

脑科学前沿研究的伦理与社会影响

刘 超 孙文钊

摘要：脑科学研究的不断发展为人类带来了前所未有的机遇，但也催生了一系列亟待解决的伦理与社会问题。神经影像学技术对个体大脑活动与其人格特质、态度甚至无意识偏见的关联的解析，引发了关于“大脑隐私”的深刻讨论；神经调控技术可以治疗神经系统疾病，但其“认知增强”功能可能进一步加剧社会资源分配的不公；闭环脑设备直接挑战了人类对“个人身份”的认知，也使得法律与道德判断更加复杂化；大脑类器官技术触及生命伦理问题，尽管当前大脑类器官尚不具有意识，但仍迫使人类提前思考所有权界定及生死定义等问题。除以上四个方面外，更应关注的是，神经科学对人类世界观和人类本身理解的重要影响。

关键词：神经影像学；神经调控技术；脑机接口；大脑类器官；伦理

DOI:10.16154/j.cnki.cn22-1025/c.2025.02.005

科学技术的飞速发展，特别是神经科学、认知科学等领域的突破性进展，使我们以前所未有的深度和广度了解了大脑的奥秘。这极大地推动了医学、心理学等学科的高速发展，并引发了关于人类本质、意识起源等问题的新一轮讨论，同时也带来了诸多道德伦理方面的挑战。

一、神经影像学技术与大脑隐私

50 多年前，X 射线计算机断层扫描（X-ray Computed Tomography, X-CT）的诞生在医学诊断领域掀起了一场革命，特别是正电子发射断层扫描（Position Emission Tomography, PET）、磁共振成像（Magnetic Resonance Imaging, MRI）和功能性磁共振成像（Functional Magnetic Resonance Imaging, fMRI）的出现为研究人类行为的神经基础提供了技术保障，彻底改变了心理学、神经科学和其他相关学科的研究，并由此产生了一门新的学科——认知神经科学。

上述技术最初只被用于与认知相关的研究（如语言、记忆、视觉感知），20 世纪 90 年代中期，则开始应用于情绪研究。此后，社会神经科学诞生，人际交往过程中的情绪和认知成为新的

作者简介：刘超，北京师范大学心理学部认知神经科学与学习国家重点实验室教授，博士生导师；孙文钊，北京师范大学心理学部认知神经科学与学习国家重点实验室研究生。

研究对象。同一时期,功能神经成像的分析方法,包括针对全脑分析中假阳性激活的解决方案和研究功能连接的方法得到进一步发展,^①同时出现了研究结构的新方法,包括基于体素的形态测量(Voxel-Based Morphometry, VBM)^②和弥散张量成像(Diffusion Tensor Imaging, DTI)^③。但是,真正使脑成像构成实质性挑战的还是脑成像数据在伦理和社会层面产生的影响。在研究初期,脑功能成像技术应用的主要目的是归纳出典型的正常大脑或某一研究群体(如男性或女性、抑郁症患者或非抑郁症患者)的典型大脑。在此类分析中,组内被试之间的差异通常被视作测量误差。脑成像实验涉及的实验条件相对较少,仅包括一个基线条件和一到两个实验条件,每个条件有许多试次,而这些试次被视为相关条件的重复测量,而非针对单个事件本身进行的分析。^④然而,这种情况很快发生了变化。随着研究的深入,研究者开始关注单次试验的结果以及大脑活动的个体差异。如Schaefer等调查了消极情绪对大脑激活的影响,发现当参与者被要求在负性图片刺激后保持负面情绪体验时,他们的杏仁核就会被长时间激活,而且杏仁核信号的增加与被试自我报告的消极情绪倾向水平显著正相关。^⑤同时,一些研究侧重于特定人格特质与大脑激活的关系。Fischer等向没有蛇类恐惧症的被试展示蛇的影视片段,发现被试的杏仁核激活与问卷评估的气质性悲观主义得分显著正相关。^⑥Canli等发现,在观看快乐的面部表情时,被试的杏仁核激活和其外向性显著正相关。^⑦

上述研究显示,大脑激活与某些人格特质之间有密切关系,这意味着,我们也许可以根据脑成像数据的个体差异推断一个人的人格特质等信息。此外,脑成像数据还可以提供人对某人某事主观认知的相关信息。在一项研究中,研究者让白人被试观察不熟悉的黑人男性面孔,结果表明,被试杏仁核的激活与其种族偏见相关,但与其态度的直接表达无关。^⑧也有研究发现,白人被试的右侧背外侧前额叶皮层(dIPFC)对黑人面孔的激活程度会随着其种族态度的变化而变化。^⑨

脑成像技术带来的最直接的伦理挑战是对大脑隐私的侵犯。上述研究表明,脑成像技术原则上能提供具有伦理、法律、社会意义的个体信息,如一个人的特质、态度、思想甚至是信念。尽

① Geoffrey K. Aguirre, "Experimental Design and Data Analysis for fMRI," in *Functional Neuroradiology: Principles and Clinical Applications*, ed. Scott H. Faro et al. (Boston, MA: Springer US, 2012), pp. 321-330.

② Andrea Mechelli, Cathy J. Price & Karl J. Friston et al., "Voxel-Based Morphometry of the Human Brain: Methods and Applications," *Current Medical Imaging* 1, no. 2 (2005): 105-113.

③ Denis Le Bihan, Uean-François Mangin & Cyril Poupon et al., "Diffusion Tensor Imaging: Concepts and Applications," *Journal of Magnetic Resonance Imaging* 13, no. 4 (2001): 534-546.

④ Martha J. Farah, "Neuroethics: The Ethical, Legal, and Societal Impact of Neuroscience," *Annual Review of Psychology* 63 (2012): 571-591.

⑤ Stacey M. Schaefer, Daren C. Jackson & Richard J. Davidson et al., "Modulation of Amygdalar Activity by the Conscious Regulation of Negative Emotion," *Journal of Cognitive Neuroscience* 14, no. 6 (2002): 913-921.

⑥ Håkan Fischer, Maria Tillfors & Tomas Furmark et al., "Dispositional Pessimism and Amygdala Activity: A PET Study in Healthy Volunteers," *NeuroReport* 12, no. 8 (2001): 1635-1638.

⑦ Turhan Canli, Heidi Sivers & Susan L. Whitfield et al., "Amygdala Response to Happy Faces as a Function of Extraversion," *Science* 296, no. 5576 (2002): 2191.

⑧ Elizabeth A. Phelps, Kevin J. O'Connor & William Andrew Cunningham et al., "Performance on Indirect Measures of Race Evaluation Predicts Amygdala Activation," *Journal of Cognitive Neuroscience* 12, no. 5 (2000): 729-738.

⑨ Jennifer A. Richeson, Abigail A. Baird & Heather L. Gordon et al., "An fMRI Investigation of the Impact of Interracial Contact on Executive Function," *Nature Neuroscience* 6, no. 12 (2003): 1323-1328.

管获取大脑结构和功能图像需征得被试同意，但实际上被试并不能掌控其脑成像数据的后续分析，如前述对种族态度的研究。人们仅通过观看面孔图片就可以激活大脑，在被试不知情的情况下也可获取其种族态度的相关信息，尤其在目前脑成像数据库逐渐完善的情况下，高度共享的技术趋势对个人大脑隐私形成了严峻的挑战。实际上，脑成像数据所能提供的信息是有限的，Farah 等发现，利用脑成像收集的个人心理特征信息极其有限，这种极低的预测能力并不实用。^①

公众对神经影像学存在一定的误解。调查显示，大部分有关 fMRI 的新闻报道没有对其功能和局限性做出解释（67%），而且报道的基调大多是乐观的（79%），仅有 5% 的报道是批判性的。^② 有研究发现，公众认为包含大脑图像的文章的客观性和科学性高于包含条形图的文章，^③ 公众高估了神经影像的解释力。这可能导致脑成像过早地商业化，也会对消费者造成伤害。不断发展的人工智能不仅能够自动化处理、分析海量的神经影像数据，还可能通过深度学习从细微的脑信号中捕捉更多个体的特质、情感和观念等相关信息，这可能会引发新一轮的伦理讨论。

二、非侵入性神经调控技术与认知增强

神经影像学技术作为科学研究与临床应用的强大工具，能够精准地展现不同状态下大脑的活动模式，为理解人类认知过程、情感反应以及神经疾病等提供技术条件。神经影像学技术主要是对大脑活动的观测与记录，几乎不会直接干预或影响神经系统的自然活动。近年来，随着对大脑机制理解的深入以及技术的不断革新，神经调控技术应运而生。神经调控技术旨在通过对神经系统进行有针对性的电、机械、磁或热刺激，改变神经元发射和神经元间连接的特性，实现对大脑功能的调节与优化。神经调控技术的出现，不仅为神经科学研究提供了全新的实验手段，也为临床治疗神经系统疾病、改善认知功能乃至调节情绪提供了新的可能性，然而也引发了关于伦理、安全及隐私保护等问题的广泛讨论。

神经调控技术包含一系列非侵入性与侵入性方法，如经颅磁刺激（Transcranial Magnetic Stimulation, TMS）、经颅直流电刺激（Transcranial Direct Current Stimulation, tDCS）、经颅交流电刺激（Transcranial Alternating Current Stimulation, tACS）、经颅随机噪声刺激（Transcranial Random Noise Stimulation, tRNS）、深部脑刺激（Deep Brain Stimulation, DBS）等。它们的原理各不相同。如 TMS 是利用变化的磁场在大脑皮层产生感应电流，从而改变神经元的兴奋性；tDCS 是通过微弱的直流电刺激大脑特定区域，调节大脑皮层的功能；DBS 则更为直接，它通过在脑深部核团植入电极，施加高频电刺激，以调节大脑活动。不同技术手段带来了不同的伦理争议，鉴于侵入性神经调控技术的特殊性，下文将首先探讨非侵入性神经调控技术带来的伦理问题。

第一，与神经影像技术类似，媒体对神经调控技术和设备的报道在很大程度上影响了公众对这一话题的看法，而且神经调控技术不同于神经影像学技术，它会直接影响大脑活动，所以更有

① Martha J. Farah, M. Elizabeth Smith & Cyrena Gawuga et al., "Brain Imaging and Brain Privacy: A Realistic Concern?" *Journal of Cognitive Neuroscience* 21, no. 1 (2009): 119-127.

② Eric Racine, Ofek Bar-Ilan & Judy Illes, "fMRI in the Public Eye," *Nature Reviews Neuroscience* 6, no. 2 (2005): 159-164.

③ David P. McCabe and Alan D. Castel, "Seeing Is Believing: The Effect of Brain Images on Judgments of Scientific Reasoning," *Cognition* 107, no. 1 (2008): 343-252.

可能带来不良反应。有研究检索 2000—2016 年的研究成果,发现约有 300 篇使用低强度经颅电刺激的文章报告了存在的轻度不良反应。^①除实验室和医疗场所,有相当数量未经培训的普通群众购买和使用神经调控设备,以增强认知或用于治疗,^②因此需要重视公众对神经调控技术的误解问题。Racine 等根据 1995—2004 年英美印刷媒体对神经调控技术的报道发现,在 235 篇文章中,51% 的文章持乐观态度,仅强调了神经调控的益处,31% 的文章既强调益处也强调风险。^③媒体报道对神经调控技术应用效果的过高评价具有误导性,不仅可能给用户带来经济和身体上的损害,还可能在技术效果无法实现时,使人们对神经调控技术的信任度降低。由此引出了一个重要问题:研究人员是否有责任向公众阐明神经调控技术的局限性,并纠正媒体的不准确报道。有人认为,科学界应在媒体收集相关数据和研究人员的观点之前,先解决这些问题;也有人认为,即便研究人员向媒体详细介绍了神经调控技术及其局限性,仍难以避免媒体的误导性报道。^④

第二,神经调控技术不仅可以有效改善与疾病相关的损伤,还可以增强人的认知能力。Kadosh 等人创造了一系列“人造数字”,即那些存在大小关系的无意义符号。在利用这些人造数字进行训练的过程中,他们发现,对健康成年人的顶叶施加 tDCS 可以长期提升其对数字的熟练度。^⑤同样,一项有关 tRNS 的研究表明,在进行数量辨别任务训练时刺激被试顶叶,可以提高其长期任务表现,效果长达 16 周,这种增强效应在其他类似的任务中也有表现。^⑥尽管认知增强技术目前涉及的任务类型较少,主要集中于一些特定的认知领域,但其发展已然引发了广泛而深入的讨论。这些讨论不仅聚焦于技术应用的直接效果,更延伸至技术背后的伦理和社会问题。

一方面,认知增强技术的出现可能加剧社会的不平等,特别是在能够获取并有效利用神经调控技术的人群与缺乏相应资源的人群之间形成鸿沟。当前,众多旨在提升认知能力的药物或治疗方法已被经济条件更优越的人群拥有,这一现象预示着未来神经调控技术及相关设备的使用也可能步其后尘。随着技术的不断发展和应用,认知能力的提升可能不再单纯是个人努力或天赋的结果,而会更多地受到社会经济地位与资源获取能力的制约。因此,认知能力的增强可能成为加剧国内乃至国际社会经济差距的新因素。那些能够负担并有效利用先进技术的群体,其认知能力将进一步提升,从而在教育、就业、社会竞争等多个领域占据优势地位;相反地,资源匮乏的群体则可能面临更严峻的挑战,进一步被边缘化。

① A. Antal, I. Alekseichuk & M. Bikson et al., “Low Intensity Transcranial Electric Stimulation: Safety, Ethical, Legal Regulatory and Application Guidelines,” *Clinical Neurophysiology* 128, no. 9 (2017): 1774–1809.

② Anna Wexler, “Who Uses Direct-to-Consumer Brain Stimulation Products, and Why? A Study of Home Users of tDCS Devices,” *Journal of Cognitive Enhancement* 2, no. 9 (2018): 114–134.

③ Eric Racine et al., “‘Currents of Hope’: Neurostimulation Techniques in U. S. and U. K. Print Media,” *Cambridge Quarterly of Healthcare Ethics* 16, no. 3 (2007): 312–316.

④ Devan Stahl, Laura Cabrera & Tyler Gibb, “Should DBS for Psychiatric Disorders Be Considered a Form of Psychosurgery? Ethical and Legal Considerations,” *Science and Engineering Ethics* 24, no. 4 (2018): 1119–1142; Peter Zuk, Laura Torgerson & Demetrio Sierra-Mercado et al., “Neuroethics of Neuromodulation: An Update,” *Current Opinion in Biomedical Engineering* 8, no. Special SI (2018): 45–50.

⑤ Roi Cohen Kadosh, Sonja Soskic & Teresa Luculano et al., “Modulating Neuronal Activity Produces Specific and Long-Lasting Changes in Numerical Competence,” *Current Biology* 20, no. 22 (2010): 2016–2020.

⑥ Marinella Cappelletti, Erica Gessaroli & Rosalyn Hithersay et al., “Transfer of Cognitive Training across Magnitude Dimensions Achieved with Concurrent Brain Stimulation of the Parietal Lobe,” *Journal of Neuroscience* 33, no. 37 (2013): 14899–14907.

另一方面,正如 Farah 所说,认知增强的应用也可能在某种程度上侵蚀个人自由。若某种技术可以赋予工人更强的注意力和长时间连续工作的能力,自然会引起雇主的关注,因为这意味着生产力的提升。然而,随着这种增强手段的日益普及,一种潜在的压力也随之而来:当某个员工通过此类技术实现通宵工作且效率惊人时,其他员工很可能会感受到一种强烈的暗示——若不愿或未选择增强自身以应对长时间的工作,则会面临被其他愿意这样做的同事取代的风险。在这种情境下,个人的自由选择权在一定程度上受到了影响。^①

第三,神经调控技术的发展引发了人们对其可能对使用者人格(Personality)或个人身份(Identity)产生影响的担忧。已有研究表明,某些神经调控技术会对与社交和情感行为相关的复杂认知功能产生影响。一项关于社会排斥感受的研究显示,tDCS 增强了被试在被排斥时产生的嫉妒感。^②也有研究者在“最后通牒”游戏中评估了 tDCS 的影响。在这个实验中,一名参与者提出分配金钱的方案。若被试接受,则按照方案分配金钱;如果被试拒绝,则双方都无法获得任何金钱。在通常情况下,被试倾向于不接受极度不公平的分配方案。然而,有研究发现,接受内侧前额叶皮层(mPFC) tDCS 刺激的个体,相较于未接受刺激的个体,更有可能接受较低的出价。^③此外,tDCS 还可对道德判断产生影响。在一项研究中,被试被要求在一系列道德困境中做出选择。在这些选择中,总有一种选择会导致一个人死亡或受伤,而其他则可以逃脱并生存。结果发现,当被试 dlPFC 受到阳极 tDCS 刺激时,他们做出了更多非功利性决策。^④

还有人认为,使用认知增强技术,如 tDCS 等神经调控手段,不仅可能触及并损害人性中的核心特质,还可能使人类忽视自然赋予的能力和独特天赋,导致个人“真我”本质逐渐消失。尽管关于神经增强技术对人类价值观潜在影响的道德可接受性尚存争议,但一个不争的事实是,目前我们仍缺乏充分证据来明确这些技术对人类影响的广泛程度及个体间差异的具体表现形式。^⑤所以,这仍然是一个亟待深入探讨和研究的课题。

三、闭环脑设备与个人身份的改变

神经调控技术还涵盖以深部脑刺激(Deep Brain Stimulation, DBS)为代表的侵入性技术。此类技术相较于非侵入性技术,以更为直接且持久的方式介入人体,不仅在治疗周期内与患者相伴,更在某种意义上逐渐融入患者身体,成为其身体的一部分,这催生了一系列新的伦理挑战。鉴于侵入性神经调控技术的独特属性及其所引发伦理问题的复杂性,我们有必要将其与另一个前

① Martha J. Farah, “Neuroethics: The Ethical, Legal, and Societal Impact of Neuroscience,” *Annual Review of Psychology* 63 (2012): 571–591.

② Nicholas J. Kelley, Paul W. Eastwick & Eddie Harmon-Jones et al., “Jealousy Increased by Induced Relative Left Frontal Cortical Activity,” *Emotion* 15, no. 5 (2015): 550–555.

③ Claudia Civali, Carlo Miniussi & Raffaella I. Rumiati, “Medial Prefrontal Cortex Reacts to Unfairness If This Damages the Self: A tDCS Study,” *Social Cognitive and Affective Neuroscience* 10, no. 8 (2015): 1054–1060.

④ Maria Kuehne, Kai Heimrath & Hans-Jochen Heinze et al., “Transcranial Direct Current Stimulation of the Left Dorsolateral Prefrontal Cortex Shifts Preference of Moral Judgments,” *PLoS ONE* 1010, no. 5 (2015): 1–9.

⑤ Jantien W. Schuijjer, Irja M. de Jong & Frank Kupper et al., “Transcranial Electrical Stimulation to Enhance Cognitive Performance of Healthy Minors: A Complex Governance Challenge,” *Frontiers in Human Neuroscience* 11 (2017): 1–15.

沿领域——脑机接口（Brain-Computer Interface, BCI）技术并置分析。

深部脑刺激是一种神经外科手术疗法，手术将电极植入大脑，通过电极发放高频电刺激相关大脑神经核团（如苍白球内侧部、丘脑底核等），以改善神经系统疾病症状。DBS被用作治疗各种大脑相关疾病，包括帕金森病、特发性震颤、肌张力障碍、强迫症、抑郁症、肥胖症、成瘾、神经性厌食症和抽动秽语综合征等躯体疾病与精神障碍。^①

第一代DBS被称为开环深部脑刺激（Open Loop Deep Brain Stimulation, OL-DBS）。医生需跟踪患者的临床状态，每3~12个月手动调整刺激的参数以提高疗效，^②然而，这种被动的调整方式使OL-DBS的刺激输出在预设周期内保持恒定，无法灵活适应患者症状的变化，在疾病的自然进展与临床干预时机之间产生显著的不协调与滞后现象。因此，出现了第二代DBS“闭环”深部脑刺激（Close Loop Deep Brain Stimulation, CL-DBS）。传感器记录与症状相关的神经信号，并根据患者大脑状态及其动态需求自动调整参数。^③CL-DBS由于具备这种动态调整的特性，无须持续放电，因此与OL-DBS相比功耗更低，可以降低电池更换频率。^④脑机接口技术，构建了大脑与外部设备间的通信通道，利用侵入性或非侵入性神经设备读取个人神经信号，并对这些信号进行处理，转化为外部应用设备的命令，同样也可以归类为闭环脑设备。BCI技术可以让闭环综合征患者通过拼写器重新获得交流的能力。^⑤同样，瘫痪病人也可以利用大脑信号控制假肢^⑥和轮椅^⑦等外部设备。

与DBS类似，BCI也直接与大脑进行信息交换，二者皆模糊了生物体与机器之间的界限，开启了神经科学与信息技术融合的新纪元。闭环脑设备的快速发展，为治疗神经系统疾病带来了希望，但也引发了更为深刻且亟待解决的伦理和社会议题。

第一，闭环脑设备对代理感（Agency）的影响。代理感是指让某事发生的感受，它是指控制自身运动行为并通过这些行为影响外界事件的体验，既涉及对身体运动的体验（“我的身体移动了”），也涉及对身体运动自愿控制的认知体验（“我自愿让它移动”）。代理感构成了人类经验的核心特征，是一种极其重要的心理和神经状态，也是人类社会中“责任”概念的基础。^⑧

① Eran Klein and Jeffrey Ojemann, “Informed Consent in Implantable BCI Research: Identification of Research Risks and Recommendations for Development of Best Practices,” *Journal of Neural Engineering* 13, no. 4 (2016): 1–11.

② Andrea Lavazza, “Freedom of Thought and Mental Integrity: The Moral Requirements for Any Neural Prosthesis,” *Frontiers in Neuroscience* 12 (2018): 1–10.

③ Alik S. Widge, Darin D. Dougherty & Chet T. Moritz, “Affective Brain-Computer Interfaces as Enabling Technology for Responsive Psychiatric Stimulation,” *Brain-Computer Interfaces* 1, no. 2 (2014): 126–136.

④ Simon Little, Alex Pogonyan & Spencer Neal et al., “Adaptive Deep Brain Stimulation in Advanced Parkinson Disease,” *Annals of Neurology* 74, no. 3 (2013): 449–457.

⑤ Niels Birbaumer and Leonardo G. Cohen, “Brain-Computer Interfaces: Communication and Restoration of Movement in Paralysis,” *The Journal of Physiology* 579, no. 3 (2007): 621–636.

⑥ Masaharu Maruishi, Yoshiyuki Tanaka & Hiroyuki Muranaka et al., “Brain Activation during Manipulation of the Myoelectric Prosthetic Hand: A Functional Magnetic Resonance Imaging Study,” *NeuroImage* 21, no. 4 (2004): 1604–1611.

⑦ Dennis J. McFarland and Jonathan R. Wolpaw, “Brain-Computer Interfaces for Communication and Control,” *Communication of the ACM* 54, no. 5 (2011): 60–66.

⑧ Patrick Haggard, “Sense of Agency in the Human Brain,” *Nature Reviews Neuroscience* 18, no. 4 (2017): 196–207.

在某种程度上, DBS 和 BCI 拥有将患者欲望、信念和意图等心理状态转化为行动的能力。DBS 可以使运动障碍患者在一定程度上恢复运动控制能力, 让他们能够完成身体动作, 此外还能增强强迫症患者对思维和行动的控制, 改善重度抑郁症患者的情绪。^① 同样, BCI 也可以通过采集大脑信号控制外部设备, 使瘫痪病人将内在的意图转化为动作, 或者作为无法与外界交流的人的“拼写器”, 将其内心的想法转化为文字。^② 然而, 正是这种代理能力使闭环脑设备影响了患者的代理感, 因为难以明确是患者自身还是设备应对患者的某种感觉或行为负责。例如在 Agid 等对 DBS 使用者的访谈中, 一位受访者描述了其似乎被“遥控”的经历, 另有一位受访者声称“自己被迫像个囚犯一样生活在一个失去控制的外星人身体里”^③。因此, 可能正如 Baylis 认为的那样, DBS 影响了患者的代理感, 因为患者的行为并非完全基于个人意图或信念, 而是设备对大脑直接干预的结果。^④

第二, 闭环脑设备对个人身份和人格的改变。不同于非侵入性神经调控技术带来的未知担忧, 众多研究已证明, DBS 或 BCI 可以引发个人身份认同问题。如 Agid 等认为患者使用 DBS 后会产生疏离感, 有患者提到“我感觉自己像个机器人”“我感觉自己像个电动玩偶”^⑤。在 Schüpbach 对 DBS 接受者的访谈中, 也有患者提到, “现在我觉得自己像一台机器, 我失去了激情, 我再也认不出我自己了”^⑥。这种变化会让患者觉得与以前的自己有疏离感, 继而产生对个人身份的担忧。^⑦ BCI 也存在类似问题。有学者认为, BCI 的使用可能会对人的心理产生影响, 包括自我认知、行为特征、记忆、理解信息的能力等, 进而引发对个体心理连续性甚至个人身份的质疑。^⑧ 此外, 一些公众也有同样的担忧, 他们担心植入大脑的设备会改变人的性格, 让他们不再是“他们自己”^⑨。

对于身份认同的问题, 不同研究者有不同见解。Baylis 认为, DBS 虽然会导致个人情绪和行为的变化, 但这种改变并无不妥, 因为重大生活事件均可引发个人身份认知的变化, 相对而言,

① Peter Rabins, Brian S. Appleby & Jason Brandt et al., “Scientific and Ethical Issues Related to Deep Brain Stimulation for Disorders of Mood, Behavior, and Thought,” *Archives of General Psychiatry* 66, no. 9 (2009): 931–937.

② Sasha Burwell, Matthew Sample & Eric Racine, “Ethical Aspects of Brain Computer Interfaces: A Scoping Review,” *BMC Medical Ethics* 18, no. 1 (2017): 60.

③ Y. Agid, M. Schüpbach & M. Gargiulo et al., “Neurosurgery in Parkinson’s Disease: The Doctor Is Happy, the Patient Less So?” in *Parkinson’s Disease and Related Disorders*, ed. P. Riederer et al. (Vienna: Springer, 2006), pp. 409–414.

④ Françoise Baylis, “‘I Am Who I Am’: On the Perceived Threats to Personal Identity from Deep Brain Stimulation,” *Neuroethics* 6, no. 3 (2013): 513–526.

⑤ Y. Agid, M. Schüpbach & M. Gargiulo et al., “Neurosurgery in Parkinson’s Disease: The Doctor Is Happy, the Patient Less So?” in *Parkinson’s Disease and Related Disorders*, ed. P. Riederer et al. (Vienna: Springer, 2006), pp. 409–414.

⑥ M. Schüpbach, M. Gargiulo & M. L. Welter et al., “Neurosurgery in Parkinson Disease: A distressed mind in a repaired body?” *Neurology* 66, no. 12 (2006): 1811–1816.

⑦ Marya Schechtman, “Philosophical Reflections on Narrative and Deep Brain Stimulation,” *The Journal of Clinical Ethics* 21, no. 2 (2010): 133–139.

⑧ Femke Nijboer, Jens Clausen & Brendan Z. Allison et al., “The Asilomar Survey: Stakeholders’ Opinions on Ethical Issues Related to Brain–Computer Interfacing,” *Neuroethics* 6, no. 3 (2013): 541–578.

⑨ Karim Jebari and Sven-Ove Hansson, “European Public Deliberation on Brain Machine Interface Technology: Five Convergence Seminars,” *Science and Engineering Ethics* 19, no. 3 (2013): 1071–1086.

DBS带来的变化是微不足道的。^①也有研究者认为,个人身份也可通过其他医疗手段或摄入酒精等方式改变,因此不值得作为伦理问题来考量。^②

第三,隐私问题。与神经影像学引发的问题类似,闭环脑设备也存在信息泄露的风险。由于设备会记录大脑活动,所以可能会泄露如心理特征、态度、精神状态以及对他人的看法等个体信息。^③一项关于公众对BCI认知的研究表明,隐私是公众普遍关注的重要问题。^④一些学者同样表达了担忧,认为BCI能够直接从大脑提取信息,可能导致受试者“不知道从他或她的大脑中获得的信息的程度”^⑤,从而潜藏多重问题。

除此之外,更值得注意的是与隐私相关的黑客攻击问题。DBS等的神经调控设备存在的被黑客入侵的风险可以损害其可用性、完整性和保密性。^⑥在脑计算机接口中,也存在黑客篡改设备设置对用户造成伤害的风险,^⑦如Ienca等已指出,EmotivEPOC等BCI设备已有被入侵的案例。^⑧此外,植入式设备也容易受到“拒绝服务”(Denial of Service, DoS)攻击,导致电池电量迅速耗尽。

第四,责任认定问题。一般而言,我们要求个体对其可控行为负责,但脑设备的使用使责任归属问题变得愈加复杂化。在认定责任时,人的意图是一个重要的考量因素,而脑设备有能力通过作用于大脑来影响人的思想、感情及行为,这一特性直接关乎我们对道德和法律责任的判断。^⑨例如,一位重度抑郁症患者推搡他人,在应用DBS技术的情境下,该患者是否需要对此行为承担全部责任便成为一个复杂的问题。在评估责任归属时,我们必须综合考量患者的自主能力和行为意愿,同时不可忽视DBS设备出现故障的可能性,以及DBS治疗本身可能引发的副作用,如攻击性增强等。^⑩公正合理地认定责任是一项复杂的事情。

BCI也存在类似问题。调查显示,65%的被试认同BCI使用者应对其使用该设备所执行的操作承担责任,而21.5%的受访者表示,责任归属取决于多种因素,包括用户意图的准确性、用

① Françoise Baylis, “‘I Am Who I Am’: On the Perceived Threats to Personal Identity from Deep Brain Stimulation,” *Neuroethics* 6, no. 3 (2013): 513–526.

② Swati Aggarwal and Nupur Chugh, “Ethical Implications of Closed Loop Brain Device: 10-Year Review,” *Minds and Machines* 30, no. 1 (2020): 145–170.

③ Eran Klein and Jeffrey Ojemann, “Informed Consent in Implantable BCI Research: Identification of Research Risks and Recommendations for Development of Best Practices,” *Journal of Neural Engineering* 13, no. 4 (2016): 1–11.

④ Karim Jebari and Sven-Ove Hansson, “European Public Deliberation on Brain Machine Interface Technology: Five Convergence Seminars,” *Science and Engineering Ethics* 19, no. 3 (2013): 1071–1086.

⑤ Rutger J. Vlek, David Steines & Dyana Szibbo et al., “Ethical Issues in Brain-Computer Interface Research, Development, and Dissemination,” *Journal of Neurologic Physical Therapy* 36, no. 2 (2012): 94–99.

⑥ Sasha Burwell, Matthew Sample & Eric Racine, “Ethical Aspects of Brain Computer Interfaces: A Scoping Review,” *BMC Medical Ethics* 18, no. 1 (2017): 1–11.

⑦ Eran Klein, Tim Brown & Matthew Sample et al., “Engineering the Brain: Ethical Issues and the Introduction of Neural Devices,” *Hastings Center Report* 45, no. 6 (2015): 26–35.

⑧ Marcello Ienca and Pim Haselager, “Hacking the Brain: Brain-Computer Interfacing Technology and the Ethics of Neurosecurity,” *Ethics and Information Technology* 18, no. 2 (2016): 117–129.

⑨ Eran Klein, Tim Brown & Matthew Sample et al., “Engineering the Brain: Ethical Issues and the Introduction of Neural Devices,” *Hastings Center Report* 45, no. 6 (2015): 26–35.

⑩ M. Sensi, R. Eleopra & M. A. Cavallo et al., “Explosive-Aggressive Behavior Related to Bilateral Subthalamic Stimulation,” *Parkinsonism & Related Disorders* 10, no. 4 (2004): 247–251.

户对系统不可靠性的了解、事故发生时系统的功能状态、用户的能力,以及用户的心理状态。^①此外,有研究者指出,外脑机接口直接从中枢神经系统捕获意图,应用BCI时患者的行为可能仅由潜意识中的想法触发,^②这意味着患者不应完全承担其行为责任。此外,个人身份与责任的交织进一步加剧了判定行为责任认定的复杂性。使用者不仅可能在功能上依赖于这些设备,还可能将设备融入自我意识,这将给责任认定带来新的挑战。^③

第五,在DBS和BCI的应用中,知情同意问题变得尤为突出。电极植入会对脑组织造成局部机械性损伤,^④认识到相关的安全风险,是在应用闭环脑设置时确保有意义知情同意的基础。^⑤BCI手术期风险的相关数据很有限,^⑥但DBS的相关数据表明,电极插入与2%~4%的脑出血风险以及2%~6%的感染风险相关。^⑦此外,术后植入的电极可能引发异物反应,电极被包裹会降低信号检测质量。同时,为克服人体组织阻力,刺激电极需增强电流,这不仅可能加剧组织损伤,还可能导致刺激扩散至预定目标区域以外,增加风险。^⑧

脑设备所依赖的电源同样存在安全风险。电池需通过电线穿过组织(如颅骨、硬膜外腔、硬膜下腔或脑实质)为依赖电力的组件供电,接口部位容易受到感染,更换电池也伴随着风险。类似地,植入式处理器可诱发局部组织反应或成为感染源,用于数据传输的导线也可能造成接口感染。此外,处理器运行期间产生的热量可能导致组织损伤。在充分理解脑设备相关安全风险的基础上实现真正的知情同意,还要求患者具备做出合理决策的能力,而且该决策必须在无胁迫情境下做出。^⑨但是,一方面,DBS或BCI的受众常存在认知障碍,其行为决策能力可能因此受损。例如,帕金森病人在采用BCI或DBS治疗时,其他认知障碍可能与帕金森病并发;^⑩另一方面,患者或因绝望而将DBS或BCI作为最后选择,这种心态极易使他们过分乐观地评估潜在

① Femke Nijboer, Jens Clausen & Brendan Z. Allison et al., "The Asilomar Survey: Stakeholders' Opinions on Ethical Issues Related to Brain-Computer Interfacing," *Neuroethics* 6, no. 3 (2013): 541-578.

② Sasha Burwell, Matthew Sample & Eric Racine, "Ethical Aspects of Brain Computer Interfaces: A Scoping Review," *BMC Medical Ethics* 18, no. 1 (2017): 60.

③ Eran Klein, Tim Brown & Matthew Sample et al., "Engineering the Brain: Ethical Issues and the Introduction of Neural Devices," *Hastings Center Report* 45, no. 6 (2015): 26-35.

④ Steven C. McGie, Mary K. Nagai & Tania Artinian-Shaheen, "Clinical Ethical Concerns in the Implantation of Brain-Machine Interfaces: Part II: Specific Clinical and Technical Issues Affecting Ethical Soundness," *IEEE Pulse* 4, no. 2 (2013): 32-37.

⑤ Eran Klein and Jeffrey Ojemann, "Informed Consent in Implantable BCI Research: Identification of Research Risks and Recommendations for Development of Best Practices," *Journal of Neural Engineering* 13, no. 4 (2016): 1-11.

⑥ Joseph N. Mak and Jonathan R. Wolpaw, "Clinical Applications of Brain-Computer Interfaces: Current State and Future Prospects," *IEEE Reviews in Biomedical Engineering* 2 (2009): 187-199.

⑦ Paul Foley, "Deep Brain Stimulation for Parkinson's Disease: Historical and Neuroethical Aspects," in *Handbook of Neuroethics*, ed. Jens Clausen and Neil Levy (Dordrecht: Springer Netherlands, 2015), pp. 561-587.

⑧ Steven C. McGie, Mary K. Nagai & Tania Artinian-Shaheen, "Clinical Ethical Concerns in the Implantation of Brain-Machine Interfaces: Part II: Specific Clinical and Technical Issues Affecting Ethical Soundness," *IEEE Pulse* 4, no. 2 (2013): 32-37.

⑨ Eran Klein and Jeffrey Ojemann, "Informed Consent in Implantable BCI Research: Identification of Research Risks and Recommendations for Development of Best Practices," *Journal of Neural Engineering* 13, no. 4 (2016): 1-11.

⑩ Dag Aarsland, Julia Zaccai & Carol Brayne, "A Systematic Review of Prevalence Studies of Dementia in Parkinson's Disease," *Movement Disorders* 20, no. 10 (2005): 1255-1263.

益处,而低估相关风险。^①此外,媒体炒作也可能会加剧这一现象。

四、大脑类器官技术与意识问题

无论是侵入性还是非侵入性脑科学技术,对早期大脑发育进程及大脑疾病机制等领域的探索仍是有限的,大脑类器官(Brain Organoid)的出现改变了这一现状。

大脑类器官是由人类多能干细胞(如胚胎干细胞、诱导性多能干细胞)产生的自组织细胞结构,这些结构三维再现了整个大脑或特定区域的大脑结构。大脑类器官可仅由生物材料构成,也可由生物样本与合成生物材料结合而成。^②除体外培养外,也可将人类大脑类器官移植至动物模型内,以实现进一步生长分化。^③

大脑类器官为人类神经发育和脑部疾病的研究开辟了新的途径。^④例如,大脑类器官在确定寨卡病毒的致病机制方面发挥了重要作用。^⑤此外,大脑类器官还有多种应用,包括制作发病机制的个性化模型、治疗性筛查和受损脑回路修复等。^⑥尽管大脑类器官展现出广阔的科学研究与应用前景,但也引发了广泛的伦理争论和公众的担忧。

第一,与前面提到的所有技术手段都不同,大脑类器官研究往往不针对特定患者个体,这似乎意味着不必考虑知情同意的问题。然而,事实并非如此,因为大脑类器官研究依赖于多种生物材料(植入前胚胎、配子和体细胞),这些材料是生成类器官干细胞系所必需的,^⑦鉴于人们将自我意识与大脑紧密联系,捐赠者可能并不希望将其干细胞培育的大脑类器官植入动物模型,因此使用多能干细胞或脑组织的研究人员有必要向捐赠者详细说明其研究计划。^⑧

第二,根据目前技术发展的现状看,由意识引发的道德问题不太可能出现。Hyun 等认为,如果“意识”指的是大脑皮层区域在受到刺激时最基本的神经元活动,则几乎不存在伦理问题。如有意识地接受感官刺激、清醒、警觉、集中注意力、知觉及主观自我意识等更复杂的意识状态,则需大量皮质神经元长距离多脑区全局整合与激活,而目前的大脑类器官缺乏完整的细胞类型、复杂的网络结构以及产生可辨别主观体验所需的感官输入。而且,即使是新生儿的自然人脑

① Devan Stahl, Laura Cabrera & Tyler Gibb, “Should DBS for Psychiatric Disorders Be Considered a Form of Psychosurgery? Ethical and Legal Considerations,” *Science and Engineering Ethics* 24, no. 4 (2018): 1119–1142.

② Insoo Hyun, J. C. Scharf-Deering & Jeantine E. Lunshof, “Ethical Issues Related to Brain Organoid Research,” *Brain Research* 1732 (2020): 1–7.

③ Abed AlFatah Mansour, J. Tiago Gonçalves & Cooper W. Bloyd et al., “An in Vivo Model of Functional and Vascularized Human Brain Organoids,” *Nature Biotechnology* 36, no. 5 (2018): 432–441.

④ Elizabeth Di Lullo and Arnold R. Kriegstein, “The Use of Brain Organoids to Investigate Neural Development and Disease,” *Nature Reviews Neuroscience* 18, no. 10 (2017): 573–584.

⑤ Patricia P. Garcez, Erick Correia Loiola & Rodrigo Madeiro da Costa et al., “Zika Virus Impairs Growth in Human Neurospheres and Brain Organoids,” *Science* 352, no. 6287 (2016): 816–818.

⑥ H. Isaac Chen, Hongjun Song & Guo-li Ming, “Applications of Human Brain Organoids to Clinical Problems,” *Developmental Dynamics* 248, no. 1 (2018): 53–64.

⑦ Sarah N. Boers and Annelien L. Bredenoord, “Consent for Governance in the Ethical Use of Organoids,” *Nature Cell Biology* 20, no. 6 (2018): 642–645.

⑧ Nita A. Farahany, Henry T. Greely & Steven Hyman et al., “The Ethics of Experimenting with Human Brain Tissue,” *Nature* 556, no. 7702 (2018): 429–432.

也需要在足够的社会互动条件下,才能发展出人类思维。^①显然,当前的实验条件远未达到这种要求。因此,关于大脑类器官可能产生意识的假设,目前似乎还未形成实质性的伦理挑战,但对大脑类器官能够形成意识的担忧并非杞人忧天, Farahany 等已提出一系列值得深思的问题:

一是衡量标准问题。我们是否能够有效评估大脑类器官的感知能力?若确立了适当的衡量标准,研究人员又如何判定哪些感知能力在道德层面上值得关注?

二是死亡定义问题。体外人脑模型是否会挑战我们对生死的传统认知?这些模型对法律上死亡的定义有何影响?对与死亡定义相关的决策(如器官捐赠)又将产生何种影响?当前,脑死亡等于宣告个体正式死亡,若大脑不可逆转地停止运作,即便心跳尚存,个体亦可被宣告死亡。因此,任何能够恢复人脑功能的新兴技术均可撼动脑死亡的诊断标准,因为大脑功能的停止或许将不再是永久且不可逆转的。

三是所有权问题。大脑类器官的所有权应归属何方?目前,脑组织样本通常归收集样本的组织或科研人员及科研组织所有。若该领域研究取得重大进展,这些脑替代物的道德地位超越了当前的认知,我们是否应赋予其更高的特权并予以保护?

四是实验后大脑类器官的处置问题。实验结束后,大脑类器官应如何处置?当前,大脑类器官会按照处置生物组织的标准方法予以销毁。但是,若研究人员培育出具有某种高级认知能力的动物,那么研究结束后这些动物是否应该被销毁或给予特殊处理?

五是动物研究边界问题。研究人员已通过向小鼠胚胎注入大鼠多能干细胞,培育出具有大鼠胰腺的小鼠,未来或能在其他动物身上或体内制造出人类器官。我们如何界定此类研究的边界?这对于利用动物模型培养大脑类器官的研究又有何影响?^②

随着大脑类器官技术的不断发展,我们不仅要关注其在科学研究和医疗应用上的巨大潜力,更应未雨绸缪,提前思考并构建一套完备的伦理框架和法律规范,以确保相关技术健康发展,同时尊重和保护所有可能受到影响的生命形态。

结 语

正如 Farah 所说的,神经科学不仅为我们提供了一种新工具,也赋予我们审视人性的一种新方式:它使我们能够从物理机制的角度来理解人类行为。^③虽然我们可以从物理的角度理解多数物体与系统的“行为”机制,如苹果为何从树上掉落,地球缘何围绕太阳旋转等,然而在面对人类行为时,我们往往倾向于探究个体的主观意图,但正如前文所述,众多神经科学技术均表明人类行为同样可以依据物理上的因果关系来理解。这种假设如何塑造我们对道德和法律责任的认知?我们通常不会责怪人们反射性的(如膝跳反射)、在意识和控制能力减弱状态下(如在梦游或催眠状态下)或在胁迫下(如用枪指着头)的行为,因为我们认为在这种情况下,个体的行

^① Insoo Hyun, J. C. Scharf-Deering & Jeantine E. Lunshof, “Ethical Issues Related to Brain Organoid Research,” *Brain Research* 1732 (2020): 1–7.

^② Nita A. Farahany, Henry T. Greely & Steven Hyman et al., “The Ethics of Experimenting with Human Brain Tissue,” *Nature* 556, no. 7702 (2018): 429–432.

^③ Martha J. Farah, “Neuroethics: The Ethical, Legal & Societal Impact of Neuroscience,” *Annual Review of Psychology* 63 (2012): 571–591.

为并非出于自由意志。^① 神经科学解释行为时存在的问题是，其似乎将所有行为归结为“膝跳反射”式的存在，即所有行为均源于一连串不可避免的纯粹物理事件。尽管目前神经科学的解释尚不足以成为违反道德行为的辩护依据，神经层面的“拉普拉斯妖”并不为人所接受。然而，事实上，这种解释确实一定程度上影响了人类行为。Vohs 和 Schooler 的研究发现，当受试者阅读关于自由意志与神经科学不相容的论述（如“你、你的喜怒哀乐、记忆和抱负、个人认同和自由意志，其实不过是大量神经细胞及其相关分子的行为”）时，相较于阅读无关段落者，他们更可能在测试中作弊。^② 但是，此项研究结果并未得到其他研究的重复验证。^③ 这说明操纵自由意志并不容易，其与不道德行为的联系也比较复杂。当神经科学研究对导致犯罪行为的物理过程做出更详细、具体的描述时，这种决定论的观点可能会在我们的直觉中占据更主要的地位。^④ 此外，我们认为，有别于所有其他物体，人具有特殊的道德价值，应该受到保护，免受伤害。我们珍视某些物体的价值主要基于其实用价值，而人则拥有康德所说的“尊严”，即一种超越实用价值的特殊的内在价值，但是如果人的一切都源于物理机制，人与其他事物则难以明确区分。^⑤ 如果我们真的不过是包含强大计算网络的复杂物体，就产生了一个问题：为何这些包含人类大脑的物体的命运要比其他自然或人造物体的命运更重要呢？^⑥

综上所述，神经科学正在挑战并重塑我们对人类本质的传统认知。这可能会让我们陷入机械决定论的视角，视彼此为缺乏道德能动性和内在价值的简单机器；但更可能的是，会推动构建一个更加包容与人性化的社会，使我们认识到人的行为是因果网络中复杂交互行为的产物，每个人都是这一宏伟图景中不可或缺的一环，承载着独特的道德意义与价值。

责任编辑：王 静

① Deborah W. Denno, “A Mind to Blame: New Views on Involuntary Acts,” *Behavioral Sciences & the Law* 21, no. 5 (2003): 601–618.

② Kathleen D. Vohs and Jonathan W. Schooler, “The Value of Believing in Free Will: Encouraging a Belief in Determinism Increases Cheating,” *Psychological Science* 19, no. 1 (2008): 49–54.

③ Thomas Nadelhoffer Jason Shepard & Damien L. Crone et al., “Does Encouraging a Belief in Determinism Increase Cheating? Reconsidering the Value of Believing in Free Will,” *Cognition* 203 (2020): 1–13.

④ Martha J. Farah, “Neuroethics: The Ethical, Legal & Societal Impact of Neuroscience,” *Annual Review of Psychology* 63 (2012): 571–591.

⑤ Martha J. Farah and Andrea S. Heberlein, “Personhood and Neuroscience: Naturalizing or Nihilating?” *The American Journal of Bioethics* 7, no. 1 (2007): 37–48.

⑥ Martha J. Farah, “Neuroethics: The Ethical, Legal & Societal Impact of Neuroscience,” *Annual Review of Psychology* 63 (2012): 571–591.

as being in the middle of the social hierarchy, but young teachers have relatively lower subjective status identity. Increases in annual family income and promotions to administrative positions significantly enhance teachers' subjective status identity. The improvement of subjective status identity can effectively improve teachers' mental health, increase leisure time, and enhance life satisfaction, but it is not significantly related to the frequency of smoking and drinking. The policy implication of the research is that university administrators should consider further improving the evaluation and appointment systems and salary structures, providing equal development opportunities for teachers of different professional titles and administrative levels, while paying attention to the career development and psychological feelings of young teachers, thereby enhancing the subjective status identity of university teachers, promoting the overall development of higher education, and laying a solid talent foundation for building a leading country in education.

Keywords: leading country in education; university teachers; subjective status identity; life conditions; young teachers

Ethical and Social Impacts of Cutting-Edge Brain Science Research

Liu Chao, Sun Wenzhao

Abstract: The continuous development of brain science research brings unprecedented opportunities for humanity but also raises a series of urgent ethical and social issues. Neuroimaging technology's analysis of the correlation between individual brain activity and personality traits, attitudes, and even unconscious biases has sparked profound discussions on "brain privacy." Neuroregulatory technology can treat neurological diseases, but its "cognitive enhancement" function may exacerbate social resource allocation inequality. Closed-loop brain devices directly challenge human cognition of "personal identity" and complicate legal and moral judgments. Brain organoid technology touches on bioethical issues, and although current brain organoids do not possess consciousness, they force humanity to consider issues of ownership definition and life-and-death definitions in advance. Beyond these four aspects, the significant impact of neuroscience on human worldview and self-understanding deserves more attention.

Keywords: neuroimaging; neuroregulatory technology; Brain-Computer Interface; brain organoids; ethics