

## 신경범죄학 : 뇌영상을 활용한 공격성 및 범죄 행동의 이해

이화여자대학교 뇌·인지과학과,<sup>1</sup> 이화여자대학교 뇌융합과학연구원,<sup>2</sup> 김상준 변호사 사무소,<sup>3</sup> 가톨릭대학교 인천성모병원 영상의학과,<sup>4</sup> 서울대학교 자연과학대학 뇌과학협동과정,<sup>5</sup> 서울대학교 심리학과,<sup>6</sup> 이화여자대학교 약학대학원,<sup>7</sup> Boston College,<sup>8</sup> 한국과학기술원 바이오 및 뇌공학과,<sup>9</sup> 이화여자대학교 경영대학<sup>10</sup>

유시영<sup>1,2\*</sup> · 최예지<sup>1,2\*</sup> · 김상준<sup>3</sup> · 정현석<sup>4</sup> · 마지영<sup>2,5</sup> · 정유진<sup>2,6</sup> · 문소현<sup>2,7</sup>  
김영은<sup>2,8</sup> · 강일향<sup>1,2</sup> · 김영훈<sup>2,9</sup> · 신경식<sup>10</sup> · 김지은<sup>1,2</sup>

### Neurocriminology : A Review on Aggression and Criminal Behaviors Using Brain Imaging

Si Young Yu, BA,<sup>1,2\*</sup> Yejee Choi, BA,<sup>1,2\*</sup> Sangjoon Kim, JD,<sup>3</sup> Hyeonseok S. Jeong, PhD,<sup>4</sup>  
Jiyoung Ma, BS,<sup>2,5</sup> Eujin Jeong,<sup>2,6</sup> Sohyeon Moon, MS,<sup>2,7</sup> Nicole Y. Kim,<sup>2,8</sup> Ilhyang Kang, BS,<sup>1,2</sup>  
Young Hoon Kim,<sup>2,9</sup> Kyung-Shik Shin, PhD,<sup>10</sup> Jieun E. Kim, MD<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Department of Brain and Cognitive Sciences, Ewha Womans University Graduate School, Seoul, Korea

<sup>2</sup>Ewha Brain Institute, Ewha Womans University, Seoul, Korea

<sup>3</sup>Kim Sangjoon Law Firm, Seoul, Korea

<sup>4</sup>Department of Radiology, Incheon St. Mary's Hospital, The Catholic University of Korea, Incheon, Korea

<sup>5</sup>Interdisciplinary Program in Neuroscience, College of Natural Sciences, Seoul National University, Seoul, Korea

<sup>6</sup>Department of Psychology, Seoul National University, Seoul, Korea

<sup>7</sup>Graduate School of Pharmaceutical Sciences, Ewha Womans University, Seoul, Korea

<sup>8</sup>Boston College, Chestnut Hill, MA, USA

<sup>9</sup>Department of Bio and Brain Engineering, KAIST, Daejeon, Korea

<sup>10</sup>School of Business, Ewha Womans University, Seoul, Korea

Criminology has been understood within a sociological framework until the emergence of neurocriminology, which describes, understands and predicts criminal behaviors from a neurobiological point of view. Not only using biological factors including genes and hormones to understand criminal behaviors, but also using neuroimaging techniques, the field of neurocriminology aims to delve into both structural and functional differences in the brain of individuals with aggression, antisocial personalities, and even the criminals. Various studies have been conducted based on this idea, however, there still are limitations for the knowledge from these studies to be used in the court. In this review article, we provide an overview of the various research in neurocriminology, and provide insight into the future direction and implication of the field.

**Key Words** Neurosciences · Aggression · Criminal behavior · Neuroimaging.

**Received:** April 14, 2016 / **Revised:** April 28, 2016 / **Accepted:** April 29, 2016

**Address for correspondence:** Kyung-Shik Shin, PhD

School of Business, Ewha Womans University, 52 Ewhayeodae-gil, Seodaemun-gu, Seoul 03760, Korea

**Tel:** +82-2-3277-2799, **Fax:** +82-2-3277-2776, **E-mail:** ksshin@ewha.ac.kr

**Address for correspondence:** Jieun E. Kim, MD

Department of Brain and Cognitive Sciences, Ewha Womans University Graduate School, 52 Ewhayeodae-gil, Seodaemun-gu, Seoul 03760, Korea

**Tel:** +82-2-3277-6932, **Fax:** +82-2-3277-6932, **E-mail:** kjieun@ewha.ac.kr

\*These authors contributed equally to this work.

## 서론

범죄학(criminology)은 범죄의 발생과 원인, 그리고 그에 대

한 대책을 연구하는 분야로서, 주로 사회학, 심리학, 법학 등을 이용하여 다양한 분야에서 접근 가능하며, 많은 부분에서 사회학적 모형으로 설명되고 있다. 하지만 신경과학의 발

전으로 신경생물학적 요소가 개인의 행동에 미치는 영향에 대해 더 많은 것을 이해하게 되었으며, 1990년대 초 이래 사회 신경과학(social neuroscience)의 발전으로<sup>1)</sup> 뇌가 개인의 행동을 관장한다는 것이 밝혀지면서, 그 성과를 바탕으로 신경범죄학(neurocriminology)이나 신경법학(neurolaw)과 같은 분야가 새로이 출현하게 되었다.<sup>2,3)</sup>

신경범죄학은 신경생물학적 관점에서 범죄 행동을 이해하고, 예측하고, 궁극적으로는 범죄를 예방하고자 하는 학문이다.<sup>2,4)</sup> 이를 위해 범죄 행동과 직접적으로 연관이 있는 공격성(aggression) 또는 폭력성(violence) 및 반사회적 행동(antisocial behavior)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 실제로 여러 연구에서 유전적 요인<sup>5)</sup>이나 출생 전 부모의 니코틴<sup>6)</sup> 및 스트레스에의 노출,<sup>7)</sup> 영양부족,<sup>8)</sup> 또는 호르몬이나 신경전달물질의 개인차<sup>9,10)</sup> 등 여러 생물학적 요인들이 이후 공격적이거나 반사회적인 행동을 예측할 수 있다는 결과들이 보고되고 있다. 또한 뇌영상 기술의 발전으로 뇌 전두엽(frontal lobe)이나 변연계(limbic system)의 기능저하가 반사회적이고 폭력적인 행동과 관련이 있다는 결과가 여러 연구를 통해 반복적으로 보고됨으로써,<sup>2)</sup> 신경범죄학, 신경법학 등의 수요가 높아지고 있는 추세이다.

실제로 미국에서는 1991년도에 처음으로 뇌영상 자료를 법정에 사용하기도 하였다. 당시 2급 살인으로 기소된 와인스타인(Herbert Weinstein)은 뇌자기공명영상(magnetic resonance imaging, 이하 MRI) 및 양전자단층촬영(positron emission tomography, 이하 PET)을 통해 전두엽 및 측두엽 손상을 증명하여 과실치사로 인정되었다.<sup>11,12)</sup> 우리나라에서도 2015년 11월 뇌영상을 사용한 감정이 국내 최초로 진행되었다.<sup>13,14)</sup>

이와 같이 앞으로는 신경범죄학이 실제 법정에 활용될 기회가 많아질 것이며, 그 영향력이 점점 더 커질 것으로 기대되기 때문에, 타당성 있고 신뢰할 수 있는 신경범죄학 연구가 요구될 것이다. 이에 본 논문에서는 신경범죄학 연구 중에서도 뇌영상을 이용하여 공격성 및 폭력성, 더 나아가 범죄 행동에 대한 이해를 돕는 연구 결과들을 살펴보고, 신경범죄학의 발전 방향에 대해 논의하고자 한다.

## 본 론

### 공격성과 뇌

신경범죄학에서는 범죄행위로 이어질 수 있는 공격성 및 폭력성에 대해 신경생물학적 관점에서 연구해 왔다. 공격성 및

공격 행동은 남에게 위해를 가하기 위해 행하는 행동을 의미하며, 폭력성은 죽음과 같은 극단적인 위해를 가하는 공격성을 의미한다.<sup>15)</sup> 공격성은 또한 적대적 공격성(hostile aggression)과 도구적 공격성(instrumental aggression)으로 분류되기도 하는데,<sup>15)</sup> 이는 대응적 공격성(reactive aggression)과 선제적 공격성(proactive aggression)으로도 불리며, 대응적 공격성이 주로 충동적이고 도발적인 자극에 분노하여 보복하는 공격성이라면, 선제적 공격성은 원하는 바를 얻기 위한 도구적이고 계획적인 공격성을 의미한다.<sup>4,16,17)</sup>

공격성과 관련된 뇌영역 중 가장 중요한 부위가 바로 전두엽(frontal lobe)과 변연계(limbic system)이다. 변연계는 공격적인 감정과 행동을 발생시키는 데 관여한다고 알려져 있으며, 그 감정을 전전두피질(prefrontal cortex)이 조절하거나 억제하는 것으로 알려져 있다.<sup>18)</sup> Davidson 등<sup>19)</sup>은 전두엽과 변연계를 중점적으로 한 여러 연구 결과를 통해 충동적이고 감정적인 공격성이 감정 조절에 실패한 결과로 나타난다고 할 수 있으며, 특히 전전두엽 내 세로토닌의 기능 이상이 이러한 감정 조절의 실패를 초래하여 충동적인 공격성을 나타낸다고 제시하였다. 또한 전두엽 부위 중에서도 전전두피질 및 편도체(amygdala)와 연결되어 있는 안와전두피질(orbitofrontal cortex)이 이러한 충동적인 감정적 폭발을 제어하는 데 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있다.<sup>20)</sup> 이와 같이 전전두피질과 변연계는 감정조절에 관여하는 회로를 형성하고 있어, 일반인의 경우 분노를 느끼는 동안 전전두피질이 활성화되어 충동적인 행동을 제어하게 되는데, 전전두피질에 구조적, 기능적 결함이 있을 경우에는 분노 등 정서와 연관된 변연계의 활성을 억제하기가 어려워 공격성이나 충동성이 높아질 수 있다고 보고되었다.<sup>19)</sup>

한편, Ciarraelli 등<sup>21)</sup>은 복내측전전두피질(ventromedial prefrontal cortex)에 병변을 가지고 있는 환자군 7명과 정상 대조군 12명을 대상으로 기능적 자기공명영상(functional magnetic resonance imaging, 이하 fMRI) 연구를 진행한 결과, 복내측전전두피질에 결함이 있는 환자군이 도덕적 딜레마 중 개인과 관련된 개인적 딜레마(personal dilemmas)를 정상 대조군에 비해 더 받아들일 수 있는 행동으로 여기고, 반응 속도도 더 빠른 것을 관찰하였다. 이에 따라 안와전전두피질(orbital prefrontal cortex) 및 복내측전전두피질에 결함이 있는 환자는 공격성이 높아질 뿐만 아니라 사회적 규칙을 따르는 능력이 부족하고, 책임감이 없는 등의 행동을 보인다는 결론을 제시하였다.

변연계의 일부분인 해마(hippocampus)는 정서와 기억의 처리에 관여하는 것 외에도 공격성 조절에 관여하는 것으로 알려져 있다.<sup>22)</sup> 따라서 Raine 등<sup>23)</sup>에 의하면, 정신병질자(psy-

a) 서울고등법원 사건번호 2015노 2024 살인 등

chopath)에서 해마의 이상이나 해마와 전전두엽 간 회로의 이상은 충동성 조절 문제나 행동 제어 불능 등과 관련이 있을 것으로 예상된다. 특히, 해마 영역은 공포 조건화<sup>24)</sup>에도 관여한다고 알려져 있어, 해마 영역이 손상된 반사회적 인격장애인의 경우 이후 처벌에 대한 예측에 둔감할 것으로 예상할 수 있다. 이에 더하여, Raine<sup>4)</sup>에 의하면 해마는 사회적으로 유의미한 정보를 담당하는 신경망의 일부로 물체를 인식하고 평가하는 데 관여하기 때문에 해마 영역에 장애가 생기면 사회적 상황의 애매모호한 자극을 잘못 인식 및 평가하여 폭력으로 이어질 가능성이 제시된다.

이외에도 공격성과 관련된 뇌 영역으로 후측대상회(posterior cingulate gyrus) 영역이 제시되었다. 후측대상회는 정서적 기억의 회상<sup>25)</sup>과 정서의 경험<sup>26)</sup>에서 중요한 역할을 하는 뇌 영역으로 알려져 있으며, 자신의 행동이 타인에게 어떤 영향을 미칠지 인지하는 능력인 자기 지시적 사고에도 관여하는 것으로 알려져 있다.<sup>27)</sup> Raine<sup>4)</sup>은 후측대상회 영역에 결함이 생길 경우, 무분별한 반사회적 행동을 보이거나 분노와 같은 역기능적 정서를 보일 가능성을 제시하였다. Kiehl 등<sup>28)</sup>과 New 등<sup>29)</sup>은 각각 정신병질적 범죄자와 공격성을 보이는 환자를 대상으로 기능적 뇌영상 연구를 진행하였다. Kiehl 등<sup>28)</sup>의 연구에서는 각각 8명의 정신병질적 범죄자와 일반 범죄자, 그리고 정상 대조군을 대상으로 fMRI를 촬영하였으며, 일반 범죄자와 정상 대조군에 비해 정신병질적 범죄자의 변연계 부위 및 전측대상회(anterior cingulate gyrus)와 후측대상회에서 감정과 연관된 활성화가 유의하게 낮은 것으로 보고되었다. 마찬가지로 New 등<sup>29)</sup>의 연구에서도 충동적인 공격성을 지닌 환자군과 정상 대조군 각각 13명을 대상으로 positron emission tomography(이하 PET) 영상을 촬영한 결과, 정상 대조군에 비해 환자군에서 후측대상회의 활성이 낮은 것으로 보고되었다.

### 반사회적 인격장애, 정신병질(Psychopathy)과 범죄자의 뇌

반사회적 인격장애는 타인의 권리를 무시하거나 침해하고, 아동기나 초기 청소년기부터 반복적으로 범법행위를 하거나 공격성, 무책임함 등을 보이는 인격장애로, 이후 정신병질로 이어질 가능성이 있다.<sup>30)</sup> 정신병질은 충동적이고 행동을 통제하는 데 어려움을 겪으며, 죄책감과 공감능력이 저하되어 있는 등의 복잡한 정서적, 행동적 양상을 보이는 질환이다.<sup>31)</sup> 반사회적 인격장애와 정신병질을 가진 범죄자가 보통의 범죄자에 비해 더욱 폭력적이고 범죄의 횡수도 더 많은 것으로 보고되었으며,<sup>32)33)</sup> 이를 신경학적으로 해석하려는 다양한 연구들을 통해 반사회적 인격장애자나 정신병질적 특성을 지닌 사람, 혹은 범죄자에서 뇌 영역의 구조적, 기능적 차이가 나타난다

는 것이 밝혀졌다.<sup>34-36)</sup>

그 중에서도 전두엽은 일관되게 보고되고 있는 영역 중 하나이다.<sup>35-38)</sup> Raine 등<sup>37)</sup>의 연구에서는 반사회적 인격장애를 진단받은 집단과 반사회적 인격장애는 아니지만 약물남용에 해당하는 집단, 그리고 정상 대조군 집단을 대상으로 구조적 자기공명영상(structure magnetic resonance imaging, sMRI)을 촬영하였으며, 반사회적 인격장애를 진단받은 집단은 정상 대조군 집단에 비해 전전두피질의 회백질 양이 약 11% 정도 적고, 약물남용 집단에 비해서는 약 14% 정도 적다는 결과를 보였다. 특히 전전두피질 중에서도 안와전두이랑(orbitofrontal gyrus)과 복내측전전두피질에 손상이 있을 경우, 충동적이거나, 비도덕적으로 행동하는 등 반사회적 성향을 나타낼 수 있는데, 반사회적 인격장애자를 대상으로 한 연구에서 반사회적 인격장애자들이 정상 대조군에 비해 양측 안와전두이랑과 우측 복내측전전두피질의 각각 9%와 16%만큼 감소하였다는 보고가 있다.<sup>4)</sup>

한편 반사회적 인격장애나 정신병질을 갖는 사람 혹은 범죄자에서 일반인과 비교하였을 때, 전두엽 영역의 구조적 차이 뿐만 아니라 활성 정도에도 차이가 있다는 것이 밝혀졌다. 반사회성 집단을 대상으로 한 Völlm 등<sup>39)</sup>의 연구에서는 fMRI를 이용하여 억제 조절 과제를 수행했다. 이때, 반사회성 집단은 정상 대조군에 비해 안와전전두엽의 활성화가 저하되어 있었다고 보고하였다. 또한 반사회적 인격장애는 공감능력과 도덕성의 저하가 특징적이기 때문에 이와 관련하여 여러 fMRI 연구도 진행되었다. Decety 등<sup>40-42)</sup>은 fMRI를 활용하여 한 개인이 통증을 느낄 수 있는 장면을 시각적 자극으로 제시하고, 뇌의 활성화 정도를 관찰하였는데, 이때 정신병질자 집단의 경우, 타인의 감정을 인식하거나, 이해, 처리하는 등과 관련되며, 개인의 감정 조절에도 영향을 미친다고 알려져 있는 복내측전전두피질의 활성화가 낮게 나타났다. 또한 손상되는 경우에 품행, 의사결정, 정서처리와 인격 등에서 손상을 나타낼 수 있는 안와전두엽 영역 또한 활성화가 감소한 것을 관찰하였다.

편도체 또한 반사회적 인격장애인이나 정신병질자에서 차이점이 보고되는 뇌영역이다. 편도체는 뇌 내 감정처리회로에서 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있으며,<sup>43)44)</sup> Raine과 Yang<sup>45)</sup>은 정신병질자를 대상으로 한 연구에서 편도체에 구조적, 기능적 이상을 관찰하여 사회적 기능에 장애가 나타나거나, 도덕적 의사 결정에 손상이 있을 수 있다는 가능성을 제시하였다. 또한 Yang 등<sup>38)</sup>은 sfMRI를 이용하여 정신병질자와 일반인의 편도체 부피를 비교하였는데, 일반인에 비해 정신병질자의 양쪽 편도체의 부피가 약 18% 감소되어 있는 것을 발견하였다.

편도체의 기능적 차이에 대해서는 다양한 연구 결과가 존재한다.<sup>45)</sup> 여러 fMRI 연구에서 정신병질적 범죄자 혹은 정신병질적 기질을 가진 개인은 정서적 자극을 처리하는 동안 편도체의 활성이 낮아진다고 보고하였다.<sup>28)46)47)</sup> 또한 Glenn 등<sup>36)</sup>은 정신병질검사인 The Hare Psychopath Checklist-Revised(PCL-R)에서 높은 점수를 받은 사람이 감정적이거나 도덕적인 결정을 내릴 때 기억의 감정 처리를 담당하는 편도체의 활성이 감소되었다고 보고하였다. 반면 Müller 등<sup>48)</sup>과 Schneider 등<sup>49)</sup>은 반사회적 인격장애를 지닌 집단에서 각각 부정적인 시각자극을 제시하거나 혐오 학습 과제를 시행했을 때 편도체의 활성이 증가했다고 보고하였다.

또한 뇌실사이중격강(septum pellucidum)이라는 구조를 갖고 있는 사람에서 일반인에 비하여 반사회적 인격장애, 정신병질, 체포 및 유죄판결의 측정치 등이 높게 나타나는 것으로 보고된 바가 있고,<sup>50)</sup> 반사회적 인격장애를 가진 범죄자들을 대상으로 한 Toivonen 등<sup>51)</sup>의 연구에서는 그들이 태어날 때부터 이미 뇌실사이중격강을 가지고 있는 것이 관찰되면서, 이에 따라 일반인과 다른 뇌 구조의 특이성을 갖고 있을 가능성이 제기되었다. 뇌실사이중격강은 정신질환이 없는 개인에서도 종종 나타나기도 하는데, Raine 등<sup>50)</sup>의 연구에서 반사회적 인격장애를 앓고 있지는 않지만 범죄혐의를 받았던 개인의 뇌실사이중격강이 범죄혐의를 받아본 적 없는 개인에 비해 더 크다고 보고되어 뇌실사이중격강과 범죄율의 연관 가능성이 제기되기도 하였다.

이외에도 반사회적 인격장애자, 정신병질자 및 범죄자와 일반인 사이의 여러 뇌 영역에서 구조적, 기능적 차이가 나타난다는 것이 밝혀졌다. 성인 정신병질자<sup>28)</sup> 및 배우자 학대자<sup>52)</sup>에서 정상 대조군에 비해 후측대상회 기능 저하가 관찰되었으며, Glenn 등<sup>36)</sup>의 연구에 따르면, 정신병질자를 대상으로 한 연구 결과, 도덕적 딜레마에 직면하였을 때 도덕적 판단에 관여한다고 알려진 내측전전두피질, 후측대상회, 각회(angular gyrus), 편도체의 활성도가 낮아졌다고 보고하였다. 특히 각회는 죄의식이나 부끄러움과 관련이 있는 부위로 알려져 있는데,<sup>53)</sup> 단일광자단층촬영(single photon emission computed tomography, SPECT)을 사용한 연구에서 충동적이며 폭력적인 살인범의 우측 각회에서 혈류가 낮게 나타나는 것이 관찰되었다.<sup>54)</sup> 또한 정신병질적 기질을 가진 개인에서 뇌량이 약 6.9% 길고, 두께는 15.3% 감소되어 있는 것으로 나타났다.<sup>55)</sup> Laakso 등<sup>56)</sup>이 폭력적인 살인범 집단을 대상으로 한 연구에서는 살인범 집단이 일반인에 비해 좌측 해마는 유의한 차이가 없었지만, 우측 해마의 부피가 큰 것으로 나타나 해마의 구조적 비대칭성이 관찰되었으며, Raine 등<sup>57)</sup>은 PET를 이용한 연구에서 범죄자의 경우 일반인에 비해 좌측

해마의 활성이 저하되어 있고, 우측 해마는 오히려 활성화되어 있어 기능적으로도 비대칭적이라는 것을 보고하였다.

## 결론

앞서 살펴본 바와 같이, 신경범죄학과 관련된 기초 연구로서, 전두엽이나 변연계 등 뇌의 구조적, 기능적 이상 등이 반사회적 인격장애나 정신병질자 집단에서 어떻게 나타나는지에 대한 연구가 진행되고 있으며,<sup>54)55)</sup> 종합해보면 다음과 같은 내용으로 정리될 수 있다. 첫째, 뇌영상 연구를 통해 공격성에 영향을 미치는 여러 뇌 영역이 알려졌는데, 그 중에서도 공격적인 감정과 행동을 발생시키는 변연계의 활성을 조절하거나 억제하는 전두엽에 손상이 있을 경우 공격성이 증가할 수 있으며, 넓은 의미에서 전두엽에 포함될 수 있는 복내측전전두피질, 후측대상회 등과 그 외 해마 등의 여러 영역이 관여하고 있을 것으로 밝혀졌다. 둘째, 공격성과 관련된 뇌 영역의 구조적 이상은 실제로 더 폭력적인 범죄를 저지를 확률이 높은 것으로 알려진 반사회적 인격장애자 및 정신병질자와 살인범을 대상으로 한 연구에서도 나타났다. 전두엽 영역 중에서도 안와전두이랑, 복내측전전두피질의 부피 감소가 나타났다. 뇌량의 두께, 우측 해마 부피 등이 일반인에 비해 감소된 것으로 나타났으며, 뇌실사이중격강이 더 큰 것으로 관찰되었다. 다만 편도체의 경우 연구에 따라 부피가 감소 또는 증가한 것으로 보고되어 일치하지 않는 결과가 나타났다. 셋째, 반사회적 인격장애자, 정신병질자, 범죄자에서 전두엽, 편도체, 후측대상회, 각회, 해마 등의 활성이 저하되어 있는 것으로 관찰되었다.

이러한 뇌 구조적, 기능적 이상이 반사회적 인격장애자, 정신병질자 및 범죄자에서 특이적으로 나타난다는 여러 보고가 존재하지만, 현재로서는 인과관계가 뚜렷하지 않으며, 이외에도 여러 생물학적, 심리학적, 사회학적 요인들이 다양하게 존재하기 때문에 단면적으로 결과를 사용하기엔 위험이 따른다. 즉, 특정 뇌 영역에 이상이 있다고 하여 개인을 정신병질자나 반사회적 인격장애자, 혹은 범죄자가 될 가능성이 있는 사람으로 구분할 수 없으며, 이에 따라 신경범죄학적 연구는 실제 법정에 활용되는 데 있어서 한계점을 갖는다. 향후 신경범죄학적인 연구 결과를 기반으로 뇌영상 자료 등이 법정에서 의미 있는 증거로 활용되기 위해서는 신경생물학적 및 심리사회적 관점 등에서 다면적으로, 더욱 정교하게 평가된 연구 결과들이 일관되게 보고되어야 할 것이며, 많은 수의 데이터를 축적하여 기계학습(machine learning)과 같은 기법을 이용하면 일정 확률 이상의 예측력을 가질 수도 있을 것이다. 더 나아가 법적 책임을 판정할 때 범죄 이후의 처벌

뿐만 아니라, 범죄의 예측과 방지를 다루는 형법 체계를 형성할 수도 있을 것이다.

또한, fMRI나 MRI 촬영 등 뇌 영상 기술이 발전함에 따라 뇌 영상을 통해 개인의 뇌 정보나 생각하는 자유가 제한되는 문제가 생길 수 있다는 의견들이 최근 들어 많이 생겨나고 있다.<sup>58)59)</sup> 뇌 정보를 건강 보험이나 유전정보 같은 개인정보 문제와 본질적으로 같게 보는 견해가 있으며, 이는 뇌 정보가 타인에게 알려졌을 때 발생할 수 있는 윤리적인 문제와 맥락을 같이 한다. 아직까지 의식의 자유 등 관련 보완책이 확실히 알려진 바는 없지만, 미국에서는 개인의 건강정보 보호를 위한 Health Insurance Portability and Accountability Act (HIPAA, US Public Law 104-191)<sup>60)</sup>와 같은 법을 제정하여 관리하는 정책을 제시하는 의견들도 있다.<sup>58)</sup> 현재 기술로는 fMRI나 MRI 영상을 통해 개인의 생각이나 의식을 정확하게 파악하는 단계까지 발전하지는 못하였으며, 그렇기 때문에 개인의 생각하는 자유를 침해한다는 문제와는 또 다르게 단순 연관성을 통한 어림짐작 등으로 여러 윤리적 문제점이 발생할 수 있다. 따라서 이러한 다양한 윤리적 문제들을 다루는 연구가 뇌과학적 연구와 더불어 이루어져야 할 필요가 있다.

**중심 단어:** 신경과학 · 공격성 · 범죄 행동 · 뇌영상.

#### Acknowledgments

본 논문은 2013년 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원(NRF-2013S1A3A2054667)과 한국연구재단을 통한 미래창조과학부의 뇌과학원천기술개발사업(2015M3C7A1028376)으로부터 지원받아 수행됨.

#### Conflicts of interest

The authors have no financial conflicts of interest.

#### REFERENCES

- Cacioppo JT, Amaral DG, Blanchard JJ, Cameron JL, Carter CS, Crews D, et al. Social neuroscience: progress and implications for mental health. *Perspect Psychol Sci* 2007;2:99-123.
- Glenn AL, Raine A. Neurocriminology: implications for the punishment, prediction and prevention of criminal behaviour. *Nat Rev Neurosci* 2014;15:54-63.
- Aggarwal NK. Neuroimaging, culture, and forensic psychiatry. *J Am Acad Psychiatry Law* 2009;37:239-244.
- Raine A. *The Anatomy of Violence: The Biological Roots of Crime*. New York: Vintage;2014.
- Gunter TD, Vaughn MG, Philibert RA. Behavioral genetics in antisocial spectrum disorders and psychopathy: a review of the recent literature. *Behav Sci Law* 2010;28:148-173.
- Wakschlag LS, Kistner EO, Pine DS, Biesecker G, Pickett KE, Skol AD, et al. Interaction of prenatal exposure to cigarettes and MAOA genotype in pathways to youth antisocial behavior. *Mol Psychiatry* 2010;15:928-937.
- Zohsel K, Buchmann AF, Blomeyer D, Hohm E, Schmidt MH, Esser G, et al. Mothers' prenatal stress and their children's antisocial outcomes--a moderating role for the dopamine D4 receptor (DRD4) gene. *J Child Psychol Psychiatry* 2014;55:69-76.
- Neugebauer R, Hoek HW, Susser E. Prenatal exposure to wartime famine and development of antisocial personality disorder in early adulthood. *JAMA* 1999;282:455-462.
- McBurnett K, Lahey BB, Rathouz PJ, Loeber R. Low salivary cortisol and persistent aggression in boys referred for disruptive behavior. *Arch Gen Psychiatry* 2000;57:38-43.
- Pope HG Jr, Kouri EM, Hudson JL. Effects of supraphysiologic doses of testosterone on mood and aggression in normal men: a randomized controlled trial. *Arch Gen Psychiatry* 2000;57:133-140; discussion 155-156.
- Rojas-Burke J. PET scans advance as tool in insanity defense. *J Nucl Med* 1993;34:13N-16N, 25N-26N.
- Rosen J. The Brain on the Stand: How Neuroscience Is Transforming the Legal System. *The New York Times Magazine* 2007 Mar 11.
- Yang EK. The torso murderer's brain on the stand. *Chosun* 2015 Nov 10; Sect. A:12.
- Jung JW. Authenticating the torso murderer's brain using brain imaging, severe sentenced in the court of appeals. *Maeil Business News Korea* 2015 Dec 30.
- Anderson CA, Bushman BJ. Human aggression. *Annu Rev Psychol* 2002;53:27-51.
- Raine A, Dodge K, Loeber R, Gatzke-Kopp L, Lynam D, Reynolds C, et al. The Reactive-Proactive Aggression Questionnaire: Differential Correlates of Reactive and Proactive Aggression in Adolescent Boys. *Aggress Behav* 2006;32:159-171.
- Dodge KA. The structure and function of reactive and proactive aggression. In: Pepler DJ, Rubin KH, editors. *Earls court symposium on childhood aggression*. Hillsdale, NJ: Erlbaum;1991. p.201-218.
- Weiger WA, Bear DM. An approach to the neurology of aggression. *J Psychiatr Res* 1988;22:85-98.
- Davidson RJ, Putnam KM, Larson CL. Dysfunction in the neural circuitry of emotion regulation--a possible prelude to violence. *Science* 2000;289:591-594.
- Bush G, Luu P, Posner MI. Cognitive and emotional influences in anterior cingulate cortex. *Trends Cogn Sci* 2000;4:215-222.
- Ciarrelli E, Muccioli M, Ládavas E, di Pellegrino G. Selective deficit in personal moral judgment following damage to ventromedial prefrontal cortex. *Soc Cogn Affect Neurosci* 2007;2:84-92.
- Gregg TR, Siegel A. Brain structures and neurotransmitters regulating aggression in cats: implications for human aggression. *Prog Neuropsychopharmacol Biol Psychiatry* 2001;25:91-140.
- Raine A, Ishikawa SS, Arce E, Lencz T, Knuth KH, Bihrls S, et al. Hippocampal structural asymmetry in unsuccessful psychopaths. *Biol Psychiatry* 2004;55:185-191.
- LeDoux J. *The emotional brain: The mysterious underpinnings of emotional life*. New York: Touchstone/Simon & Schuster;1996.
- Maratos EJ, Dolan RJ, Morris JS, Henson RN, Rugg MD. Neural activity associated with episodic memory for emotional context. *Neuropsychologia* 2001;39:910-920.
- Mayberg HS, Liotti M, Brannan SK, McGinnis S, Mahurin RK, Jerabek PA, et al. Reciprocal limbic-cortical function and negative mood: converging PET findings in depression and normal sadness. *Am J Psychiatry* 1999;156:675-682.
- Ochsner KN, Beer JS, Robertson ER, Cooper JC, Gabrieli JD, Kiehlstrom JF, et al. The neural correlates of direct and reflected self-knowledge. *Neuroimage* 2005;28:797-814.
- Kiehl KA, Smith AM, Hare RD, Mendrek A, Forster BB, Brink J, et al. Limbic abnormalities in affective processing by criminal psychopaths as revealed by functional magnetic resonance imaging. *Biol Psychiatry* 2001;50:677-684.
- New AS, Hazlett EA, Buchsbaum MS, Goodman M, Reynolds D, Mitropoulou V, et al. Blunted prefrontal cortical 18fluorodeoxyglucose positron emission tomography response to meta-chlorophenylpiperazine in impulsive aggression. *Arch Gen Psychiatry* 2002;59:

- 621-629.
- 30) **American Psychiatric Association.** Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders. 5th ed. Arlington, VA: American Psychiatric Publishing;2013.
  - 31) **Hare RD.** Manual for the Revised Psychopathy Checklist. 2nd ed. Toronto: Multi-Health Systems;2003.
  - 32) **Hare RD, McPherson LM.** Violent and aggressive behavior by criminal psychopaths. *Int J Law Psychiatry* 1984;7:35-50.
  - 33) **Hare RD, McPherson LM, Forth AE.** Male psychopaths and their criminal careers. *J Consult Clin Psychol* 1988;56:710-714.
  - 34) **Blair RJ.** Neurocognitive models of aggression, the antisocial personality disorders, and psychopathy. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 2001;71:727-731.
  - 35) **Gao Y, Glenn AL, Schug RA, Yang Y, Raine A.** The neurobiology of psychopathy: a neurodevelopmental perspective. *Can J Psychiatry* 2009;54:813-823.
  - 36) **Glenn AL, Raine A, Schug RA.** The neural correlates of moral decision-making in psychopathy. *Mol Psychiatry* 2009;14:5-6.
  - 37) **Raine A, Lencz T, Bihrlé S, LaCasse L, Colletti P.** Reduced prefrontal gray matter volume and reduced autonomic activity in antisocial personality disorder. *Arch Gen Psychiatry* 2000;57:119-127; discussion 128-129.
  - 38) **Yang Y, Raine A, Colletti P, Toga AW, Narr KL.** Abnormal temporal and prefrontal cortical gray matter thinning in psychopaths. *Mol Psychiatry* 2009;14:561-562, 555.
  - 39) **Völlm B, Richardson P, Stirling J, Elliott R, Dolan M, Chaudhry I, et al.** Neurobiological substrates of antisocial and borderline personality disorder: preliminary results of a functional fMRI study. *Crim Behav Ment Health* 2004;14:39-54.
  - 40) **Decety J, Michalska KJ, Akitsuki Y.** Who caused the pain? An fMRI investigation of empathy and intentionality in children. *Neuropsychologia* 2008;46:2607-2614.
  - 41) **Decety J, Michalska KJ, Akitsuki Y, Lahey BB.** Atypical empathic responses in adolescents with aggressive conduct disorder: a functional MRI investigation. *Biol Psychol* 2009;80:203-211.
  - 42) **Decety J, Skelly LR, Kiehl KA.** Brain response to empathy-eliciting scenarios involving pain in incarcerated individuals with psychopathy. *JAMA Psychiatry* 2013;70:638-645.
  - 43) **Adolphs R, Tranel D, Damasio H, Damasio AR.** Fear and the human amygdala. *J Neurosci* 1995;15:5879-5891.
  - 44) **Phelps EA.** Emotion and cognition: insights from studies of the human amygdala. *Annu Rev Psychol* 2006;57:27-53.
  - 45) **Raine A, Yang Y.** Neural foundations to moral reasoning and antisocial behavior. *Soc Cogn Affect Neurosci* 2006;1:203-213.
  - 46) **Birbaumer N, Veit R, Lotze M, Erb M, Hermann C, Grodd W, et al.** Deficient fear conditioning in psychopathy: a functional magnetic resonance imaging study. *Arch Gen Psychiatry* 2005;62:799-805.
  - 47) **Veit R, Flor H, Erb M, Hermann C, Lotze M, Grodd W, et al.** Brain circuits involved in emotional learning in antisocial behavior and social phobia in humans. *Neurosci Lett* 2002;328:233-236.
  - 48) **Müller JL, Sommer M, Wagner V, Lange K, Taschler H, Röder CH, et al.** Abnormalities in emotion processing within cortical and sub-cortical regions in criminal psychopaths: evidence from a functional magnetic resonance imaging study using pictures with emotional content. *Biol Psychiatry* 2003;54:152-162.
  - 49) **Schneider F, Habel U, Kessler C, Posse S, Grodd W, Müller-Gärtner HW.** Functional imaging of conditioned aversive emotional responses in antisocial personality disorder. *Neuropsychobiology* 2000;42:192-201.
  - 50) **Raine A, Lee L, Yang Y, Colletti P.** Neurodevelopmental marker for limbic maldevelopment in antisocial personality disorder and psychopathy. *Br J Psychiatry* 2010;197:186-192.
  - 51) **Toivonen P, Könönen M, Niskanen E, Vaurio O, Repo-Tiihonen E, Seppänen A, et al.** Cavum septum pellucidum and psychopathy. *Br J Psychiatry* 2013;203:152-153.
  - 52) **Lee TM, Chan SC, Raine A.** Hyperresponsivity to threat stimuli in domestic violence offenders: a functional magnetic resonance imaging study. *J Clin Psychiatry* 2009;70:36-45.
  - 53) **Seghier ML.** The angular gyrus: multiple functions and multiple subdivisions. *Neuroscientist* 2013;19:43-61.
  - 54) **Soderstrom H, Tullberg M, Wikkelsö C, Ekholm S, Forsman A.** Reduced regional cerebral blood flow in non-psychotic violent offenders. *Psychiatry Res* 2000;98:29-41.
  - 55) **Raine A, Lencz T, Taylor K, Hellige JB, Bihrlé S, Lacasse L, et al.** Corpus callosum abnormalities in psychopathic antisocial individuals. *Arch Gen Psychiatry* 2003;60:1134-1142.
  - 56) **Laakso MP, Vaurio O, Koivisto E, Savolainen L, Eronen M, Aronen HJ, et al.** Psychopathy and the posterior hippocampus. *Behav Brain Res* 2001;118:187-193.
  - 57) **Raine A, Buchsbaum M, LaCasse L.** Brain abnormalities in murderers indicated by positron emission tomography. *Biol Psychiatry* 1997;42:495-508.
  - 58) **Alpert S.** Brain privacy: how can we protect it? *Am J Bioeth* 2007;7:70-73.
  - 59) **Räikkö J.** Brain imaging and privacy. *Neuroethics* 2010;3:5-12.
  - 60) **Ihs.gov** [homepage on the Internet]. Health Insurance Portability and Accountability Act (HIPAA) [cited 2015 Dec 31]. Available from: <https://www.ihs.gov/hipaa/>.