

孤独症谱系障碍儿童的动作模仿能力： 基于行为和脑科学的视角

高媛媛^{1,2}, 陈爱国³, 魏高峡^{1,2,4*}

1. 中国科学院心理研究所, 北京 100101

2. 中国科学院大学心理系, 北京 100049

3. 扬州大学体育学院, 扬州 225127

4. 中国科学院行为科学重点实验室(中国科学院心理研究所), 北京 100101

摘要 从行为科学和脑科学的视角综述了孤独症谱系障碍(autism spectrum disorder, ASD)儿童动作模仿障碍的研究现状,分析了有关模仿障碍行为表现和脑机制的研究结果,回顾并评价了现有动作模仿障碍的测评工具和干预方法。

关键词 孤独症谱系障碍; 模仿; 镜像神经系统; 有氧运动

孤独症谱系障碍(autism spectrum disorder, ASD)是以持久性社会交往和沟通障碍、重复刻板行为为核心症状的一种广泛性神经发育障碍^[1],目前在人群中的平均发病率约为1%~2%^[2]。因病程持续终生、康复支出巨大,ASD已成为全球关注的重大公共卫生问题^[3-4]。模仿障碍被认为是ASD人群的核心缺陷之一^[5],其程度与ASD儿童的临床症状评级显著相关^[6]。从心理学视角来看,模仿是人类与生俱来的、强大的沟通能力^[7],是个体与他人建立社会联系的最原始手段^[8-9]。婴儿通过与照顾者的相互模仿建立自我和他人之间的对应关系,获得对他人和行为的理解^[10]。正常儿童能通过模仿学习

到工具行为和社会文化行为,促进智力和认知的发展^[11-12]。而ASD儿童在出生早期就表现出明显的动作模仿能力发展迟缓^[13],其动作模仿水平与其同期及后来的语言、游戏、共同注意等多方面认知和社会交往技巧发展水平密切相关。因此,模仿水平的提高是诸多ASD临床干预训练的心理发生基础^[14]。由此可见,聚焦于ASD儿童的动作模仿障碍,对其内涵、特点、发生机制、测评方法和干预手段进行系统梳理,综述其在心理学和神经学领域的研究现状,有助于拓展对ASD临床核心症状的认识,加深对其潜在发病机制的了解。

收稿日期:2022-02-10;修回日期:2022-04-07

基金项目:国家自然科学基金项目(31671163)

作者简介:高媛媛,硕士研究生,研究方向为发展与教育心理学,电子信箱: hgyy_sy@sina.com;陈爱国(共同第一作者),教授,研究方向为运动与儿童青少年脑智发展,电子信箱: agchen@yzu.edu.cn;魏高峡(通信作者),研究员,研究方向为人类运动行为与大脑健康,电子信箱: weigx@psych.ac.cn

引用格式:高媛媛,陈爱国,魏高峡.孤独症谱系障碍儿童的动作模仿能力:基于行为和脑科学的视角[J].科技导报,2022,40(10):97-109;
doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2022.10.010

1 动作模仿的内涵、发展与分类

1.1 动作模仿行为的内涵和发展

动作模仿(以下或简称模仿)在心理学研究中涉及了“mimicry, emulation 和 imitation”3个英文术语,分别对应3个不同内涵的模仿行为。“mimicry”是基于先天匹配机制的无意识的自发模仿^[15],是人类一种与生俱来的复制倾向^[16],可以较为精确地再现观察到的动作方式^[17],但缺乏对行为的理解^[15]。“emulation”是以结果为导向的主动模仿行为,指个体在观察一个行为后,用自己的动作方式去实现与他人相同的行为目标,而并不复制相同的动作方式^[18]。“imitation”是个体对其所观察行为的动作方式和行为结果兼有的高度忠实的复制^[19],模仿者能够理解其模仿的动作方式和所要达成的行为目标之间的关联。高忠实模仿是心理学研究关注的重要学习机制^[18]。

人类个体的动作模仿能力具有发展性特点,新生儿就具备自动匹配的模仿能力(mimicry)^[20]。12个月左右的婴儿出于好奇心开始将大部分注意力集中在物体的功能上,以便学习新技能,并开始有选择性地模仿目标行为(emulation)。模仿行为的社会交流功能在婴儿18个月时逐渐发展起来,这个时期婴儿模仿的动机是保持与他人的互动游戏,因此他们会通过忠实地模仿他人动作来促进自我与他人的互动,满足自身的社会交往动机,即便该动作与动作目标不相关或看上去并不合理;当到24个月时,婴儿通常就可以精确地模仿他人动作(imitation)^[21-23]。因此,真正的模仿(imitation)是自下而上的匹配与自上而下的认知发展相结合的产物^[8]。当动作匹配和动作理解实现联结,才出现了真正的模仿行为。

1.2 动作模仿的分类

按身体部位维度,动作模仿可分为面部模仿和身体动作模仿。面部模仿通过激活观察者自身情绪参与共情^[24-25]。身体动作模仿又分为取物模仿(object imitation)和手势模仿(gesture imitation),取物模仿与象征性游戏有着独特关系,手势模仿与表达性语言相关^[26-27]。取物模仿与手势模仿有显著

关联,正常婴儿的取物模仿水平与其手势模仿水平具有一致性^[23]。手势模仿还可以进一步区分为有意义手势模仿(meaningful-gesture imitation)和无意义手势模仿(meaningless-gesture imitation)。

按模仿行为发生的时间维度,可将模仿分为即时模仿(immediate imitation)和延迟模仿(deferred imitation)。延迟模仿的发展有助于儿童学龄前期和学龄早期的语言发展^[28],以及儿童手势交流能力和认知功能的发展^[29]。根据模仿行为的复杂程度,可将其分为动作级模仿(action level imitation)和程序级模仿(program level imitation)。程序级模仿是一种高层次的学习机制,在复杂技能的学习过程中发挥着重要作用^[30]。根据模仿行为的产生方式可将其分为自动模仿(automatic mimicry)和主动模仿(voluntary emulation)。不同类别的模仿发挥着各自的重要功能,共同推动了人类个体整体行为和认知发展。

2 ASD 儿童动作模仿障碍的特点

2.1 ASD 儿童动作模仿的异常发展轨迹

ASD 儿童与正常儿童在动作模仿能力发展进程上有显著差异,ASD 儿童动作模仿能力发展明显滞后。对于正常儿童而言,0~2岁是其获得完善动作模仿能力的加速期,2岁之后的动作模仿能力仅会继续小幅度发展。相比之下,ASD 儿童的动作模仿能力发展迟缓在2岁之前更加明显,在2~5岁之间会有所改善,但发展速度、各个时间节点的发展水平,以及发展结局都不会达到正常水平^[31]。当正常儿童开始高忠实地模仿时,ASD 儿童却仍然表现出明显的结果模仿偏好^[32]。

2.2 ASD 儿童动作模仿障碍的具体表现

ASD 儿童的动作模仿倾向低于正常儿童,对诱发刺激做出的模仿反应显著减少^[33]。ASD 儿童的动作模仿频率显著低于正常儿童,且自发模仿频率低于诱发模仿频率,具体表现是对他人身体动作和面部表情的自动模仿反应减少或延迟^[34]。ASD 儿童的动作模仿模式异于正常儿童,当需要在动作路径与动作结果之间做出选择时,正常儿童倾向于模

仿动作路径和方式而非动作结果,ASD儿童却更多地模仿动作结果^[35]。在模仿类别的差异上,ASD儿童模仿有意义、有目标动作的表现优于模仿无意义动作时的表现,无意义动作模仿障碍是ASD儿童动作模仿缺陷的特异性表现,无意义的手势模仿和口面部模仿障碍在不同发育年龄和不同症状严重程度度的ASD儿童中具有一致性^[33];ASD儿童模仿序列动作比模仿单一动作更困难;ASD儿童的延迟模仿能力也显著落后于正常儿童^[33]。ASD儿童动作模仿的准确度虽然会随着年龄增长有所改善,但最终不会发展到与正常儿童相当的水平^[34]。ASD儿童的动作模仿障碍与年龄和智商没有显著关联,而与其临床症状评级具有显著的相关关系,ASD症状越严重,儿童动作模仿障碍也越严重。Edwards等^[36]对52项实证研究进行的元分析结果表明,年龄跨度为5个月至37岁、智商跨度为68.8~119($M=96.9$; $SD=15.0$)的研究对象普遍存在动作模仿障碍,其模仿障碍程度均与其孤独症诊断观察量表(autism diagnostic observation schedule, ADOS)评分具有相关关系。

3 ASD儿童动作模仿障碍产生机制

3.1 动作模仿障碍产生的心理机制

动作模仿首先要通过注意/共同注意和凝视获取视觉信息形成视觉表征,视觉表征与模仿者自身的运动表征进行匹配和整合,再启动动作理解和运动计划功能产生模仿行为,并通过运动控制实现对模仿行为的反馈和调整。由指令诱发的模仿需要语言理解功能的配合,延迟模仿还要有记忆功能的辅助。可见,即使是最简单的模仿行为也是各种生理和认知功能共同协作的复杂过程。

1) 共同注意与动作模仿障碍。人类具有共享他人注意状态的强烈倾向^[37],可以与他人共同对同一事物加以关注,并能够理解对方正在与自己分享同一焦点的能力称为共同注意^[38]。共同注意是在婴儿期就发展起来的一项重要社会认知技能,对于诱发条件下模仿行为的产生至关重要^[39]。研究发现,正常婴儿的共同注意能力可以预测其动作模仿

技能的发展水平^[40]。众多以ASD儿童为对象的实证研究结果表明,ASD儿童的共同注意能力存在明显的缺陷^[41],其动作模仿能力的发展程度与其共同注意能力的发展程度显著相关^[42]。另有干预研究发现,接受10周共同注意训练后,ASD儿童的共同注意水平得到提高的同时,其动作模仿表现也得到显著的附加改善^[43]。

2) 凝视与动作模仿障碍。凝视是指个体将视觉注意定向于观察目标的能力^[44],是目标驱动的定向机制的产物^[45],也是动作模仿能力发展的基础之一。凝视可以将注意分配于模仿目标,对动作信息的视觉输入有着重大的影响^[46]。由凝视产生的注意可以促进运动准备,提高模仿准确性,监测他人动作变化以调整自身模仿行为^[47-48]。已有研究表明,正常儿童在动作模仿时,凝视模仿目标的趋势显著增加^[49],直接凝视增强了儿童的模仿反应^[50]。而ASD儿童在观察目标时的凝视点与正常儿童相比具有更大的分散性^[51],ASD儿童缺乏对目标的凝视固定,其凝视持续时间也明显缩短^[52]。ASD儿童的异常凝视模式与其动作模仿障碍显著相关^[53]。

3) 视觉-运动匹配与动作模仿障碍。动作模仿是由视觉-运动匹配与认知相结合而产生的^[54]。视觉输入与运动输出之间的匹配形成于生命早期,新生儿的模仿就反映了生物模仿的先天匹配机制^[20]。有研究比较了模仿反应产生的时间与模仿意识产生的时间,发现模仿意识明显延迟于模仿反应的产生,证实了先天模仿匹配机制的存在^[55]。这种先天的匹配机制被认为是大脑镜像神经系统(mirror neuron system, MNS)活动的产物。已有大量实证研究探索到ASD儿童存在视觉-运动匹配损伤的证据。行为学研究发现,ASD个体在复制动作时无法将观察到的他人的肢体动作与自身的肢体动作建立联系^[56];功能磁共振成像(functional magnetic resonance imaging, fMRI)研究发现,视觉系统与运动系统功能连接的中断导致了ASD儿童视觉输入与运动输出的匹配减少,运动系统与视觉系统的激活不同步,这种视觉系统与运动系统活动的不协调又与ASD儿童的手势模仿能力具有相关关系^[57]。

动作模仿不仅包含自下而上的匹配机制,还需要自上而下的运动认知调节^[58-59],包括动作理解、运动计划、运动控制等。动作理解是通过动作、语言等复杂参考信息对目标动作做出解释,依赖于肢体与物体交互的运动信息以及物体的功能信息^[60]。运动计划是指为实现特定的行动目标而预测和修正运动行为,它能分配认知资源,并能产生与视觉表征相匹配的动作预期^[61]。运动控制的功能是根据不断变化的视觉信息调整动作输出^[62]。

4) 动作理解与动作模仿障碍。Boria等^[63]的动作理解研究如图1所示。当被试ASD儿童被提问“她在做什么? 触摸还是抓取?”时,儿童能够做出正确判断,但进一步提问“她为什么要抓取物体? 是放置还是使用它?”时,儿童则会出现判断错误。研究者认为ASD儿童能够理解手与物体的相互作用关系,但无法推断动作意图,ASD儿童存在动作理解缺陷。但基于匹配机制的动作模仿(mimicry)可以在不理解行为目的的条件下精确地复制动作,因此动作理解不是动作模仿的必要条件,单纯依靠视觉感知与动作反应匹配的动作模仿障碍与动作理解缺陷可能没有相关关系。而在复杂工具行为或复杂技能的学习中,模仿障碍与动作理解缺陷的关系则具有不确定性。

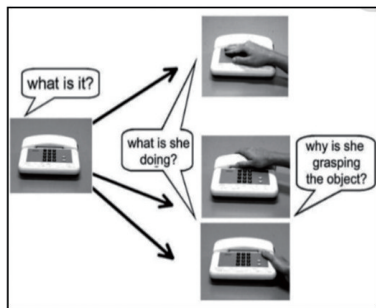


图1 运动理解任务

5) 运动计划与动作模仿障碍。Hamilton等^[64]使用的运动计划任务如图2所示,一根双色棒水平置于桌面,两端各置有一个目标,目标颜色一深一浅。被试儿童被要求单手抓握双色棒指定颜色的一端,将其放在指定颜色的目标上,他们需要选择抓握方式,手心朝上如图2(a)或手心朝下如图2(b),以便以舒适的姿势结束任务。研究表明,

在主试演示条件下,即使初始手势不舒适,ASD儿童也能像正常儿童一样模仿,并实现正确的目标;而当主试采用口头指令要求儿童完成任务时,ASD儿童与正常儿童的错误率均明显提高。因此Hamilton认为ASD儿童在视觉引导条件下进行动作模仿时的运动计划能力具有与正常儿童相当的水平。Cossu等^[59]进行了更为系统的研究,对比ASD儿童模仿由成人演示的物体使用动作(如用玻璃杯喝水)与假装物体使用动作(如假装用玻璃杯喝水)的差异考察ASD儿童的运动计划能力。研究结果表明,被试儿童能够正确模仿用玻璃杯喝水的动作,但无法模仿假装动作。另一个实验中,主试说出物体名称(玻璃杯),儿童需要做出一个使用该物体的常规动作(假装用玻璃杯喝水),ASD儿童同样无法做出正确动作反应。研究者由此认为,ASD儿童操纵物体的运动计划能力正常,这与Hamilton的研究结果相一致;但ASD儿童脱离物体的运动计划能力明显不足。鉴于实验模仿的动作具有常用性,研究者推断ASD儿童的运动计划能力不足可能是在模仿时无法调用大脑存储的自体感觉运动经验而导致的。综上所述,运动计划与模仿障碍的关系因模仿条件而异,ASD儿童在非目标任务中表现出的模仿障碍可能受到了运动计划能力的影响。

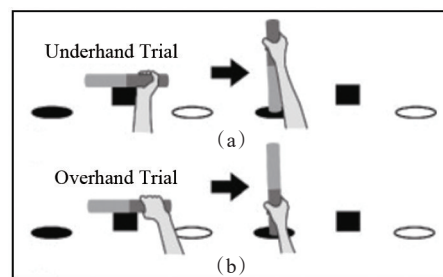


图2 运动计划任务

6) 运动控制与动作模仿障碍。有研究采用模拟走钢丝任务比较了ASD儿童与正常儿童在动作模仿任务中运动控制能力的差异(图3)^[65]。任务中,被试儿童平举一根横杆,沿着地面上的一条纵向黑线,模拟看到的3D动画中走钢丝儿童的动作,通过测量横杆头部角度的偏差来衡量儿童的运动控制能力。研究结果显示,ASD儿童的测量偏差显

著大于正常儿童,在动作模仿过程中存在运动控制不足。但运动控制需要依靠视觉感知和运动之间的匹配形成一个内部行动模型,因此,没有排除视觉观察环节的影响不足以做出 ASD 儿童运动控制缺陷与其模仿障碍相关的论断,运动控制对 ASD 儿童模仿障碍的影响尚需验证。

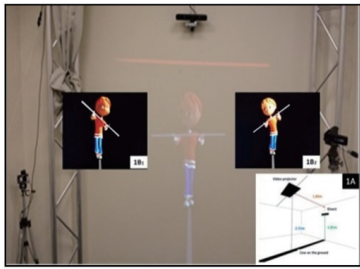


图3 运动控制任务

综上所述,ASD 儿童动作模仿障碍是多功能损伤的结果,任意上述功能损伤都足以影响 ASD 儿童的动作模仿表现。就 ASD 个体而言,具体损伤情况不同会导致动作模仿障碍的产生原因不同,同样水平的动作模仿障碍表现背后的成因是因人而异的。因此,除需对 ASD 儿童动作模仿障碍有全面认知外,更要格外关注个体差异,在临床诊断中需要鉴别导致个体模仿障碍具体原因,以便为制订更高效的个性化康复方案提供明确而可靠的借鉴依据。

3.2 动作模仿障碍产生的脑机制

1) 动作模仿的神经基础和神经传导路径。

人类镜像神经系统(mirror neuron system, MNS)是能将观察到的他人动作映射到观察者自身运动系统上的特异性神经网络,可以对视觉刺激做出反应,还通过对运动行为的观察来理解动作意图^[66],它为视觉感知系统和运动系统提供了直接联系^[67]。影像研究表明, MNS 包括额下回(inferior frontal gyrus, IFG)其相邻的额叶下皮层(inferior frontal cortex, IFC)、顶下小叶(inferior parietal lobule, IPL)、颞上沟(superior temporal sulcus, STS)及相邻的颞中回(middle temporal gyrus, MTG)等脑区^[68-70]。MNS 与视觉皮质中枢——枕叶以及岛叶共同构成了动作模仿网络(action imitation network, AIN),是动作模仿功能的脑神经基础^[71]。STS

与生物运动的感知有关^[72],将来自枕叶皮层的视觉信号进行动觉编码传递至 IPL 和 IFG^[73],并根据反馈信息监测自身与他人行为的一致性^[72]。IPL 编码和存储由自身躯体与客观物体之间相互作用产生的动作信息及有意义的动作信息;接受并匹配来自 STS 的视觉信息,理解有目标、有意义的行为意图^[74],将匹配信息进行编码传递至 IFG^[75]。IFG 感知和存储本体感觉经验,与 MTG 联通构成视觉表征与本体运动表征直接匹配的神经通路^[76];在动作观察过程中调节和分配注意资源^[77],通过视觉信息进行动作理解^[76];根据来自 IPL 和 STS 的神经信号进行感知判断^[76],产生动作计划^[75]。正常儿童在动作模仿过程中, MNS 在动作模仿的各个阶段均被强烈激活^[78]。

Hamilton^[79]提出的 EP-M 模型(图 4)清晰描述了动作模仿的两个独立的神经传导通路:(1) EP 模仿路径,分 2 个阶段。MTG 与 IPL 之间的 E 路径通过视觉信息推断动作目标或意义;IPL 与 IFG 之间的 P 路径形成目标导向的运动计划;二者共同形成的 EP 路径支持有目标或有意义的模仿行为。(2) MTG 与 IFG 之间的 M 模仿路径,由视觉-运动匹配直接引发非目标、无意义模仿行为。弥散张量成像(diffusion tensor imaging, DTI)发现了 STS 与 IFG 之间通过弓形束(arcuate fasciculus)的解剖连接,从生理结构上支持了 M 模仿路径的存在^[80-81]。Hamilton^[79]还形象地举例说明,假设一个成年人向孩子示范如何玩敲乐玩具,成人拿起玩具锤子敲打玩具钉子的顶部,将其敲入木板里。孩子仔细观察,明白玩具的玩法是让钉子进入木板(E 路径),然后抓住玩具,用拇指直接将钉子按进木板

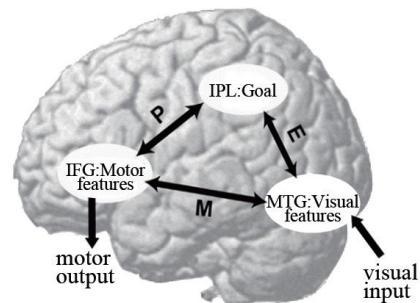


图4 EP-M模型图

(P路线)。孩子用自己的手段成功地模仿了成人的行为目标。E路径单独发生时,孩子无需复制动作即可理解操作行为(钉子要进入木板)。P路径单独发生时,孩子无需复制他人动作就能形成和完成自己的动作目标(可以用拇指按进去)。而学习没有明确目标的舞蹈动作则是通过M路径将MTG编码的舞蹈动作的运动学表征直接传至IFG进行匹配和模仿。

虽然EP-M模型理论与众多行为学和神经学研究结论具有较高的一致性,但近年的一项研究发现IPL右角回神经活动减少与无意义手势模仿障碍有相关关系^[82],这与EP-M模型理论中IPL仅参与目标动作和有意义动作模仿的论断不一致。人脑构造复杂,其神经机制仍有无数不解之谜,因此任何一种单一理论都不能完全解释复杂的生理和心理现象。因此,关于动作模仿的神经机制有待于在现有理论上继续探索。

2) ASD个体的神经发育异常。

关于ASD儿童动作模仿障碍的原因,大多数研究认为是由MNS结构或功能异常导致的。一项研究采用磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)直接测量了ASD个体大脑皮层的厚度,发现其皮层厚度显著变薄,但并不具有全脑一致性,而是局限于以MNS为核心的额叶下皮层(inferior frontal cortex, IFC)、IPL、STS和枕下回(Inferior occipital gyrus, LOG)等区域;所有MNS区域的皮质变薄均与个体的ASD症状严重程度显著相关,而与其智商没有相关关系^[83]。该研究还推断,在ASD个体中观察到的大脑皮层厚度的变薄可能是由于原发性白质发育异常、大脑特定区域缺乏信息输入而导致的^[83]。另有研究进一步将大脑结构连接和功能连接相结合检查了ASD儿童MNS的白质发育情况。研究发现,ASD个体大脑白质结构连接不足局限于以MNS为核心的动作模仿网络(AIN);同时发现AIN与无关脑区又存在普遍的非典型过度连接,并导致AIN内部神经回路的效率降低。该研究得出结论,AIN整合缺陷可能是ASD人群神经发育异常的核心特征^[84]。

具体而言,ASD个体双侧枕叶皮层(lateral oc-

cipital cortex/area V5, LOC)与STS功能连接不足^[84],这可能导致由视觉引导的动作模仿准确性降低^[85]。ASD个体STS皮质变薄^[83],在眼睛凝视期间STS区域出现异常激活模式^[70],会导致他们无法凝视动作模仿目标。ASD个体左侧IPL结构异常,左侧IPL与右小脑之间的神经回路中断,可能导致了视觉-运动匹配障碍,会影响ASD个体使用感官形成或更新其对外界信息的内部表征^[86]。由于背侧前额叶皮层(dorsal prefrontal cortex, DPF)与IFG过度连接干扰了IPL与IFG之间正常的神经传导,使得IPL向IFG输入信息显著减少^[87],这会造成ASD个体在动作模仿时表现出目标识别困难和运动规划困难^[66]。额叶皮层是与共同注意相关的主要脑区,ASD个体在动作模仿期间IFG激活不足导致其无法按指令将注意分配于模仿目标^[88]。根据EP-M模型理论,STS和IFG之间联通不畅会导致ASD个体无意义手势模仿障碍^[66],虽然在这个环节尚缺乏针对ASD群体的直接研究证据,但精神分裂症患者STS和IFG的异常连接导致其无意义手势识别障碍已经得到了证实^[89]。

由此可见,ASD儿童动作模仿障碍产生的脑机制与心理学机制具有高度一致的对应关系。任何动作模仿相关脑机制及其对应的心理机制受损,均可导致ASD儿童的动作模仿功能障碍。值得注意的是,MNS损伤虽然在ASD人群中具有一定的群体普遍性,但并不意味所有ASD个体都同时存在上述所有类型的损伤,动作模仿障碍更具有个体特异性。因此,实际的诊断与干预既需要有集约的综合方案,又需要有针对性的个性化方案。

4 动作模仿障碍的测量

动作模仿量表^[90](motor imitation scale, MIS)是评估ASD儿童动作模仿技能的研究工具(图5),由16个结构化项目组成,包含有意义、无意义的取物模仿和手势模仿。由主试在与儿童的互动中做出动作示范,鼓励儿童模仿并按评分标准评价儿童的动作模仿水平。MIS具有较高的内部一致性($\alpha_{\text{MIS SCALE}}=0.87$)。



图5 动作模仿量表

学前模仿和实践量表(preschool imitation and praxis scale, PIPS)^[91]是涵盖模仿类型最全面的多维量表,包括有意义交流性手势(挥手告别)、有意义目标导向手势(假装梳头发)、无意义单手手势(屈臂90°握拳)、无意义双手手势(重叠双拳)、无意义序列手势(手击桌子—交叉双臂—手击桌子)、无意义头面部手势(食指指向鼻翼)、有意义头面部姿势(闭眼摇头表示“不”)、目标导向的有意义序列动作(通过拉绳子吊起玩具熊)、目标导向的无意义序列动作(倒置杯子—用勺子敲杯底假装打鼓)和非目标导向的序列动作(打开盒子—盖子置于桌面—倒置盒子—积木置于盒子底部)10个维度,共40个模仿任务。由主试根据评分标准评价儿童模仿水平。PIPS具有较高的内部一致性($\alpha_{\text{PIPS SCALE}}=0.97$)和结构效度($KMO=0.98$),适用于学龄前ASD儿童。

在科研实践中,很多研究者还会根据各自研究目的而设计不同的模仿实验范式。一项关于ASD儿童动作模仿障碍的元分析研究认为,模仿分类的多元性、操作定义的不明确以及研究范式的不一致都会导致研究结论缺乏一致性^[92]。由此可见,被公认有效的、多维度的动作模仿障碍测量方法可能是做出有效研究论断的一个重要前提,有待探索。

量表测量主要依靠评分的标准化来保证主观评估结果的有效性。由于ASD儿童的动作模仿障碍有着广泛而严重的脑神经发育障碍基础,再有效的干预措施也不会使ASD儿童的模仿能力出现一蹴而就、立竿见影的大幅度提升,因此,用主观评判的方法对模仿障碍的干预效果进行检验不仅缺乏敏感性并且可能产生期待效应,这是量表测量的重大缺陷。而客观测量则可以提供更为可靠的定量

研究数据。在微观层面,行为学研究通过采集肌肉收缩数据来测量被试从动作观察到动作匹配的反应速度,以此评估其自发模仿反应倾向。在宏观层面,运动追踪技术可以获取被试在动作模仿过程中的运动学特征,可为动作模仿能力的评估提供更丰富、更可靠的客观依据。由此可见,动作模仿障碍的标准化客观测量方法有较高的研发价值,值得关注。此外,影像学测量有助于直观了解每一个ASD儿童具体的脑损伤情况,在条件允许的情况下应作为主要的诊断和干预效果评估手段,但前提是进一步明确脑损伤与动作模仿障碍的关联是否可用于临床诊断。

5 ASD儿童动作模仿障碍干预研究

诸多证据表明,ASD儿童的模仿能力与其多方面能力发展都存在显著相关。纵向研究发现,根据ASD儿童在20个月大时的动作模仿能力可以预测其42个月大时的语言能力^[93];2岁时使用物体的模仿能力与其1年后的游戏技能水平高度相关^[90]。横断研究方面,有研究人员探索了ASD儿童的模仿能力与其社会交往技巧的关联,研究发现,ASD儿童的动作模仿能力与其发起共同注意、响应共同注意、发起行为请求等社会交往技巧有显著的正向相关关系^[94]。还有研究发现,ASD儿童在动作模仿任务中的表现与其心理理论(theory of mind, ToM)测验得分显著相关^[95]。干预研究也证实,动作模仿训练可以使ASD儿童的游戏、共同注意等社交行为表现均得到附带改善^[96]。由此可见,动作模仿能力的提高对ASD儿童整体行为和认知功能的全面改善具有重要的促进作用。已有的干预研究发现,ASD儿童的动作模仿能力可以通过有效的干预得以提高。现有的动作模仿干预训练方法主要包括离散式单元教学(discrete trial teaching, DTT)、交互模仿训练(reciprocal imitation training, RIT)、视频示范法(video modeling, VM)和社会辅助机器人技术(socially assistive robotics, SARs)等。

5.1 离散式单元教学

离散式单元教学(DTT)以斯金纳的操作条件

件反射为原理,采用“刺激—反应—强化”的模式塑造行为,是应用行为分析(applied behavior analysis, ABA)常用的方法之一。DTT以治疗师为主导,通过高度结构化(指令—反应—结果—停止)的密集训练向ASD儿童直接教授动作模仿技能。DTT可以根据儿童的学习情况调整训练目标,被认为是干预训练发展早期能够成功教授ASD儿童动作模仿技能的有效方法。但也有研究认为,密集的重复训练会导致儿童缺乏参与的兴趣和动力^[97];结构化环境中训练的动作模仿技能也不能转化为自然环境和游戏环境中的模仿行为^[98]。

5.2 交互模仿训练

有研究人员开发了基于自然主义发展行为干预(naturalistic developmental behavioral approach, NDBA)的交互模仿训练(RIT)。与DTT截然不同,RIT是让ASD儿童在与成年人或伙伴的持续互动游戏中学习动作模仿技能,在自然环境中改善他们的自发模仿行为。RIT以儿童为主导,根据儿童的兴趣选择教学玩具,并在教学过程中跟随儿童的引领建立一个轮流模仿程序。治疗师首先在游戏中偶然地模仿儿童的行为以获得儿童的注意;然后治疗师会对其与儿童的共同行为进行口头描述,建立语言映射以用于对后续模仿行为的诱发提示,并帮助儿童建立两个个体之间的对应关系;最后,治疗师会引入新颖的游戏动作要求儿童模仿^[99]。与DTT使用大量、单一的重复模仿不同,RIT每次治疗大约需要儿童模仿20个左右的不同动作,每个动作最多模仿3次,用熟悉的动作带动新动作的模仿,用熟悉的玩具操作带动新玩具的操作模仿,以此来促进模仿的泛化^[99]。最近的一项综述研究回顾了近10年的RIT干预研究,结果表明:这些干预研究对RIT的有效性得出了比较一致的肯定结论,RIT能够改善ASD儿童的动作模仿能力^[100]。

5.3 视频示范法

视频示范法(VM)以班杜拉(Albert Bandura)的观察学习理论为基本原理,采用电子设备呈现目标行为的示范视频,让ASD儿童观看视频并模仿目标行为。VM利用ASD儿童的视觉偏好限制了他们的注意力,因此与治疗师实施的动作模仿训练相比,ASD儿童通

过VM获得动作模仿技能的速度更快。虽然VM提供了一种便利,但有对照性研究结果表明视频演示的训练效果明显不及现场演示的训练效果好^[121]。

5.4 社会辅助机器人技术

近年来,用社会辅助机器人技术(SARs)教授ASD儿童动作模仿技能的探索也初具成效。该领域研究结果表明,机器人减少了ASD儿童的情感和社会压力,可以有效地教授ASD儿童动作模仿技能^[101];ASD儿童对机器人的模仿速度比对人类模仿的速度快^[102]。

VM和SARs都可以改善ASD儿童的动作模仿技能,并可以在一定程度上降低康复成本,但这2种方法都缺乏社会交流环境下的人际互动,可能会使动作模仿训练失去了改善ASD儿童社会功能的意义。另外,程序化的训练模式也会限制模仿教学的多样性和运用性,不利于模仿行为的泛化。

5.5 ASD运动干预技术

大量动物学研究和人类影像学研究共同发现,有氧运动能引起大脑结构和功能活动的改变,是一种诱导大脑神经可塑性的有效方法^[103]。虽然目前没有直接的证据表明有氧运动能提高ASD儿童的动作模仿能力,但其对ASD其他症状的改善作用已引起研究者关注。行为学研究表明,马术、游泳、自行车、球类项目等有氧运动可以改善ASD儿童的运动功能和社会功能^[104]。治疗性马术学习可以使ASD儿童的感官敏感性和定向注意力得到显著地改善^[105]。游泳训练能使ASD儿童的游泳技能得到显著提高^[106],而游泳技能学习的实质是运动模仿训练。包容性体育活动(inclusive physical activities, IPA)可以显著提高ASD儿童的跑、跳、双手击球、踢球等多方面运动技能^[107]。然而,并不是所有有氧运动都能够改善ASD儿童的功能障碍。一项自行车干预研究采用对照实验检验了运动技能学习和单纯体育运动对ASD儿童干预效果的差异。该研究将62名ASD儿童随机分为自行车学习组、单纯自行车骑行组和空白对照组,研究发现自行车学习可以使学习组ASD儿童的执行功能得到显著改善,而单纯自行车骑行组与空白对照组同样未见执行功能的改变^[108]。该结果提示,有效的模仿训练

应以动作学习为基础,辅以促进脑功能发展的有氧运动条件,以加速或增强其效果收益。国内有研究证实,具有动作学习和有氧运动双重特征的小篮球训练可以增加 ASD 儿童大脑灰质体积,进而使其相应的执行功能障碍等症状得以改善^[109-110]。因此,可以推测,以动作学习为目标的有氧运动训练可能会通过改善 MNS 的功能^[111],进而改善 ASD 儿童的动作模仿能力^[112]。但目前尚无有氧运动训练改善 ASD 儿童动作模仿障碍的相关研究,因此亟待关注和验证。

6 结论

从行为科学和脑科学的视角综述了 ASD 儿童动作模仿障碍的研究现状,对动作模仿障碍的行为表现、可能导致动作模仿障碍的心理和脑机制,以及现有动作模仿障碍的测量和干预方法进行了全面地梳理和分析,得出结论:(1) 部分研究支持了镜像神经系统结构和功能异常是 ASD 儿童动作模仿障碍的脑机制;(2) 注意/共同注意、凝视、视觉-运动匹配等视觉相关环节的功能损伤与 ASD 儿童动作模仿障碍关系更为突出和密切,但不能排除动作理解、运动计划、运动控制等自上而下的认知功能损伤对 ASD 儿童动作模仿障碍的影响;(3) 动作模仿障碍评估尚缺乏标准化的客观测量方法;(4) 现有动作模仿障碍干预方法能在一定程度上改善 ASD 儿童的动作模仿表现,但动作学习与有氧运动相结合的运动干预技术有可能成为更高效的动作模仿障碍干预手段。

综合以上研究结论,今后的研究还需要关注以下方向:(1) 关注 ASD 儿童在动作模仿时的动作观察特征,以及这些特征与视觉信息加工环节功能损伤的关系。这些探索对于从动作模仿障碍上游环节设计干预方案有着重要的参考价值。(2) 论证动作学习与有氧运动相结合的运动干预技术对 ASD 儿童动作模仿障碍的干预效果,寻找促进 ASD 儿童动作模仿能力发展的更高效的干预方案。(3) 目前尚未见有研究探讨动作模仿干预训练对大脑结构和功能的影响。未来论证干预有效性的研究需要着重补充脑机制层面的证据,特别需要关注长期

纵向干预引发的脑机制改变。(4) 对动作模仿障碍及其干预效果的机制研究,关注点应不仅限于相关或因果关系的探索,需要放眼多机制损伤的联动研究,为共病共治、提高干预效果提供依据。(5) 标准化客观测评工具的研发应该是未来 ASD 儿童动作模仿障碍筛查发展的方向,采用何种客观测量方式,将哪些客观特征纳为动作模仿障碍的稳定识别变量,值得研究者进一步关注。

参考文献 (References)

- [1] Francesmonneris A, Pincus H, First M. Diagnostic and statistical manual of mental disorders: DSM-V[M]. Washington D C: American Psychiatric Association, 2013: 50-59.
- [2] Maenner M J, Kelly A S, Jon B, et al. Prevalence of autism spectrum disorder among children aged 8 years: Autism and developmental disabilities monitoring network, 11 Sites, United States[J]. MMWR Surveillance Summaries, 2020, 69(4): 1-12.
- [3] 赵亚楠, 罗雅楠, 王翔宇, 等. 中国 2~6 岁孤独症儿童家庭直接经济负担研究[J]. 中华疾病控制杂志, 2021, 25(9): 1085-1090.
- [4] Pokorny J J, Hatt N V, Colombi C, et al. The action observation system when observing hand actions in autism and typical development[J]. Autism Research, 2015, 8(3): 284-296.
- [5] Bottema-Beutel K, Kim S Y, Crowley S. A systematic review and meta-regression analysis of social functioning correlates in autism and typical development[J]. Autism Research, 2018, 12(2): 152-175.
- [6] Zachor D A, Ilanit T, Itzhak E B. Autism severity and motor abilities correlates of imitation situations in children with autism spectrum disorders[J]. Research in Autism Spectrum Disorders, 2010, 4(3): 438-443.
- [7] Nagy E. From imitation to conversation: The first dialogues with human neonates[J]. Infant and Child Development, 2006, 15(3): 223-232.
- [8] Meltzoff A N, Keith Moore M. Imitation, memory, and the representation of persons[J]. Infant Behavior and Development, 1994, 17(1): 83-99.
- [9] Fawcett C, Liskowski U. Mimicry and play initiation in 18-month-old infants[J]. Infant Behavior and Development, 2012, 35(4): 689-696.
- [10] Meltzoff A N, Moore M K. Persons and representation: Why infant imitation is important for theories of human development[M]. New York: Cambridge University Press, 1999: 9-35.
- [11] Meltzoff A N, Keith M M. Early imitation within a functional framework: The importance of person identity,

- movement, and development[J]. *Infant Behavior and Development*, 1992, 15(4): 479–505.
- [12] Wang Z, Williamson R A, Meltzoff A N. Imitation as a mechanism in cognitive development: A cross-cultural investigation of 4-year-old children's rule learning[J]. *Frontiers in Psychology*, 2015, 6: 562.
- [13] Zwaigenbaum L, Bryson S, Rogers T, et al. Behavioral manifestations of autism in the first year of life[J]. *International Journal of Developmental Neuroscience*, 2005, 23(2/3): 143–152.
- [14] Soorya L V, Arnstein L M, Gillis J, et al. An overview of imitation skills in autism: Implications for practice[J]. *The Behavior Analyst Today* 2003, 4(2): 114–123.
- [15] Rogers S J, Williams J H G. Imitation in autism findings and controversies[M]. New York: Guilford Publications, 2006.
- [16] Forbes P A G, Hamilton A F C. Moving higher and higher: Imitators' movements are sensitive to observed trajectories regardless of action rationality[J]. *Experimental Brain Research*, 2017, 235(9): 2741–2753.
- [17] Biro D, Inoue-Nakamura N, Tonooka R, et al. Cultural innovation and transmission of tool use in wild chimpanzees: Evidence from field experiments[J]. *Animal Cognition*, 2003, 6(4): 213–223.
- [18] Fridland E, Moore R. Imitation reconsidered[J]. *Philosophical Psychology*, 2014, 28(6): 856–880.
- [19] Boesch C, Tomasello M. Chimpanzee and human cultures [J]. *Current Anthropology*, 1998, 39(5): 591–614.
- [20] Meltzoff A N, Decety J. What imitation tells us about social cognition: A rapprochement between developmental psychology and cognitive neuroscience[J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2003, 358(1431): 491–500.
- [21] Oturai G, Kolling T, Knopf M. Relations between 18-month-olds' gaze pattern and target action performance: A deferred imitation study with eye tracking[J]. *Infant Behavior and Development*, 2013, 36(4): 736–748.
- [22] Dickerson K, Gerhardstein P, Zack E, et al. Age-related changes in learning across early childhood: A new imitation task[J]. *Developmental Psychobiology*, 2013, 55(7): 719–732.
- [23] Kim Z, Óturai G, Király I, et al. The role of objects and effects in action imitation: Comparing the imitation of object-related actions vs. gestures in 18-month-old infants [J]. *Infant Behavior and Development*, 2015, 41: 43–51.
- [24] Holland A C, O'Connell G, Dziobek I. Facial mimicry, empathy, and emotion recognition: A meta-analysis of correlations[J]. *Cognition and Emotion*, 2021, 35(1): 150–168.
- [25] Braadbaart L, de Grauw H, Perrett D I, et al. The shared neural basis of empathy and facial imitation accuracy[J]. *NeuroImage*, 2014, 84: 367–375.
- [26] Ingersoll B, Meyer K. Do object and gesture imitation skills represent independent dimensions in autism? [J]. *Journal of Developmental and Physical Disabilities*, 2011, 23(5): 421–431.
- [27] Ingersoll B, Lalonde K. The impact of object and gesture imitation training on language use in children with autism spectrum disorder[J]. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 2010, 53(4): 1040–1051.
- [28] Toth K, Munson J, Meltzoff A N, et al. Early predictors of communication development in young children with autism spectrum disorder: Joint attention, imitation, and toy play[J]. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 2006, 36(8): 993–1005.
- [29] Heimann M, Strid K, Smith L, et al. Exploring the relation between memory, gestural communication, and the emergence of language in infancy: A longitudinal study [J]. *Infant and Child Development*, 2006, 15(3): 233–249.
- [30] Byrne R W, Russon A E. Learning by imitation: A hierarchical approach[J]. *Behavioral and Brain Sciences*, 1998, 21(5): 667–684.
- [31] Pittet I, Kojovic N, Franchini M, et al. Trajectories of imitation skills in preschoolers with autism spectrum disorders[J]. *Journal of Neurodevelopmental Disorders*, 2022, 14(1): 2.
- [32] Mussey J L, Klinger L G. Imitation in ASD: Performance on an imitation choice task[J]. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 2020, 73: 101530.
- [33] Heimann M, Nordqvist E, Strid K, et al. Children with autism respond differently to spontaneous, elicited and deferred imitation[J]. *Journal of Intellectual Disability Research*, 2016, 60(5): 491–501.
- [34] Vivanti G, Trembath D, Dissanayake C. Mechanisms of imitation impairment in autism spectrum disorder[J]. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 2014, 42(8): 1395–1405.
- [35] Bauer P J, Kleinknecht E E. To 'ape' or to emulate? Young children's use of both strategies in a single study [J]. *Developmental Science*, 2002, 5(1): 18–20.
- [36] Edwards L A. A meta-analysis of imitation abilities in individuals with autism spectrum disorders[J]. *Autism Research*, 2014, 7(3): 363–380.
- [37] Ricciardelli P, Bricolo E, Aglioti S M, et al. My eyes want to look where your eyes are looking: Exploring the tendency to imitate another individual's gaze[J]. *Neuroreport*, 2002, 13(17): 2259–2264.
- [38] 陈璐, 张婷, 李泉, 等. 孤独症儿童共同注意的神经基础及早期干预[J]. *心理科学进展*, 2015, 23(7): 1205–1215.
- [39] García R R, Zamorano F, Aboitiz F. From imitation to meaning: Circuit plasticity and the acquisition of a conventionalized semantics[J]. *Frontiers in Human Neuroscience*, 2014, 8: 605.
- [40] Carpenter M, Nagell K, Tomasello M. Social cognition, joint attention, and communicative competence from 9 to 15 months of age[J]. *Monographs of the Society for Re-*

- search in *Child Development*, 1998, 63(4): 9835078.
- [41] Korhonen V, Kärnä E, Rätty H. Autism spectrum disorder and impaired joint attention: A review of joint attention research from the past decade[J]. *Nordic Psychology*, 2014, 66(2): 94–107.
- [42] Dadgar H, Rad J A, Soleymani Z, et al. The relationship between motor, imitation, and early social communication skills in children with autism[J]. *Iranian Journal of Psychiatry*, 2017, 12(4): 233–237.
- [43] Whalen C, Schreibman L, Ingersoll B. The collateral effects of joint attention training on social initiations, positive affect, imitation, and spontaneous speech for young children with autism[J]. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 2006, 36(5): 655–664.
- [44] Jasso H, Triesch J, Deák G, et al. A unified account of gaze following[C]. *IEEE Transactions on Autonomous Mental Development*, 2012, 4(4): 257–272.
- [45] Ricciardelli P, Carcagno S, Vallar G, et al. Is gaze following purely reflexive or goal-directed instead? Revisiting the automaticity of orienting attention by gaze cues [J]. *Experimental Brain Research*, 2013, 224(1): 93–106.
- [46] Doi H, Tagawa M, Shinohara K. Gaze direction modulates the disengagement of attention from facial expression in 10-month-olds[J]. *Emotion*, 2010, 10(2): 278–282.
- [47] Vlaskamp B N S, Schubö A. Human eye movement behavior in action observation[C]. *19th International Symposium in Robot and Human Interactive Communication*, 2010: 246–251.
- [48] Bek J, Poliakoff E, Marshall H, et al. Enhancing voluntary imitation through attention and motor imagery[J]. *Experimental Brain Research*, 2016, 234(7): 1819–1828.
- [49] Press C, Cook J, Blakemore S J, et al. Dynamic modulation of human motor activity when observing actions[J]. *Journal of Neuroscience*, 2011, 31(8): 2792–2800.
- [50] Wang Y, Hamilton A F. Why does gaze enhance mimicry? Placing gaze-mimicry effects in relation to other gaze phenomena[J]. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 2014, 67(4): 747–762.
- [51] Liberati A, Fadda R, Doneddu G, et al. A statistical physics perspective to understand social visual attention in autism spectrum disorder[J]. *Perception*, 2017, 46(8): 889–913.
- [52] Papagiannopoulou E A, Chitty K M, Hermens D F, et al. A systematic review and meta-analysis of eye-tracking studies in children with autism spectrum disorders[J]. *Social Neuroscience*, 2014, 9(6): 610–632.
- [53] Drysdale B M, Moore D W, Furlonger B E, et al. Gaze patterns of individuals with ASD during active task engagement: A systematic literature review[J]. *Review Journal of Autism and Developmental Disorders*, 2018, 5(1): 1–14.
- [54] Meltzoff A N, Keith Moore M. Imitation, memory, and the representation of persons[J]. *Infant Behavior and Development*, 1994, 17(1): 83–99.
- [55] Tessari A, Rumiati R I, Haggard P. Imitation without awareness[J]. *Neuroreport*, 2002, 13(18): 2531–2535.
- [56] Stewart H J, McIntosh R D, Williams J H. A specific deficit of imitation in autism spectrum disorder[J]. *Autism Research*, 2013, 6(6): 522–530.
- [57] Nebel M B, Eloyan A, Nettles C A, et al. Intrinsic visual-motor synchrony correlates with social deficits in autism[J]. *Biological Psychiatry*, 2016, 79(8): 633–641.
- [58] Sparks S, Lyons M, Kritikos A. Top-down attentional factors modulate action priming in reach-to-grasp action [J]. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 2019, 72(7): 1589–1600.
- [59] Cossu G, Boria S, Copioli C, et al. Motor representation of actions in children with autism[J]. *Public Library of Science*, 2012, 7(9): e44779.
- [60] Myowa-Yamakoshi M. The evolutionary roots of human imitation, action understanding and symbols[J]. *Interaction Studies*, 2018, 19(1/2): 183–199.
- [61] Backstrom A, Johansson A M, Rudolfsson T, et al. Motor planning and movement execution during goal-directed sequential manual movements in 6-year-old children with autism spectrum disorder: A kinematic analysis[J]. *Research in Developmental Disabilities*, 2021, 115: 104014.
- [62] Bortoletto M, Mattingley J B, Cunnington R. Action intentions modulate visual processing during action perception[J]. *Neuropsychologia*, 2011, 49(7): 2097–2104.
- [63] Boria S, Fabbri-Destro M, Cattaneo L, et al. Intention understanding in autism[J]. *The Public Library of Science*, 2009, 4(5): e5596.
- [64] Hamilton A F, Brindley R M, Frith U. Imitation and action understanding in autistic spectrum disorders: How valid is the hypothesis of a deficit in the mirror neuron system?[J]. *Neuropsychologia*, 2007, 45(8): 1859–1868.
- [65] Xavier J, Gauthier S, Cohen D, et al. Interpersonal synchronization, motor coordination, and control are impaired during a dynamic imitation task in children with autism spectrum disorder[J]. *Frontiers in Psychology*, 2018, 9: 1467.
- [66] Kana R K, Wadsworth H M, Travers B G. A systems level analysis of the mirror neuron hypothesis and imitation impairments in autism spectrum disorders[J]. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 2011, 35(3): 894–902.
- [67] Decety J, Grèzes J. Neural mechanisms subserving the perception of human actions[J]. *Trends in Cognitive Sciences*, 1999, 3(5): 172–178.
- [68] Frundt O, Schulz R, Schottle D, et al. White matter microstructure of the human mirror neuron system is related to symptom severity in adults with autism[J]. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 2018, 48(2): 417–429.
- [69] Jeon H, Lee S H. From neurons to social beings: Short review of the mirror neuron system research and its so-

- cio-psychological and psychiatric implications[J]. *Clinical Psychopharmacology and Neuroscience*, 2018, 16(1): 18–31.
- [70] Rizzolatti G, Craighero L. The mirror–neuron system[J]. *Annual Review of Neuroscience*, 2004, 27(1): 169–192.
- [71] Caspers S, Zilles K, Laird A R, et al. ALE meta-analysis of action observation and imitation in the human brain[J]. *Neuroimage*, 2010, 50(3): 1148–1167.
- [72] Jack A, Englander Z A, Morris J P. Subcortical contributions to effective connectivity in brain networks supporting imitation[J]. *Neuropsychologia*, 2011, 49(13): 3689–3698.
- [73] Alaerts K, Swinnen S P, Wenderoth N. Neural processing of biological motion in autism: An investigation of brain activity and effective connectivity[J]. *Scientific Reports*, 2017, 7(1): 5612.
- [74] Kruger B, Bischoff M, Blecker C, et al. Parietal and premotor cortices: Activation reflects imitation accuracy during observation, delayed imitation and concurrent imitation[J]. *Neuroimage*, 2014, 100: 39–50.
- [75] Carr L, Iacoboni M, Dubeau M C, et al. Neural mechanisms of empathy in humans: A relay from neural systems for imitation to limbic areas[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2003, 100(9): 5497–5502.
- [76] Pobric G, Hamilton A F. Action understanding requires the left inferior frontal cortex[J]. *Current Biology*, 2006, 16(5): 524–529.
- [77] Chong T T, Williams M A, Cunnington R, et al. Selective attention modulates inferior frontal gyrus activity during action observation[J]. *Neuroimage*, 2008, 40(1): 298–307.
- [78] Vogt S, Buccino G, Wohlschlagel A M, et al. Prefrontal involvement in imitation learning of hand actions: Effects of practice and expertise[J]. *Neuroimage*, 2007, 37(4): 1371–1383.
- [79] Hamilton A F. Emulation and mimicry for social interaction: A theoretical approach to imitation in autism[J]. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 2008, 61(1): 101–115.
- [80] Rilling J K, Glasser M F, Preuss T M, et al. A comparative diffusion tensor imaging (DTI) study of the arcuate fasciculus language pathway in humans, chimpanzees and rhesus macaques[J]. *American Journal of Physical Anthropology*, 2007: 199–200.
- [81] Rilling J K, Glasser M F, Preuss T M, et al. The evolution of the arcuate fasciculus revealed with comparative DTI[J]. *Nature Neuroscience*, 2008, 11(4): 426–428.
- [82] Wadsworth H M, Maximo J O, Lemelman A R, et al. The action imitation network and motor imitation in children and adolescents with autism[J]. *Neuroscience*, 2017, 343: 147–156.
- [83] Hadjikhani N, Joseph R M, Snyder J, et al. Anatomical differences in the mirror neuron system and social cognition network in autism[J]. *Cerebral Cortex*, 2006, 16(9): 1276–1282.
- [84] Fishman I, Datko M, Cabrera Y, et al. Reduced integration and differentiation of the imitation network in autism: A combined functional connectivity magnetic resonance imaging and diffusion-weighted imaging study[J]. *Annals of Neurology*, 2015, 78(6): 958–969.
- [85] Gowen E, Stanley J, Miall R C. Movement interference in autism–spectrum disorder[J]. *Neuropsychologia*, 2008, 46(4): 1060–1068.
- [86] Lidstone D E, Rochowiak R, Mostofsky S H, et al. A data driven approach reveals that anomalous motor system connectivity is associated with the severity of core autism symptoms[J]. *Autism Research*, 2021, doi: 10.1002/aur.2476.
- [87] Shih P, Shen M, Ottl B, et al. Atypical network connectivity for imitation in autism spectrum disorder[J]. *Neuropsychologia*, 2010, 48(10): 2931–2939.
- [88] Zhu H, Li J, Fan Y, et al. Atypical prefrontal cortical responses to joint/non-joint attention in children with autism spectrum disorder (ASD): A functional near-infrared spectroscopy study[J]. *Biomedical Optics Express*, 2015, 6(3): 690–701.
- [89] Straube B, Green A, Sass K, et al. Superior temporal sulcus disconnectivity during processing of metaphoric gestures in schizophrenia[J]. *Schizophrenia Bulletin*, 2014, 40(4): 936–944.
- [90] Stone W L, Ousley O Y, Littleford C D. Motor imitation in young children with autism: What’s the object? [J]. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 1997, 25(8): 475–485.
- [91] Vanvuchelen M, Roeyers H, de Weerd W. Development and initial validation of the Preschool Imitation and Praxis Scale (PIPS) [J]. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 2011, 5(1): 463–473.
- [92] Sevlever M, Gillis J M. An examination of the state of imitation research in children with autism: Issues of definition and methodology[J]. *Research in Developmental Disabilities*, 2010, 31(5): 976–984.
- [93] Stone W L, Yoder P J. Predicting spoken language level in children with autism spectrum disorders[J]. *Autism*, 2001, 5(4): 341–361.
- [94] Dadgar H, Alaghband Rad J, Soleymani Z, et al. The relationship between motor, imitation, and early social communication skills in children with autism[J]. *Iranian Journal of Psychiatry*, 2017, 12(4): 236–240.
- [95] Perra O, Williams J H G, Whiten A, et al. Imitation and ‘theory of mind’ competencies in discrimination of autism from other neurodevelopmental disorders[J]. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 2008, 2(3): 456–468.
- [96] Ingersoll B R. Teaching children with autism to imitate using a naturalistic treatment approach effects on imitation, language, play, and social behaviors[D]. East Lan-

- sing: Michigan State University, 2003.
- [97] Koegel R L, O'Dell M, Dunlap G. Producing speech use in nonverbal autistic children by reinforcing attempts[J]. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 1988, 18(4): 525–538.
- [98] Ingersoll B. The social role of imitation in autism: Implications for the treatment of imitation deficits[J]. *Infants and Young Children*, 2008, 21(2): 107–119.
- [99] Ingersoll, Schreibman L. Teaching reciprocal imitation skills to young children with autism using a naturalistic behavioral approach: Effects on language, pretend play, and joint attention[J]. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 2006, 36(4): 487–505.
- [100] Paparella T, Freeman S. Methods to improve imitation in young children with autism: A review[M]. Cambridge: Academic Press, 2021: 55–68.
- [101] Zheng Z, Young E M, Swanson A R, et al. Robot-mediated imitation skill training for children with autism[C]. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 2016, 24(6): 682–691.
- [102] Bird G, Leighton J, Press C, et al. Intact automatic imitation of human and robot actions in autism spectrum disorders[J]. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 274(1628): 3027–3031.
- [103] El-Sayes J, Harasym D, Turco C V, et al. Exercise-induced neuroplasticity: A mechanistic model and prospects for promoting plasticity[J]. *Neuroscientist*, 2019, 25(1): 65–85.
- [104] Sowa M, Meulenbroek R. Effects of physical exercise on Autism Spectrum Disorders: A meta-analysis[J]. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 2012, 6(1): 46–57.
- [105] Bass M M, Duchowny C A, Llabre M M. The effect of therapeutic horseback riding on social functioning in children with autism[J]. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 2009, 39(9): 1261–1267.
- [106] Pan C Y. Effects of water exercise swimming program on aquatic skills and social behaviors in children with autism spectrum disorders[J]. *Autism*, 2010, 14(1): 9–28.
- [107] Sansi A, Nalbant S, Ozer D. Effects of an inclusive physical activity program on the motor skills, social skills and attitudes of students with and without autism spectrum disorder[J]. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 2021, 51(7): 2254–2270.
- [108] Tse A, Anderson D I, Liu V, et al. Improving executive function of children with autism spectrum disorder through cycling skill acquisition[J]. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 2021, 53(7): 1417–1424.
- [109] Wang J G, Cai K L, Liu Z M, et al. Effects of mini-basketball training program on executive functions and core symptoms among preschool children with autism spectrum disorders[J]. *Brain Sciences*, 2020, 10(5): 263.
- [110] 董晓晓, 陈爱国, 刘智妹, 等. 小篮球运动对学龄前孤独症儿童重复刻板行为及脑灰质体积的影响[J]. *中国体育科技*, 2020, 56(11): 25–31.
- [111] Xu Z, Hu M, Wang Z R, et al. The positive effect of moderate-intensity exercise on the mirror neuron system: An fNIRS study[J]. *Frontiers in Psychology*, 2019, 10: 986.
- [112] Perkins T, Stokes M, McGillivray J, et al. Mirror neuron dysfunction in autism spectrum disorders[J]. *Journal of Clinical Neuroscience*, 2010, 17(10): 1239–1243.

The action imitation ability of children of autism: From perspectives based on behavioral and brain sciences

GAO Yuanyuan^{1,2}, CHEN Aiguo³, WEI Gaoxia^{1,2,4*}

1. Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

2. Department of Psychology, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

3. College of Physical Education, Yangzhou University, Yangzhou 225127, China

4. Key Laboratory of Behavioral Science, Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

Abstract This paper reviewed the findings of action imitation defects in children with autism spectrum disorder (ASD) from both behavioral and neural perspectives. It summarized the existing literature about behavioral performance and brain mechanism related to imitation defects; Evaluation tools and treatment strategies for imitation defects were also included in this review. This review is of great implication for advance the understanding of action imitation defects in ASD and provides an insight for screening and treating imitation defects.

Keywords autism spectrum disorder; imitation; mirror neuron system; aerobic exercise ●



(责任编辑 卫夏雯)