

# 神经科学技术在刑事司法实践中的应用综述

王 澜

中国政法大学刑事司法学院, 北京

收稿日期: 2024年7月1日; 录用日期: 2024年8月15日; 发布日期: 2024年8月27日

## 摘 要

神经科学作为一个相对较新, 正在飞速发展的领域, 在刑事司法实践中已经显示出巨大的应用潜力, 并由此催生出了神经法学(Neurolaw)这一交叉研究领域, 旨在探讨神经科学领域对于个体的决策、行为能力等方面的研究发现对现行法律规则和判断标准的影响。神经法学不仅关注神经科学技术如何适用于解决现有的法律体系中存在的多种难题, 从案件的立案、侦查, 到案件审判, 最后到罪犯的矫正与释放后的再犯风险预测, 同时也关注神经科学技术应当在司法程序的哪些环节使用、是否应该使用等伦理与规范性问题。而本文着重探讨了神经科学在刑事司法系统两个关键领域中的应用情况和未来的发展方向, 包括刑事责任能力判定和服刑人员的风险评估与矫正。神经法学的研究不仅加深了我们对于犯罪行为背后的神经机制的理解, 在深入研究并加强两个领域学者间交流的前提下, 神经科学还能够进一步改进刑事司法实践, 提供更加个性化和科学的罪犯评估和矫正计划, 使得刑事司法实践更加公正且人性化。

## 关键词

神经科学技术, 刑事司法系统, 刑事责任能力, 风险评估

# A Comprehensive Review of the Applications of Neuroscience Technology in Legal System Practice

Lan Wang

Department of Criminal Justice, China University of Political Science and Law, Beijing

Received: Jul. 1<sup>st</sup>, 2024; accepted: Aug. 15<sup>th</sup>, 2024; published: Aug. 27<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

Neuroscience, as a relatively novel and rapidly developing field, has shown great potential for be-

ing applied in criminal justice practice, which has given rise to the field of neurolaw research. Neurolaw research aims to explore how the findings in neuroscience regarding individual decision-making and behavioral capabilities can impact existing legal rules and standards of judgment. Neurolaw is not only concerned with how neuroscientific techniques can be applied to solve various issues within the current legal system, from case investigation to trial, and finally to the correction and post-release recidivism risk assessment of criminals, but also with the ethical and normative issues of when and whether neuroscientific techniques should be used in the judicial process. The present article focuses on the applications and future directions of neuroscience in two critical areas of the criminal justice system, including determining the criminal responsibility capacity of accused individuals and the risk assessment and correction of incarcerated individuals. Neurolaw research has not only deepened our understanding of the neural mechanisms behind criminal behaviors, but also with in-depth research and communications between researchers and practitioners in the two fields, neuroscience also has the potential to further improve criminal justice practice by providing more individualized and scientific offender assessment and intervention strategies, making criminal justice practice fairer and more humane.

## Keywords

Neuroscience Technology, Criminal Justice System, Criminal Responsibility Capacity, Risk Assessment

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

随着神经科学研究的显著增加和跨学科的交流项目越来越频繁,催生出了一个独特的法律与神经科学的跨学科研究领域,也被称为“神经法学(neurolaw)”,自20世纪90年代以来得到了广泛且持续的关注。神经法学一词最早由 Taylor 等(1991)提出,起初的目的是探讨神经科学在创伤性脑损伤的评估和侵权求偿中所起的作用,后来通过一系列法律工作者和神经科学家、心理学家的对话与合作,逐渐形成了一个完整的交叉领域。这一学科结合了神经科学和法学领域的知识,运用前沿的神经科学技术来研究人类行为和决策过程背后的复杂神经机制,旨在提供一个更全面、客观的视角来看待司法体系中长期存在的难题。

研究神经科学技术在司法实践中的应用不仅具有学术价值,也具有深远的社会影响。神经科学技术的迅速发展丰富了我们对于大脑如何影响人类行为、动机、认知和决策意图等方面的理解,由于法律体系关注的是对人类行为的规范,因此从生理学角度解释大脑如何影响人类的认知与行为有助于为司法从业者提供更为开放、全面、客观的视角,从而做出更公平、公正的法律判决。此外,神经科学研究有助于理解自由意志、刑事责任能力等法律概念的神经生物学基础,促进公众围绕自由意志、道德、行为能力等问题展开更为全面的讨论,甚至可能影响我们对法律的思考和规范性建构,改变现行的法律规定,形成一个更为科学、公正的司法体系。从保障人权的角度来看,在法庭上引入神经科学证据也会对维护公民权利产生重要影响,其中一个典型的例子就是弥合侵权法中精神与身体伤害之间的界限。例如,美国法院一直对精神伤害等“隐形”伤害(如创伤后应激障碍、精神创伤、神经退行性疾病等)的损害赔偿持怀疑态度,这类伤害可能对大脑的结构与功能产生显著影响,但往往不会在躯体上表现出来。然而,如今神经科学技术已经可以帮助发现这些以前被隐藏的伤害,为原告提出历来难以证明的精神伤害索赔提

供科学依据(Rosenthal, 2018)。最后,神经科学研究在犯罪预防与公共政策领域也有着重要的贡献。例如,了解导致反社会行为的神经发育因素有助于针对表现出早期反社会行为的个体制定早期干预策略,防患于未然。同样,对于大脑成瘾机制的深入研究也有助于为制定更有效的毒品管控与强制戒毒政策提供科学依据。

神经法学旨在解决法律实践中一些长期存在的问题,现有的研究工作主要集中在四个方面:1) 检验言词证据的真实性和准确性,2) 自由意志和刑事责任能力的判定,3) 罪犯危险性预测以及4) 认知操控药物与技术应用的法律管制问题(胡传鹏等, 2011)。在实践中也可以看到,越来越多的神经科学证据在法庭上得以展示并被采纳(Petof, 2015)。神经科学的加入将为刑事司法实践中诸多存在争议的议题提供一种更为客观、准确的角度,推动司法体系的不断完善,甚至可能在未来推动程序法与司法实践中涉及的法律规定产生根本性的变化。因此,本文旨在简要介绍神经法学的概念以及回顾神经法学目前在刑事司法系统中的两个关键领域,即刑事责任能力的判定和服刑人员的风险评估与矫正中已有的相关研究与实践,并展望了神经科学技术未来在罪犯风险评估和干预等领域的潜在应用和相关研究基础。

## 2. 神经科学证据在未成年人刑事责任能力判定中的应用

### 2.1. 理论依据

犯罪与年龄的相关曲线显示,许多犯罪是在青春期前后开始出现的,并在17岁左右达到顶峰,然后持续下降(Cohen & Casey, 2014)。绝大多数国家都有为未成年人犯罪行为特别制定的法律规定,主要是考虑到这一群体尚不具备完全刑事责任能力。心理学研究表明青少年的冲动控制能力和风险决策能力都比成年人更弱,而神经科学则从青少年大脑发育的角度进一步解释了为什么会出现这些现象,为刑法中涉及到责任年龄的规定该如何设置与调整提供了理论参考(Blakemore & Robbins, 2012; Bonnie & Scott, 2013)。

在青少年时期,大脑皮层的发育和功能回路处于快速的变化之中。Somerville 和 Casey (2010)提出了一个大脑发育的平衡模型来解释青少年的部分行为问题。这一模型提出,自上而下的前额叶区域的发展过程是线性的,而自下而上的纹状体区域的发展过程则表现为倒U型函数。因此,大脑不同区域发育程度之间的差异会导致区域之间的活动失衡。在青少年时期,由于负责注意力和任务相关线索处理的前额叶控制回路发育不完全,青少年在作出决策时更多依赖的是发育更早的、与情绪相关的大脑区域,因此,相对成年人来说,青少年的判断和决策行为可能会显得更加“情绪化”。尤其是在情绪激动的情况下,这种发育不成熟可能会导致青少年难以有效地调节他们的情绪和行为,并影响他们在进行风险决策时的自我控制能力,因而做出错误的决定(Cohen & Casey, 2014)。但这种自我控制能力的减弱会随着年龄的增长和相关控制回路发育逐渐成熟而得到改善。

对奖励的倾向性(Somerville, Hare, & Casey, 2011)和冒险倾向(Galvan et al., 2007)被认为是导致青少年犯罪行为两个重要因素。一系列研究表明,相对于儿童和成年人,青少年的背侧和腹侧纹状核区域对奖励的敏感性增强(Ernst et al., 2005; Galvan et al., 2006; Geier et al., 2010)。Van Leijenhorst 等人(2010)使用功能磁共振成像(fMRI)获取了不同年龄段的个体在进行老虎机任务时的大脑活动。在该范式中,被试需要在1000 ms内按下按钮启动老虎机,随后老虎机将呈现三张图片,可能的组合方式有三种:1) 三张不同的图片;2) 两张相同的和一张不同的图片;3) 三张相同的图片。只有在三张图片相同的情况下,被试会获得额外的金钱奖励。结果表明,在奖励预期阶段,所有年龄组都显示出纹状体的激活水平增加,但前脑岛中的一个区域的激活程度随着年龄的增长呈现出线性减少。而在接受奖励时,青少年的腹侧纹状体激活程度显著高于儿童和成年人,表明在这个年龄阶段,与奖励相关的神经回路活跃程度最高,并

且在接受奖励的阶段最为明显。过往研究发现奖赏相关回路的活动与现实生活中的冒险倾向显著相关，对于奖励表现出更强的腹侧纹状体激活的个体同时也表现出更强的冒险倾向(Galvan et al., 2007)。除了对奖赏的敏感性以外，研究还发现相较于儿童和成年人，青少年更难抑制对情绪刺激的注意偏向，尤其是暗示存在潜在威胁的负面情绪线索(如恐惧或受惊的表情)。即使是在该刺激与手头任务无关的情况下(Cohen-Gilbert & Thomas, 2013; Grose-Fifer et al., 2013)。Dreyfuss 等人(2014)发现，在处理恐惧情绪线索的时候，青少年被试的边缘前额叶区域(眶额皮层和内侧前额皮层)活动显著增加，这些区域的活动与情绪调节和行为反应相关，尤其是在处理与威胁有关的刺激时。因此，这些区域的过度活跃导致青少年更容易注意到环境中的潜在威胁线索并做出冲动反应来消除这些威胁。

## 2.2. 应用方向与局限性

上述神经科学相关理论与研究证据表明青少年大脑的发育状况与成年人存在差异，正处于不断变化的过程之中，并且这种动态的变化对于青少年的认知和决策行为有着重要的影响。在这些理论基础的影响下，部分国家与地区的司法系统以此为依据支持针对未成年人制定特殊的法律规定(Steinberg, 2009)。例如，在荷兰，未成年人刑法条例的适用年龄在 2014 年从原本的 20 岁被上调至 22 岁，并且援引了青少年大脑发育的相关研究结果来支持这一修订，即青少年的大脑功能在 23 岁左右才完全发育成熟(Schleim, 2020)。此外，这些研究证据也已经开始影响现实中的法律实践(Beckman, 2004)。例如，在 2005 年的 Roper 诉 Simmons 案中，联邦最高法院接受了美国医学会和美国心理学会关于青少年大脑发育尚未成熟的神经科学研究报告，并基于这些理由裁定犯罪时未满 18 岁的未成年人不适用死刑。

虽然目前许多国家已经开始以神经科学研究作为修改未成年人犯罪的相关法律条例的理论支撑，但在实践层面上却并未提供任何关于采纳神经科学证据的规范指导。也就是说，公诉人和法官了解青少年大脑发育的状况会影响到他们的行为能力，却没有可参考的规范化评估工具。虽然青少年大脑发育整体呈现出一致的轨迹，但不同个体之间依旧存在差异，此外，儿童期的创伤以及较低的社会经济地位都会对个体的大脑发育产生额外的负面影响(Buckingham, 2016; Ferrer, 2016)。因此，如何从个体层面上评估大脑发育状态对其犯罪行为 and 决策能力的影响，并且建立起规范化的评估手段、流程以及结果的判断标准，是未来需要进一步探索与实践的方向。

## 3. 神经科学证据在脑损伤个体刑事责任能力判定中的应用

### 3.1. 理论依据

脑损伤可以严重影响一个人的认知功能和决策行为，从而扰乱其正常的社交、职业和家庭生活。神经科学技术的发展可以帮助我们了解脑损伤的位置和程度，以及损伤对大脑某些区域的影响。通过使用脑成像技术(如 fMRI、PET 等)，研究人员可以对脑损伤的位置和程度进行精确定位。这些成像技术还可以检查特定大脑区域的结构和功能，以及该受损区域与其他正常区域之间的功能连接，以揭示该损伤如何影响个体的认知和决策功能。

研究发现大脑的前额叶区域与攻击和暴力行为有紧密联系，尤其是在眶额区和腹内侧区域受损的患者中，更容易发生攻击行为。Séguin (2009)发现，单侧眶额区受损可能会导致“获得性反社会人格障碍”(Acquired antisocial personality disorder)，而边缘性人格障碍的产生也与该区域功能受损有关(Blair, 2004)。前额叶是与执行功能、语言处理、决策行为等复杂的认知功能紧密相关的大脑区域，其中腹内侧前额叶皮层负责强化相关活动，眶前额皮层调节理想结果的选择，而背外侧前额皮层则负责监测和解决反应冲突。因此，这些部位受到损伤后可能导致决策能力的下降，使得个体无法正常达成目的，产生挫败感，并由此产生攻击行为(Blair, 2008)。

前额叶皮层的功能主要涉及规划、决策和执行，而另一个与暴力犯罪行为紧密相关的大脑区域——杏仁核，则主要负责情绪的加工(Reddy et al., 2018)。研究发现杏仁核的损伤会导致恐惧感和危险感知能力的减弱，对恐惧面部表情的反应抑制，并且是未来暴力行为的预测因素之一(Glenn & Raine, 2014)。Siever (2008)提出了“双过程理论”(Dual Process Theory)来解释前额叶结构和杏仁核对于暴力行为的共同作用。他认为当情绪事件出现时，从丘脑到杏仁核和前额叶的途径被激活，杏仁核通路能够快速触发自动情感反应，而前额叶通路较慢，随后引发对杏仁核通路的抑制反应。而当这种自下而上的杏仁核通路活动无法被自上而下的前额叶活动所抑制时，就会产生暴力行为。因此，前额叶区域的任何损伤都有可能影响其抑制杏仁核引起的过度情感反应的能力。

### 3.2. 应用方向及局限性

上述理论与研究证据表明，大脑的前额叶区域与杏仁核区域的结构与功能损伤和暴力犯罪行为紧密相关，以此为理论基础，已有大量司法实践案例中运用了脑成像研究证据证明被告在犯案时行为受特定区域的大脑病变影响，具有不完全的刑事责任能力。例如，在2009年的Brian Dugan案中，辩方出示了其fMRI扫描的结果来证明他大脑前额叶区域中与冲动控制相关的关键区域活动减弱，从而影响到了他控制自身行为的能力。该案是美国法院在刑事审判中首次考虑并接受专家基于fMRI扫描结果的证词，因此被认为是神经科学首次应用于法律领域的里程碑(Reddy et al., 2018)。而在New York诉Herbert Weinstein案(1992)中，一名没有精神障碍史的男子在冲动下杀害了自己的妻子，而神经影像学证据显示，一个蛛网膜囊肿压迫了他的前额叶皮层。该证据被辩方提出作为其冲动控制能力受损的证据，并最终推动达成了对一个对被告有利的认罪协议。

虽然神经科学研究为评估个体大脑损伤对于决策能力的影响提供了有力的支持，但也有批评的声音，认为这类神经科学证据在减刑中的使用暗示了人的行为是复杂的大脑活动产生的结果，而不受到个体自由意志的影响，并强调法庭在考虑接受神经科学证据时应保持警惕(Bigenwald & Chambon, 2019)。同时，神经科学若要在法庭上得到进一步的运用，需要依赖法律给出明确的判断标准，在理论上区分“正常”和“非正常”的决策过程，并且确定神经损伤对于个体的决策能力影响达到何种程度才是在法律上具有意义的，能够证明其不具备完全的刑事责任能力。而反之，深入了解大脑损伤如何在神经层面影响人的决策也可以帮助司法系统更准确、在有科学数据支撑的情况下制定相关的判断标准。

## 4. 罪犯风险评估与矫正中应用神经科学技术的实践展望

在当前的刑事司法系统中，神经科学证据主要被用于法庭审判，尤其是涉及未成年人和脑损伤个体的案件，而在司法实践的其他阶段少有涉及。虽然目前神经科学技术尚未被广泛应用于罪犯风险评估与矫正的司法实践，但近年来神经科学技术的飞速发展已然揭示了它们在这一领域中的潜力。本节将对脑成像技术、人工智能、神经调控与干预技术等神经科学领域内前沿技术在司法与犯罪学领域的研究基础与相关理论进行讨论，并分析这些技术在未来可以如何与司法实践整合，以提高罪犯风险评估的准确性和矫正措施的有效性。

### 4.1. 罪犯风险评估中神经科学技术的实践展望

罪犯风险评估是刑事司法系统的一个重要组成部分，目前为止，已经存在200个以上针对暴力风险评估开发的工具，通常用于暴力行为、反社会人格障碍、精神病态等方面的评估，这些工具在刑事司法领域使用的频率也在逐渐上升(Singh et al., 2014)。然而，罪犯作为一个防御性和隐蔽性较强的特殊群体，临床实践中所用的各类自评和他评的风险评估工具在预测罪犯危险性与再犯风险等方面的能力有限。而

神经科学技术的引入可以帮助我们客观地考察与罪犯暴力风险相关的多种因素,如认知能力、冲动控制、决策行为等。通过将神经科学技术与传统的访谈、问卷等评估工具和人口学变量相结合,能够进一步提高评估的准确性和科学性。

反社会人格障碍者是监狱人口的重要组成部分。一项针对西方国家 23000 名监狱囚犯调查的综述发现,反社会人格障碍者约占监狱总人口的 21% (Fazel & Danesh, 2002),而国内的调查发现该比例约为 32.8% (蒋奖, 许燕, 2007)。反社会人格障碍与犯罪的关联极高,因此是罪犯风险评估的一个重要考量因素。研究发现反社会人格障碍者存在异常的脑区主要包括前额叶皮层、杏仁核、纹状体和海马,分别对应该群体的执行功能障碍、情绪功能障碍、在决策过程中对于奖赏的偏好,以及难以从惩罚中习得并遵守规则的特征(刘宇平等, 2019)。而精神病态作为另一个与暴力犯罪行为关联紧密的概念,被视为是反社会人格障碍一种独特的变异型。fMRI 研究显示精神病态罪犯与反社会人格障碍者有着相似的脑部异常,包括额叶中部、眶额叶皮层及杏仁核的灰质容积、皮层厚度的减少,同样也被认为与精神病态罪犯的行为控制和决策能力缺陷有关(王绍坤, 杨波, 2011)。因此,以上述研究为理论依据,将脑成像等神经科学证据纳入风险评估体系,既可以帮助识别具有精神病态特征或反社会人格障碍的高风险罪犯,也可以作为客观、量化的证据支撑评估结果的可靠性。

除了传统的脑成像技术以外,近年来部分领域的研究者尝试将脑成像技术与人工智能技术相结合,采用机器学习等方法来对脑成像数据进行建模(Abraham et al., 2014; Lemm et al., 2011),这赋予了将脑成像数据纳入罪犯风险评估新的可能性。一项研究使用静息状态下的区域脑血流测量数据预测服刑人员在刑满释放后平均十年内的再犯风险,采用随机森林分类法分别构建了以传统临床精神病学评估为主的预测模型与纳入了区域脑血流测量数据的扩展模型,发现将神经影像学数据纳入模型后,模型的预测准确性从 64%上升到了 82% (Delfin et al., 2019),结果支持了将神经影像学数据纳入对即将刑满释放的服刑人员的再犯可能性评估程序的可行性。此外,神经科学领域在建模技术方面的飞速发展也为神经法学在司法实践中的应用提供了更多的可能性,比如多向量模式分析(multi-voxel pattern analysis, MVPA)就是其中的一种。这种建模方法能够识别数据中的空间和时间模式,联合分析大脑区域内各个体素的数据,能够以更高的灵敏度区分不同认知任务或人群之间的特征(Haynes & Rees, 2006)。传统的功能性脑成像研究通过比较不同实验条件或任务下的大脑活动,以确定特定任务所激活的大脑区域,而 MVPA 则是通过脑活动的模式来反向推论个体正在观察或正在思考的事物,因此这项技术也被称为“读脑”(brain-reading)技术(Tortora et al., 2020)。这项技术也为预测罪犯的暴力、累犯等风险展现了新的可能性。比如,风险决策是罪犯的累犯行为的重要影响因素之一,而近期的一项研究使用 MVPA 技术分析了风险决策过程中涉及特定类型的奖励与不同个体间差异的特定激活模式(Wang, Peng, & Hu, 2022),发现涉及价值判断以及认知控制的大脑区域在预测风险决策和区分不同风险偏好的个体上发挥了重要作用。未来研究者可考虑将 MVPA 应用于对暴力犯或涉毒类罪犯的风险决策研究,进一步探究不同类型罪犯与普通人群的风险决策在大脑活动层面的模式差异,为探究犯罪行为背后的生理与心理机制提供新的见解。

#### 4.2. 罪犯干预与矫正中神经科学技术的实践展望

罪犯的干预和矫治同样也是司法实践中的重要环节,而神经科学的发展为罪犯干预和矫正提供了新的视角和手段。虽然目前尚未有成熟的神经科学干预措施被应用于司法实践,但许多相关领域的研究者已经在讨论这类手段的可行性。例如,通过神经外科手术治疗精神病态的可能性(Hübner & White, 2016),或是使用深部脑刺激(deep brain stimulation, DBS)技术来降低性犯罪者性欲的可行性。Fuss 等人认为下丘脑外侧是 DBS 的最佳干预靶点,并且以 20 世纪 70 年代初在小范围实施过的通过 DBS 来减少攻击性行为的案例来支持他们的观点(Fuss et al., 2015)。在未来, DBS 设备甚至可能做到依据大脑活动的变化来动

态地进行干预。例如, DBS 设备可以对愤怒或性唤起的相关神经活动模式作出反应。Meynen 和 Widdershoven (2017)认为,如果这样的 DBS 设备能够在司法领域得到运用,不仅能够提高干预的有效性,还可以降低其副作用,因为该设备只会在监测到特定活动后启动。这种设备结合了评估和干预功能,能够持续评估大脑活动中的风险因子,并且在测量时对预设风险因子的出现作出特定类型的刺激反应。这一技术在司法实践中的多个环节都存在应用的价值与潜力,比如对假释、暂予监外执行期间罪犯的人身危险性进行动态评估与自动化干预,以及对于监狱中具有高自杀自残或暴力风险的顽危犯管控提供技术支持。此外,对于这类基于神经科学技术的干预措施引起的潜在伦理道德风险也是未来实践中探索与讨论的重点。通过脑成像技术,我们可以检查罪犯的大脑结构和功能是否存在缺陷,从而更好地理解罪犯的行为方式、决策制定和行为控制等方面的表现和形成过程,从而帮助我们识别罪犯的行为模式和决策制定方式以及不良行为的成因,为矫正和预防罪犯提供更精确、个性化的矫治策略。

## 5. 未来实践方向的总结与展望

总的来说,神经科学在刑事司法领域已经展现出了它的巨大潜力。从判定未成年人和脑损伤个体的刑事责任能力,再到罪犯风险评估和个性化干预,神经科学技术不断地为刑事司法实践提供新的视角和工具。这些研究成果可以帮助我们更加科学、准确地识别个体的行为特点和风险因素,并且提供更加个性化的干预和矫治计划,使刑事司法实践更加公正、有效和人性化。

目前神经科学证据在司法审判中的运用最为广泛,包括在涉及未成年人与脑损伤个体的刑事责任能力判定中,脑成像技术的应用有助于揭示大脑发育过程的不同阶段以及特定区域的功能损伤对个体行为能力的影响,为司法判决提供客观量化的证据参考。在未来的实践中应着重于确立和完善标准化的神经生理学评估工具与操作流程,包括开发针对青少年大脑发育阶段与状态的评估工具,标准化的脑损伤评估鉴定流程等,在整个操作流程中,还涉及参与评估的机构、哪些类型的神经生理学证据可以在法庭上呈现,对于呈现形式的要求等,都需要两个领域的学者与从业者针对这些问题展开进一步的研究与探讨。

罪犯风险评估与矫正作为刑事司法体系中同样重要的组成部分,对神经科学技术的运用尚处于探索阶段,但也展现了广阔的应用前景。在罪犯风险评估领域,未来的实践方向应聚焦于整合传统评估工具与神经影像学技术,以脑成像数据作为补充,运用机器学习、多向量模式分析(MVPA)等前沿技术进一步提升风险评估的准确性。而在罪犯干预与矫正领域,传统的心理治疗等方式对于改善大脑结构和功能异常导致的行为问题收效甚微。因此,这一领域中未来的实践方向包括探索深部脑刺激(DBS)等神经调控与干预手段在治疗罪犯的行为问题,降低再犯风险方面的有效性,并评估这些干预措施的潜在伦理风险及社会接受度。

## 参考文献

- 胡传鹏, 邓晓红, 周治金, 邓小刚(2011). 神经法学: 年轻的认知神经科学与古老的法学联姻. *科学通报*, 56(36), 3041-3053.
- 蒋奖, 许燕(2007). 罪犯反社会人格障碍的调查. *中国特殊教育*, (5), 80-85.
- 刘宇平, 赵辉, 李珊珊, 张卓, 杨波(2019). 反社会人格障碍的神经生物学基础及其司法启示. *心理科学进展*, 27(10), 1726-1742.
- 王绍坤, 杨波(2011). 国外精神病态罪犯的脑机制研究述评. *心理科学进展*, 19(2), 202-208.
- Abraham, A., Pedregosa, F., Eickenberg, M., Gervais, P., Mueller, A., Kossaifi, J. et al. (2014). Machine Learning for Neuroimaging with Scikit-Learn. *Frontiers in Neuroinformatics*, 8, Article 14. <https://doi.org/10.3389/fninf.2014.00014>
- Beckman, M. (2004). Crime, Culpability, and the Adolescent Brain. *Science*, 305, 596-599. <https://doi.org/10.1126/science.305.5684.596>
- Bigenwald, A., & Chambon, V. (2019). Criminal Responsibility and Neuroscience: No Revolution Yet. *Frontiers in Psy-*

- chology, 10, Article 1406. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01406>
- Blair, R. J. R. (2004). The Roles of Orbital Frontal Cortex in the Modulation of Antisocial Behavior. *Brain and Cognition*, 55, 198-208. [https://doi.org/10.1016/s0278-2626\(03\)00276-8](https://doi.org/10.1016/s0278-2626(03)00276-8)
- Blair, R. J. R. (2008). The Amygdala and Ventromedial Prefrontal Cortex: Functional Contributions and Dysfunction in Psychopathy. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363, 2557-2565. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0027>
- Blakemore, S., & Robbins, T. W. (2012). Decision-Making in the Adolescent Brain. *Nature Neuroscience*, 15, 1184-1191. <https://doi.org/10.1038/nn.3177>
- Bonnie, R. J., & Scott, E. S. (2013). The Teenage Brain: Adolescent Brain Research and the Law. *Current Directions in Psychological Science*, 22, 158-161. <https://doi.org/10.1177/0963721412471678>
- Buckingham, S. (2016). Trauma Informed Juvenile Justice. *American Criminal Law Review*, 53, 641.
- Cohen, A. O., & Casey, B. J. (2014). Rewiring Juvenile Justice: The Intersection of Developmental Neuroscience and Legal Policy. *Trends in Cognitive Sciences*, 18, 63-65. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2013.11.002>
- Cohen-Gilbert, J. E., & Thomas, K. M. (2013). Inhibitory Control during Emotional Distraction across Adolescence and Early Adulthood. *Child Development*, 84, 1954-1966. <https://doi.org/10.1111/cdev.12085>
- Delfin, C., Krona, H., Andiné, P., Ryding, E., Wallinius, M., & Hofvander, B. (2019). Prediction of Recidivism in a Long-Term Follow-Up of Forensic Psychiatric Patients: Incremental Effects of Neuroimaging Data. *PLOS ONE*, 14, e0217127. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217127>
- Dreyfuss, M., Caudle, K., Drysdale, A. T., Johnston, N. E., Cohen, A. O., Somerville, L. H. et al. (2014). Teens Impulsively React Rather than Retreat from Threat. *Developmental Neuroscience*, 36, 220-227. <https://doi.org/10.1159/000357755>
- Ernst, M., Nelson, E. E., Jazbec, S., McClure, E. B., Monk, C. S., Leibenluft, E. et al. (2005). Amygdala and Nucleus Accumbens in Responses to Receipt and Omission of Gains in Adults and Adolescents. *NeuroImage*, 25, 1279-1291. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2004.12.038>
- Fazel, S., & Danesh, J. (2002). Serious Mental Disorder in 23 000 Prisoners: A Systematic Review of 62 Surveys. *The Lancet*, 359, 545-550. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(02\)07740-1](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(02)07740-1)
- Ferrer, E. R. (2016). Transformation through Accommodation: Reforming Juvenile Justice by Recognizing and Responding to Trauma. *American Criminal Law Review*, 53, 549.
- Fuss, J., Auer, M. K., Biedermann, S. V., Briken, P., & Hacke, W. (2015). Deep Brain Stimulation to Reduce Sexual Drive. *Journal of Psychiatry & Neuroscience*, 40, 429-431. <https://doi.org/10.1503/jpn.150003>
- Galvan, A., Hare, T. A., Parra, C. E., Penn, J., Voss, H., Glover, G. et al. (2006). Earlier Development of the Accumbens Relative to Orbitofrontal Cortex Might Underlie Risk-Taking Behavior in Adolescents. *Journal of Neuroscience*, 26, 6885-6892. <https://doi.org/10.1523/jneurosci.1062-06.2006>
- Galvan, A., Hare, T., Voss, H., Glover, G., & Casey, B. J. (2007). Risk-Taking and the Adolescent Brain: Who Is at Risk? *Developmental Science*, 10, F8-F14. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2006.00579.x>
- Geier, C. F., Terwilliger, R., Teslovich, T., Velanova, K., & Luna, B. (2010). Immaturities in Reward Processing and Its Influence on Inhibitory Control in Adolescence. *Cerebral Cortex*, 20, 1613-1629. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhp225>
- Glenn, A. L., & Raine, A. (2014). Neurocriminology: Implications for the Punishment, Prediction and Prevention of Criminal Behaviour. *Nature Reviews Neuroscience*, 15, 54-63. <https://doi.org/10.1038/nrn3640>
- Grose-Fifer, J., Rodrigues, A., Hoover, S., & Zottoli, T. (2013). Attentional Capture by Emotional Faces in Adolescence. *Advances in Cognitive Psychology*, 9, 81-91. <https://doi.org/10.5709/acp-0134-9>
- Haynes, J., & Rees, G. (2006). Decoding Mental States from Brain Activity in Humans. *Nature Reviews Neuroscience*, 7, 523-534. <https://doi.org/10.1038/nrn1931>
- Hübner, D., & White, L. (2016). Neurosurgery for Psychopaths? An Ethical Analysis. *AJOB Neuroscience*, 7, 140-149. <https://doi.org/10.1080/21507740.2016.1218376>
- Lemm, S., Blankertz, B., Dickhaus, T., & Müller, K. (2011). Introduction to Machine Learning for Brain Imaging. *NeuroImage*, 56, 387-399. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.11.004>
- Meynen, G., & Widdershoven, G. (2017). The Impact of Closed-Loop DBS on Agency: An Open Question. *AJOB Neuroscience*, 8, 79-80. <https://doi.org/10.1080/21507740.2017.1320325>
- Petoft, A. (2015). Neurolaw: A Brief Introduction. *Iranian Journal of Neurology*, 14, 53-58.
- Reddy, K. J., Menon, K. R., & Hunjan, U. G. (2018). *Neurobiological Aspects of Violent and Criminal Behaviour: Deficits in Frontal Lobe Function and Neurotransmitters*. Zenodo (CERN European Organization for Nuclear Research).
- Rosenthal, H. (2018). Scanning for Justice: Using Neuroscience to Create a More Inclusive Legal System. *Columbia Human Rights Law Review*, 50, 290-338.

- Schleim, S. (2020). Real Neurolaw in the Netherlands: The Role of the Developing Brain in the New Adolescent Criminal Law. *Frontiers in Psychology, 11*, Article 1762. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.01762>
- Séguin, J. R. (2009). The Frontal Lobe and Aggression. *European Journal of Developmental Psychology, 6*, 100-119. <https://doi.org/10.1080/17405620701669871>
- Siever, L. J. (2008). Neurobiology of Aggression and Violence. *American Journal of Psychiatry, 165*, 429-442. <https://doi.org/10.1176/appi.ajp.2008.07111774>
- Singh, J. P., Desmarais, S. L., Hurducas, C., Arbach-Lucioni, K., Condemarin, C., Dean, K. et al. (2014). International Perspectives on the Practical Application of Violence Risk Assessment: A Global Survey of 44 Countries. *International Journal of Forensic Mental Health, 13*, 193-206. <https://doi.org/10.1080/14999013.2014.922141>
- Somerville, L. H., & Casey, B. (2010). Developmental Neurobiology of Cognitive Control and Motivational Systems. *Current Opinion in Neurobiology, 20*, 236-241. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2010.01.006>
- Somerville, L. H., Hare, T., & Casey, B. J. (2011). Frontostriatal Maturation Predicts Cognitive Control Failure to Appetitive Cues in Adolescents. *Journal of Cognitive Neuroscience, 23*, 2123-2134. <https://doi.org/10.1162/jocn.2010.21572>
- Steinberg, L. (2009). Adolescent Development and Juvenile Justice. *Annual Review of Clinical Psychology, 5*, 459-485. <https://doi.org/10.1146/annurev.clinpsy.032408.153603>
- Taylor, J. S., Harp, J. A., & Elliott, T. (1991). Neuropsychologists and Neurolawyers. *Neuropsychology, 5*, 293-305. <https://doi.org/10.1037/0894-4105.5.4.293>
- Tortora, L., Meynen, G., Bijlsma, J., Tronci, E., & Ferracuti, S. (2020). Neuroprediction and A.I. in Forensic Psychiatry and Criminal Justice: A Neurolaw Perspective. *Frontiers in Psychology, 11*, Article 220. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.00220>
- Van Leijenhorst, L., Zanolie, K., Van Meel, C. S., Westenberg, P. M., Rombouts, S. A. R. B., & Crone, E. A. (2010). What Motivates the Adolescent? Brain Regions Mediating Reward Sensitivity across Adolescence. *Cerebral Cortex, 20*, 61-69. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhp078>
- Wang, Y., Peng, X., & Hu, X. (2022). Investigating the Neural Bases of Risky Decision Making Using Multi-Voxel Pattern Analysis. *Brain Sciences, 12*, Article 1488. <https://doi.org/10.3390/brainsci12111488>