

蹲伏步态对脑瘫儿童踝关节生物力学的影响

Yufei Huang

¹ 安阳师范学院 河南安阳

² 安阳工学院 河南安阳

【摘要】目的 探讨蹲伏步态对脑瘫儿童踝关节生物力学的影响。**方法** 选取 2020 年 10 月至 2022 年 10 月某院收治的 60 例脑瘫患儿为研究对象, 根据步态分为发育正常组和蹲伏步态组, 每组 30 例。采用 3D 步态采集分析系统采集步态运动学数据, 测试前进行静态测试校准计算模型的物理标记点。每次测试均要求受试者在指定区域以正常步行速度向前行走 10 m, 重复测量 3 次取平均值。比较两组患儿前后(AP)方向的杠杆臂和外力矩以及踝关节跖底压力中心内外(ML)位移的差异。**结果** 蹲伏步态组踝关节 AP 力臂明显大于发育正常组 ($P < 0.05$), 而踝关节 ML 力臂及踝关节 AP 和 ML 外部力矩两组间比较差异均无统计学意义 ($P > 0.05$)。**结论** 分析蹲伏步态对脑瘫患儿踝关节生物力学的影响, 有助于更科学、准确地评估患儿下肢运动功能, 从而为患儿提供更加个性化的康复治疗方案, 促进运动功能的恢复。

【关键词】 脑瘫儿童; 蹲伏步态; 踝关节; 生物力学

【收稿日期】 2025 年 3 月 23 日

【出刊日期】 2025 年 4 月 23 日

【DOI】 10.12208/j.beb.20250004

The Effect of Crouching Gait on Ankle Biomechanics in Children with Cerebral Palsy

Yufei Huang

¹ Anyang Normal University, Anyang, Henan

² Anyang Institute of Technology, Anyang, Henan

【Abstract】Objective To investigate the effect of crouching gait on ankle biomechanics in children with cerebral palsy. **Methods** Sixty children with cerebral palsy who had been treated in a hospital from October 2020 to October 2022 were selected for the study, and were divided into a normal developmental group and a crouching gait group according to their gait, with 30 cases in each group. A 3D gait acquisition and analysis system was used to collect gait kinematic data, and static tests were completed to calibrate the physical marker points of the computational model before testing. For each test, the subjects were asked to walk forward 10 m at normal gait speed in a designated area and the measurements were repeated three times and the average was taken. Differences in lever arm and external moment in the direction of anteroposterior (AP) and medial-lateral (ML) displacement of the ankle plantar centre of pressure were compared between the two groups of children. **Results** The ankle AP lever arm was significantly longer in the crouching gait group than in the normal development group ($P < 0.05$), while there were no significant differences in the ankle ML lever arm and the ankle AP and ML external moments between the two groups ($P > 0.05$). **Conclusion** Analysis of the effect of crouching gait on ankle biomechanics in children with cerebral palsy can help to assess the lower limb motor function of children more scientifically and accurately, so as to provide more personalized rehabilitation treatment plans for children and promote the recovery of motor function.

【Keywords】 Children with cerebral palsy; Crouching gait; Ankle joint; Biomechanics

近年来, 儿童脑瘫发病率逐年上升, 发达国家发病率为千分之 1-4, 中国约为千分之 2^[1-5]。脑瘫若不及时治疗, 可导致感觉、认知、沟通、行为障碍、

运动障碍及姿势异常, 严重影响患儿的正常生长发育。脑瘫患儿在行走过程中常出现各种下肢关节运动异常, 如蹲伏步态, 导致行走稳定性和安全性降低。

注: 本文于 2024 年发表在 International Journal of Clinical and Experimental Medicine Research 期刊 8 卷 1 期, 为其授权翻译版本。

引起蹲伏步态的原因是多方面的,包括踝关节屈肌群力量减弱、臀中肌伸髋力矩减小、骨骼力臂校准功能障碍、髋关节和膝关节屈肌群挛缩等,但有研究认为最重要的原因可能是臀肌力量减弱。蹲伏步态的典型特征是:行走时髋、膝、踝三大下肢主要关节处于屈曲位置,即髋关节和膝关节屈曲,足背屈。根据粗大运动功能分类系统(GMFCS)^[6],I类和II类患者最终能够独立行走,III类需要借助辅助器具行走,IV类患者活动能力主要依赖轮椅,可在他人搀扶下抵抗重力短暂站立,V类患者日常活动完全依赖搀扶,无法控制头部。蹲伏步态患者GMFCS分级大多为II级或I级,少数为III级。

在生物力学中,力矩的大小是力与距关节正交距离(杠杆臂或力矩臂)的乘积。下肢肌肉力量也会在关节周围产生力矩,以抵消地面反作用力产生的外部力矩。行走时外部力矩的大小与地面反作用力的杠杆臂呈正相关。脑瘫儿童的蹲伏步态常伴有异常的杠杆臂特征^[7],但目前尚无研究对此进行量化。因此,本研究分析了蹲伏步态对脑瘫儿童踝关节生物力学的影响,旨在为出现蹲伏步态的脑瘫儿童提供正确的康复指导。

1 材料和方法

1.1 一般信息

选择2020年10月至2022年10月某院收治的60例脑瘫患儿作为研究对象,根据步态分为正常发育组和蹲伏步态组,每组30例。正常发育组年龄7~11岁,平均 (9.07 ± 1.21) 岁,体质量40~68kg,平均 (54.17 ± 14.31) kg,下肢长度73~87cm,平均 (77.32 ± 3.76) cm;蹲伏步态组年龄8~12岁,平均 (10.21 ± 2.07) 岁,体质量27~46kg,平均 (36.39) kg。两组患者年龄差异无统计学意义($P > 0.05$),但体质量和下肢长度差异有统计学意义($P < 0.05$)。为了消除体质量和下肢长度差异对观察指标的影响,本研究将分别以体质量和下肢长度对观察指标进行标准化。本研究已通过医院医学伦理委员会审查并批准。

1.2 纳入和排除标准

纳入标准:(1)符合脑瘫诊断标准^[8];(2)年龄6~12岁;(3)GMFCS分级为I或II级;(4)能够在没有辅助器具帮助的情况下独立行走10米;(5)能理解简单指令,并能充分配合步态测试。

排除标准:(1)合并其他影响行走能力的神经

或骨骼肌肉疾病;(2)智力发育障碍,无法合作完成实验。

1.3 方法论

(1)采集参数设置:采用3D步态采集与分析系统(英国Oxford Metrics Limited公司,型号:VICON)采集步态运动学数据,其中关节位置数据采样频率设置为100Hz,地面反作用力采样频率设置为1000Hz。

(2)步态数据采集:所有研究对象在数据采集时均穿着短裤或紧身裤,赤足进行步态测试。每次步态测试前,受试者需配合完成静态测试,以校准计算机模型的物理标记点。测试开始信号发出后,受试者以正常生活节奏在指定区域内向前行走约10m,行走过程中连续两次落地测力台作为有效数据,有效数据重复3次取平均值。为保证数据采集的稳定性,每位受试者在正式测试前在三维测力台上练习3次,以熟悉测试步骤。

1.4 观察指标

(1)观察并比较两组儿童在步态支撑阶段踝关节AP和ML方向的地面反作用力杆臂。通过逆动力学计算地面反作用力,以关节中心与地面反作用力矢量之间的正交距离为地面反作用力(GRF)杆臂。

(2)观察比较两组儿童在步态支撑阶段踝关节在AP和ML方向的外部关节力矩。计算方法为杆臂与地面反作用力的矢量积。

为了消除组间下肢长度和体重差异对结果的影响,采用下肢长度对地面反作用力杆臂进行标准化,采用体重对关节外力矩进行标准化。

1.5 统计分析

采用SPSS24.0统计软件对本研究的数据资料进行统计学分析,计量资料以(均数 $\pm$ 标准差)表示,组间比较采用t检验, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 步态支撑期间杆臂和外部力矩的变化轨迹

与正常发育组相比,蹲伏步态组在步态支撑期间前后与内外杠杆臂的变化轨迹以及踝关节外力矩的变化。

2.2 两组儿童踝关节杠杆臂及外扭矩比较

蹲伏步态组踝关节AP力臂明显长于正常发育组($P < 0.05$),而踝关节ML力臂及踝关节AP和ML外部力矩两组间比较差异均无统计学意义($P > 0.05$)(见表1)。

表 1 两组儿童踝关节力臂及外力矩比较 ($\bar{x} \pm s$)

团体	示例数量	GRF 杠杆臂		外部扭矩 (Nm/kg)	
		踝关节 AP	踝关节 ML	踝关节 AP	踝关节 ML
正常发育组	三十	0.81±0.07	0.39±0.13	1.23±0.06	0.35±0.11
蹲伏步态套装	三十	1.17±0.24*	0.37±0.16	1.19±0.14	0.33±0.19
吨		7.887	0.531	1.438	0.499
磷		0.000	0.597	0.156	0.620

注: *与正常发育组相比 $P < 0.05$ 。

3 讨论

在中国, 2001 年流行病学调查显示, 脑瘫患病率为 0.192%。此前一项涵盖 14 个省市的荟萃分析显示, 中国儿童脑瘫患病率 (0.18%) 相对较低, 低于美国 (0.21%), 其中男性 (0.20%) 显著高于女性 (0.14%), 中部地区 (0.20%) 和西部地区 (0.19%) 显著高于东部地区 (0.15%)。近期一项全国 12 个省市 (不含海南省) 大样本 32 万余名 1~6 岁城乡儿童脑瘫流行病学调查显示, 脑瘫患病率为 0.248% (155/62591 例), 患病率为 0.246% (797/323858 例), 地区差异较大^[9]。2018 年海南省首次大规模脑瘫流行病学调查显示, 患病率为 0.211%^[10], 较 2001 年全国调查的 0.192% 有所上升。值得注意的是, 随着产前筛查、围产医学和新生儿复苏技术的进步, 许多早产、低体重出生胎儿及其他高危因素的存活率有所提高, 导致全国范围内脑瘫患病率的上升。近期一项基于 1995 年至 2009 年澳大利亚脑瘫登记处数据的研究表明, 由于采取了预防性治疗措施, 脑瘫患病率从 1995 年的 0.21% 下降到 0.14%, 中度至重度脑瘫儿童的比例也在下降^[11]。

蹲姿是痉挛性脑瘫最常见的运动模式之一, 多见于双瘫和四肢瘫痪患者。早期表现为明显的尖足姿势, 但随着年龄和体重指数 (BMI) 的增加, 这种异常姿势的持续性会减少。随着腕骨和髋屈肌痉挛的增加, 可能会出现跳跃步态, 其特征是站立负重时足部呈尖足状, 髋膝弯曲, 多见于双瘫患者的青春期前。随着跳跃步态的进一步发展, 在青春期左右会形成蹲伏步态, 这是蹲伏步态的一般发展轨迹。因此, 蹲伏步态的形成与 BMI 有关, 是体重与肌肉力量关系紊乱以及骨骼长度与肌肉长度增长比率紊乱等复杂疾病的次要症状。蹲姿步态改变了踝关节正常的生物力学机制, 导致整个支撑阶段的运动调

控发生紊乱, 导致力量减弱、作用时间延长、各肌群介入时机异常。在支撑阶段中期, 踝关节的离心运动不足以提供稳定的支撑, 无法在伸髋结束时启动臀中肌的稳定伸髋动作, 导致垂直方向呈蹲姿; 水平方向股四头肌的向后作用和跖屈肌群的前向驱动几乎同时介入, 两个方向的力量相互抵消, 做无功, 使整个支撑阶段无法顺利进行, 推进动作滞后。

本研究中, 蹲伏步态组的脑瘫儿童踝关节杠杆臂比发育正常组更长, 提示蹲伏步态的脑瘫儿童由于神经肌肉功能障碍存在步态生物力学差异, 主要表现为肱二头肌收缩力减弱, 踝关节跖屈肌群在支撑期无法减缓胫骨向前运动, 导致膝关节伸展受限, 此时地面反作用力作用于膝关节后部, 会导致股四头肌持续活动, 增加行走能量消耗, 增加踝关节负荷, 引发关节疼痛。这与以往研究发现蹲伏步态儿童存在关节疼痛的结果一致^[12,13]。蹲伏步态也会导致踝关节跖屈肌群缩短, 导致摆动期足部与地面之间的间隙减小^[14]。这通常会导致髋关节和膝关节的屈曲程度更大。

临床实践中, 蹲伏步态患儿的治疗常需要踝足矫形器和步态康复机器人的辅助。踝足矫形器是改善步态的有效物理治疗干预手段, 研究表明, 佩戴踝足矫形器可以减少病理反射模式和行走能量消耗, 显著改善脑瘫患儿的运动功能^[15]。矫形器的整体作用机制是矫正下肢力线。分析蹲伏步态对脑瘫患儿踝关节生物力学的影响, 有助于改进下肢矫形器的贴合性, 从而研制出更符合脑瘫患儿个体特征的下肢踝足矫形器^[16]。此外, 研究表明, 脑瘫患儿蹲伏步态可能导致足部应力异常, 膝关节受到的地面反作用力增大, 显著增加足趾和膝关节损伤的风险。步态康复机器人基于轨迹、力等控制范式, 研制了一种新型步态康复装置。研究表明, 步态康复机

机器人可以有效改善痉挛型脑瘫患儿步态的时空参数,但在步态时间-相位关系变化及动力学参数方面还有待进一步研究。

4 结论

综上所述,分析脑瘫儿童蹲伏步态对踝关节生物力学的影响,有助于准确客观地评估脑瘫儿童的蹲伏步态,并根据患儿下肢功能状况制定个性化的治疗方案和辅助器具,同时促进康复辅具和设备的改进,从而促进患儿的康复进程。

参考文献

- [1] Wei Reshong. Observation on the effect of EEG biofeedback combined with rehabilitation training in the treatment of children with spastic cerebral palsy [J]. Practical Clinical Integration of Traditional Chinese and Western Medicine, 2020, 20(12):135-136.
- [2] Wang X S, Yan S H, Zheng H, et al. Kinematic characteristics of gait for children with spastic cerebral palsy [J]. J Med Biomech, 2018, 33(5):459-464.
- [3] Brandenburg J E, Fogarty M J, Sieck G C. A critical evaluation of current concepts in cerebral palsy [J]. Physiology, 2019, 34(3): 216-229.
- [4] Li Xiaojie, Liang Yuqiong. New advances in rehabilitation treatment of cerebral palsy based on evidence-based medicine [J]. Chinese Clinical Journal of Practical Pediatrics, 2020, 35(12):885-889.
- [5] Gao Changyu, Li Ji, Jiang Zhimei. Exploration of ancient Chinese medical texts on the five soft treatises [J]. Journal of Changchun University of Traditional Chinese Medicine, 2017, 33(4):3.
- [6] Bertoncelli C M, Bertoncelli D, Elbaum L, et al. Validation of a clinical prediction model for the development of neuromuscular scoliosis: a multinational study [J]. Pediatr Neurol, 2018, 79: 14-20.
- [7] Ries A J, Schwartz M H. Ground reaction and solid anklefoot orthoses are equivalent for the correction of crouch gait in children with cerebral palsy [J]. Dev Med Child Neurol, 2019, 61(2):219-225.
- [8] Novak I, Morgan C, Adde L, et al. Early, accurate diagnosis and early intervention in cerebral palsy: advances in diagnosis and treatment [J]. JAMA Pediatr, 2017, 171:897.
- [9] Li XJ, Qiu HB, Jiang ZM, et al. Epidemiological characteristics of pediatric cerebral palsy in twelve provinces and cities in China [J]. Chinese Clinical Journal of Practical Pediatrics, 2018, 33:378.
- [10] Li L, Jia QZ, Sun Y, et al. Epidemiological survey of children with cerebral palsy aged 0-6 years in Hainan Province [J]. Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2018, 33:569.
- [11] Galea C, McIntyre S, Smithers-Sheedy H, et al. Cerebral palsy trends in Australia 1995-2009. Dev Med Child Neurol, 2019, 61:186.
- [12] O'sullivan R, Horgan F, O'brien T, et al. The natural history of crouch gait in bilateral cerebral palsy: a systematic review [J]. Res Dev Disabil, 2018, 80: 84-92.
- [13] Böhm H, Matthias H, Braatz F, et al. Effect of floor reaction ankle-foot orthosis on crouch gait in patients with cerebral palsy: what can be expected? [J]. Prosthet Orthot Int, 2018, 42(3):245-253.
- [14] Wang Y, Zhang Y. Advance in neuromuscular function of spastic cerebral palsy for gait and targeted intervention (review) [J]. Chin J Rehabil Theory Pract, 2021, 27(3): 310-315.
- [15] Liu G, Ma C, Wang L, et al. Ankle-foot orthoses improve motor function of children with cerebral palsy: a meta-analysis based on 12 randomized controlled trials [J]. Chin J Tissue Eng Res, 2022, 26(8):1299-1304.
- [16] Li Y, Song Y, Jiang S Y, et al. Application of 3D gait analysis technology in orthotics [J]. Chin J Rehabil Med, 2018, 33(7):874-877.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS