

• 综述 •

运动干预改善孤独症谱系障碍儿童青少年抑制控制功能的研究进展

侯耀奇, 王燕, 邓佳琪, 宋湘勤

北京师范大学体育与运动学院, 北京 100875

摘要: 本文旨在综述运动干预对孤独症谱系障碍(ASD)儿童青少年抑制控制功能的影响及其潜在机制,同时系统地回顾了近年来关于运动干预对 ASD 儿童青少年抑制控制功能影响的实验性研究。研究表明,运动干预能显著改善 ASD 儿童青少年的抑制控制能力,且运动干预形式呈多样化的趋势,从传统武术到球类运动,以及结合虚拟现实技术的新兴方式。通过运动干预能改善心血管机能、重塑大脑结构、改变脑血流量及增加神经营养因子浓度等途径,促进大脑生理变化,进而提高抑制控制能力。

关键词: 孤独症谱系障碍; 运动干预; 抑制控制; 执行功能; 青少年; 儿童

中图分类号: R749.94 文献标识码: A 文章编号: 1008-6579(2025)01-0092-05 doi:10.11852/zgetbjzz2024-0037

Research progress on improving inhibitory control function in children and adolescents with autism spectrum disorder through exercise intervention

HOU Yaoqi, WANG Yan, DENG Jiaqi, 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: This article aims to explore the effect and potential mechanisms of exercise intervention on the inhibitory control function of children and adolescents with autism spectrum disorder (ASD), and systematically review experimental studies on the effect of exercise intervention on the inhibitory control function of children and adolescents with ASD in recent years. Research has shown that exercise intervention can significantly improve the inhibitory control ability of children and adolescents with ASD, and the forms of exercise intervention are diverse, ranging from traditional martial arts to ball games, as well as emerging methods combining virtual reality technology. Exercise intervention can promote physiological changes in the brain by improving cardiovascular function, reshaping brain structure, altering cerebral blood flow, and increasing neurotrophic factor concentration, thereby enhancing inhibitory control ability.

Keywords: autism spectrum disorder; exercise intervention; inhibition; executive function; adolescents; children

执行功能(executive functions)能监督和调控自愿任务中的情绪、行为和其他心理过程,处理需求直接分析来自多个来源的信息、决策、目标实现或对环境需求的灵活反应^[1]。它包括一系列高级认知技能,其中抑制控制(inhibition)、工作记忆(working memory)、认知灵活性(cognitive flexibility)是最为核心的3个部分^[2]。孤独症谱系障碍(autism spectrum disorder, ASD)是以社交沟通障碍、存在限制性和重复性行为以及刻板印象为主要特征的一种神经发育障碍^[3-4]。研究发现,85%的 ASD 儿童青少年都存在执行功能缺陷^[5],其中抑制控制涉及对情绪的控制,进而影响情绪理解、语言表达的发展和自身调节能力的提高^[6],抑制控制还与 ASD 的刻板印

象和重复行为以及社会功能等多项核心症状相关^[7]。运动干预作为一种特殊的干预手段,与其他干预手段相比更简单易行,已经广泛应用于 ASD 儿童青少年的干预,并取得较好的效果^[8]。本文旨在研究运动干预对 ASD 儿童青少年抑制控制功能的影响,并探讨其潜在机制,以便为其治疗和日常生活提供更有力的支持和策略。

1 运动干预中测量孤独症谱系障碍儿童青少年抑制控制能力的量表分析

抑制控制可分为反应/行为抑制和干扰/冲突抑制^[9]。反应/行为抑制涉及个体在特定任务环境中控制和抑制那些自然而然但在当前上下文中不适当

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,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

或不相关的反应能力^[10]。目前涉及到反应/行为抑制的测试量表主要包括儿童执行功能量表(Childhood Executive Functioning Inventory, CHEXI)^[11]、伦敦塔任务(Tower of London, TOL)^[12]、反应抑制任务(Go/No-Go Task, GNG)^[13]、停止信号任务(Stop Signal Task, SST)^[14]、莱特国际操作量表第三版(Leiter-3, Leiter International Performance Scale-Third Edition)^[15]。而干扰/冲突抑制关注于个体在集中处理

核心或目标信息时,对周围非关键或干扰性信息的排除能力。这类抑制测试常用儿童色彩轨迹测验(Children's Color Trails Test, CCTT)^[16]、威斯康星卡片分类测试(Wisconsin Card Sorting Test, WCST)^[17]、心花测试(Hearts & Flower Test, HFT)^[18]、Stroop 色词干扰测试(Stroop Color and Word Test, SCWT)^[19]、侧抑制任务(Flanker Task)^[20]等测试量表。见表 1。

表 1 涉及抑制控制的执行功能测试量表
Tab. 1 Execution function test scale involving inhibition control

测试量表	测试目的	应用场景	适用年龄范围	主要特点
CHEXI	衡量儿童执行功能	评估 3 岁及以上儿童认知和行为问题	4~12 岁	专注于测量抑制控制和工作记忆
TOL	评估认知规划和抑制控制	诊断孤独症等执行功能缺陷	≥6 岁	测试规划能力和问题解决能力
CCTT	评估持续注意力和抑制控制	适用于多元文化背景儿童	8~16 岁	通过颜色路径测试评估注意力和速度
WCST	评估认知灵活性和抑制控制	评估孤独症等人群的认知灵活性	≥6.5 岁	测量分类规则变换的适应性
HFT	测量抑制控制和任务切换能力	分析儿童期认知发展,特别是孤独症儿童青少年	4~12 岁	结合空间 Stroop 任务,评估任务切换能力
BRIEF-2	筛查儿童和青少年的执行功能障碍	广泛年龄段儿童和青少年的执行功能障碍筛查	5~18 岁	通过问卷形式评估日常生活中的执行功能障碍
SCWT	通过 Stroop 效应测试抑制认知干扰能力	广泛评估儿童的抑制控制和认知干扰能力	≥7 岁	评估颜色-词汇冲突解决能力
Go/No-Go Task	评估反应抑制和注意力控制	分析孤独症儿童青少年的反应抑制和注意力控制能力	≥4 岁	通过简单指令测试快速抑制反应
Stop Signal Task	用于抑制控制研究	测量孤独症谱系障碍儿童的反应控制能力	≥6 岁	测试在停止信号出现时的反应抑制能力
Flanker Task	评估干扰/冲突抑制控制能力	评估孤独症儿童青少年的抑制控制能力	≥4 岁	通过干扰刺激测试注意控制
Windows Task	混合执行/心理理论任务	测试儿童的心理理论能力和反应控制	6~12 岁	结合执行功能和心理理论的推理测试
Simon Task	测试注意力和抑制控制	研究注意力、执行功能和大脑处理能力	≥3 岁	评估基于位置的冲突解决能力
Leiter-3	非语言评估工具中的子测试,测量持续注意力	适用于有语言或沟通障碍的儿童和成人	≥3 岁	非语言测试,适合广泛年龄段和能力水平

注:CHEXI 为儿童执行功能量表;TOL 为伦敦塔任务;CCTT 为儿童色彩轨迹测验;WCTS 为威斯康星卡片分类测试;HFT 为心花测试;BRIEF-2 为 Behavior Rating Inventory of Executive Function 2 为执行功能评估量表;SCWT 为 Stroop 色词干扰测试;GNG Go/No-Go Task 为反应抑制任务;Flanker Task 为侧抑制任务;Simon Task 为西蒙效应任务;Leiter-3 为莱特国际操作量表第三版。

2 运动干预对孤独症谱系障碍儿童青少年抑制控制功能影响的系统探究

近年来,研究者开始关注运动对于改善 ASD 儿童青少年认知功能,特别是抑制控制能力的潜力。Liang 等^[21]最新发表的一项荟萃分析显示,运动干预对 ASD 儿童青少年抑制控制的改善程度能够接近中等效应水平。本文系统回顾国内外涉及运动干预改善 ASD 儿童青少年的抑制控制的实验性研究,共收集 16 项研究,涵盖 6 个国家,其中中国 8 篇、美国 4 篇、韩国 1 篇、意大利 1 篇、加拿大 1 篇、伊朗 1 篇。其中 14 项研究发现,运动干预能显著改善

ASD 儿童的抑制控制。研究涉及 478 名 3~18 岁的 ASD 儿童青少年,干预形式分为一次性干预和周期干预,一次性运动持续时间较短,多保持在 20min 左右。周期干预最短持续 2 周,最长持续 25 周,每周干预频次从 1~5 次不等,单次干预时长在 12~70min 之间。见表 2。

运动干预的效果取决于干预持续的周期、每周干预的次数、每次干预的持续时间和运动强度^[22]。球类运动如迷你篮球^[23-24]和乒乓球^[25]要求精准的手眼协调和快速反应,在 Tse 等^[26]研究中通过为期 12 周,每周 2 次,每次持续 45min 的干预之后,ASD 儿童的抑制控制显著提高。马术运动则是通过与动

物的互动,促进情感认同和执行功能,在 Borgi 等^[27]研究中,研究者发现执行功能的认知灵活性的改善要优于抑制控制功能。德健身心干预等内在平衡运动着重于心理状态的调节和自我意识的提升,可能直接影响到自我调节和抑制控制的能力,但在 Chan 等^[28]研究中通过 4 周的干预后受试者抑制控制并

未显著改善。此外,包括 Kinect 和其他运动游戏,可以通过结合身体活动和游戏中的策略性任务,在促使认知改善的同时锻炼身体,对抑制控制的改善程度也较大^[29]。Milajerdi 等^[29]研究通过持续 8 周的运动游戏干预,发现抑制控制得到显著改善,且其抑制控制的改善优于认知灵活性和工作记忆。见表 2。

表 2 运动改善 ASD 儿童青少年抑制控制相关研究基本信息

Tab. 2 Basic information on research on improving inhibitory control in children with ASD through exercise

研究	时间	诊断标准	年龄(岁)	国家	实验设计	地点	样本量	干预措施	干预周期	测量工具	抑制控制
刘智妹 ^[23]	2023	DSM-5	3~6	中国	随机对照	NA	30	迷你篮球	40min×5 次/周×12 周	CHEXI	A
Borgi ^[27]	2015	DSM-5	6~12	意大利	非随机对照	马术中心	28	马术运动	60min×1 次/周×25 周	TOL	A
Chan ^[30]	2013	DSM-5	6~17	中国	随机对照	学校	40	内阳功	60min×2 次/周×4 周	TOL/CCTT	A
Nekar ^[31]	2022	N/A	6~18	韩国	随机对照	医院	24	运动游戏	30min×2 次/周×4 周	Stroop	A
Pan ^[25]	2017	DSM-5	6~12	中国	随机对照	学校	22	乒乓球	70min×2 次/周×12 周	WCTS	A
Phung ^[32]	2019	ADOS-2	8~11	美国	随机对照	学校	28	综合武术	45min×2 次/周×13 周	HFT/BRIEF	A
Rafiei Milajerdi ^[29]	2021	ADOS-2	6~10	伊朗	随机对照	治疗中心	40	Kinect	35min×3 次/周×8 周	WCST	A
Tse ^[33]	2023	DSM-5	8~12	中国	随机对照	学校	45	自行车	60min×5 次/周×2 周	Stroop/GNG	A
Tse ^[26]	2019	DSM-5	8~12	中国	随机对照	学校	40	迷你篮球	45min×2 次/周×12 周	GNG/CBTT	A
Wang ^[24]	2020	DSM-5	3~6	中国	非随机对照	学校	33	迷你篮球	45min×5 次/周×11 周	CHEXI	A
Anderson-H ^[34]	2011	DSM-5	8~18	美国	组间交叉设计	实验室	22	运动游戏	20min×1 次	Stroop	A
Bremer ^[35]	2020	GARS-3	8~12	加拿大	组内交叉设计	NA	12	跑步机/间歇训练	20min×2 次	Leiter	A
Chan ^[28]	2011	NA	9	中国	个案研究	NA	1	德健身心干预	15min×1 次/周×4 周	CCTT/BRIEF	B
Ji ^[36]	2022	ICD-10	NA	中国	随机对照	学校	100	运动游戏/足球	60min×3 次/周×6 周	Flanker test	A
Nakutin ^[37]	2019	NA	6~7	美国	多基线设计	学校	3	慢跑	12min×2 次/周×2 周	GNG	B
Ringenbach ^[38]	2015	NA	7~17	美国	组内随机交叉	NA	10	ACT	20min×1 次	Stroop	A

注:NA 未报告;A 干预后有显著变化;B 干预后无显著变化;Kinect 一种运动游戏;ACT 辅助自行车疗法;DSM-5《精神障碍诊断与统计手册-第 5 版》;ADOS-2 为孤独症诊断观察量表第二版(Autism Diagnostic Observation Schedule, Second Edition);ICD-10 为国际疾病分类第十版(International Classification of Diseases, 10th Revision)

3 针对孤独症谱系障碍儿童青少年的运动干预形式的多样化和发展前景

近年来,运动干预已经广泛运用于各种患有精神疾病儿童青少年的干预,从减轻核心症状^[39],到改善和加强不同维度的执行功能^[40],都取得了显著的效果。研究者开始研究各种形式的运动干预对 ASD 儿童青少年抑制控制的影响,包括技巧性强的传统武术^[35]、趣味性强的大小球运动^[23-26]、不断发展的运动游戏^[29,31,36]、新兴的动物辅助运动^[27]以及传统的自行车^[33,38]和慢跑^[37]运动等。其中科技与运动结合成为一个值得关注的研究领域和临床实践方向。虚拟现实技术(virtual reality, VR)与运动结合已成为一种新兴的治疗手段,尤其对于 ASD 儿童青少年和各类精神疾病患者^[41-42]。这种融合运动与虚拟技术的方法创建了吸引人的虚拟环境和情景,具有高度的可塑性和趣味性,能够提供个性化的运动剂量,从而增强其普适性和治疗效果。

4 运动改善孤独症谱系障碍儿童青少年抑制控制功能的机制

大脑的前额叶皮层(prefrontal cortex, PFC)是抑制控制功能的神经基础。PFC 能表示和维护抽象信息,并对其他大脑区域产生两种类型的抑制效果,一是定向全局抑制,涉及对皮层下区域的全面抑制;二是间接竞争抑制,涉及新皮层内的抑制,前额叶区域激发目标相关选项的兴奋,并通过定向全局抑制和间接竞争抑制对其他大脑区域产生影响^[43]。ASD 儿童产生抑制控制缺陷可能与其大脑特定区域的结构和功能异常相关^[44],而运动可以对大脑特定区域和异常功能产生影响。通过观察运动后大脑特定区域神经活动,发现运动不仅增加了左颞上回、右楔前回(Brodmann area 7, Brodmann area 19)、右额上回、右楔的神经活动,同时也减少了左海马旁、右扣带回后、右颞中回、右楔前回以及右尾状核的神经活动^[45]。这一变化证明运动能通过调节特定脑区的活动水平来促进抑制控制能力的提高,其中涉及的区域如前额叶皮层,是与抑制控制紧密相关的

关键脑区^[46]。Wu 等^[45]荟萃分析发现,抑制控制的机制涵盖了多个功能网络,运动诱导的神经活动变化并不局限于单一脑区。具体而言,变化涉及了额顶叶网络、默认模式网络(default mode network, DMN)等多个与认知控制相关的网络,这些网络的激活变化可能是运动改善抑制控制能力的核心机制^[47]。运动后额叶上回和前额回等脑区的活动变化,凸显了运动对增强额顶叶网络连通性的重要作用。额顶叶网络负责处理干扰抑制、冲突解决和选择性注意等复杂的高级认知功能,其连通性增强是运动促进抑制控制能力提升的关键^[48]。此外,扣带回后部和海马旁回的激活变化进一步证明了运动的影响范围远超执行控制相关的直接脑区。这些与情绪调节和记忆功能紧密联系的边缘结构区域的活动变化,还能通过改善情绪调节和记忆处理机制,间接促进抑制控制能力的增强。意味着运动通过多维度的脑功能改善,包括直接影响相关脑区的神经活动和加强功能网络间的连通性,以及间接优化边缘结构的功能,共同作用于抑制控制能力的提升。

未来运动干预对 ASD 儿童青少年抑制控制功能影响的研究,预计将朝向多元化和个性化的干预方法发展,基于传统体育活动的基础上与现代技术相结合。例如,虚拟现实与运动干预相结合,不仅能增加干预手段的多样性,还能根据实际情况制定个性化的治疗方案。同时,研究将深入探索运动如何通过生理和神经递质机制,如大脑结构和功能的改变以及脑源性神经营养因子和多巴胺水平的调整,来促进抑制控制能力的提高。此外,长期运动干预对 ASD 儿童青少年抑制控制功能的长期效果和持久性仍是值得研究的重点,针对该领域应进一步探寻和细化,了解不同运动干预形式针对 ASD 儿童青少年各方面症状干预的有效性,健全运动干预治疗方案,以有效改善 ASD 儿童青少年的社会功能和生活质量。

参考文献

- [1] Diamond A. Executive functions[J]. Handbook of Clinical Neurology, 2020, 173: 225-240.
- [2] Doebel S. Rethinking executive function and its development [J]. Perspect Psychol Sci, 2020, 15(4): 942-956.
- [3] Hirota T, King BH. Autism spectrum disorder[J]. JAMA, 2023, 329(2): 157.
- [4] Lord C, Brugha TS, Charman T, et al. Autism spectrum disorder [J]. Nature Reviews Disease Primers, 2020, 6(1): 1-23.
- [5] Macoun SJ, Schneider I, Bedir B, et al. Pilot study of an attention and executive function cognitive intervention in children with autism spectrum disorders[J]. J Autism Dev Dis-

ord, 2021, 51(8): 2600-2610.

- [6] 张航, 辛钊阳, 陈志梅, 等. 3~6 岁幼儿移动性动作发展与情绪理解:工作记忆和抑制控制的链式中介作用[J]. 中国临床心理学杂志, 2023, 31(2): 413-416.
Zhang H, Xin ZY, Chen ZM, et al. Development of mobility and emotion understanding in children aged 3 - 6 years: Chain mediation effect of working memory and inhibitory control[J]. Chin J Clin Psychol, 2023, 31(2): 413-416. (in Chinese)
- [7] 阳雨露, 李雪, 刘靖, 等. 高功能孤独症患儿刻板重复行为与认知灵活性和抑制控制能力的关系研究[J]. 中国全科医学, 2019, 22(8): 983-988.
Yang YL, Li X, Liu J, et al. Study on the relationship between stereotyped repetitive behaviors, cognitive flexibility, and inhibitory control ability in children with high-functioning autism[J]. Chin Gen Pract, 2019, 22(8): 983-988. (in Chinese)
- [8] 侯耀奇, 宋湘勤. 运动干预改善孤独症谱系障碍儿童社会功能的研究进展[J]. 中国儿童保健杂志, 2024, 32(3): 291-295.
Hou YQ, Song XQ. Research progress on the improvement of social function in children with autism spectrum disorder through exercise intervention [J]. Chin J Child Health, 2024, 32(3): 291-295. (in Chinese)
- [9] 程燕华, 马博森. 高功能孤独症儿童与普通儿童会话修正行为对比研究[J]. 中国特殊教育, 2022, (2): 28-36, 44.
Cheng YH, Ma BS. Comparative study on conversational repair behaviors between children with high-functioning autism and typical children[J]. Chin Spec Educ, 2022, (2): 28-36, 44. (in Chinese)
- [10] Montgomery L, Chondrogianni V, Fletcher-Watson S, et al. Measuring the impact of bilingualism on executive functioning via inhibitory control abilities in autistic children[J]. Journal of Autism and Developmental Disorders, 2022, 52(8): 3560-3573.
- [11] 高翔, 黄荣芝, 田俊龙, 等. 中文版儿童执行功能量表在小学生中应用的信效度分析[J]. 中国学校卫生, 2023, 44(7): 1026-1029.
Gao X, Huang RZ, Tian JL, et al. Reliability and validity analysis of the Chinese version of the Child Executive Function Inventory in primary school students [J]. Chin Sch Health, 2023, 44(7): 1026-1029. (in Chinese)
- [12] Harsa P, Breňová M, Bezďicek O, et al. Tower of London test-short version[J]. Neurologia i Neurochirurgia Polska, 2022, 56(4): 365-370.
- [13] Van Royen A, Van Malderen E, Desmet M, et al. Go or no-go? An assessment of inhibitory control training using the GO/NO-GO task in adolescents [J]. Appetite, 2022, 179: 106303.
- [14] Mar K, Townes P, Pechlivanoglou P, et al. Obsessive compulsive disorder and response inhibition: Meta-analysis of the stop-signal task. [J]. J Psychopathol Clin Sci, 2022, 131(2): 152-161.
- [15] Renaud F, Béliveau MJ, Akzam-Ouellette MA, et al.

- Comparison of the Wechsler Preschool and Primary Scale of Intelligence-Third Edition and the Leiter-R Intellectual Assessments for Clinic-Referred Children[J]. *Journal of Psychoeducational Assessment*, 2022, 40(7): 825-838.
- [16] Llorente AM, Voigt RG, Williams J, et al. Children's Color Trails Test 1 & 2: Test-retest reliability and factorial validity[J]. *Clini Neuropsych*, 2009, 23(4): 645-660.
- [17] Bowden SC, Fowler KS, Bell RC, et al. The Reliability and Internal Validity of the Wisconsin Card Sorting Test [J]. *Neuropsychol Rehabil*, 1998, 8(3): 243-254.
- [18] Davidson MC, Amso D, Anderson LC, et al. Development of cognitive control and executive functions from 4 to 13 years: Evidence from manipulations of memory, inhibition, and task switching[J]. *Neuropsychologia*, 2006, 44(11): 2037-2078.
- [19] Scarpina F, Tagini S. The Stroop Color and Word Test [J]. *Front Psychol*, 2017, 8.
- [20] Hübner R, Töbel L. Conflict resolution in the Eriksen flanker task: Similarities and differences to the Simon task [J]. *PLoS ONE*, 2019, 14(3): e0214203.
- [21] Liang X, Li R, Wong SHS, et al. The effects of exercise interventions on executive functions in children and adolescents with autism spectrum disorder: A systematic review and meta-analysis[J]. *Sports Med*, 2022, 52(1): 75-88.
- [22] Sandbakk Ø, Haugen T, Ettema G. The influence of exercise modality on training load management[J]. *Int J Sport Physiol*, 2021, 16(4): 605-608.
- [23] 刘智妹, 蔡可龙, 朱丽娜, 等. 运动干预对孤独症伴有智力低下儿童执行功能及默认网络功能连接的影响[J]. *首都体育学院学报*, 2023, 35(5): 493-502.
- Liu ZM, Cai KL, Zhu LN, et al. The effect of exercise intervention on executive function and default network functional connectivity in children with autism and intellectual disability[J]. *J Capital Univ Phys Educ Sports*, 2023, 35(5): 493-502. (in Chinese)
- [24] Wang JG, Cai KL, Liu ZM, et al. Effects of mini-basketball training program on executive functions and core symptoms among preschool children with autism spectrum disorders[J]. *Brain Sci*, 2020, 10(5): 263.
- [25] Pan CY, Chu CH, Tsai CL, 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.
- [26] Tse CYA, Lee HP, Chan KSK, et al. Examining the impact of physical activity on sleep quality and executive functions in children with autism spectrum disorder: A randomized controlled trial[J]. *Autism*, 2019, 23(7): 1699-1710.
- [27] Borgi M, Loliva D, Cerino S, et al. Effectiveness of a standardized equine-assisted therapy program for children with autism spectrum disorder[J]. *J Autism Dev Disord*, 2016, 46(1): 1-9.
- [28] Chan AS, Sze SL, Cheung MC, et al. *Dejian* mind-body intervention improves the cognitive functions of a child with autism[J]. *Evid Based Complement Alternat Med*, 2011, 2011: 1-7.
- [29] Rafiei Milajerdi H, Sheikh M, Najafabadi MG, et al. The effects of physical activity and exergaming on motor skills and executive functions in children with autism spectrum disorder[J]. *Games for Health Journal*, 2021, 10(1): 33-42.
- [30] Chan AS, Sze SL, Siu NY, 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.
- [31] Nekar DM, Lee DY, Hong JH, et al. Effects of augmented reality game-based cognitive-motor training on restricted and repetitive behaviors and executive function in patients with autism spectrum disorder[J]. *Healthcare*, 2022, 10(10): 1981.
- [32] Phung JN, Goldberg WA. Promoting executive functioning in children with autism spectrum disorder through mixed martial arts training[J]. *J Autism Dev Disord*, 2019, 49(9): 3669-3684.
- [33] Tse AC, Liu VH, Lee PH, et al. The relationships among executive functions, self-regulation, and physical exercise in children with autism spectrum disorder[J]. *Autism*, 2023; 136236132311689.
- [34] Anderson-Hanley C, Tureck, Schneiderman. Autism and exergaming: Effects on repetitive behaviors and cognition [J]. *Psychol Res Behav Ma*, 2011, 4: 129.
- [35] Bremer E, Graham JD, Heisz JJ, et al. Effect of acute exercise on prefrontal oxygenation and inhibitory control among male children with autism spectrum disorder: An exploratory study[J]. *Front Behav Neurosci*, 2020, 14: 84.
- [36] Ji CX, Yang J, Lin L, et al. Executive function improvement for children with autism spectrum disorder: A comparative study between virtual training and physical exercise methods[J]. *Children-Basel*, 2022, 9(4): 12.
- [37] Nakutin SN, Gutierrez G. Effect of physical activity on academic engagement and executive functioning in children with ASD[J]. *Sch Psychol Rev*, 2019, 48(2): 177-184.
- [38] Ringenbach SDR, Lichtsinn KC, Holzapel SD. Assisted cycling therapy (ACT) improves inhibition in adolescents with autism spectrum disorder[J]. *J Intellect Dev Dis*, 2015, 40(4): 376-387.
- [39] Wang S, Chen D, Yang Y, et al. Effectiveness of physical activity interventions for core symptoms of autism spectrum disorder: A systematic review and meta-analysis[J]. *Autism Res*, 2023, 16(9): 1811-1824.
- [40] Dieckelmann M, González-González AI, Banzer W, et al. Effectiveness of exercise interventions to improve long-term outcomes in people living with mild cognitive impairment: A systematic review and meta-analysis[J]. *Sci Rep*, 2023, 13(1): 18074.
- [41] Rezae M, Chen N, McMeekin D, et al. The evaluation of a mobile user interface for people on the autism spectrum: An eye movement study[J]. *International Journal of Human-Computer Studies*, 2020, 142: 102462.

- dren with autism who speak Chinese[J]. Chin J Spec Educ, 2015, 22(8): 38-43. (in Chinese)
- [27] 中华医学会儿科学分会发育行为学组, 中国医师协会儿科学分会儿童保健专业委员会, 儿童孤独症诊断与防治技术和标准研究项目专家组. 孤独症谱系障碍儿童早期识别筛查和早期干预专家共识[J]. 中华儿科杂志, 2017, 55(12): 890-897.
- The Subspecialty Group of Developmental and Behavioral Pediatrics, the Society of Pediatrics, Chinese Medical Association, The Subspecialty Group of Primary Health Care, the Society of Pediatrics, Chinese Medical Doctor Association, Project Expert Group of Diagnosis, Prevention and Therapy Techniques and Standards on Childhood Autism Spectrum Disorders. Consensus on early identification screening and early intervention for autism spectrum disorder[J]. Chin J Pediatr, 2017, 55(12): 890-897. (in Chinese)
- [28] Hume K, Steinbrenner JR, Odom SL, et al. Evidence-based practices for children, youth, and young adults with autism: Third generation review[J]. J Autism Dev Disord, 2021, 51(11): 4013-4032.
- [29] Leaf JB, Cihon JH, Ferguson JL, et al. Advances in our understanding of behavioral intervention: 1980 to 2020 for individuals diagnosed with autism spectrum disorder[J]. J Autism Dev Disord, 2021, 51(12): 4395-4410.
- [30] LaFrance DL, Weiss MJ, Kazemi E, et al. Multidisciplinary teaming: Enhancing collaboration through increased understanding[J]. Behav Anal Pract, 2019, 12(3): 709-726.
- [31] Markham V, Giles A, May R. Evaluating efficacy and preference for prompt type during discrete-trial teaching[J]. Behav Modif, 2020, 44(1): 49-69.
- [32] Leaf JB, Leaf R, McEachin J, et al. Applied behavior analysis is a science and, therefore, progressive[J]. J Autism Dev Disord, 2016, 46(2): 720-731.
- [33] Vietze P, Lax LE. Early intervention ABA for toddlers with ASD: Effect of age and amount[J]. Curr Psychol, 2020, 39(4): 1234-1244.
- [34] 李胜利. 语言治疗学[M]. 2 版. 北京: 人民卫生出版社, 2013: 15-31, 176-196.
- [35] 美国培声听力语言中心. 爸妈带我学说话: 儿童语言发展家长指导手册[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2018: 54-89.
- Bethelhearingandspeaking Center. Parentstake me to speak: A parent's guide to language development of child[M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2018: 54-89. (in Chinese)
- [36] 温雯. 游戏治疗在儿童语言障碍康复中的应用[J]. 中国听力语言康复科学杂志, 2021, 19(1): 61-65.
- Wen W. Application of play therapy in the rehabilitation of children with language disorder[J]. Chin Sci J Hear Speech Rehabil, 2021, 19(1): 61-65. (in Chinese)
- [37] Binns AV, Smyth R, Andres A, et al. Looking back and moving forward: A scoping review of research on preschool autism interventions in the field of speech-language pathology[J]. Autism Dev Lang Impair, 2021, 6: 617255163.
- [38] Bowman KS, Suarez VD, Weiss MJ. Standards for inter-professional collaboration in the treatment of individuals with autism[J]. Behav Anal Pract, 2021, 14(4): 1191-1208.
- [39] LaRue R, Weiss MJ, Cable MK. Functional communication training: the role of speech pathologists and behavior analysts in serving students with autism[J]. J Speech Lang Pathol Appl Behav Anal, 2009, 3(2-3): 164-172.
- [40] 李丽芳, 李晶, 张长杰. 应用行为分析联合语言治疗对孤独症谱系障碍儿童语言能力的影响[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2024, 46(2): 139-144.
- Li LF, Li J, Zhang CJ. The effects of using applied behavioral analysis combined with speech-language therapy on language ability in children with autism spectrum disorders[J]. Chin J Phys Med Rehabil, 2024, 46(2): 139-144. (in Chinese)
- [41] 李晓燕. 自闭症儿童语言的范畴特征研究与整合取向[J]. 中国特殊教育, 2009, 16(11): 35-42.
- Li XY. A review of research on language development of autistic children and trend of integration[J]. Chin J Spec Educ, 2009, 16(11): 35-42. (in Chinese)
- 收稿日期: 2024-03-14 修回日期: 2024-06-16 本文编辑: 杨媛媛

(上接第 96 页)

- [42] Moraes ÍAP, Lima JA, Silva NM, et al. Effect of longitudinal practice in real and virtual environments on motor performance, physical activity and enjoyment in people with autism spectrum disorder: A prospective randomized cross-over controlled trial[J]. Int J Environ Res Pub Health, 2022, 19(22): 14668.
- [43] Munakata Y, Herd SA, Chatham CH, et al. A unified framework for inhibitory control[J]. Trends Cogn Sci, 2011, 15(10): 453-459.
- [44] 杨莉, 刘靖, 邹小兵, 等. 孤独症脑科学研究进展 2022 综述[J]. 中国心理卫生杂志, 2023, 37(4): 293-298.
- Yang L, Liu J, Zou XB, et al. Review of the progress in autism neuroscience research in 2022[J]. Chin J Ment Health, 2023, 37(4): 293-298. (in Chinese)
- [45] Wu J, Xiao W, Yip J, et al. Effects of exercise on neural changes in inhibitory control: An ALE Meta-analysis of fMRI studies[J]. Front Hum Neurosci, 2022, 16.
- [46] Niendam TA, Laird AR, Ray KL, et al. Meta-analytic evidence for a superordinate cognitive control network subserving diverse executive functions[J]. Cogn Affect Behav Ne, 2012, 12(2): 241-268.
- [47] Yu Q, Herold F, Becker B, et al. Cognitive benefits of exercise interventions: An fMRI activation likelihood estimation meta-analysis[J]. Brain Struct Funct, 2021, 226(3): 601-619.
- [48] Mehren A, Özyurt J, Thiel CM, et al. Effects of acute aerobic exercise on response inhibition in adult patients with ADHD[J]. Sci Rep, 2019, 9(1): 19884.
- 收稿日期: 2024-01-09 修回日期: 2024-05-14 本文编辑: 杨媛媛