

5~7 岁孤独症谱系障碍儿童跨越高度障碍步态特征

刘天鹭¹, 段晓琴², 裴晶晶¹, 邹晓峰¹

1. 吉林大学体育学院, 吉林 长春 130012; 2. 吉林大学第二医院康复科

摘要: **目的** 观察孤独症谱系障碍(ASD)儿童跨越不同高度障碍物时步态的时空参数特征,为制定早期运动干预方案和护理措施提供参考,以期降低 ASD 儿童跌倒风险。**方法** 2023 年 11—12 月,招募 5~7 岁 ASD 儿童和典型发育儿童各 30 例,使用 Footscan[®] 足底压力测试系统,采集无障碍行走以及跨越 5cm、15cm 高度障碍时足底各区域初始着地时相、触地时间百分比、离地时相以及整足压力中心位移。采用重复测量方差分析比较实验组与对照组在三次测试中各步态指标差异。**结果** 无障碍行走时,ASD 儿童趾骨区域初始着地时相、趾骨和跖骨区域离地时相与典型发育儿童差异有统计学意义($P < 0.05$);跨越高度障碍时,典型发育儿童相较于无障碍行走,引导腿跖骨和足跟区域的初始着地时相差具有统计学意义($P < 0.05$),但 ASD 儿童引导腿足跟区域的初始着地时相在三次测试中不存在显著差异($P > 0.05$),仅在 15cm 高度障碍时跖骨区域的初始着地时相变化具有差异($P < 0.05$)。**结论** ASD 儿童行走时,在承重反应期表现为跖屈不足,在支撑相末期表现为背屈不足;跨越障碍时表现出更谨慎的动作模式。与典型发育儿童对障碍物的“有无”更敏感不同,ASD 儿童对障碍物的“高度”更为敏感。

关键词: 孤独症谱系障碍; 步态; 跨越高度障碍; 时空参数; 儿童

中图分类号: R749.94; G804.6 文献标识码: A 文章编号: 1008-6579(2026)01-0076-06 doi:10.11852/zgetbjzz2024-1419

Gait characteristics of 5- to 7-year-old children with autism spectrum disorder while crossing height obstacles

LIU Tianlu¹, DUAN Xiaoqin², PEI Jingjing¹, ZOU Xiaofeng¹

1. Physical Education College, Jilin University, Changchun, Jilin 130012, China;

2. Department of Rehabilitation, the Second Hospital of Jilin University

Corresponding author: ZOU Xiaofeng, E-mail: zouxf@jlu.edu.com

Abstract: **Objective** To observe the spatiotemporal gait parameters of children with autism spectrum disorder (ASD) when crossing obstacles of different heights, in order to provide reference for developing early motor intervention programs and nursing strategies to reduce the risk of falls in ASD children. **Methods** From November to December 2023, thirty children with ASD (aged 5 - 7 years) and thirty typically developed children were recruited. The Footscan[®] plantar pressure system was used to collect the initial contact time, duration of contact, final contact time, and whole-foot center of pressure displacement during unobstructed walking and when crossing 5 cm and 15 cm obstacles. Repeated measures ANOVA was used to compare gait parameters between the two groups under the three test conditions. **Results** During unobstructed walking, significant differences were observed between ASD and TD children in the initial contact phase of the toe region, the final contact phase of the toe and metatarsal regions, and COP-X ($P < 0.05$). When crossing obstacles, typically developed children showed significant differences in the initial contact phase of the metatarsal and heel regions of the leading limb compared to unobstructed walking ($P < 0.05$), whereas ASD children showed no significant differences in the heel region across the three trials ($P > 0.05$), with changes only in the metatarsal region when crossing the 15 cm obstacle ($P < 0.05$). **Conclusions** Children with ASD exhibit insufficient plantar flexion during the loading response phase and insufficient dorsiflexion at the terminal stance during walking. They adopt a more cautious movement pattern when crossing obstacles. Unlike TD children, who are more sensitive to the presence of obstacles, ASD children are more sensitive to obstacle height.

Keywords: autism spectrum disorder; gait; crossing height obstacles; spatiotemporal parameters; children

孤独症谱系障碍(autism spectrum disorder, ASD)患者常伴随有运动功能障碍,表现为怪逐步态

和笨拙的运动特征等^[1-3]。步行作为最基本的运动形式,是儿童探索周围环境、与他人互动的关键活

基金项目:教育部人文社会科学研究一般项目(23YJ890020)

作者简介:刘天鹭(1999—),女,硕士学位,主要研究为运动人体科学。

通信作者:邹晓峰, E-mail: zouxf@jlu.edu.com

动。然而,ASD 儿童的步态缺乏足够的灵活性和适应性,这增加了其跌倒风险,对日常生活和运动产生了负面影响。在日常活动中跨越高度障碍是一种常见的动作模式,例如跨过散落的物品、迈过门槛或路边石^[4]。这些任务不仅要求运动系统具备较强的适应能力^[5],还与认知功能密切相关^[6-7]。这些要求可能导致 ASD 儿童在跨越高度障碍任务中表现不佳。因此,通过采集 ASD 儿童和典型发育(typically developed, TD)儿童在无阻碍行走、跨越 5cm 和 15cm 高度障碍行走时的步态时空参数,以探讨 ASD 儿童跨越高度障碍时步态的异常情况和相关因素,为 ASD 儿童的护理和运动干预方案制定提供参考,以期降低 ASD 儿童跌倒风险,促进社会融入。

1 对象和方法

1.1 对象 本研究采用 G * Power 3.1 软件估算样本量,选择双因素重复测量方差分析方法进行统计分析,设定统计功效为 0.8,显著水平为 0.5,效应量为 0.4,得出实验所需最少样本量为 40 人。2023 年 11—12 月,于长春市某特教机构和某幼儿园分别招募 5~7 岁确诊为 ASD 的儿童和 TD 儿童作为实验组和对照组。所有参与被试均需获得抚养监护人同意,并签署参加本研究的知情同意书。

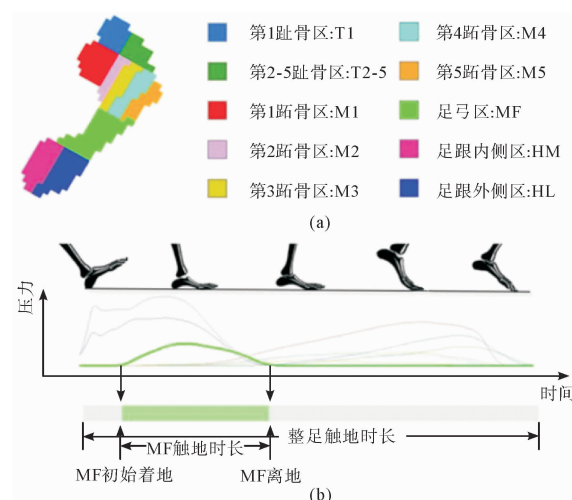
实验组选择轻/中度 ASD 儿童。要求受试儿童 CARS 评分为 ≥ 30 且 ≤ 36 分,符合美国精神障碍诊断与统计手册第 5 版(Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders-V, DSM-V)诊断标准,确诊为 ASD。排除肢体残缺、视觉和听觉障碍、精神系统和精神疾病以及测试前 6 个月进行过大型手术的儿童。脱落与剔除标准为:1)未完成实验者;2)观察指标采集遗漏者。最终招募 30 例 ASD 儿童作为实验组,TD 儿童 30 例作为对照组。本研究已获得吉林大学第二医院医学伦理委员会的批准(批号:2024 年研审第 403 号)。

1.2 方法 采用 Footscan® 足底压力测试系统(RSscan International,比利时)对受试者步态参数进行采集,足底压力平板规格为 $2.00\text{m} \times 0.50\text{m}$,采样频率为 125Hz,传感器密度为 4 个/ cm^2 。采用高度为 5cm 和 15cm 的小栏杆作为高度障碍物,在跨越障碍物测试时放置于步道中间位置。

选择安静、温度适宜的独立空间进行测试。测试前,测量人员与受试者相互熟悉,讲解流程并熟悉动作和场地,以降低情绪和熟练度影响。测试中,受试者以自选舒适速度在足底压力测试步道上行走,依次完成:无障碍行走、跨越 5cm 障碍、跨越 15cm

障碍;要求独立完成,不提示、鼓励或引导。每名受试者测试后离场再测试下一名,以避免同伴干扰。

Footscan® 足底压力分析软件自动将足印分为十个区域,见图 1a。分别收集每次足部着地过程中的整足着地时间,并采集各区域的三个时相参数:初始着地时刻(该区域压力首次 >0)、离地时刻(该区域压力再次 $=0$)及触地持续时间(该区域压力 >0 的持续时长),如图 1b。计算上述 3 个指标占整足着地时间的百分比,得到初始着地时相(initial contact time, IC)、触地持续时间百分比(duration contact time, DC)以及离地时相(final contact time, FC)。并计算双侧肢体 COP 在 X 轴和 Y 轴方向的最大位移:COP-X、COP-Y。将首先跨越障碍的下肢称为引导腿,另一侧下肢称为跟随腿。每次跨越障碍收集引导腿和跟随腿数据各一组;每次测试每位受试者每侧下肢至少采集 5 组有效数据。



注:a 足底分区示意图;b 足底各区域初始着地时刻、触地时长和离地时刻(以 MF 区域为例)示意图。

图 1 足底分区及三个时相参数

Fig. 1 Schematic diagram of plantar regions and schematic diagram of duration time, the moment of initial contact and final contact time; using the MF region as example

1.3 统计学方法 采用 SPSS 26.0 软件对数据进行统计分析。首先采用 Shapro-Wilk 检验分析各组数据的正态性,结果显示均服从正态分布。采用双因素重复测量方差分析检验实验组与对照组的引导腿和跟随腿在无障碍、跨越 5cm 高度障碍、跨越 15cm 高度障碍三种状态下足底各区域 IC、DC、FC 的差异以及 COP-X、COP-Y 的差异。其中自变量为组别和障碍高度。事后多重比较均采用 SIDAK 法,检验水准 $\alpha=0.05$ 。数据以 $\bar{x} \pm s$ 表示, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 受试者资料分析 排除脱落的和未能完成实验的受试者,共纳入对照组 22 人,实验组 20 人。测

试前,两组受试者间性别、年龄、身高、体重和体质指数(body mass index, BMI)差异无统计学意义($P>0.05$)。见表 1。

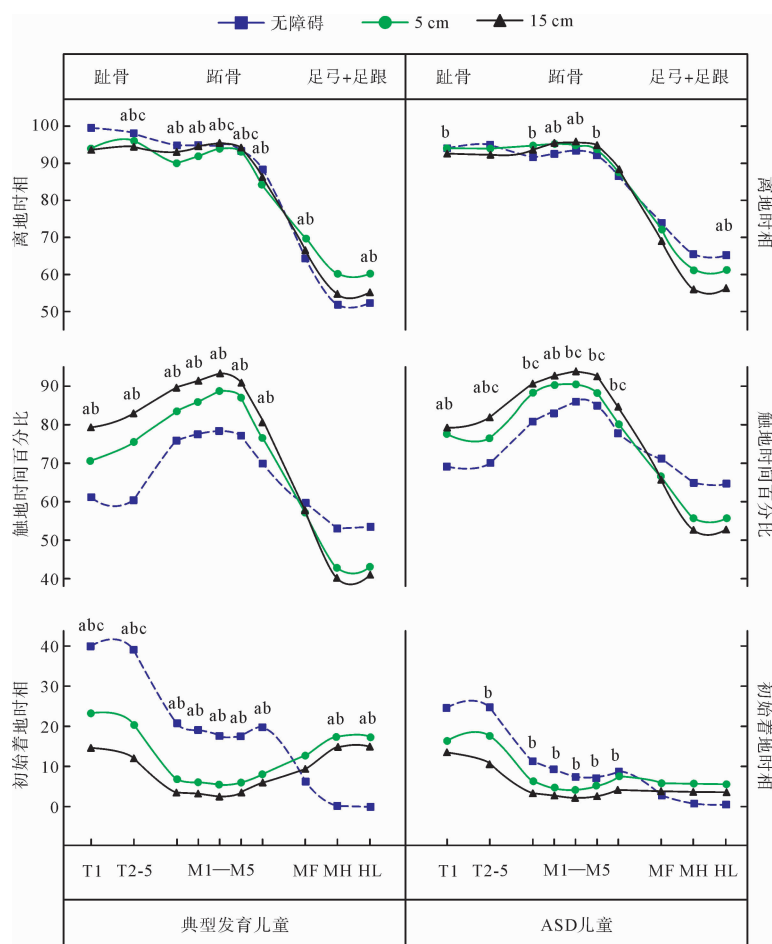
表 1 受试者基本信息($\bar{x} \pm s$)

Tab. 1 Characteristics of the participants($\bar{x} \pm s$)

组别	性别		年龄(岁)	身高(cm)	体重(kg)	BMI(kg/m ²)
	女性(人)	男性(人)				
对照组	10	12	5.87±0.45	114.77±4.35	19.10±6.88	13.76±2.76
实验组	6	14	5.90±0.47	113.80±3.70	20.65±3.23	14.43±1.90
<i>t</i> 值	0.112		0.336	0.783	0.535	0.913
<i>P</i> 值	0.741		0.812	0.280	0.802	0.070

2.2 实验组与对照组儿童跨越高度障碍时引导腿的时空参数分析 三次测试中,对于初始着地时相,引导腿足底 T1、M2、M3、M4、M5 区域的组别主效应($P_{T1}=0.032$, $P_{M2}=0.020$, $P_{M3}=0.005$, $P_{M4}=0.005$, $P_{M5}=0.012$)、高度主效应($P<0.001$)和交

互效应($P_{T1}=0.046$, $P_{M2}<0.001$, $P_{M3}<0.001$, $P_{M4}<0.001$, $P_{M5}=0.001$)具有统计学意义; T2-5、M1、HM、HL 区域仅存在显著的高度主效应($P_{T2-5}<0.001$, $P_{M1}<0.001$, $P_{HM}=0.002$, $P_{HL}=0.003$)。见图 2。



注: ^a 无障碍行走和跨越 5cm 高度障碍测试时, $P<0.05$; ^b 无障碍行走和跨越 15cm 高度障碍测试时, $P<0.05$; ^c 跨越 5cm 高度障碍和跨越 15cm 高度障碍测试时, $P<0.05$ 。

图 2 对照组与实验组引导腿足底各区域初始着地时相、触地时间百分比及离地时相比较

Fig. 2 Initial contact, duration of the contact and final contact of leading limb in each foot region for the experimental and control groups

对于触地时间百分比, T1、T2-5、M1、M2、M3、M4、M5 区域的组别主效应($P_{T1}=0.002, P_{T2-5}=0.006, P_{M1}=0.001, P_{M2}<0.001, P_{M3}<0.001, P_{M4}=0.001, P_{M5}<0.001$)、高度主效应($P<0.001$)具有统计学意义; MF、HM、HL 区域仅存在显著的组别主效应($P<0.001$)。见图 2。

对于离地时相, T1、MF、HL 区域存在显著的组别主效应($P_{T1}<0.001, P_{MF}=0.039, P_{HL}=0.002$)和高度主效应($P<0.001$); T2-5、M1、M2、M3、M4、

M5 区域仅存在显著的高度主效应($P<0.01$); HM 区域仅存在显著的组别主效应($P_{HM}=0.015$); M4、M5 区域存在交互效应($P_{M4}=0.022, P_{M5}=0.023$)。见图 2。

三次测试中 COP-X 和 COP-Y 存在显著的高度主效应($P<0.001$)、组别主效应($P_{COP-X}<0.001, P_{COP-Y}=0.013$)和交互效应($P_{COP-X}<0.001, P_{COP-Y}=0.004$)。见表 2。

表 2 实验组与对照组引导腿 COP 在 X 轴和 Y 轴方向最大位移(mm, $\bar{x}\pm s$)

Tab. 2 Maximum displacement of leading limb's COP in the X and Y axes for experimental and control groups (mm, $\bar{x}\pm s$)

指标	无障碍				5cm				15cm			
	典型发育	ASD	t 值	P 值	典型发育	ASD	t 值	P 值	典型发育	ASD	t 值	P 值
COP-X	24.16±5.79	27.84±6.41	1.907	0.064	26.34±5.32	29.54±7.07	1.626	0.112	39.27±18.76	31.93±9.56	3.984	<0.001
COP-Y	156.97±18.94	161.51±26.53	0.626	0.535	130.59±30.07	150.14±28.82	2.095	0.043	109.75±31.98	142.85±28.23	3.457	0.001

2.3 实验组与对照组跨越高度障碍时引导腿的时空参数分析 三次测试中, 实验组与对照组初始着地时相在全部趾骨和跖骨区域存在显著的组别主效应($P_{T1}=0.001, P_{T2-5}=0.020, P_{M1}=0.001, P_{M2}<0.001, P_{M3}<0.001, P_{M4}<0.001, P_{M5}<0.001$)和高度主效应($P_{T1}=0.021, P_{T2-5}<0.001, P_{M1}=0.006, P_{M2}<0.001, P_{M3}<0.001, P_{M4}<0.001, P_{M5}=0.005$), 仅 T2-5、M3、M4 区域存在显著的交互效应($P_{T2-5}=0.049, P_{M3}=0.004, P_{M4}=0.004$)。见图 3。

实验组与对照组跟随腿足底全部区域的触地时间百分比的组别主效应($P<0.001$)和高度主效应($P_{T1}<0.001, P_{T2-5}<0.001, P_{M1}<0.001, P_{M2}<0.001, P_{M3}<0.001, P_{M4}<0.001, P_{M5}<0.001, P_{MF}=0.002, P_{HM}=0.011, P_{HL}=0.010$)具有统计学意义。见图 3。

在跟随腿足底离地时相方面, T1、M2、M3、M4、M5、MF 及 HL 区域同时存在组别主效应($P_{T1}<0.001; P_{M2}=0.021; P_{M3}=0.013; P_{M4}=0.006; P_{M5}=0.003; P_{MF}=0.014; P_{HL}<0.001$)与高度主效应($P_{T1}<0.001; P_{M2}=0.004; P_{M3}<0.001; P_{M4}<0.001; P_{M5}<0.001; P_{MF}=0.006; P_{HL}=0.006$)。相比之下, T2-5 与 HM 区域仅存在组别主效应($P_{T2-5}=0.048; P_{HM}<0.001$); 而 M1 区域仅存在高度主效应($P_{M1}<0.001$)。见图 3。

三次测试中, 实验组与对照组 COP-Y 存在显著的高度主效应($P_{COP-Y}<0.001$)。见表 3。

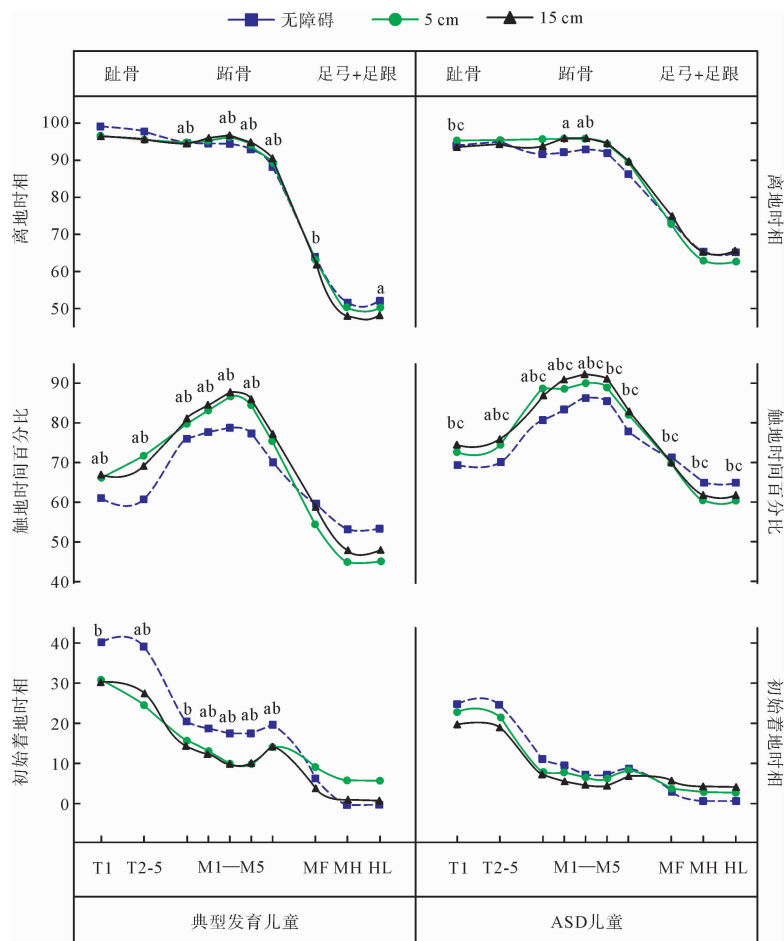
3 讨论

3.1 ASD 儿童肌肉激活异常对跨越高度障碍步态的影响 本研究结果显示, ASD 儿童在跨越高度障

碍时跟随腿与无障碍行走时存在共性异常, 均表现为跖骨区域初始着地时相、趾骨和跖骨区域离地时相显著提前, 这可能与其下肢肌肉激活程度异常相关。其跖骨区域初始着地时相提前, 是支撑相的承重反应期踝关节跖屈不足的体现。行走时一侧下肢以足跟着地开启支撑相, 经过初始着地阶段进入承重反应期。承重反应期中, 踝关节进行短暂的跖屈以中断足跟撞击, 至跖骨区域开始着地, 标志体重转移的完成。ASD 儿童因胫骨前肌过早激活导致跖屈不足^[8-10], 致使其跖骨初始着地时相较典型发育儿童提前, 也将导致下肢着地时缓冲不充分, 产生更大的制动力^[11], 继而降低足部触地后的控制能力。本研究中, ASD 儿童在行走中始终表现出更大的 COP-X, 表明其身体在水平方向具有更大摆动幅度, 是姿势控制不良的表现。

同时, ASD 儿童跖骨和趾骨区域离地时相提前, 是支撑相中、末期阶段踝关节背屈的不足的体现。步行时, 支撑侧下肢跖骨着地后踝关节及跗骨间关节背屈, 直至足跟抬起进入支撑相末期。而 ASD 儿童跖骨和趾骨区域离地时相提前, 导致支撑相中、末期阶段缩短, 这可能与 ASD 儿童在此阶段腓肠肌激活不足^[8, 12]相关。同时 ASD 儿童在摆动相前期腓肠肌激活水平不足^[8, 12], 进一步导致推进力缺失; 而 ASD 群体在支撑相结束阶段常表现出的髌关节过度屈曲^[13], 可能是对足抬离地面时踝关节背屈不足的补偿策略。这种肌肉激活异常不仅会降低运动协调能力和姿势的稳定性, 还会显著减缓步速^[12], 增加了行走时的困难。

3.2 ASD 儿童运动规划能力缺陷对跨越高度障碍步态特征的影响 研究表明, ASD 儿童采用了较



注：^a 无障碍行走和跨越 5cm 高度障碍测试时， $P < 0.05$ ；^b 无障碍行走和跨越 15cm 高度障碍测试时， $P < 0.05$ ；^c 跨越 5cm 高度障碍和跨越 15cm 高度障碍测试时， $P < 0.05$ 。

图 3 对照组与实验组跟随腿足底各区域初始着地时相、触地时间百分比及离地时相比较

Fig. 3 Initial contact, duration of the contact and final contact of trailing limb in each foot region for the experimental and control groups

表 3 实验组与对照组跟随腿 COP 在 X 轴和 Y 轴方向最大位移 (mm)

Tab. 3 Maximum displacement of trailing limb's COP in the X and Y axes for experimental and control groups (mm)

指标	无障碍				5cm				15cm			
	典型发育	ASD	t 值	P 值	典型发育	ASD	t 值	P 值	典型发育	ASD	t 值	P 值
COP-X	24.16±5.79	27.84±6.41	1.907	0.064	23.44±7.78	27.64±7.46	1.740	0.090	23.90±6.16	26.16±7.22	1.701	0.291
COP-Y	156.97±18.94	161.51±26.53	0.626	0.535	141.17±23.54	159.97±26.24	2.389	0.022	137.76±23.06	147.35±35.75	1.016	0.316

典型发育儿童更谨慎的动作模式，主要体现为 ASD 儿童与典型发育儿童在跨越障碍时引导腿 COP-X 以及跖骨和足跟区域初始着地时相的变化差异。典型发育儿童跨越障碍时引导腿多表现为跖骨区域初始着地时相显著提前、足跟区域延后，呈“跖骨-足跟-跖骨-趾骨”滚动顺序；而 ASD 儿童仅在 15cm 障碍时跖骨区域时相显著提前，足跟区域无显著变化，仍维持“足跟-跖骨-趾骨”的滚动顺序。典型发育儿童在跨越障碍物时质心保持向前移动，当引导腿抬高跨越高度障碍物后进入摆动相末期时，踝关节处于中立位，但此时足部与地面仍有一定距离；足部下

落过程中，质心仍继续向前推进；当引导腿最终触地时，质心相较于无障碍行走时的初始着地时相更靠前，导致跖骨较跟骨更先接触地面。ASD 儿童则采用类似老年人的策略^[14-15]，在跨越障碍物时保持更加后倾的质心-压力中心倾斜角度，待引导腿成功着地后再转移质心，既提高越障成功率又增强稳定性。ASD 儿童引导腿在跨越 15cm 高度障碍时的 COP-X 显著小于 TD 儿童，表明其质心控制策略可以有效降低身体的摆动，提升了稳定性，进一步印证了其动作模式谨慎性的特点。

ASD 儿童在跨越障碍时更谨慎的质心控制策

略和着地顺序使得动作更不连贯,可能与过往研究中 ASD 儿童表现出的预调节不足、分段化的运动模式等运动规划缺陷^[16]相关。相较于无障碍行走,跨越障碍时机体需要准确识别障碍物的位置、大小和形状,并进行合理的运动规划,调整步态,以成功完成跨越障碍的动作。此外,研究证实在跨越障碍时,需要前额叶皮层,尤其是背外侧前额叶皮层额外激活^[6]。前额叶的活动不仅与运动规划过程高度相关,在认知需求增加时更影响动作执行^[17],而 ASD 儿童在执行需要运动规划和精细动作控制任务时前额叶皮层激活程度不足可能影响该过程^[18]。这些因素可能共同导致了本研究中 ASD 儿童步态调整的异常。所以,应提高 ASD 儿童在复杂场景中的运动能力,近些年许多研究尝试将骑马^[19]、舞蹈^[20]等融入运动干预中,不仅增强了 ASD 儿童对复杂运动的适应,也对改善刻板行为和社会认知具有一定效果^[20]。

3.3 ASD 儿童视觉整合异常对跨越高度障碍步态特征的影响 本研究结果也显示 ASD 儿童对障碍物的高度更敏感,而 TD 儿童对障碍物的有无更敏感。这可能与 ASD 儿童视觉整合异常相关^[21]。在本研究中,TD 儿童引导腿和跟随腿时间参数的差异主要体现在无障碍行走和两次跨越高度障碍中;而 ASD 儿童引导腿的时空参数差异主要体现在无障碍行走和跨越 15cm 高度障碍中,跟随腿的时空参数差异主要集中于接触时间百分比这一指标,无障碍行走和跨越 5cm 高度障碍、跨越 5cm 高度障碍和跨越 15cm 高度呈显著性差异。跨越障碍过程中,视觉系统需要准确识别障碍物的位置、大小、形状等信息,以调控运动的执行情况。对于 ASD 儿童的研究显示,在跨越障碍物时,ASD 儿童可以感知到障碍物上的视觉信息,但无法有效整合,影响了其步态调整^[22]。本研究中 5cm 高度的障碍物相对较为矮小,可能无法为 ASD 儿童提供足够的视觉信息。

ASD 儿童中存在的这种视觉整合异常与其颞叶的 MT/V5 区、上顶叶和楔前叶中的激活模式较弱有关,表现为从局部运动信号整合成连贯运动时存在困难^[23];也与 ASD 个体的低级视觉皮层向高级视觉整合区域(如运动敏感区及顶叶等)的信息传递或调控存在缺陷有关,表现为信息整合的动态调节异常,从而影响整体的知觉表现^[24]。在接近障碍物过程中视觉信息的动态更新可以有效调节步伐和下肢跨越障碍物时抬起的高度;当视觉信息缺失,下肢触地位置的精度会大幅度降低^[25]。本研究中,

ASD 儿童对低矮障碍物反应不灵敏的表现,不仅提示了感觉统合训练的重要性,还提示在 ASD 儿童的生活环境中,应及时清理地面上的障碍物,或在障碍物上添加醒目标志,为 ASD 儿童提供更有效的视觉信息,增加他们对环境的感知,从而减少摔倒和受伤的风险^[22],全面提高他们的运动安全性。

综上所述,与 TD 儿童相比,ASD 儿童在无障碍行走、跨越 5cm 和 15cm 高度障碍时步态特征均存在差异。ASD 儿童在无障碍行走和跨越高度障碍的跟随腿中均表现为在承重反应期跖屈不足,在支撑相末期背屈不足。在跨越高度障碍物时,ASD 儿童表现出更谨慎的动作模式;且与 TD 儿童对障碍物的“有无”更敏感不同,ASD 儿童对障碍物的高度更敏感。这提示,在对 ASD 儿童进行基本运动技能干预的同时,应加强 ASD 儿童对复杂运动情景的适应和感觉统合训练元素的融入;在训练时,也可以通过使用具有惯性传感器的可穿戴设备获得实时反馈,以提升干预的精确性。同时也提示,在 ASD 儿童的护理中,需注重地面障碍物的清理和标识。但本研究中存在一定的局限性。虽然参与本研究的 ASD 儿童在步态特征上表现出一定的共性,但由于样本量有限,这可能导致研究结果存在一定偏倚;且仅进行了一次观察性研究,未能探讨发育对 ASD 儿童步态特征的影响。未来,可以在采集生物力学参数的同时引入神经影像学技术,并纳入更多受试者进行前瞻性队列研究,以研究发育过程中 ASD 对个体步态的影响。

参考文献

- [1] 陈为玮,朱小烽,张虹雷.自闭症谱系障碍儿童运动功能评估与干预研究进展[J].中国体育科技,2022,58(6):3-9.
Chen WW, Zhu XF, Zhang HL. Research progress of motor function evaluation and intervention in children with autism spectrum disorders[J]. China Sport Science and Technology, 2022, 58(6): 3-9. (in Chinese)
- [2] Weiss MJ, Moran MF, Parker ME, et al. Gait analysis of teenagers and young adults diagnosed with autism and severe verbal communication disorders[J]. Front Integr Neurosci, 2013, 7: 33.
- [3] 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):1239-1250.
Wang L, Wang ZD, Wang HJ. The neural mechanisms of developmental motor disorders in children with autism spectrum disorder[J]. Advances in Psychological Science, 2021, 29(7): 1239-1250. (in Chinese)
- [4] Sparrow WA, Shinkfield AJ, Chow S, et al. Characteristics of gait in stepping over obstacles[J]. Hum Mov Sci, 1996, 15(4): 605-622.

(下转第 89 页)

- but low physical activity in children aged 9-11 years in Beijing [J]. *Diabetes Metab Syndr Obes*, 2021, 14: 3323-3335.
- [22] Ng M, Fleming T, Robinson M, et al. Global, regional, and national prevalence of overweight and obesity in children and adults during 1980-2013: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2013 [J]. *Lancet*, 2014, 384(9945): 766-781.
- [23] Weihrauch-bluher S, Schwarz P, Klusmann JH. Childhood obesity: Increased risk for cardiometabolic disease and cancer in adulthood[J]. *Metabolism*, 2019, 92: 147-152.
- [24] Weiss R, Dziura J, Burgert TS, et al. Obesity and the metabolic syndrome in children and adolescents[J]. *N Engl J Med*, 2004, 350(23): 2362-2374.
- [25] Rudnicka AR, Kapetanakis VV, Wathern AK, et al. Global variations and time trends in the prevalence of childhood myopia, a systematic review and quantitative meta-analysis: Implications for aetiology and early prevention[J]. *Br J Ophthalmol*, 2016, 100(7): 882-890.
- [26] Parssinen O. The increased prevalence of myopia in Finland [J]. *Acta Ophthalmol*, 2012, 90(6): 497-502.
- [27] Haarman AEG, Enthoven CA, Tideman JW, et al. The complications of myopia: A review and meta-analysis[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2020, 61(4): 49.
- [28] Morgan IG, French AN, Ashby RS, et al. The epidemics of myopia: Aetiology and prevention[J]. *Prog Retin Eye Res*, 2018, 62: 134-149.

收稿日期:2025-03-12 修回日期:2025-10-28 本文编辑:王悦

(上接第 81 页)

- [5] Austin GP, Garrett GE, Bohannon RW. Kinematic analysis of obstacle clearance during locomotion[J]. *Gait posture*, 1999, 10(2): 109-120.
- [6] Lee SM, Lee HS. Correlation between executive function and walk while crossing over an obstacle under different gait phases[J]. *Demet Neurocogn Disord*, 2023, 22(4): 139-147.
- [7] Zhang C, Mao D, Riskowski JL, et al. Strategies of stepping over obstacles: The effects of long-term exercise in older adults[J]. *Gait Posture*, 2011, 34(2): 191-196.
- [8] Mohd Nor MN, Jailani R, Tahir NM, et al. EMG signals analysis of BF and RF muscles in autism spectrum disorder (ASD) during walking[J]. *Int J Adv Sci Eng Inf Technol*, 2016, 6(5): 793.
- [9] Eggleston JD, Harry JR, Cereceres PA, et al. Lesser magnitudes of lower extremity variability during terminal swing characterizes walking patterns in children with autism[J]. *Clin Biomech*, 2020, 76: 105031.
- [10] Li Y, Koldenhoven RM, Liu T, et al. Age-related gait development in children with autism spectrum disorder[J]. *Gait & Posture*, 2021, 84: 260-266.
- [11] Hasan C, Jailani R, Md TN, et al. The analysis of three-dimensional ground reaction forces during gait in children with autism spectrum disorders[J]. *Res Dev Disabil*, 2017, 66: 55-63.
- [12] Mohd Nor MNI, Jailani R, Nooritawati MT. Feature selection of electromyography signals for autism spectrum disorder children during gait using mann-whitney test (Article) [J]. *Jurnal Teknologi-Sciences & Engineering*, 2020, 82(2): 113-120.
- [13] Calhoun M, Longworth M, Chester V L. Gait patterns in children with autism [J]. *Clin Biomech*, 2011, 26(2): 200-206.
- [14] Yamagata M, Tateuchi H, Pataky T, et al. Relation between frontal plane center of mass position stability and foot elevation during obstacle crossing [J]. *J Biomech*, 2021, 116: 110219.
- [15] Rathore R, Tucker CA, Jeka JJ. Effect of increasing obstacle distances task on postural stability variables during gait initiation in older non-fallers and fallers[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2022(12): 2303-2310.
- [16] Auml B, Ouml C, MA, 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]. *Res Dev Disabil*, 2021 (Suppl C): 104014.
- [17] Pieruccini-Faria F, Jones JA, Almeida QJ. Motor planning in Parkinson's disease patients experiencing freezing of gait: The influence of cognitive load when approaching obstacles[J]. *Brain Cogn*, 2014: 76-85.
- [18] 史姗姗, 汪杰, 王颖鹏, 等. 基于功能性近红外光谱的孤独症谱系障碍儿童可视音乐任务下大脑前额叶激活程度的研究[J]. *中国康复医学杂志*, 2023, 38(8): 1050-1055.
- Shi SS, Wang J, Wang YP, et al. Prefrontal cortex activation in children with autism spectrum disorder under visual music task based on functional near-infrared spectroscopy [J]. *Chinese Journal of Rehabilitation Medicine*, 2023, 38(8): 1050-1055. (in Chinese)
- [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] 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.
- [21] 黎梦晗, 李廷玉. 孤独症谱系障碍儿童感觉异常的研究进展[J]. *中国儿童保健杂志*, 2023, 31(6): 650-655.
- Li MH, Li TY. Progress in sensory abnormalities in children with autism spectrum disorder [J]. *Chin J Health Care*, 2023, 31(6): 650-655. (in Chinese)
- [22] Clowes DP. Sensorimotor planning, integration, and execution processes in autism spectrum disorders[D]. Liverpool: United Kingdom Liverpool John Moores University, 2022.
- [23] Brieber S, Herpertz-Dahlmann B, Fink G, et al. Coherent motion processing in autism spectrum disorder (ASD): An fMRI study[J]. *Neuropsychologia*, 2010(6): 1644-1651.
- [24] Marko MK, Crocetti D, Hulst T, et al. Behavioural and neural basis of anomalous motor learning in children with autism[J]. *Brain*, 2015, 138(Pt 3): 784-797.
- [25] Patla AE, Greig M. Any way you look at it, successful obstacle negotiation needs visually guided on-line foot placement regulation during the approach phase [J]. *Neurosci Lett*, 2006, 397(1-2): 110-114.

收稿日期:2024-12-10 修回日期:2025-06-13 本文编辑:王悦