

• 综 述 •

运动干预改善孤独症谱系障碍儿童社会功能的研究进展

侯耀奇, 宋湘勤

北京师范大学体育与运动学院, 北京 100875

摘要: 孤独症谱系障碍(ASD)是一种儿童时期常见的神经发育障碍。社交障碍是其典型症状之一,会限制其与他人建立和维护正常的社交关系,对生活和发育产生严重负面影响。传统治疗方法虽有效,但耗时且成本高,而运动干预作为一种新兴治疗策略已受到广泛关注。近年来,球类运动、格斗类运动、水上运动以及综合运动都已经在干预中取得良好的效果。本文梳理了针对 ASD 儿童社会功能而采用的运动干预相关研究,进行整合与分析,旨在为 ASD 儿童的治疗、干预方案的开发提供可参考的依据。

关键词: 孤独症谱系障碍; 运动干预; 社会功能; 沟通; 儿童

中图分类号: R749.94 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-6579(2024)03-0291-05 **doi:** 10.11852/zgetbjzz2023-1031

Advance in exercise intervention enhancing social function in children with autism spectrum disorder

HOU Yaoqi, SONG Xiangqin

College of Physical Education and Sports, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

Corresponding author: SONG Xiangqin, E-mail: songxiangqin@bnu.edu.cn

Abstract: Autism spectrum disorder (ASD) is a commonly observed neuropsychological behavioral disorder in children. Communication difficulty is one of the typical symptoms, which may restrict building and maintaining of social relationship, cause severe impact on daily life and personal development. While traditional therapeutic approaches offer some effectiveness, they tend to be time-consuming and expensive. In contrast, exercise intervention, a burgeoning treatment strategy, has garnered widespread attention. Neurological studies validate that exercise can rectify brain functional anomalies in ASD patients and bolster their social skills. This paper synthesizes and analyzes existing studies on exercise intervention aimed at improving the social functioning of children with autism, offering a foundational reference for the development of therapeutic and interventional strategies for ASD.

Keywords: autism spectrum disorder; exercise intervention; social function; communication; children

孤独症谱系障碍(autism spectrum disorder, ASD)是一种神经发育障碍,通常发病于儿童时期^[1-2],会表现出一些非典型的神经发育症状,如社会交往和沟通障碍^[3]、重复刻板行为(例如拍手、身体旋转、头部旋转和重复性物体操作)^[4]和兴趣狭窄等。根据美国疾病控制与预防中心的数据,截止 2020 年,每 36 名儿童就会有 1 名被诊断为 ASD,而且男童患病率大约是女童的 4 倍^[5-7]。

传统的 ASD 治疗方法发展时间长、种类多,有语言疗法、认知行为疗法等。这些疗法能起到一定效果,但需要介入的周期长、并要求不间断进行,会耗费巨大的人力和物力。运动干预是一种简单、易行、且高效的治疗手段,相较于其他干预成本低、对

场地和器材的要求低。常见的运动如太极拳、篮球、瑜伽和舞蹈,甚至可以直接在家庭或社区中进行。运动不仅有益身体健康,还能释放压力、缓解焦虑、调控心理。本文旨在总结运动干预在 ASD 治疗中的研究进展,通过分析近年运动干预对 ASD 儿童社会功能影响的文献,为 ASD 干预手段发展提供借鉴。

1 ASD 儿童社会功能与运动之间的关系

社会功能缺陷是 ASD 的主要特征之一,主要是社会认知、语言处理以及非言语沟通方面的缺陷^[8],这些缺陷不仅会限制患儿的个人发展,还会影响家庭的生活质量^[9],甚至给社会经济造成沉重负

基金项目: 北京市教育科学“十三五”规划 2020 年度课题(CEDB2020160);中国教育学会教育科研专项课题(21TY013108ZB)

作者简介: 侯耀奇(1999-),男,湖南人,硕士研究生在读,主要研究方向为运动与心理健康促进。

通信作者: 宋湘勤, E-mail: songxiangqin@bnu.edu.cn

担^[10]。研究发现,ASD 儿童社会功能的缺陷可能与体育活动不足有关^[11],与正常发育的同龄儿童相比,ASD 儿童的运动参与程度低、体能差、运动能力明显不足^[12]。而低水平的运动参与会导致运动功能退化,并使慢性疾病的患病率增加,诸如肥胖和心血管疾病等^[13-14]。Must 等^[15]发现 ASD 儿童在社交技能方面有明显缺陷,不仅没有朋友,还被其他儿童排挤,社交障碍导致其较少参与体育活动,而体育活动不足进一步导致社交障碍问题,形成恶性循环。正如 Chonchaiya 等^[16]发现,ASD 儿童的社交技能差可能与其长时间久坐、运动不足、以及与交流较少有关。在 Thelen 等^[17]提出的“Embodied Cognition”的理论中,进一步强调了运动与社交、沟通和认知之间的关系。儿童参与运动或进行社交时,社交、沟通和运动系统会相互协调,从而产生相互促进的效果^[18]。因此,要鼓励 ASD 儿童参与更多的体育活动。

2 不同类型运动干预对 ASD 儿童社会功能的有效性

运动会创造一个特殊的氛围,为 ASD 儿童提供了一个在学术和临床环境之外,练习观察、模仿、情绪调节等社交技能的机会。近些年,越来越多的体育活动开始广泛应用于 ASD 儿童各种症状的干预。已有研究表明,在运动干预后,ASD 儿童的社交技能、注意力^[19]、认知功能^[20]、刻板行为^[21]和学术技能^[22]等方面都有不同程度的改善和提高。

2.1 球类运动对 ASD 儿童社会功能的改善

球类运动如足球、篮球、排球等,不仅有助于提高参与者的身体素质,还能够提高社交能力。运动过程中受到各种运动规则的约束,也能进一步培养 ASD 儿童的规则意识。通过这些运动能显著提升 ASD 儿童的社交技巧、改善沟通能力、提高肢体协调、增强自信感、缓解焦虑。Lopez-Diaz 等^[23]采用足球运动作为干预手段,对 13 名 ASD 儿童进行每周 2 次,每次 60min,为期 17 周的干预后,使用自评式社交互动技能问卷(Chinese version of the High-functioning Autism Social Interaction Scale, CHIS)和幼儿观察量表(Toddler Observation Scale, TOS)对 ASD 儿童的社会功能各方面进行评测,通过与基线对比发现,受试者的社交技能、情绪、感受以及人际问题解决能力,都得到了有一定提升。Yang 等^[24]研究中则以迷你篮球作为干预手段,选取 30 名 3~6 岁的 ASD 儿童,将其随机分为实验组和对照组,进行为期 12 周,每周 5 次,每次 40min 的运动干预。然后

与干预前的社交反应量表(Social Responsiveness Scale-Second Edition, SRS-2)(由家长填写)得分进行对比,发现实验组在社会认知维度上的得分有显著改变。虽然这项研究证明了迷你篮球可以显著改善 ASD 儿童的社会认知和沟通技能,但是在社交动机和社交意识方面并未显著改善。Cai 等^[25-26]利用迷你篮球作为干预手段,同样发现通过 12 周的干预后,ASD 儿童的社会意识、社会认知以及社会沟通得到了显著改善。诸多研究表明无论是足球还是迷你篮球等球类运动,都能显著提升 ASD 儿童的社会认知和沟通技能。但其干预效果可能会受到测量维度和时间点的影响,因此需要对此进一步研究,并根据 ASD 儿童的个体差异制定个性化的干预方案。

2.2 格斗运动对 ASD 儿童社会功能的改善

格斗运动可以分为两大类,一种更加注重技巧和形式,诸如中国武术、韩国跆拳道、日本空手道和柔道等;另一种则是竞技性和格斗性都相对较强的现代战斗体育,如拳击、摔跤、巴西柔术和综合格斗等,前一种类型的运动同样广泛应用于 ASD 儿童的干预。Movahedi 等^[27]将 30 名 ASD 儿童随机分为实验组和对照组,通过每周 4 次、为期 14 周的空手道干预后,采用吉利安自闭症评定量表第二版(Gilliam Autism Rating Scale-Second Edition, GARS-2),对受试儿童的社会功能进行测量发现,ASD 儿童的沟通缺陷显著改善,并且其干预效果在干预结束 30d 后仍保持。Bahrami 等^[28]同样以空手道作为干预手段,通过持续 14 周的干预后,发现 ASD 儿童的社会功能显著提高。Rivera 等^[29]使用柔道运动作为干预,对 25 名 ASD 儿童进行为期 8 周、每周 1 次、总共 6h 的干预后,使用异常行为检查表(Autism Behavior Checklist, ABC)对其社会功能进行综合评估,结果显示通过运动干预后,ASD 儿童的社会技能、自尊和自我认知都有显著提升,同时问题行为,如易怒和攻击性,也有一定程度改善。Phung 等^[30]让 ASD 儿童与正常发育儿童一起参加综合武术学习,经过为期 13 周、共 26 次的综合武术运动干预后,使用社交技能和问题行为量表(Social Skills Improvement System, SSIS)对受试者进行测量发现,与 20 名未参加干预的 ASD 儿童相比,14 名实验组的 ASD 儿童社交技能得分有显著提高,问题行为也有所减少。这项研究通过让 ASD 儿童与正常发育儿童一起参与综合武术学习,以此来增加其在练习过程中进行社交的机会,进而改善社交障碍。上述研究结果都表明,格斗类型的运动也可以显著提高 ASD 儿童的社交技能、沟通能力,并改善一些问题行为,如易怒

和攻击性。但是研究的限制也在一定程度上影响着研究结果。例如不同研究之间干预方法和测量工具之间的差异,可能会导致结果不同。此外,因为不同 ASD 儿童的症状都有所差异,以课堂形式进行的运动干预难以针对不同 ASD 儿童的症状,且干预效果的周期和次数仍需要更多的研究来确定。

2.3 水上运动对 ASD 儿童社会功能的改善 水上运动是在水里进行的运动,如常见的游泳、水上排球等。研究发现水上运动同样能够对 ASD 儿童的社会功能产生积极影响。Pan 等^[31]将 16 名 ASD 儿童随机分为实验组和对照组,对受试者采用每周 2 次、每次 90min、持续 10 周的水上运动干预。并采用学校社会行为量表第二版(Social Skills Rating System, SSBS-2)在干预前、干预结束后以及干预结束 10 周后,对受试者的社会功能进行测量。研究者发现,实验组的同伴关系和自我管理能力等方面显著提高,同时诸如易怒、攻击性和破坏性行为等问题行为有所减少。而在 Alaniz 等^[32]将水上运动干预分为 3 个阶段,对 7 名 ASD 儿童进行了干预,但最终只有 5 名儿童完成了 24h 的干预。干预后采用 SSIS 进行测量,发现受试者的社交技能未得到显著改善。在该研究中,研究者指出其量表回收依从性差、样本量小和干预周期相对较短,这些因素可能是导致结果不显著的主要原因。对比 Zanolini 等^[33]

的实验,同样采用水上运动干预,但是增加了受试人数,延长干预周期至 24 周,使用社会反应量表(Social Responsiveness Scale, SRS)评估社会功能,发现受试者的社会意识、社会交流、社会动机、社会认知都有所提升,同时问题行为有所减少,其他方面例如感觉刺激的反应程度也有所改善。水上运动对 ASD 儿童的干预同样具有积极影响,特别是在社交互动、情感调节、社交沟通和社交合作方面。但这些研究也受到一些限制,例如干预目标的设定不同、样本量相对较小、干预周期较短,这些因素可能导致结果不一致。

2.4 综合运动对 ASD 儿童社会功能的改善 综合运动通常指不同形式、类别的运动组合而成的运动,这种形式的组合更加具有针对性,能够针对不同的受试人群进行设计,其没有固定的形式和要求,可以由设计者自行进行规定和安排。ASD 为广谱神经发育障碍,不同患者的症状可能会有显著差异,因此它涵盖了不同严重程度和不同症状表现。综合运动的灵活性和针对性以及个性化定制,使其在 ASD 儿童各种症状的干预中得到广泛应用,并且取得很好的效果。本文搜集了近些年以综合运动作为 ASD 儿童干预手段的研究,并对文献相关信息进行归纳和分类,见表 1。

表 1 ASD 儿童综合运动干预文献相关信息
Tab. 1 Related information of literature on comprehensive exercise intervention for ASD children

文献	年龄	干预手段	设计	干预时间	分组(例数)	工具	干预效果
Broupi 等 ^[34] 2023	5~22 岁	适应性 体育活动	随机对照实验	120min/次,3 次/周 持续 12 周	实验组(10) 对照组(8)	SCQ	社交技能提高 沟通能力提高
Toscano 等 ^[35] 2022	2~18 岁	综合性 体育锻炼	非随机对照实验	40min/次,2 次/周 持续 46 周	实验组(127) 对照组(62)	CARS ATA	社交技能提高
Haghighi 等 ^[36] 2022	6~10 岁	CPT 综合体能	随机对照实验	60min/次,3 次/周 持续 8 周	实验组(8) 对照组(8)	GARS	社交技能提高 沟通能力提高
Sansi 等 ^[37] 2021	6~11 岁	综合性 体育锻炼	随机对照实验	60min/次,2 次/周 持续 12 周	实验组(27) 对照组(18)	SSRS	社交技能提高 沟通能力提高
Lee 等 ^[38] 2021	5~16 岁	综合性 体育锻炼	单组前后测实验	75min/次,2 次/周 持续 8 周	实验组(19)	SSIS	社交技能提高 沟通能力提高 问题行为减少
Najafabadi 等 ^[39] 2018	5~12 岁	SPARK 综合运动	随机对照实验	40min/次,3 次/周 持续 12 周	实验组(12) 对照组(14)	GARS ATEC	社交技能提高 沟通能力提高
Zhao 等 ^[40] 2018	5~8 岁	综合锻炼 结构化	随机对照实验	60min/次,1 次/周 持续 12 周	实验组(25) 对照组(20)	SSIS ABLLS	社交技能提高 沟通能力提高 自我控制增强

注:SCQ 即社交沟通问卷(Social Communication Questionnaire); CARS 即儿童自闭症评定量表(Childhood Autism Rating Scale); ATA 即自闭症治疗评估清单(Autism Treatment Evaluation Checklist); GARS 即 Gilliam 自闭症评定量表(Gilliam Autism Rating Scale); SSRS 即社交技能评定系统(Social Skills Rating System); SSIS 即社交技能改善系统(Social Skills Improvement System); ATEC 即自闭症治疗评估清单(Autism Treatment Evaluation Checklist); ABLLS 即基本语言和学习技能评估(Assessment of Basic Language and Learning Skills)。

3 运动改善 ASD 儿童社会功能的相关机制

从神经学的角度来看,神经心理学和神经影像的研究表明,ASD 儿童的大脑异常与社交沟通障碍之间有关联^[41-42],小脑、额叶和颞叶共同形成了“社交脑”网络^[43],一旦这些脑区功能异常则会导致社交沟通障碍。大量针对人类和动物的研究中发现,大脑能对环境刺激做出反应,这些反应累积到一定程度后会发生变化,从而产生不同的影响,可能促进功能改善或者导致功能丧失^[44-45]。体育锻炼作为一种正向的外部刺激,可以刺激大脑形成新的神经连接以响应各种外界刺激,进而重组机体的动态适应机制。例如 Yang 等^[24,26],通过为期 12 周的小篮球干预后发现,受试 ASD 儿童的大脑灰质体积增加、执行控制网络功能连接增强、白质完整性得到重塑、社交障碍有显著改善。通过体育运动还能促进神经递质,如多巴胺和内啡肽的释放^[46],这些神经递质能够更好地帮助 ASD 儿童稳定情绪、提高情感调节和自我控制能力,进而增强 ASD 儿童在社交互动中的表现^[47]。此外,在一段时间的干预后,受试儿童的运动技能也有显著提高^[37,39],运动技能提高不仅可以增强运动协调性、平衡性、力量,还会提高自我效能感、强化内在动机,进而增强 ASD 儿童的自尊,减少社交焦虑^[48]。运动的规则性以及运动过程中感官刺激相互作用,能潜在增强感觉统合和处理能力,还有助于培养规则感,减少问题行为。参与团队运动的过程中有更多社交互动机会,例如足球、篮球、排球这些运动需要队员之间相互协调和配合,可以进一步培养社交能力。

这些机制之间的相互作用,进一步证明了运动作为 ASD 儿童社会功能改善手段的潜力。考虑到 ASD 症状的异质性,在增强运动干预措施个性化的同时,还需要将神经科学、心理学和行为学等学科结合起来,精心设计干预措施、加强纵向研究,以进一步提高运动对 ASD 儿童社会功能的干预效果。不同类型的运动项目对 ASD 儿童可能会有不同效果。为了确定最好的效果,仍需要很多基础研究作为支持,需要探寻最合适的强度和量以及干预频次,同时还需要学校、家长、社会的支持。

参考文献

- [1] Costa e Silva JA. Autism, a brain developmental disorder: Some new pathophysiologic and genetics findings[J]. *Metabolism*, 2008, 57(Suppl): 40-43.
- [2] Bozzi Y, Provenzano G, Casarosa S. Neurobiological bases of autism-epilepsy comorbidity: A focus on excitation/inhibition imbalance[J]. *Eur J Neurosci*, 2018, 47(6):534-548.
- [3] Schultz RT. Developmental deficits in social perception in autism: The role of the amygdala and fusiform face area[J]. *Int J Dev Neurosci*, 2005, 23(2-3):125-141.
- [4] Lee S, Odom SL, Loftin R. Social engagement with peers and stereotypic behavior of children with autism[J]. *J Posit Behav Interv*, 2007, 9(2):67-79.
- [5] Lord C, Elsabbagh M, Baird G, et al. Autism spectrum disorder[J]. *Lancet*, 2018, 392(10146):508-520.
- [6] Sheldrick RC, Carter AS. State-level trends in the prevalence of autism spectrum disorder (ASD) from 2000 to 2012: A reanalysis of findings from the autism and developmental disabilities network[J]. *J Autism Dev Disord*, 2018, 48(9):3086-3092.
- [7] Centers for Disease Control and Prevention. Data and statistics on autism spectrum disorder | CDC[EB/OL]. (2023-05-12) [2023-10-05]. <https://www.cdc.gov/ncbddd/autism/data.html>.
- [8] Landa RJ, Holman KC, Garrett-Mayer E. Social and communication development in toddlers with early and later diagnosis of autism spectrum disorders[J]. *Arch Gen Psychiatry*, 2007, 64(7):853-864.
- [9] Padden C, James JE. Stress among parents of children with and without autism spectrum disorder: A comparison involving physiological indicators and parent self-reports[J]. *J Dev Phys Disabil*, 2017, 29(4):567-586.
- [10] Baxter AJ, Brugha TS, Erskine HE, et al. The epidemiology and global burden of autism spectrum disorders[J]. *Psychol Med*, 2015, 45(3):601-613.
- [11] Must A, Phillips SM, Curtin C, et al. Comparison of sedentary behaviors between children with autism spectrum disorders and typically developing children [J]. *Autism*, 2014, 18(4):376-384.
- [12] Gehricke JG, Chan J, Farmer JG, et al. Physical activity rates in children and adolescents with autism spectrum disorder compared to the general population[J]. *Res Autism Spectr Disord*, 2020, 70: 101490.
- [13] Garcia-Pastor T, Salinero JJ, Theirs CI, et al. Obesity status and physical activity level in children and adults with autism spectrum disorders: A pilot study[J]. *J Autism Dev Disord*, 2019, 49(1):165-172.
- [14] Kahathuduwa CN, West BD, Blume J, et al. The risk of overweight and obesity in children with autism spectrum disorders: A systematic review and meta-analysis[J]. *Obes Rev*, 2019, 20(12):1667-1679.
- [15] Must A, Phillips S, Curtin C, et al. Barriers to physical activity in children with autism spectrum disorders: Relationship to physical activity and screen time[J]. *J Phys Act Health*, 2015, 12(4):529-534.
- [16] Chonchaiya W, Nuntnarumit P, Pruksananonda C. Comparison of television viewing between children with autism spectrum disorder and controls[J]. *Acta Paediatr*, 2011, 100(7):1033-1037.
- [17] Thelen E. Motor development as foundation and future of developmental psychology[J]. *Int J Behav Dev*, 2000, 24(4):385-397.
- [18] Gliga T, Jones EJM, Bedford R, et al. From early markers to neuro-developmental mechanisms of autism[J]. *Dev Rev*, 2014, 34(3):189-207.

- [19] Bass MM, Duchowny CA, Llabre MM. The effect of therapeutic horseback riding on social functioning in children with autism[J]. *J Autism Dev Disord*, 2009, 39(9): 1261-1267.
- [20] Anderson-Hanley C, Tureck K, Schneiderman RL. Autism and exergaming: Effects on repetitive behaviors and cognition[J]. *Psychol Res Behav Manag*, 2011, 4: 129-137.
- [21] Bahrami F, Movahedi A, Marandi SM, et al. Kata techniques training consistently decreases stereotypy in children with autism spectrum disorder[J]. *Res Dev Disabil*, 2012, 33(4):1183-1193.
- [22] Nicholson H, Kehle TJ, Bray MA, et al. The effects of antecedent physical activity on the academic engagement of children with autism spectrum disorder[J]. *Psychol Sch*, 2011, 48(2):198-213.
- [23] Lopez-Diaz JM, Custodio NF, Camarena IG. Football as an alternative to work on the development of social skills in children with autism spectrum disorder with level 1[J]. *Behav Sci*, 2021, 11(11):159.
- [24] Yang S, Liu Z, Xiong X, et al. Effects of mini-basketball training program on social communication impairment and executive control network in preschool children with autism spectrum disorder[J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2021, 18(10):5132.
- [25] Cai K, Wang JG, Liu Z-M, et al. Mini-basketball training program improves physical fitness and social communication in preschool children with autism spectrum disorders[J]. *J Hum Kinet*, 2020, 73(1):267-278.
- [26] 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 Sci*, 2020, 10(11):803.
- [27] Movahedi A, Bahrami F, Marandi SM, et al. Improvement in social dysfunction of children with autism spectrum disorder following long term Kata techniques training[J]. *Res Autism Spectr Disord*, 2013, 7(9):1054-1161.
- [28] Bahrami F, Movahedi A, Marandi SM, et al. The effect of karate techniques training on communication deficit of children with autism spectrum disorders[J]. *J Autism Dev Disord*, 2016, 46(3):978-986.
- [29] Rivera P, Renziehausen J, Garcia JM. Effects of an 8-week judo program on behaviors in children with autism spectrum disorder: A mixed-methods approach[J]. *Child Psychiatry Hum Dev*, 2020, 51(5):734-741.
- [30] Phung JN, Goldberg WA. Mixed martial arts training improves social skills and lessens problem behaviors in boys with autism spectrum disorder[J]. *Res Autism Spectr Disord*, 2021, 83: 101758.
- [31] Pan CY. 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.
- [32] Alaniz ML, Rosenberg SS, Beard NR, et al. The effectiveness of aquatic group therapy for improving water safety and social interactions in children with autism spectrum disorder: A pilot program[J]. *J Autism Dev Disord*, 2017, 47(12):4006-4017.
- [33] Zanobini M, Solari S. Effectiveness of the program "acqua mediatrice di comunicazione" (water as a mediator of communication) on social skills, autistic behaviors and aquatic skills in asd children[J]. *J Autism Dev Disord*, 2019, 49(10):4134-4146.
- [34] Broupi AE, Kokaridas D, Tsimaras V, et al. The effect of a visual arts and exercise program on communication and social skills of students with autism spectrum disorders[J]. *Adv Autism*, 2023, 9(4):388-401.
- [35] Toscano CVA, Ferreira JP, Quinaud RT, et al. Exercise improves the social and behavioral skills of children and adolescent with autism spectrum disorders[J]. *Front Psychiatry*, 2022, 13: 1027799.
- [36] Haghighi AH, Broughani S, Askari R, et al. Combined physical training strategies improve physical fitness, behavior, and social skills of autistic children[J]. *J Autism Dev Disord*, 2023, 53(11):4271-4279.
- [37] 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]. *J Autism Dev Disord*, 2021, 51(7):2254-2270.
- [38] Lee J, Chang SH, Jolin J. Developing social skills of children with autism spectrum disorder for physical activity using a movement-based program[J]. *J Mot Learn Dev*, 2021, 9(1):95-108.
- [39] Najafabadi MG, Sheikh M, Hemayattalab R, et al. The effect of spark on social and motor skills of children with autism[J]. *Pediatr Neonatol*, 2018, 59(5):481-487.
- [40] Zhao M, Chen S. The effects of structured physical activity program on social interaction and communication for children with autism[J]. *Biomed Res Int*, 2018, 2018: 1825046.
- [41] Müller RA, Fishman I. Brain connectivity and neuroimaging of social networks in autism[J]. *Trends Cogn Sci*, 2018, 22(12):1103-1116.
- [42] Shen MD, Li DD, Keown CL, et al. Functional connectivity of the amygdala is disrupted in preschool-aged children with autism spectrum disorder[J]. *J Am Acad Child Adolesc Psychiatry*, 2016, 55(9):817-824.
- [43] Blakemore SJ. The social brain in adolescence[J]. *Nat Rev Neurosci*, 2008, 9(4):267-277.
- [44] Hamaide J, Lukacova K, Van Audekerke J, et al. Neuroplasticity in the cerebello-thalamo-basal ganglia pathway: A longitudinal in vivo mri study in male songbirds[J]. *NeuroImage*, 2018, 181: 190-202.
- [45] Kühlmann AYR, De Rooij A, Hunink MGM, et al. Music affects rodents: A systematic review of experimental research[J]. *Front Behav Neurosci*, 2018, 12:301.
- [46] Khan NA, Hillman CH. The relation of childhood physical activity and aerobic fitness to brain function and cognition: A review[J]. *Pediatr Exerc Sci*, 2014, 26(2):138-146.
- [47] Hötting K, Röder B. Beneficial effects of physical exercise on neuroplasticity and cognition[J]. *Neurosci Biobehav Rev*, 2013, 37(9 Pt B):2243-2257.
- [48] Reinders NJ, Branco A, Wright K, et al. Scoping review: Physical activity and social functioning in young people with autism spectrum disorder[J]. *Front Psychol*, 2019, 10:120.