for network node identification. *Neuroimage*, *82*, 403-415.
- Shin K., Kim, D., & Jeong, Y. (2011). Development of Korean smartphone addiction proneness scale for youth and adults. *National Information Society Agency*.
- Smith, S. M., Nichols, T. E., Vidaurre, D., Winkler, A. M., J Behrens, T. E., Glasser, M. F., ... Miller, K. L. (2015). A positive-negative mode of population covariation links brain connectivity, demographics and behavior. *Nature Neuroscience*, *18*(11), 1-7.
- Somerville, L. H., Hare, T. A., & Casey, B. J. (2011). Frontostriatal Maturation Predicts Cognitive Control Failure to Appetitive Cues in Adolescents. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *23*, 2123-2134.
- Strauss, M. E., & Smith, G. T. (2009). Construct Validity: Advances in Theory and Methodology. *Annual Review of Clinical Psychology*, *5*, 1-25.
- Tavor, I., Jones, O. P., Mars, R. B., Smith, S. M., Behrens, T. E., & Jbabdi, S. (2016). Task-free MRI predicts individual differences in brain activity during task performance. *Science*, *352*(6282), 216-220.
- Wang, H. T., Smallwood, J., Mourao-Miranda, J., Xia, C. H., Satterthwaite, T. D., Bassett, D. S., & Bzdok, D. (2020). Finding the needle in a high-dimensional haystack: Canonical correlation analysis for neuroscientists. *NeuroImage*, *216*, 116745.
- Whelan, R., Watts, R., Orr, C. a., Althoff, R. R., Artiges, E., Banaschewski, T., ... Ziesch., V. (2014). Neuropsychosocial profiles of current and future adolescent alcohol misusers. *Nature*, *512*(7513), 185-189.
- Whiteside, S. P., & Lynam, D. R. (2001). The five factor model and impulsivity: Using a structural model of personality to understand impulsivity. *Personality and Individual Differences*, *30*(4), 669-689.
- Whiteside, S. P., Lynam, D. R., Miller, J. D., & Reynolds, S. K. (2005). Validation of the UPPS impulsive behaviour scale: A four-factor model of impulsivity. *European Journal of Personality*, *19*(7), 559-574.
- Whitfield-Gabrieli, S., & Nieto-Castanon, A. (2012). *Conn: A*

- Functional Connectivity Toolbox for Correlated and Anticorrelated Brain Networks. *Brain Connectivity*, 2, 125-141.
- Woo, C. W., Chang, L. J., Lindquist, M. A., & Wager, T. D. (2017). Building better biomarkers: Brain models in translational neuroimaging. *Nature Neuroscience Reviews*, 20, 365-377.
- Xia, C. H., Ma, Z., Ciric, R., Gu, S., Betzel, R. F., Kaczkurkin, A. N., ... Satterthwaite, T. D. (2018). Linked dimensions of psychopathology and connectivity in functional brain networks. *Nature Communications*, 9, 3003.
- Yang, Y., & Raine, A. (2009). Prefrontal structural and functional brain imaging findings in antisocial, violent, and psychopathic individuals: A meta-analysis. *Psychiatry Research: Neuroimaging*, 174(2), 81-88.
- Yarkoni, T., Poldrack, R. A., Nichols, T. E., Van Essen, D. C., & Wager, T. D. (2011). Large-scale automated synthesis of human functional neuroimaging data. *Nature methods*, 8(8), 665.

다차원적 충동성 척도(UPPS-P)의 뇌 연결성-기반 타당화

곽세열¹, 이다솜², 조수연², 최진영²

¹부산대학교 심리학과

²서울대학교 심리학과

특질 충동성은 아동·청소년기의 주의력 결핍,品行장애, 물질사용 등과 같은 문제를 설명하는 심리적 구성개념으로 알려져 있다. 뇌 영상 기법을 활용하여 청소년기 충동적 행동과 관련된 뇌 구조와 기능에 대한 신경과학적 상관물이 밝혀져 왔으나, 자기보고식 척도를 통해 측정되는 특질 충동성이 어떤 신경생물학적 기반을 반영하는지 알려진 바가 적다. 본 연구에서는 63명의 청소년을 대상으로 다차원적 충동성 척도(UPPS-P)와 휴지기 자기공명영상(resting state fMRI) 자료가 수집되었다. 정준상관분석을 사용하여 각 요인별 문항 반응이 충동성 뇌 연결망과 어떤 다변량적 관계를 맺는지 탐색했다. 분석 결과, 부정 긴급성, 감각추구, 긍정 긴급성 요인 별로 뇌 연결성과의 정준상관이 유의미했다. 특히, UPPS-P의 응답 패턴은 뉴로신스의 메타분석에 기반하여 정의된 충동성-관련 뇌 연결성과 관련이 있었던 반면, 충동성-관련 영역이 아닌 뇌 연결성에서는 이러한 정준상관이 관찰되지 않았다. 이러한 결과는 UPPS-P의 특정 문항 조합은 충동성-관련 뇌 연결성의 조합에 기반하고 있음을 나타내며, 자기보고 방법으로 측정되는 특질 충동성 척도의 일부 문항이 청소년의 뇌 기능 개인차를 반영하는 도구임을 시사한다.

주제어: 충동성, UPPS-P, 휴지기 뇌 연결성, 정준상관관계, 타당화