

体育运动与孤独症康复:来自“脑智”视角下的证据

蔡可龙^{1,2}, 陈爱国^{1,2*}, 朱丽娜^{1,2}, 刘智妹^{1,2}

1. 扬州大学体育学院, 扬州 225127

2. 扬州大学体育运动与脑科学研究所, 扬州 225127

摘要 从“脑”和“智”两个视角对体育运动与孤独症谱系障碍康复相关研究进行梳理,发现体育运动改善孤独症“智”主要表现为运动障碍、执行功能、学业成就、情绪行为和核心症状5个方面,体育运动改善孤独症“脑”主要表现为分子层面、细胞层面和系统层面3个方面,并在此基础上整合了体育运动与孤独症康复的多层面、多学科、较为完整的证据链。面向该研究发展趋势和孤独症患儿康复的现实需求,指出未来研究的3个主要方向:构建体育运动提升孤独症“脑智”的理论体系;建立孤独症“脑智”协同改善的运动干预模式;深入推进跨学科交叉研究。

关键词 体育运动;孤独症谱系障碍;孤独症;“脑智”

1943年,美国儿童精神病学家Leo Kanner报道了世界上第一例孤独症(Autism)患儿^[1],“autism”这个词源于希腊语“auto”,在英语中是“自我”的意思,这名患儿常常以自我为中心,仿佛生活在一个封闭的世界里。直至《国际疾病分类》第10版(ICD-10)与《美国精神障碍诊断与统计手册》第5版(DSM-V)的出台,确定将孤独症定义为孤独症谱系障碍(autism spectrum disorder, ASD),即一种发生在儿童早期,以社会交流与互动障碍和受限的、重复的行为模式、兴趣或活动为主要临床特征,

并限制或损害了日常功能的终身性严重精神神经发育障碍性疾病^[2-3]。随着诊断工具和标准的确立,孤独症的筛查体系逐步完善,根据2021年美国疾病控制与预防中心(Centers for Disease Control and Prevention, CDC)的数据表明,孤独症的患病率已从1975年的1/5000上升至1/44^[4]。1982年,陶国泰报道了中国内地第一例孤独症患者^[5],根据2020年的一项大型流调数据初步显示:中国8个省市的学龄期孤独症患病率高达1/142^[6],且真实的患病率可能更加严峻。在高患病率、高伤害性的疾病特征

收稿日期:2022-02-17;修回日期:2022-04-25

基金项目:国家自然科学基金项目(31771243);霍英东教育基金会基金项目(141113);江苏省研究生科研与实践创新计划项目(KYCX22_3419)

作者简介:蔡可龙,博士研究生,研究方向为体育运动与孤独症儿童脑智提升,电子信箱:MX120170353@yzu.edu.cn;陈爱国(通信作者),教授,研究方向为体育运动与儿童青少年的脑智提升、脑科学与体育教学等,电子信箱:agchen@yzu.edu.cn

引用格式:蔡可龙,陈爱国,朱丽娜,等. 体育运动与孤独症康复:来自“脑智”视角下的证据[J]. 科技导报, 2022, 40(10): 67-77; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2022.10.007

催动下,学术界和临床康复领域提出了各种基于循证医学的干预方式,例如应用行为分析(applied behavior analysis, ABA)^[7]、回合式教学法(discrete trial training, DTT)^[8]和关键技能训练法(pivotal response training, PRT)^[9-10]等已经广泛应用于孤独症的干预治疗中,并取得了较好的效果。

体育运动作为康复领域中常用的临床辅助干预手段,越来越受到医学和特殊教育领域的关注,更是在国家政策层面确立了体育运动的积极作用和价值。2016年,中华人民共和国国务院颁布的《“健康中国2030”规划纲要》中明确提出,要加强体医融合和非医疗健康干预,推动形成体医结合的疾病管理与健康服务模式^[11];2021年国务院印发的《全民健身计划(2021—2025年)》中再次强调推动体卫融合,探索建立体育和卫生健康等部门协同、全社会共同参与的运动促进健康模式,推进全民健身融合发展^[12]。从“体医融合”到“体卫融合”思想的转变过程中,将体育运动作为治疗手段融入到孤独症干预体系中,是这一思想的最好体现,即体育学科提供手段和方法,医学学科提供思路和路径,用医学的思维方法和知识体系将常见的体育运动方法进行归纳和总结,使之处方化,变得更加具有针对性、实用性和科学性,以便更好地适应孤独症群体的需要。近些年不断有研究证据表明,体育运动可以明显地改善孤独症的行为表现,促进其各方面能力的发展^[13-17]。

体育运动与孤独症的关系研究最早可以追溯到1980年,Watters等^[18]研究发现,孤独症患儿在进行体育运动(jogging)后,刻板行为会有一定程度的改善。此后的40年中,体育运动干预在孤独症康复中的应用已经成为研究人员关注的领域之一。但是,迄今为止,大部分研究仅从行为学等单一层面的视角探讨了体育运动对孤独症的益处^[19-23],而多层面的联合研究及因果关系证据链仍然缺乏,导致二者之间关系轮廓不明确、实践应用理论支撑不足,亟需梳理和整合多层面研究证据,将分子、细胞、系统、行为等层面的证据进行整合,涉及运动干预与孤独症儿童脑(内在物质)与智(与大脑相关的外显行为)的改变^[24]。基于此,本文从“脑”和“智”

的视角,系统整合体育运动与孤独症的多层面研究证据,以更深入地揭示体育运动与孤独症之间的因果关系及其潜在机制。

1 体育运动对孤独症“智”的影响

体育运动对孤独症“智”的影响主要表现为运动障碍、执行功能、学业成就、情绪行为和核心症状5个方面,均是与大脑相关的外显行为表现。

1.1 运动障碍

虽然运动障碍并不是孤独症的诊断标准之一,但是运动障碍是孤独症常见的并发症,大约有80%~90%的孤独症儿童表现出不同程度的运动障碍,具体表现为体适能差、精细和粗大运动发展障碍、动作模仿能力障碍、运动心律失常、运动耐力和肌肉张力差等^[25-29]。运动障碍会导致孤独症者日常身体活动水平的减少^[30]和远差于正常儿童的体适能表现,并且这种负面影响会随着年龄的增长而增加^[31]。不仅如此,运动障碍还会对孤独症者情绪、社交和行为发展产生长期的不良影响^[32]。为了尽可能减少运动障碍导致的孤独症儿童健康问题,采用合理的体育运动干预方式,促进孤独症儿童定期参加体育活动,成为改善孤独症儿童运动障碍的重要领域。

长期以来,针对运动障碍进行的体育运动干预研究主要包括体适能、动作发展、运动协调能力和动作技能习得能力4个方面:(1)体育运动可以改善孤独症者的体适能,例如12周小篮球运动干预可以提高学龄前孤独症儿童体适能,具体表现为肌肉力量和速度灵敏性^[33]。(2)体育运动可以改善孤独症者的动作发展障碍,例如12周基本运动技能(fundamental motor skill, FMS)干预课程可以提升孤独症儿童位移技能和物体控制技能^[34];6周的大肌肉运动干预能够提高孤独症者儿童的粗大动作能力^[35]。(3)体育运动可以改善孤独症者的运动协调能力,例如3个月韵律操练习干预对孤独症儿童姿势控制能力具有良好的改善作用,尤其是对前庭功能、本体感觉的改善效果明显^[36];每周3次,每次持续35~45 min的8周希腊传统舞蹈训练可以提高

孤独症患者的神经肌肉协调性^[37]。(4) 体育运动可以改善孤独症者的动作技能习得能力,例如冯燕青等^[38]采用《水中技能习得量表》(humphries assessment of aquatic readiness, HAAR)评估水中运动干预疗法对孤独症儿童运动技能习得的影响,结果发现,经过4周高密度的水中运动一对一干预,试验组在水中旋转、平衡和控制、水中独立运动4个动作技能方面均有显著性差异,试验组55%的患儿可自行在水中平衡和控制,22%的患儿可进行水中独立运动;另一项研究发现,18周小篮球运动干预可以有效发展孤独症儿童的篮球技能水平,具体表现为每分钟连续拍球、传接球、连续运球和投篮等动作技能得到提高^[39]。但是,关于孤独症运动障碍发生发展的病理基础与生理机制还存在争议^[40],特别是体育运动改善孤独症运动障碍的神经机制研究十分有限^[41]。

1.2 执行功能

执行功能是指在完成复杂的认知任务时,对各种基本认知过程进行协调和控制的高级认知过程。1978年,Damasio等^[42]在比较了孤独症患者与额叶脑损伤患者的认知任务表现后提出了孤独症执行功能障碍的理论(executive dysfunction)。研究表明,孤独症在学龄前期就已经表现出执行功能缺陷问题,而且执行功能的多个维度都存在受损,主要表现在工作记忆、抑制能力、自我控制能力和注意力等方面^[43]。在孤独症人群中,体育运动和执行功能之间的关系并不是很明确,主要是因为对孤独症的研究更多地关注于其临床行为症状^[22, 44],近年来,体育运动对孤独症的执行功能逐渐表现出潜在益处^[45]。

工作记忆是在执行认知任务过程中,对信息暂时储存与加工的系统,是高级认知活动的核心。Pan等^[46]设计了12周乒乓球训练干预方案,结果发现,经过干预的患儿完成威斯康辛卡片分类测验(wsconsin card sorting test, WCST)的成绩显著提高,表明执行功能得到了改善;Wang等^[47]研究发现,12周小篮球运动干预改善了学龄前儿童的工作记忆和抑制能力;此外,朱瑜等^[48]研究也发现以小篮球为基础的20周适应性体育运动干预可以有

效改善孤独症的视觉工作记忆能力;另一项针对学龄期孤独症儿童的研究也发现,30节课运动游戏干预对患儿的工作记忆有显著改善作用^[49]。上述研究表明,复杂运动项目(如球类)往往更有利于孤独症执行功能发展,这与健康人群的研究一致^[50]。

自我控制能力缺陷在孤独症人群中通常表现为脾气爆发、刻板和冲动行为,这通常会导致患者学习困难和家庭养育负担。Chan等^[51]研究发现持续4周,每周2次的中国传统内养功练习可以提高孤独症儿童自我控制能力,使其对脾气和行为的控制力提高。

注意力缺陷多动障碍是孤独症常见的共患病,孤独症发生多动冲动、注意缺陷症状的几率较高,约为20%~58%^[52]。研究表明,马术训练可以有效提高孤独症注意力。Bass等^[53]设计了一项12周马术训练运动干预计划,接受骑马训练的孤独症儿童表现出更强的感官寻求、感官敏感度、社交动机,同时显著降低其注意力不集中、分心和久坐等行为问题。

1.3 学业成就

学业成就是儿童青少年在学校教育中的主要成果,也是学生发展的重要目标。评价学业成就的两个核心内容是学生学习行为表现和学业成绩。目前有不少研究考察了体育运动对青少年孤独症学习行为表现的影响,结果表明适当地体育锻炼可以有效改善孤独症患者的课堂表现、注意力、依从性^[54-56]和学业参与度^[57-58],但孤独症群体中只有少部分高功能患者能接受常规学校教育,所以目前鲜有关注学业成绩的研究。

1.4 情绪行为

情绪行为问题是孤独症最常见的伴发症状,主要有易怒、焦虑、高度压力、睡眠问题和攻击行为等^[59]。这些伴发症状不仅使孤独症症状更加复杂,还对其康复教育产生严重阻碍,增加家庭和社会的负担。目前中国关于孤独症情绪行为问题的研究相对较少^[59],但是也为开展此类研究奠定了研究基础。

郭剑华^[60]认为体育舞蹈不仅可以提升孤独症儿童的社交技巧、身体素质,可以积极干预孤独症

儿童的心理应激,减轻患儿心理压力,锻炼其意志。另一项研究发现,在8周运动干预后,孤独症患者的唾液皮质醇水平显著下降,同时患者自我报告的焦虑水平也发生显著下降,结果表明运动干预可以有效降低孤独症患者的压力和焦虑情绪^[61]。Gabriels等^[62]采用10周骑马训练对孤独症儿童进行辅助性治疗,完成训练的患儿在易怒、嗜睡、多动等多方面均有显著改善。Allison等^[63]对一名24岁的男性孤独症患者进行为期14天,每天20 min的中等强度的有氧运动,结果表明,有氧运动显著降低了孤独症的攻击行为,该研究认为有氧运动通过调节唤醒水平和疲劳效应降低了其攻击行为。虽然该研究是个案研究,但是仍然提示我们有氧运动是一种很有前途的减少孤独症攻击行为的方法。

1.5 核心症状

孤独症谱系障碍的核心症状主要表现为社会交流交往障碍和重复刻板行为两个方面,改善其核心症状一直是康复训练中的重点和难点,因此,对孤独症的社交障碍和刻板行为尽早做出干预,有助于孤独症儿童更好的融入社会,减轻家庭和社会的压力。

社会交流交往障碍主要表现在无法通过目光注视、面部表情、身体姿势等技能与人沟通互动,与家人难以建立健康的依恋关系,同伴交往中缺乏分享与合作,难以发展出良好的友谊等。在体育运动改善孤独症儿童社交障碍的研究领域中,还存在着个体干预与团体干预更优的争议。早期研究多以个案观察等研究形式探索体育运动对孤独症儿童社交障碍的影响。如张志勇等^[64]通过对1名孤独症儿童进行3个月密集体育游戏干预,结果发现,孤独症儿童主动沟通次数显著提升;钱旭强^[65]以1名孤独症儿童为研究对象,经过3个月适应性体育活动后发现,该儿童社会交往以及其他各领域的的能力都取得了进步。另一方面,有研究发现团体的体育运动干预,如骑马训练^[53, 66-67]、水上运动^[38, 68-69]、武术^[70-71]和小篮球运动^[33, 39, 47]等,在不同年龄段都表现出对孤独症社交障碍的改善作用且效果会持续1个月以上^[70-71]。梳理发现,研究者认为复杂多样的团体干预手段有着趣味性、交互性、生态效应高等

特点^[33],有利于改善孤独症者社会交流交往障碍的症状;其次,集体课堂的形式为孤独症提供大量社交环境,使孤独症者的社交障碍在“学生-同伴-教师-家长”等多角色互动练习中受益^[33];最后,集体课堂环境也给孤独症提供基本社交礼仪环境,如:师生问好、同伴问好、亲子互动、排队等候等^[71],创设了更为接近学校课堂教育的环境,为融入校园和社会提供良好基础。虽然Sowa等认为在社交技能方面,孤独症患者从个体运动干预中获益比团体干预多^[44],并且将其归因为可定制个性化运动干预方案的干预优势^[72],以及规避团体干预中出现的沟通困难^[73],同伴误解^[74]和不可预测事件的发生^[75]等“副作用”。但是,本研究团队认为这一观点存在历史局限性的问题,该论文发表于2011年,纳入的文献大部分是发表于1990—2010年,而该领域的早期研究多集中于个案研究,随着该领域研究视角的转变与进步,该结论逐渐不能适用于当前的研究进展。另外,孤独症的最终问题是如何更好地融入课堂和社会,不能因为团体干预模式的缺陷而因噎废食,而应整合更多、更新的文献进行定量分析或者开展针对性的实验研究化解这一争议。

重复刻板行为是指高频率地以固定的方式重复、渴望环境单调的行为。早在1980年Watters等^[18]研究发现,孤独症患者在慢跑后刻板行为会有一定程度的改善。随后,Kern等^[54]通过对比7名孤独症儿童在20 min的慢跑前后的行为变化,发现患儿刻板行为明显下降;在上述结论的基础上,Kern等^[76]继续探讨了不同运动强度对孤独症儿童行为的影响,发现患儿在大强度运动(jogging)后的刻板行为有了更大幅度的降低,而小强度运动后(ball playing)则没有发生变化,同时研究结果强调刻板行为改善并不是由大强度运动导致的疲劳效应引起的,作者推测原因是大强度运动可能会直接影响生理唤醒等功能或者是释放神经递质或内啡肽等,进而改善孤独症者刻板行为。上述早期研究表明,大强度的体育运动似乎比小强度的体育运动更有益,但这些研究由于样本太小、缺乏控制组、干预周期太短等原因,导致这些结论应谨慎解读。近年来,研究者开始采用更加严格的实验设计检验体

育运动干预对孤独症者重复刻板行为的影响: Bahrami 等^[77]研究发现 14 周空手道训练降低了孤独症儿童 42.54% 的刻板行为, 并且停止训练 1 个月后改善效果仍然存在; Tse 等^[78]研究发现, 拍球运动干预可以显著降低孤独症儿童拍手的刻板行为, 但是并没有减少身体摇摆的刻板行为, 该研究认为拍球运动与拍手的刻板行为有相同的生物力学原理, 拍球运动产生了替代作用, 缓解了拍手的刻板行为发生, 相反, 身体摇摆的刻板行为没有从练习中受益。这是一个很有趣的观点, 这为今后针对刻板行为设计运动干预方案提供了很好地思路; 董晓晓等^[79]的研究结果也表现出相似性, 即经过小篮球运动干预的孤独症儿童重复刻板行为得到显著改善。因此, 体育运动是改善孤独症刻板行为的有效手段, 但从早期关注运动强度到近年来关注运动项目, 其剂量效应仍然没有统一的定论, 归根到底还是因为尚未清楚揭示体育运动改善孤独症儿童刻板行为的机制。

2 体育运动对孤独症“脑”的影响

体育运动对孤独症“脑”的影响包括分子、细胞、系统 3 个层面的变化。分子层面主要涉及各种神经营养因子、神经递质等变化; 细胞层面主要涉及神经细胞发生、神经血管新生等变化; 系统层面主要涉及脑功能网络、脑结构形态等变化。目前探索体育运动影响孤独症“脑”的变化主要是通过动物模型和人脑成像技术两种手段实现的。

2.1 分子层面

随着孤独症鼠建模技术的成熟与运用^[80], 研究人员指出神经营养因子水平及其相关信号通路的异常可能导致孤独症的发生^[81], 其中主要表现为脑源性神经营养因子 (brain derived neurotrophic factor, BDNF)^[82] 和胰岛素样生长因子-1 (insulin like growth factors -1, IGF-1)^[83] 水平异常。李秀东等^[84] 对孤独症大鼠进行为期 4 周的跑台训练, 结果发现, 训练组大鼠表现出海马 CA1 区正常神经元数量明显增多和 BDNF 水平明显上升, 其研究认为跑台运动训练使海马组织中凋亡蛋白的表达降低、增强

机体清除氧自由基的能力, 进而减少神经细胞凋亡, 改善大鼠空间学习和记忆能力。也有研究认为孤独症的病理过程与炎性细胞因子的分泌异常有关^[85], 马晓平^[86] 研究发现, 游泳训练显著降低了孤独症大鼠海马中 caspase-3 和 Bax 蛋白表达水平, 并提高内源性抗氧化酶 (SOD 和 GSH-PX) 的活性, 进而增强了神经元抗凋亡能力和海马细胞抗氧化能力, 从而发挥了神经保护特性。除此之外, 孤独症还存在多种与病因密切相关的神经递质异常现象, 主要表现为谷氨酸^[87]、 γ -氨基丁酸^[88]、多巴胺^[89]、5-羟色胺^[90] 和乙酰胆碱^[91] 等, 但是目前仍未有针对孤独症动物模型开展此类研究。

2.2 细胞层面

神经发生是指神经干细胞或神经祖细胞在诱导因素下产生的新神经元。研究指出, 孤独症运动障碍与小脑蚓体的浦肯野细胞凋亡和小脑神经元发育不全密切相关^[92-93]。Kim 等^[41] 研究发现, 跑台运动改善了孤独症幼鼠的运动障碍, 作者认为运动障碍的改善可能是因为跑台运动激活了大鼠小脑神经网络丝蛋白信号通路, 促使小脑神经发生, 增强了小脑浦肯野神经元的抗凋亡作用; 另一项研究也发现, 跑台运动不仅激活了海马神经元络丝蛋白信号通路, 增加了孤独症大鼠海马齿状回的神经发生, 同时还伴随着孤独症大鼠攻击行为的下降与空间学习记忆能力的提升^[94]。

由于技术限制, 分子层面与细胞层面的研究只能从动物模型上来进行验证, 无法在人体上无创开展, 并且现有的动物研究大多关注的都是孤独症的学习记忆能力和运动障碍等行为指标, 这也是分子层面和细胞层面的证据都指向了海马与小脑这两个重要的脑区的根本原因: 海马是与记忆能力相关的重要脑区, 而小脑则和运动功能密切相关, 但是目前动物研究领域鲜有关注孤独症核心症状的证据, 因此无法揭示体育运动改善孤独症核心症状的作用机制。

2.3 系统层面

随着神经电生理和磁共振成像等脑成像技术的快速发展和成熟应用, 已成为探索人类心理、行为的底层神经机制和揭示人脑功能 (神经电活动、

脑激活模式和脑网络连接)和结构(白质、灰质)特征的重要手段,使孤独症谱系障碍的研究从心理学和行为学层面扩展到神经科学层面。脑成像技术的数据采集需要被试高度配合,由于孤独症疾病的特殊性,目前大多研究都是收集临床数据进行横断面病例对照研究,而开展纵向的随机对照研究难度较大,因此,采用脑成像技术探索体育运动对孤独症脑的影响的研究十分有限。

神经电生理技术最早应用于观测体育运动对孤独症系统层面脑的影响。Chan等^[51]招募了46名孤独症儿童进行了一项随机对照试验,采用事件相关电位技术(event-related potential, ERP)探讨了为期4周的内养功训练对孤独症自我控制影响的神经机制,结果表明:4周内养功训练显著改善了孤独症自我控制能力,同时干预后实验组在完成GO/NO-GO任务时,前扣带皮层显示出更强的脑电活动,这项研究初步揭示了体育运动促进了孤独症脑功能的可塑性改变,但是该研究干预周期仅持续1个月,体育运动的长期影响和治疗效果的可持续性尚不清楚。

多模态磁共振成像技术(magnetic resonance imaging, MRI)的研究结果表明,体育运动可以通过改变孤独症脑的结构和功能促进其行为症状的改变,例如12周的中等强度小篮球运动可以通过增加学龄前孤独症儿童的小脑灰质体积,从而降低其重复刻板行为^[79];通过增强执行控制网络(executive control network, ECN)的功能连接(functional connectivity, FC)^[95]和重塑脑白质完整性(white matter integrity, WMI)^[96],从而改善其社交障碍;通过改变脑功能局部一致性(regional homogeneity, ReHo),从而提高其执行功能^[97]。上述研究全面探索了小篮球运动对孤独症脑的影响,且首次揭示了体育运动改善孤独症核心症状的神经机制,具有重要理论价值和实践意义。然而,MRI的相关研究仍然存在一些局限性,例如:(1)研究假设不具体,目前的研究假设都是针对全脑的探索性研究,并不能精确到具体的脑区、功能节点或纤维束。(2)运动干预项目比较单一,仅探索小篮球运动对孤独症脑的影响。总体来说,体育运动与孤独症“脑”的关系探

索还处于起步阶段,仍不能形成确定的结论,同时这也是一个充满挑战与有价值的新兴研究领域。

3 结论

通过对脑智视角下的多层面研究证据进行归纳和总结,初步获得了体育运动与孤独症关系的多层面、多学科证据链,证明了体育运动是改善孤独症脑智的有效手段,其带来的独特作用不应被忽视。通过梳理和整合该领域的研究证据,得出该领域研究呈现出3个方面的转变趋势:首先,研究范式由早期个案观察研究转变为基于循证医学的实证研究,为在孤独症康复治疗中使用体育运动提供了更为严谨和科学的证据,为孤独症体育运动干预方案的处方化奠定了理论和实践基础;其次,随着孤独症疾病诊断标准的发展与完善,在孤独症的运动干预研究中涉及到的研究变量(自变量、因变量和混淆变量)由模糊、混杂转变为清晰、明确,使体育运动与孤独症的证据链更为完整和准确,为构建体育运动改善孤独症脑智的理论体系夯实了基础;最后,多学科交叉与融合已成为当今科学研究发展的趋势,体育运动与孤独症关系的研究也顺应了趋势,由单一学科视角转变为多学科交叉视角,为揭示体育运动与孤独症深层关系及其背后的作用机制提供了全面和新颖的视角。虽然现有研究阐释了体育运动在改善孤独症脑智中发挥的独特作用,但在未来仍需进一步完善。

1) 亟需构建体育运动改善孤独症脑智的理论体系。理论的意义在于指导实践,大量研究证据和成果的积累,使得构建体育运动与孤独症脑智关系的理论变得迫在眉睫。以往体育运动与孤独症之间的关系探索主要建立在两个视角的理论之上,第一,以自变量为主导的研究理论,表现为将基于体育运动本身的特点与作用,以及在其他人群中已经得到验证的理论迁移到孤独症群体身上,主要代表有脑可塑性理论^[98-99]、丰富环境假说^[100-101]、动作技能理论^[102-103]等,但是对于孤独症群体来说,其疾病的特殊性使得能否将其他人群的理论体系运用到该群体中,还有待探讨。第二,以因变量为主导的

研究理论,表现为从孤独症人群本身出发,建立在疾病发生发展的理论上,进而寻求满足其本身需求的干预手段,主要代表有重复刻板行为的适应性功能理论^[104]、“社会脑”理论^[105]、执行功能障碍理论^[44]、心理理论^[106]等。上述两个视角为研究者探索体育运动与孤独症关系提供了借鉴,但上述两种视角中的理论仍然被割裂、片面、孤立地看待,导致其在指导实践过程中存在颇多局限。未来研究中需意识到上述两个视角存在辩证统一的关系,将二者有机统一,进而构建体育运动与孤独症脑智关系的理论体系,满足基础研究与实践应用的需求。

2) 建立孤独症“脑智”协同改善的体育运动干预模式。现有研究证据虽已证实运动干预的有效性,但在实际应用中仍存在较大的局限性。第一,体育运动干预方案异质性较大。由于方案中的强度、时间、周期、频率和运动项目千差万别,致使体育运动对孤独症脑智影响的“剂量效应”尚未形成统一定论,导致方案的应用范围窄,可推广性差。第二,体育运动干预方案制定未考虑脑的发育规律。儿童能力发展的根本基础是脑的发育,然而现有干预方案仅依据行为、认知等发展规律进行设计,面临着干预效果不佳的现实问题。因此亟需构建具有科学性、系统性、多样性以及灵活性等特点的运动干预模式,以期能够为后续制定靶向性运动干预方案以及运动处方提供指导框架。

3) 深入推进多学科交叉研究。孤独症康复这一世界性难题绝非依靠单一学科可以攻克。随着认知神经科学、体育神经科学等交叉学科兴起和研究范式的成熟,解决体育运动与孤独症脑智关系这一重大科学问题,越来越注重多学科交叉融合的理念。未来研究应发挥交叉学科的优势,采用跨学科的研究范式,融合多学科、多层面、多元化的研究证据,深入探讨体育运动与孤独症脑智的因果关系。

参考文献(References)

- [1] Kanner L. Autistic disturbances of affective contact[J]. *Nervous Child*, 1943, 2(3): 217-250.
- [2] American Psychiatric Association. Diagnostic and statistical manual of mental disorders (DSM-5®)[M]. Washington D C: American Psychiatric Pub, 2013.
- [3] World Health Organization. International statistical classification of diseases and related health problems: Alphabetical index[M]. Switzerland: World Health Organization, 2004.
- [4] Maenner M J, Shaw K A, Bakian A V, et al. Prevalence and characteristics of autism spectrum disorder among children aged 8 years—autism and developmental disabilities monitoring network, 11 sites, United States, 2018[J]. *MMWR Surveillance Summaries*, 2021, 70(11): 1.
- [5] 陶国泰. 婴儿孤独症的诊断和归属问题[J]. *中华神经科杂志*, 1982, 15(2): 104-107.
- [6] Zhou H, Xu X, Yan W, et al. Prevalence of autism spectrum disorder in China: A nationwide multi-center population-based study among children aged 6 to 12 years[J]. *Neuroscience Bulletin*, 2020, 36(9): 961-971.
- [7] Roane H S, Fisher W W, Carr J E. Applied behavior analysis as treatment for autism spectrum disorder[J]. *The Journal of Pediatrics*, 2016, 175: 27-32.
- [8] Young K R, Radley K C, Jenson W R, et al. Peer-facilitated discrete trial training for children with autism spectrum disorder[J]. *School Psychology Quarterly*, 2016, 31(4): 507.
- [9] 宋春兰, 姚梅玲, 段桂琴, 等. 关键性技能训练法干预儿童孤独症谱系障碍的效果研究[J]. *中国儿童保健杂志*, 2021, 29(9): 942-945.
- [10] Stahmer A C. Teaching symbolic play skills to children with autism using pivotal response training[J]. *Journal of autism and developmental disorders*, 1995, 25(2): 123-141.
- [11] 中共中央国务院印发《“健康中国2030”规划纲要》[J]. *中华人民共和国国务院公报*, 2016(32): 5-20.
- [12] 国务院关于印发全民健身计划(2021—2025年)的通知[J]. *中华人民共和国国务院公报*, 2021(23): 19-22.
- [13] 张俊梅, 王少兵, 林钦杰. 体育运动对孤独症的影响研究进展[J]. *中国运动医学杂志*, 2017, 36(6): 552-557.
- [14] 刘晓立, 杨信才. 体育运动对孤独症谱系障碍的干预[J]. *医学研究与教育*, 2020, 37(4): 20-24.
- [15] Howells K, Sivaratnam C, May T, et al. Efficacy of group-based organised physical activity participation for social outcomes in children with autism spectrum disorder: A systematic review and meta-analysis[J]. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 2019, 49(8): 3290-3308.
- [16] Sorensen C, Zarrett N. Benefits of physical activity for adolescents with autism spectrum disorders: A comprehensive review[J]. *Review Journal of Autism and Developmental Disorders*, 2014, 1(4): 344-353.
- [17] Healy S, Nacario A, Braithwaite R E, et al. The effect of

- physical activity interventions on youth with autism spectrum disorder: A meta-analysis[J]. *Autism Research*, 2018, 11(6): 818–833.
- [18] Watters R G, Watters W E. Decreasing self-stimulatory behavior with physical exercise in a group of autistic boys[J]. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 1980, 10(4): 379–387.
- [19] 甄志平, 徐丹, 李晗冉, 等. 孤独症运动干预的研究进展[J]. *中国预防医学杂志*, 2020, 21(7): 828–835.
- [20] 奚用勇, 李得加. 体育运动对儿童孤独症干预作用的研究进展[J]. *中国儿童保健杂志*, 2015, 23(9): 947–949.
- [21] Lang R, Koegel L K, Ashbaugh K, et al. Physical exercise and individuals with autism spectrum disorders: A systematic review[J]. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 2010, 4(4): 565–576.
- [22] Petrus C, Adamson S R, Block L, et al. Effects of exercise interventions on stereotypic behaviours in children with autism spectrum disorder[J]. *Physiotherapy Canada*, 2008, 60(2): 134–145.
- [23] Bremer E, Crozier M, Lloyd M. A systematic review of the behavioural outcomes following exercise interventions for children and youth with autism spectrum disorder[J]. *Autism*, 2016, 20(8): 899–915.
- [24] 陈爱国, 熊轩, 朱丽娜, 等. 体育运动与儿童青少年脑智提升: 证据与理论[J]. *体育科学*, 2021, 41(11): 43–51.
- [25] David F J, Baranek G T, Giuliani C A, et al. A pilot study: Coordination of precision grip in children and adolescents with high functioning autism[J]. *Pediatric Physical Therapy*, 2009, 21(2): 205.
- [26] Dziuk M A, Larson J G, Apostu A, et al. Dyspraxia in autism: Association with motor, social, and communicative deficits[J]. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 2007, 49(10): 734–739.
- [27] Ghaziuddin M, Butler E. Clumsiness in autism and Asperger syndrome: A further report[J]. *Journal of Intellectual Disability Research*, 1998, 42(1): 43–48.
- [28] Hilton C L, Zhang Y, Whilte M R, et al. Motor impairment in sibling pairs concordant and discordant for autism spectrum disorders[J]. *Autism*, 2012, 16(4): 430–441.
- [29] Ming X, Brimacombe M, Wagner G C. Prevalence of motor impairment in autism spectrum disorders[J]. *Brain and Development*, 2007, 29(9): 565–570.
- [30] Memari A H, Ghaheri B, Ziaee V, et al. Physical activity in children and adolescents with autism assessed by triaxial accelerometry[J]. *Pediatric Obesity*, 2013, 8(2): 150–158.
- [31] MacDonald M, Esposito P, Ulrich D. The physical activity patterns of children with autism[J]. *BMC research notes*, 2011, 4(1): 1–5.
- [32] Dziuk M A, Larson J G, Apostu A, et al. Dyspraxia in autism: Association with motor, social, and communicative deficits[J]. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 2007, 49(10): 734–739.
- [33] Cai K, Wang J, Liu Z, et al. Mini-basketball training program improves physical fitness and social communication in preschool children with autism spectrum disorders[J]. *Journal of Human Kinetics*, 2020, 73: 267.
- [34] Bremer E, Lloyd M. School-based fundamental-motor-skill intervention for children with autism-like characteristics: An exploratory study[J]. *Adapted Physical Activity Quarterly*, 2016, 33(1): 66–88.
- [35] 刘荣盛, 詹晓梅, 黎霞芳, 等. 大肌肉运动干预对孤独症儿童运动和社交能力的影响及其相关性[J]. *中国学校卫生*, 2021, 42(3): 358–362, 366.
- [36] 裴晶晶, 蒋宇乐. 韵律操练习干预对自闭症儿童姿势控制能力的影响[J]. *沈阳体育学院学报*, 2014, 33(4): 86–89.
- [37] Arzoglou D, Tsimaras V, Kotsikas G, et al. The effect of a traditional dance training program on neuromuscular coordination of individuals with autism[J]. *Journal of Physical Education and Sport*, 2013, 13(4): 563.
- [38] 冯燕青, 侯晓晖, 潘红玲, 等. 水中运动疗法对自闭症儿童行为影响的研究——基于 Halliwick 技术[J]. *天津体育学院学报*, 2017, 32(5): 429–433.
- [39] 潘红玲, 张慧, 王岐富. 适应体育运动对孤独症儿童影响的干预研究[J]. *现代特殊教育*, 2017(16): 40–44.
- [40] 王琳, 王志丹, 王泓婧. 孤独症儿童动作发展障碍的神经机制[J]. *心理科学进展*, 2021, 29(7): 1239.
- [41] Kim J, Shin M, Seo T, et al. Treadmill exercise ameliorates motor disturbance through inhibition of apoptosis in the cerebellum of valproic acid-induced autistic rat pups[J]. *Molecular Medicine Reports*, 2013, 8(2): 327–334.
- [42] Damasio A R, Maurer R G. A neurological model for childhood autism[J]. *Archives of Neurology*, 1978, 35(12): 777–786.
- [43] 段蕾, 莫书亮. 孤独症的认知障碍研究及其评述[J]. *心理科学进展*, 2010, 18(2): 288–296.
- [44] 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.
- [45] Tan B W, Pooley J A, Speelman C P. A meta-analytic review of the efficacy of physical exercise interventions

- on cognition in individuals with autism spectrum disorder and ADHD[J]. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 2016, 46(9): 3126–3143.
- [46] Pan C, Chu C, Tsai C, et al. The impacts of physical activity intervention on physical and cognitive outcomes in children with autism spectrum disorder[J]. *Autism*, 2017, 21(2): 190–202.
- [47] Wang J, Cai K, Liu Z, 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.
- [48] 朱瑜, 许翀, 万芹, 等. 适应体育运动干预对孤独症谱系障碍儿童视觉工作记忆的影响[J]. *中国体育科技*, 2017, 53(3): 55–62.
- [49] Hilton C L, Cumpata K, Klohr C, et al. Effects of exergaming on executive function and motor skills in children with autism spectrum disorder: A pilot study[J]. *American Journal of Occupational Therapy*, 2014, 68(1): 57–65.
- [50] Ishihara T, Mizuno M. Effects of tennis play on executive function in 6–11-year-old children: A 12-month longitudinal study[J]. *European Journal of Sport Science*, 2018, 18(5): 741–752.
- [51] Chan A S, Sze S L, Siu N Y, et al. A Chinese mind-body exercise improves self-control of children with autism: a randomized controlled trial[J]. *PloS One*, 2013, 8(7): e68184.
- [52] 杨思渊, 梁惠慈, 肖华, 等. 药物联合感统训练治疗注意力缺陷多动障碍的高功能孤独症患者临床疗效分析[J]. *黑龙江医学*, 2016, 40(6): 534–535.
- [53] 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.
- [54] Kern L, Koegel R L, Dyer K, et al. The effects of physical exercise on self-stimulation and appropriate responding in autistic children[J]. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 1982, 12(4): 399–419.
- [55] Read P D, Factor D C, Freeman N L, et al. The effects of physical exercise on three autistic and developmentally disordered adolescents[J]. *Therapeutic Recreation Journal*, 1988, 22(2): 47–56.
- [56] Rosenthal-Malek A, Mitchell S. Brief report: The effects of exercise on the self-stimulatory behaviors and positive responding of adolescents with autism[J]. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 1997, 27(2): 193–202.
- [57] Oriol K N, George C L, Peckus R, et al. The effects of aerobic exercise on academic engagement in young children with autism spectrum disorder[J]. *Pediatric Physical Therapy*, 2011, 23(2): 187–193.
- [58] Nicholson H, Kehle T J, Bray M A, et al. The effects of antecedent physical activity on the academic engagement of children with autism spectrum disorder[J]. *Psychology in the Schools*, 2011, 48(2): 198–213.
- [59] 王菲菲, 李雪, 刘靖, 等. 孤独症幼儿的情绪行为问题研究[J]. *中国全科医学*, 2019, 22(18): 2189–2193.
- [60] 郭剑华. 探究体育舞蹈对自闭症儿童康复治疗的辅助作用[J]. *赤峰学院学报(自然科学版)*, 2015, 31(10): 138–139.
- [61] Hillier A, Murphy D, Ferrara C. A pilot study: Short-term reduction in salivary cortisol following low level physical exercise and relaxation among adolescents and young adults on the Autism spectrum[J]. *Stress and Health*, 2011, 27(5): 395–402.
- [62] Gabriels R L, Agnew J A, Holt K D, et al. Pilot study measuring the effects of therapeutic horseback riding on school-age children and adolescents with autism spectrum disorders[J]. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 2012, 6(2): 578–588.
- [63] Allison D B, Basile V C, MacDonald R B. Brief report: Comparative effects of antecedent exercise and lorazepam on the aggressive behavior of an autistic man[J]. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 1991, 21(3): 379–379.
- [64] 张志勇, 邓淑红. 自闭症儿童体育游戏干预个案研究[J]. *体育科学*, 2010, 30(8): 49–56.
- [65] 钱旭强. 适应体育理念下的自闭症幼儿体育干预研究综述[J]. *绥化学院学报*, 2013, 33(4): 99–103.
- [66] Harris A, Williams J M. The impact of a horse riding intervention on the social functioning of children with autism spectrum disorder[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2017, 14(7): 776.
- [67] Ward S C, Whalon K, Rusnak K, et al. The association between therapeutic horseback riding and the social communication and sensory reactions of children with autism[J]. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 2013, 43(9): 2190–2198.
- [68] Chu C, Pan C. The effect of peer- and sibling-assisted aquatic program on interaction behaviors and aquatic skills of children with autism spectrum disorders and their peers/siblings[J]. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 2012, 6(3): 1211–1223.
- [69] 侯晓晖, 冯燕青, 潘红玲, 等. 水中运动疗法在孤独症儿童康复中应用的研究进展[J]. *中国康复理论与实践*, 2017, 23(9): 1064–1067.
- [70] Bahrami F, Movahedi A, Marandi S M, et al. The effect

- of karate techniques training on communication deficit of children with autism spectrum disorders[J]. *Journal of autism and developmental disorders*, 2016, 46(3): 978–986.
- [71] Movahedi A, Bahrami F, Marandi S M, et al. Improvement in social dysfunction of children with autism spectrum disorder following long term Kata techniques training[J]. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 2013, 7(9): 1054–1061.
- [72] Schultheis S F, Boswell B B, Decker J. Successful physical activity programming for students with autism[J]. *Focus on Autism and Other Developmental Disabilities*, 2000, 15(3): 159–162.
- [73] Bambra C. Real world reviews: A beginner's guide to undertaking systematic reviews of public health policy interventions[J]. *Journal of Epidemiology & Community Health*, 2011, 65(1): 14–19.
- [74] Pan C. Age, social engagement, and physical activity in children with autism spectrum disorders[J]. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 2009, 3(1): 22–31.
- [75] Lox C L, Ginis K A M, Gainforth H L, et al. *The psychology of exercise: Integrating theory and practice*[M]. New York: Routledge, 2019.
- [76] Kern L, Koegel R L, Dunlap G. The influence of vigorous versus mild exercise on autistic stereotyped behaviors[J]. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 1984, 14(1): 57–67.
- [77] Bahrami F, Movahedi A, Marandi S M, et al. Kata techniques training consistently decreases stereotypy in children with autism spectrum disorder[J]. *Research in developmental disabilities*, 2012, 33(4): 1183–1193.
- [78] Tse C A, Pang C L, Lee P H. Choosing an appropriate physical exercise to reduce stereotypic behavior in children with autism spectrum disorders: A non-randomized crossover study[J]. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 2018, 48(5): 1666–1672.
- [79] 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.
- [80] Wagner G C, Reuhl K R, Cheh M, et al. A new neurobehavioral model of autism in mice: Pre- and postnatal exposure to sodium valproate[J]. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 2006, 36(6): 779–793.
- [81] Robinson Agramonte M D L A, Michalski B, Fernández L G, et al. Effect of non-invasive brain stimulation on behavior and serum brain-derived neurotrophic factor and insulin-like growth factor-1 levels in autistic patients[J]. *Drug Development Research*, 2021, 82(5): 716–723.
- [82] Fahnstock M, Nicolini C. Bridging the gap between genes and behavior: Brain-derived neurotrophic factor and the mTOR pathway in idiopathic autism[J]. *Autism Open Access*, 2015, doi: 10.4172/2165–7890.
- [83] Riikonen R. Insulin-like growth factors in the pathogenesis of neurological diseases in children[J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2017, 18(10): 2056.
- [84] 李秀东, 王英伟, 孙明君, 等. 跑台运动对孤独症大鼠空间学习和记忆能力的影响[J]. *中华神经医学杂志*, 2018, 17(2): 147–153.
- [85] Lewis M L, Kesler M, Candy S A, et al. Comorbid epilepsy in autism spectrum disorder: Implications of postnatal inflammation for brain excitability[J]. *Epilepsia*, 2018, 59(7): 1316–1326.
- [86] 马晓平. 游泳训练抑制孤独症大鼠炎症反应及细胞凋亡[J]. *基因组学与应用生物学*, 2020, 39(7): 8.
- [87] de Wandel S, Engelen M P, Wierchowska-McNew R, et al. Altered Glutamate and Glutamine Kinetics in Autism Spectrum Disorder[J]. *Current Developments in Nutrition*, 2021, 5(Suppl 2): 845.
- [88] 王冰, 李洪华, 岳小静, 等. γ -氨基丁酸信号通路在孤独症谱系障碍中的作用研究进展[J]. *中国当代儿科杂志*, 2018, 20(11): 974–979.
- [89] Pavl D, Miclucia I V. The Dopamine Hypothesis of autism spectrum disorder revisited: Current status and future prospects[J]. *Developmental Neuroscience*, 2021, 43(2): 73–83.
- [90] 穆朝娟, 王延祜. 五羟色胺与孤独症[J]. *国外医学: 精神病学分册*, 2003(1): 62–64.
- [91] Perry E K, Lee M L, Martin-Ruiz C M, et al. Cholinergic activity in autism: Abnormalities in the cerebral cortex and basal forebrain[J]. *American Journal of Psychiatry*, 2001, 158(7): 1058–1066.
- [92] Allen G, Courchesne E. Differential effects of developmental cerebellar abnormality on cognitive and motor functions in the cerebellum: An fMRI study of autism[J]. *American Journal of Psychiatry*, 2003, 160(2): 262–273.
- [93] Gowen E, Miall R C. Behavioural aspects of cerebellar function in adults with Asperger syndrome[J]. *The Cerebellum*, 2005, 4(4): 279–289.
- [94] Seo T, Cho H, Shin M, et al. Treadmill exercise improves behavioral outcomes and spatial learning memory through up-regulation of reelin signaling pathway in autistic rats[J]. *Journal of Exercise Rehabilitation*, 2013, 9(2): 220.
- [95] Yang S, Liu Z, Xiong X, et al. Effects of mini-basketball training program on social communication impairment and executive control network in preschool chil-

- dren with autism spectrum disorder[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2021, 18(10): 5132.
- [96] Cai K, Yu Q, Herold F, et al. Mini-basketball training program improves social communication and white matter integrity in children with autism[J]. *Brain Sciences*, 2020, 10(11): 803.
- [97] 王金贵. 小篮球运动对学龄前孤独症谱系障碍儿童执行功能及静息态脑功能局部一致性的影响[D]. 扬州: 扬州大学, 2020.
- [98] Hillman C H, Logan N E, Shigeta T T. A review of acute physical activity effects on brain and cognition in children[J]. *Translational Journal of the American College of Sports Medicine*, 2019, 4(17): 132-136.
- [99] El-Sayes J, Harasym D, Turco C V, et al. Exercise-induced neuroplasticity: A mechanistic model and prospects for promoting plasticity[J]. *The Neuroscientist*, 2019, 25(1): 65-85.
- [100] Sale A, Berardi N, Maffei L. Enrich the environment to empower the brain[J]. *Trends in Neurosciences*, 2009, 32(4): 233-239.
- [101] Nithianantharajah J, Hannan A J. Enriched environments, experience-dependent plasticity and disorders of the nervous system[J]. *Nature Reviews Neuroscience*, 2006, 7(9): 697-709.
- [102] Tomporowski P D, Pesce C. Exercise, sports, and performance arts benefit cognition via a common process[J]. *Psychological Bulletin*, 2019, 145(9): 929.
- [103] 董奇, 陶沙. 动作与心理发展[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 2004.
- [104] Thelen E. Rhythmical behavior in infancy: An ethological perspective[J]. *Developmental Psychology*, 1981, 17(3): 237.
- [105] Brothers L. The social brain: A project for integrating primate behaviour and neurophysiology in a new domain[J]. *Concepts Neurosci*, 1990, 1: 27-51.
- [106] Premack D, Woodruff G. Does the chimpanzee have a theory of mind[J]. *Behavioral and Brain Sciences*, 1978, 1(4): 515-526.

Physical exercise and autism rehabilitation: Evidence from the perspective of brain and mind

CAI Kelong^{1,2}, CHEN Aiguo^{1,2*}, ZHU Lina^{1,2}, LIU Zhimei^{1,2}

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

2. Institute of Sports, Exercise and Brain, Yangzhou University, Yangzhou 225127, China

Abstract In recent years, the relations between the physical exercise and the rehabilitation of the autism spectrum disorder (ASD) are a hot topic on the research frontier. However, most of the existing studies analyzed the effects of the physical exercise on the autism only from a single behavioral perspective, without an adequate consideration of the multi-level evidence and the integration of them, leaving the relationship between them unclear. This paper explores the effects of the physical exercise on the autism from the perspective of "Brain" and "Mind", and it is found that the physical exercise improves the "mind" of the autism patients mainly in five aspects: the motor disorder, the executive function, the academic achievement, the emotional behavior and the core symptoms; and the physical exercise improves the "brain" of the autism patients mainly in three areas: the molecular, the cellular and the systemic levels of the brain. A multi-level, multi-disciplinary and relatively complete chain of evidences for the relationship between the physical exercise and the autism is thus integrated. Finally, in view of the existing research trends and the practical needs, three main directions for the future research are pointed out: 1) build a theoretical system of improving "brain and mind" of the autism patients through the physical exercise; 2) construct a physical exercise intervention model for the synergistic improvement of "brain and mind" of the autism patients; and 3) further promote the interdisciplinary research.

Keywords physical exercise; autism spectrum disorder; autism; brain and mind ●



(责任编辑 卫夏雯)