

具身模拟的认知神经机制

黎晓丹¹, 丁道群^{1,2}

(1.湖南师范大学心理学系,长沙 410081;2.认知与人类行为湖南省重点实验室,长沙 410081)

【摘要】 具身模拟(Embodied Simulation)是指个体对身体动作与环境的观察、身体感知模拟等过程中的认知功能,其涉及的大脑区域主要包括视觉皮层、躯体感觉皮层、前运动皮层等。本文主要介绍具身模拟的初级认知(动作观察与模拟)和高级认知(社会认知功能)的神经机制研究,以及在个体发展和进化心理学的新视角下具身模拟机制的研究,旨在为具身模拟的神经机制模型提供初步的思路。

【关键词】 具身模拟; 动作观察; 动作模拟; 镜像神经系统

中图分类号: R395.1

DOI: 10.16128/j.cnki.1005-3611.2017.05.010

The Neural Mechanism of Embodied Simulation

LI Xiao-dan¹, DING Dao-qun^{1,2}

¹Department of Psychology, Hunan Normal University, Changsha 410081, China;

²Key Laboratory for Cognition and Human Behavior of Hunan Province, Changsha 410081, China

【Abstract】 Embodied simulation is a serial cognitive process of action observation, physical simulation, body perception. It relates to the visual cortex, somatosensory cortex, premotor cortex, the amygdala. In this paper, embodied simulation was introduced through the neural mechanism research of the primary cognitive process(action observation and simulation) and advanced cognitive process (social cognition). On the other hand, the perspective of individual development and evolution mechanism of embodied simulation researches were introduced. The aim of this review was help to integrate the neural mechanism model of embodied simulation.

【Key words】 Embodied simulate; Action observation; Action simulation; Mirror neural system

具身模拟论认为,婴儿在开心的时候做微笑的表情,是源于具身模拟,是人类对环境的学习和适应。人类在一岁前便可根据动作观察、身体经验和对环境线索的估计来理解他人行为,这种从动作模拟、动作学习发展到社会认知的能力比抽象概念和复杂语言能力的获得时间更早(Gallese, Rochat, Cossu, & Sinigaglia, 2009)。通过动作观察、模拟与想象来理解自己、他人的行为和所处的环境是动作认知系统的重要功能(Jeanerod, 2001)。具身模拟除了具备动作认知系统的功能,还有着例如共情(包括痛觉、面部表情和情绪性身体语言的模拟)、调整身体拥有感(body ownership)、身体经验的互动学习等自动化的高级心理过程,其激活的大脑区域功能包含视觉、动作和情绪等。Gallese等人称具身模拟理论是囊括和统一社会认知多种高级认知功能的体系(Gallese, 2014)。具身模拟论随着具身认知思潮而兴起,正处于发展和完善阶段。

Jeanerod的动作模拟机制与Rizzolatti的镜像神经机制是目前模拟论中较为重要的两大模型,两者有着十分接近的脑区域定位和结构(Rizzolatti & Luppino, 2001)。Rizzolatti提出的动作模拟的镜像神经机制属于具身模拟论的重要内容,他认为从动作模拟到社会认知功能的大脑神经回路就是镜像神经系统回路。Rizzolatti将动作模拟的镜像神经机制视

为社交过程中理解他人思想,即读心(mind reading)的神经机制(Fogassi, et al., 2005)。然而,Jeannerod等人反对将动作模拟的认知机制过度地应用在社会认知领域中,他们认为动作模拟让个体理解自身和别人的行为,以及对动作和环境的学习,Rizzolatti实验中的猴子在观察动作时大脑的镜像神经元被激活,代表的仅是它们感知到了被观察者的行为,而不是其思想(Jacob & Jeannerod, 2005)。

总的来说,具身模拟的神经机制研究加深了对人类大脑的动作认知系统和社会认知功能的认识,为具身认知理论提供了重要的生物学和认知神经科学依据。本文首先以社会认知为分界线,介绍关于具身模拟的初级认知功能(动作观察与模拟)和高级认知功能(社会认知功能)的神经机制研究进展,并进一步介绍具身模拟机制的新视角:个体发展和进化视角。

1 具身模拟的初级认知神经机制:动作观察与模拟

在以模拟为目的的动作执行之前,个体先通过动作观察进行大脑加工。至今动作观察的认知神经机制并未有统一的模型,但是大部分研究者们认同动作观察不只是大脑视觉皮层进行编码的过程,更是一种涉及前运动皮层加工的认知功能。个体在实施某个抓握动作前会对其所处的环境信息进行输入和估计,包括个体所在的空间、客体的大小、颜色、位置及其他特征等(Jeanerod, et al., 1995)。中枢神经系统发出动作指令后,个体在执行动作的同时,中枢神经系统会根

【基金项目】 湖南省自然科学基金(14JJ4027);教育部留学回国人员科研启动基金(2013179201);湖南省研究生科研创新项目(CX2017B163)

通讯作者:丁道群,psychding@hunnu.edu.cn

据反馈的环境信息对身体感知状态和动作进行下一个阶段的预测和调整(Wolpert & Ghahramani, 2000)。

对动作观察的认知功能的深入研究得益于镜像神经元的发现。Rizzolatti 及其同事便是在猴子进行意向动作的观察时发现了在大脑 F5 区的镜像神经元,并且猴子观察意向动作时和自身执行该意向动作时所激活的大脑区域一致。因此 Rizzolatti 及其同事推测,在动作观察阶段镜像神经元的激活意味着个体的大脑已模拟了该动作。大量的研究证据显示个体在动作观察时大脑激活的区域主要是顶区和前运动皮层,此外,观察者的文化背景、身的位置、观察视角、被观察动作的价值等也在影响着观察者大脑的激活区域(Giese & Rizzolatti, 2015)。如 Burke 等人发现,观察动作的预测错误及其实际结果的错误所激活的大脑区域不一致,分别是背外侧前额叶皮层和腹内侧前额叶皮层(Burke, et al., 2010)。Ménoret 等人使用 ERP 记录被试进行动作模拟的脑电信号,发现在被试和主试执行动作方向一致时,其大脑顶区 300ms 左右的动作相关电位比被试和主试动作方向不一致时有更大的波幅。该实验中被试在接收不同方向的开始指令后进行手部动作执行,被试的对面坐着一名主试将执行三种与被试动作相关的行为:方向一致、方向不一致、不执行动作。分析被试从接收指令到执行动作的反应时可得,被试在执行和主试一致方向动作时的反应时最短、动作轨道最准确(Ménoret, et al., 2013)。动作的观察与模拟所激活的大脑区域存在差异,这种差异在使用虚拟身体或者第三者身体的实验中也证实。Adamovich 等人在一项 fMRI 研究中让被试进行以模拟学习为目的的动作观察以及呈现一致或不一致的虚拟肢体的模拟动作。结果显示,在动作观察学习和虚拟肢体模拟阶段均激活了大脑的额-顶区回路。当虚拟肢体模拟被试观察的动作时,左侧岛叶的激活程度会随着时间的增加而增加(Adamovich, et al., 2009)。先天无上肢的被试对实验所呈现的健全他者进行上肢动作的感知模式与对照组的健全被试是十分接近的(Vannuscorps & Caramazza, 2016)。

2 具身模拟的高级认知神经机制:社会认知功能

镜像神经系统在动作观察、模拟学习的过程中起到基本的认知功能已获得一定的共识(Cook, et al., 2014),探究镜像神经系统的高级认知功能是未来备受瞩目的研究方向。镜像神经系统对非动作的身体感觉通道的表征被研究者认为是社会认知的镜像神经机制的证据,例如在猴子大脑中发现的听觉镜像神经元。当猴子以动作声音来识别动作时,在前运动皮层的听觉镜像神经元被激活(Kohler, et al., 2002)。近期大量关于虚拟环境与身体的研究也为镜像神经系统整合多感觉通道表征、高效重叠的多元动力机制提供了依据(Carr & Winkielman, 2014)。当向被试提供一个与本体不一样的虚拟身体并同步进行动作模拟,然后在虚拟身体上去完成某种与价值相关的态度评定任务时,被试的态度会随着虚拟身体的体感感知而变化,例如白人被试使用虚拟的黑人身体会降低其种族偏见(Maister, et al., 2015)。

近年来,共情被视为具身模拟极重要的社会认知功能之一(孙亚斌,王锦琰,罗非,2014)。当个体观察到对方的面部表情时,个体的大脑会迅速地进行一系列无意识的面部表情模拟加工与识别(Niedenthal, et al., 2010),并可储存为记忆或者引起相关的记忆(Wood, et al., 2016),这些认知加工过程激活了大脑的多个区域,包括视觉皮层、前运动皮层、岛叶、杏仁核等。这种表情模拟机制也适用于表达情绪的身体姿势,例如双手举起挡头部和身体往后退的恐惧动作(de Gelder & Hadjikhani, 2006; de Gelder, de Borst, & Watson, 2015)。Misanza 等人(2014)使用 ERP 技术发现 8 个月的婴儿便可判断快乐或者恐惧的身体姿势中的情绪,在刺激出现后的 290ms 左右和晚期阶段,婴儿大脑的额中央区在看到恐惧身体姿势时比快乐身体姿势有更大的波幅。在意识层面的面部动作模拟过程中,引发的情绪效应也是在大脑早期加工阶段产生。Sel 等人通过 ERP 技术记录被试在分别用嘴咬着笔模拟微笑表情、中性表情、不舒服表情时对积极、中性、消极图片反应的脑电信号,结果显示当被试模拟微笑表情时,其对中性图片和积极图片的脑电信号的激活程度是十分相似的,其中涉及了大脑的角回、连续视觉皮层、感知运动系统等区域,此研究证明了面部动作的模拟在早期视觉加工阶段即可产生相应的情绪效应(Sel, et al., 2015)。

3 具身模拟神经机制的个体发展与进化视角

不论是婴儿还是成年人,“身体-环境”互动的经验都是抽象概念和高级心理活动习得的基础(Williams, Huang, & Bargh, 2009)。家庭环境是婴幼儿获得身体经验与动作模拟学习的主要场所。一项对早产儿的研究则证明身体动作和环境的学习是人类在胎儿时期即在母亲的子宫内便开始发展的先天获得的能力。研究者们采集了 15 名早产儿进行动作学习时大脑的 fMRI 扫描数据和对全身骨骼的 CT 扫描数据,他们对早产儿身体各个部位进行触觉刺激和能促发早产儿全身动作的身体、环境视觉刺激以观察早产儿的动作学习。为了探究人类感觉运动经验和脑皮质学习的因果联系,研究者模拟胎儿时期的实际环境,包括胎儿在子宫的倒置姿势、羊水、重力等生理和物理环境因素,再结合早产儿的大脑结构和骨骼扫描数据建立了子宫内模型,并以此模型为基础对子宫内条件下动作学习的数据进行整合,与子宫外条件的数据进行对比分析。结果显示,胎儿对身体动作相关的感知经验引起躯体感觉反馈,并促进了大脑对身体表征和视觉-躯体感觉的整合学习,而子宫外条件下的数据也显示出了这种身体动作经验、环境、大脑之间的复杂关系(Yamada, et al., 2016)。Fifer 等人通过记录新生儿睡眠时的脑电信号,发现新生儿在睡眠时其大脑进行记忆加工和更新。他们让新生儿带上 ERP 设备睡眠的同时,向新生儿播放声调练习音频。结果显示,声调音频结束后,新生儿的额叶出现显著的正向慢波脑电信号。因此 Fifer 等人推断出虽然新生儿每天大部分时间均在睡眠,然而他们在睡眠时也可进行学习,学习的就是身体动作和他人、新环境的互动经验(Fifer, et al., 2010)。一项关于亲子互动与幼儿社会认知发展的 5 年纵向

研究发现,父母与婴幼儿身体互动的频繁程度可作为预测幼儿4年后社交能力的重要指标,而且,父母大脑释放的催产素量可预测幼儿4年后的催产素释放量。研究者在这项研究中使用了亲子任务和催产素作为初始评估指标,并使用fMRI对父母观看他们与子女互动的视频时进行扫描。综合多项指标与数学模型的结果,使用具身模拟理论模型是最能解释父母与婴儿之间如何互相影响其大脑的结构和可塑性(Abraham, et al., 2016)。大脑处于可塑性较高的水平的婴儿在社会互动的过程中,具身认知神经机制得到了促进和巩固(Jaegher, Paolo, & Gallagher, 2010)。而婴儿与父母通过身体互动来理解对方,这种动力效应可深入影响到双方大脑(Gallotti & Frith, 2013)。老年人因为生理机能逐渐下降,影响了各身体感觉通道的感知功能,以致其具身模拟的认知功能也会受到影响。老年人的大脑萎缩也让其更容易患神经系统疾病。目前,已有一些中风老年患者接受具身模拟的康复方案,通过增强其身体与环境互动的方式来促进其大脑结构和认知功能的康复(Vallet, 2015)。

人类社会在发生变化,我们的生活环境在发生变化,我们的大脑在面对变化的环境时又会怎样去应对?从进化心理学的角度看,大脑的可塑性是适应环境的产物(Parkinson & Wheatley, 2015; Jones, 2015)。人类的身体互动、使用工具、创造动作认知图式等均是为了适应社会环境和生存。人类在胎儿时期、婴儿时期便可通过家庭环境来进行身体经验和动作的学习,而其大脑的社会认知回路可跨代发展,即父母与子女的社会认知神经回路可互相影响,子女亦可继承父母的社会认知神经回路模型。这反映了人类的身体、大脑、环境在生存过程中互相塑造(Stotz, 2014)。

4 小结与展望

目前,由于镜像神经系统回路和过往已验证的多种高级心理过程的神经回路有重叠(Nowakowski, 2015),镜像神经系统的明确功能仍备受争议(Lemon, 2015)。越来越多的学者提倡采取整合大脑认知的计算模型与镜像模型(Thill, et al., 2013)。然而,具身模拟的认知功能在人类认知过程中发挥的作用是毋庸置疑的,其让我们清晰地认识到大脑如何在社交和环境中快速地获得和处理信息。目前,此领域还有以下几个方面的研究空缺和发展空间:

首先,人类大脑的镜像神经系统的定位与功能依然缺乏有力的证据,甚至存在着较大的争议,这也和镜像神经系统功能的复杂有着极大的关系(叶浩生,曾红,苏得权,2017)。由于实验手段和伦理的限制,目前绝大部分论证人类大脑镜像神经元的定位与功能的研究仅能提供间接证据。大脑的复杂结构和功能、非线性的作用机制、大脑所居住的身体及其与环境的互相作用等因素使这个领域的研究成果始终未能也不可能对大脑模拟机制一论概之(Dudai & Evers, 2014; Tognoli & Kelso, 2014)。

其次,镜像神经系统对精神类疾病、认知障碍疾病等临床研究有着重大的意义,该领域应得到更多的关注。一些关于镜像神经系统的临床研究为镜像神经系统和社会关系、自

我-他人匹配等社会认知的关联提供了有力的证据(Kana, Wadsworth, & Travers, 2011)。将患有精神分裂症、自闭症的被试与健康被试进行对照研究,结果显示患者镜像神经系统的灰质更少(Hadjikhani, et al., 2006),在进行动作模拟学习时镜像神经系统回路的激活程度比正常被试的低(Mehta, et al., 2014; Enticott, et al., 2012)。因此有学者提倡开展以镜像神经系统机制为基础的干预研究,以促进对自闭症患者的社会教育和社交学习(Vivanti & Rogers, 2014)。与正常被试相比,自闭症被试在观看情绪词时其运动皮层和扣带皮质的激活程度有所下降(Moseley, et al., 2015)。人类根据环境线索、前后动作的关联线索来进行动作学习的外部参考模式是提高学习效率和成功率的关键,特别是对于简单动作、动作技巧的学习等(Miall, 2015)。

参 考 文 献

- 1 Gallese V, Rochat M, Cossu G, Sinigaglia C. Motor Cognition and Its Role in the Phylogeny and Ontogeny of Action Understanding. *Developmental Psychology*, 2009, 45(1): 103-113
- 2 Jeannerod M. Neural Simulation of Action: A Unifying Mechanism for Motor Cognition. *Neuro Image*, 2001, 14: 103-109
- 3 Gallese V. Bodily selves in relation: embodied simulation as second-person perspective on intersubjectivity. *Phil. Trans. R. Soc. B*, 2014, 369(1644): 20130177
- 4 Fogassi L, Ferrari P, Gesierich B, et al. Parietal lobe: from action organization to intention understanding. *Science*, 2005, 308: 662-667
- 5 Jacob P, Jeannerod M. The motor theory of social cognition: a critique. *Trends in Cognitive Sciences*, 2005, 9(1): 21-25
- 6 Rizzolatti G, Luppino G. The Cortical Motor Review T System. *Neuron*, 2001, 31: 889-901
- 7 Jeannerod M, Arbib M, Rizzolatti G, Sakata, H. Grasping objects: the cortical mechanisms of visuomotor transformation. *Trends in Neuroscience*, 1995, 7: 314-320
- 8 Wolpert D, Ghahramani Z. Computational principles of movement neuroscience. *Nature Neuroscience*, 2000, 3: 1212-1217
- 9 Giese M, Rizzolatti G. Neural and Computational Mechanisms of Action Processing: Interaction between Visual and Motor Representations. *Neuron*, 2015, 88(1): 167-180
- 10 Burke C, Tobler P, Baddeley M, Schultz W. Neural mechanisms of observational learning. *PNAS*, 2010, 107(32): 14431-14436
- 11 Ménoret M, Curie A, Portes V, et al. Motor resonance facilitates movement execution: an ERP and kinematic study. *Frontiers in Human Neuroscience*, 2013, 7(646): 1-11
- 12 Adamovich S, August K, Merians A, Tunik E. A virtual reality-based system integrated with fmri to study neural mechanisms of action observation-execution: A proof of concept study. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 2009, 27: 209-223

- 13 Vannuscorps G, Caramazza A. The origin of the biomechanical bias in apparent body movement perception. *Neuropsychologia*, 2016, 89: 281-286
- 14 Cook R, Bird G, Catmur C, Press C, et al. Mirror neurons: from origin to function. *Behavioral and Brain Sciences*, 2014, 37(2): 177-192
- 15 Kohler E, Keysers C, Umiltà M, et al. Hearing Sounds, Understanding Actions: Action Representation in Mirror Neurons. *Science*, 2002, 297: 846-848
- 16 Carr E, Winkielman P. When mirroring is both simple and "smart": how mimicry can be embodied, adaptive, and non-representational. *Frontiers in Human Neuroscience*, 2014, 8 (505): 1-7
- 17 Maister L, Slater M, Sanchez-Vives M, Tsakiris M. Changing bodies changes mind: owning another body affects social cognition. *Trends in Cognitive Sciences*, 2015, 19(1): 6-12
- 18 孙亚斌, 王锦琰, 罗非. 共情中的具身模拟现象与神经机制. *中国临床心理学杂志*, 2014, 22(1): 53-57
- 19 Niedenthal P, Mermillod M, Maringer M, et al. The Simulation of Smiles(SIMS) model: Embodied simulation and the meaning of facial expression. *Behavioral and Brain Sciences*, 2010, 33: 417-480
- 20 Wood A, Rychlowska M, Korb S, et al. Fashioning the Face: Sensorimotor Simulation Contributes to Facial Expression Recognition. *Trends in Cognitive Science*, 2016, 20(3): 227-240
- 21 de Gelder B, Hadjikhani N. Non-conscious recognition of emotional body language. *Neuroreport*, 2006, 17(6): 583-586
- 22 de Gelder B, de Borst A, Watson R. The perception of emotion in body expressions. *WIREs Cogn Sci*, 2015, 6: 149-158
- 23 Missana M, Rajhans P, Atkinson AP, et al. Discrimination of fearful and happy body postures in 8-month-old infants: an event-related potential study. *Frontiers in Human Neuroscience*, 2014, 8: 531
- 24 Sel A, Calvo-Merino B, Tuettenberg S, et al. When you smile, the world smiles at you: ERP evidence for self-expression effects on face processing. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 2015, 10(10): 1316-1322
- 25 Williams L, Huang J, Bargh J. The Scaffolded Mind: Higher mental processes are grounded in early experience of the physical world. *Eur J Soc Psychol*, 2009, 39(7): 1257-1267
- 26 Yamada Y, Kanazawa H, Iwasaki S, et al. An Embodied Brain Model of the Human Foetus. *Scientific Reports*, 2016, 6(27893): 1-10
- 27 Fifer W, Byrd D, Kaku M, et al. Newborn infants learn during sleep. *PNAS*, 2010, 107(22): 10320-10323
- 28 Abraham E, Hendler T, Zagoory-Sharon O, Feldman R. Network Integrity of the Parental Brain in Infancy Supports the Development of Children's Social Competencies. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 2016, 11(11): 1707-1718
- 29 Jaegher H, Paolo E, Gallagher S. Can social interaction constitute social cognition? *Trends in Cognitive Sciences*, 2010, 14(10): 441-447
- 30 Gallotti M, Frith C. Social cognition in the we-mode. *Trends in Cognitive Sciences*, 2013, 17(4): 160-165
- 31 Vallet G. Embodied cognition of aging. *Frontiers in Psychology*, 2015, 6(463): 1-6
- 32 Parkinson C, Wheatley T. The repurposed social brain. *Trends in Cognitive Sciences*, 2015, 19(3): 133-142
- 33 Jones M. After phrenology: Neural reuse and the interactive brain. *Behavioral and Brain Sciences*, 2015, 1: 1-22
- 34 Stotz K. Extended evolutionary psychology: the importance of transgenerational developmental plasticity. *Frontiers in Psychology*, 2014, 5(908): 1-14
- 35 Kana R, Wadsworth H, Travers B. A systems level analysis of the mirror neuron hypothesis and imitation impairments in autism spectrum disorders. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 2011, 35(3): 894-902
- 36 Hadjikhani N, Joseph R, Snyder J, Tager-Flusberg H. Anatomical Differences in the Mirror Neuron System and Social Cognition Network in Autism. *Cerebral Cortex*, 2006, 16: 1276-1282
- 37 Mehta U, Thirithalli J, Basavaraju R, et al. Reduced Mirror Neuron Activity in Schizophrenia and Its Association With Theory of Mind Deficits: Evidence From a Transcranial Magnetic Stimulation Study. *Schizophrenia Bulletin*, 2014, 40(5): 1083-1094
- 38 Enticott P, Kennedy H, Rinehart N, Tonge B, et al. Mirror Neuron Activity Associated with Social Impairments but not Age in Autism Spectrum Disorder. *Biol Psychiatry*, 2012, 71: 427-433
- 39 Vivanti G, Rogers S. Autism and the mirror neuron system: insights from learning and teaching. *Phil Trans R Soc*, 2014, 369: 1-7
- 40 Moseley G, Gallace A, Spence C. Bodily illusions in health and disease: Physiological and clinical perspectives and the concept of a cortical 'body matrix'. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 2012, 36: 34-46
- 41 Miall C. Motor Neuroscience: Changing the Future and Remembering the Past. *Current Biology*, 2015, 25(3): 106-108
- 42 Nowakowski P. Commentary: The embodied brain: towards a radical embodied cognitive neuroscience. *Frontiers in Human Neuroscience*, 2015, 9(623): 1-3
- 43 Lemon G. Is the mirror cracked? *Brain*, 2015, 138: 2109-2111
- 44 Thill S, Caligiore D, Borghi A, et al. Theories and computational models of affordance and mirror systems: an integrative review. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 2013, 37: 491-521
- 45 叶浩生, 曾红, 苏得权. 有关镜像神经元起源问题上的争论. *心理科学进展*, 2017, 25(5): 713-722
- 46 Dudai Y, Evers K. To Simulate or Not to Simulate: What Are the Questions? *Neuron*, 2014, 84: 254-261