

文章编号: 1004-7220(2025)02-0323-06

关节过度活动对于学龄期儿童步行功能的影响

俞艳, 姜淑云, 李一瀛, 鲁潇莹, 李阳

(上海中医药大学附属岳阳中西医结合医院 步态与运动分析中心, 上海 200437)

摘要: **目的** 研究学龄期关节过度活动(generalised joint hypermobility, GJH)儿童的步态特征。**方法** 应用三维运动捕捉系统及三维测力台采集56例GJH儿童及56例健康儿童步行时下肢关节的运动学和动力学数据,比较分析两组差异性。**结果** 运动学参数:GJH儿童组的支撑相足内翻角度均值($P=0.000$)、最大髋内收角度($P=0.002$)及最大足廓清角度($P=0.004$)减小,支撑相足偏角均值($P=0.000$)、最大足内旋角度($P=0.000$)及支撑相中期膝关节屈曲角度($P=0.032$)增加。动力学参数:GJH儿童组的膝关节($P=0.005$)、髋关节($P=0.000$)的最大功率及支撑相踝关节最大内翻力矩($P=0.009$)减小。时空参数:GJH儿童组步长($P=0.001$)、步速($P=0.000$)及步频($P=0.000$)减小,支撑相百分比($P=0.000$)及步宽($P=0.000$)增加。**结论** GJH儿童的步行效率及平衡稳定性下降,踝关节存在力线排列异常问题,膝关节功能需要长期关注。

关键词: 关节过度活动; 韧带松弛; 步态; 学龄期儿童

中图分类号: R 318.01 文献标志码: A

DOI: 10.16156/j.1004-7220.2025.02.010

Effects of Generalised Joint Hypermobility on Walking Function in School-Age Children

YU Yan, JIANG Shuyun, LI Yiying, LU Xiaoying, LI Yang

(Gait and Motion Analysis Center, Yueyang Hospital of Integrated Traditional Chinese and Western Medicine, Shanghai University of Traditional Chinese Medicine, Shanghai 200437, China)

Abstract: **Objective** To investigate the gait characteristics of school-age children with generalised joint hypermobility (GJH). **Methods** The kinematic and kinetic data of lower extremity joints in 56 children with GJH and 56 healthy children were collected by 3D motion capture system and 3D force plates, and the differences between the two groups were compared and analyzed. **Results** Kinematics parameters: the mean ankle inversion angle ($P=0.000$), maximum hip adduction angle ($P=0.002$) and maximum foot clearance angle ($P=0.004$) in stance phase decreased in the GJH children group, while the mean foot progression angle ($P=0.000$), the maximum foot internal rotation angle ($P=0.000$) in stance phase, and the knee flexion angle ($P=0.032$) in the middle stance phase increased. Kinetics parameters: the maximum power of knee ($P=0.005$) and hip ($P=0.000$) joints and the maximum inversion moment of ankle joints ($P=0.009$) in stance phase decreased in GJH children group. Temporal and spatial parameters: the step length ($P=0.001$), walking velocity ($P=0.000$), and cadence ($P=0.000$) decreased in GJH children group, while the stance phase percentage ($P=0.000$), and step width ($P=0.000$) increased. **Conclusions** There is a decrease in walking efficiency and balance stability of children with GJH. The line alignment is abnormal in ankle joint. The knee function needs a long-term attention.

Key words: generalised joint hypermobility; ligament relaxation; gait; school-age children

收稿日期: 2024-07-03; 修回日期: 2024-07-23

通信作者: 姜淑云, 主任医师, E-mail: yadancoo@126.com

关节过度活动 (generalised joint hypermobility, GJH) 表现为关节韧带松弛, 多个关节活动度大于正常范围, 临床上在儿童和妇女中较为常见^[1]。通常运用 Beighton 评分表进行评估, 包括 9 个部位的活动度, 分别为双肘伸、双腕屈、双膝伸、双侧小指伸和身体屈曲活动度。对于成年人, Beighton 评分 ≥ 5 分, 即可诊断为 GJH。Beighton 评分对于儿童 GJH 诊断也可靠有效^[2]。但对于儿童, 用于诊断的 Beighton 分数要高于成年人。5 岁以上的儿童, Beighton 评分 ≥ 6 分可被诊断患有 GJH^[3]。

大多数 GJH 儿童没有症状, 比较常见的症状是疼痛^[4-5]。长期研究发现, GJH 儿童在青春期前期 (9~11 岁) 会有下肢疼痛的表现^[6]。GJH 对运动功能会产生一定的影响, 可能会出现运动稳定性与协调性下降、肌力弱及耐受力差等情况^[7-9]。GJH 儿童在运动过程中更容易出现运动损伤, 后期患关节炎的风险性也更高^[10-11]。GJH 也是髌骨不稳定的危险因素^[12]。

目前国内关于 GJH 患者运动功能的研究较少, 研究对象多为 GJH 成人患者, 发现在下坡步行和跳跃着陆时表现出膝关节稳定性下降^[13-14]。而 GJH 对于 GJH 儿童步行功能的影响尚不明确。本文通过探究 GJH 儿童步行参数的变化, 分析关节是否存在异常受力情况, 以期提早预防潜在关节损伤。

1 研究对象

研究对象为 2022 年 6 月~2024 年 3 月上海中医药大学附属岳阳中西医结合医院步态与运动分析中心筛选出符合研究标准的 56 例 GJH 儿童及 56 例健康对照受试者。上海中医药大学附属岳阳中西医结合医院伦理委员会批准了本研究 (2024-203)。

1.1 GJH 儿童纳入标准

① 年龄 7~12 岁, 性别不限; ② Beighton 评分 ≥ 6 分; ③ WHO 生长发育指数评分在 $\pm 2SD$ 以内。

1.2 GJH 儿童排除标准

① 双侧下肢疼痛; ② 双侧下肢 6 个月内有创伤及手术史; ③ 患有影响下肢运动及力线排列的相关疾病。

1.3 健康儿童纳入标准

① 年龄 7~12 岁, 性别不限; ② Beighton 评分 \leq

5 分; ③ WHO 生长发育指数评分在 $\pm 2SD$ 以内。

1.4 健康儿童排除标准

① 双侧下肢疼痛; ② 双侧下肢 6 个月内有创伤及手术史; ③ 存在足内偏、膝内/外翻等下肢力线排列异常。

1.5 受试者基本信息

选取符合临床试验标准的 112 例受试者, 健康儿童对照组及 GJH 儿童组各 56 例, 两者基本信息的差异无统计学意义 ($P > 0.05$), 基线可比 (见表 1)。

表 1 受试者基本信息

Tab. 1 Basic information of the subjects

指标	健康对照组 (n=56)	GJH 组 (n=56)	P
年龄/岁	8.18 \pm 1.62	8.29 \pm 1.44	0.417
性别 (男/女)	27/29	23/33	0.347
身高/m	1.34 \pm 1.07	1.33 \pm 1.14	0.866
体重/kg	30.04 \pm 6.89	29.99 \pm 7.72	0.947
BMI/(kg·m ⁻²)	16.63 \pm 2.01	16.57 \pm 2.32	0.882

2 研究方法

2.1 仪器设备

主要设备包括三维运动捕捉系统 (Raptor 4, Motion Analysis 公司, 美国) 与 4 块三维测力台 (4060-07, Bertec 公司, 美国)。在采集步行数据时, 运动捕捉镜头与测力台同步运行, 运动捕捉镜头采样频率为 100 Hz, 测力台采样频率为 1 kHz。

2.2 步态测试流程

在受试者相应体表位置贴放荧光标记球, 令其在测试区域自然行走。本研究所采用的三维步态模型为改良的传统模型^[15], 需要 31 个荧光标记球, 其中包括 4 个长杆荧光标记球。静态模型贴放荧光标记球的体表标志为双侧肩峰、肱骨外上髁、桡骨茎突、髌前上棘、髌后上棘、股骨内/外上髁、内/外踝尖、跟骨、第 1 跖骨头、第 2/3 跖骨间、第 5 跖骨头及 C7 棘突; 长杆荧光球分别放置于双侧股骨下 1/3 处 (长杆纵轴平行于股骨内/外上髁连线) 及双侧胫骨下 1/3 处 (长杆纵轴平行于内/外踝尖连线) (见图 1)。静态模型采集完成后, 摘去双侧股骨内上髁及内踝尖处的 4 个荧光球。每个受试者数据包含 20 个步态周期, 单侧下肢 5 个有效测力台数据。



图1 静态模型数据采集

Fig. 1 Static model data acquisition

2.3 数据处理

所有步态测试及数据均由上海中医药大学附属岳阳中西医结合医院步态与运动分析中心专业技术人员进行采集处理。使用 Cortex 5.7 软件完成数据采集后,在该软件中对标记点进行命名,输出 C3D 文件。然后将 C3D 文件导入 Visual 3D 分析软件,设定所使用的三维步态模型及设备参数,标记步态事件(足着地及离地)及地面反作用力发生时刻,计算得到运动学、动力学及时空参数(见图 2)。

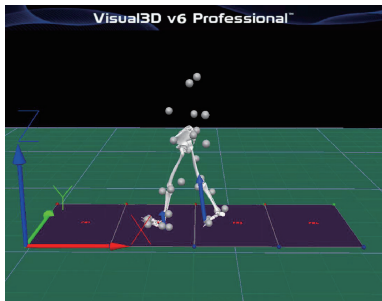


图2 Visual 3D 软件步行数据处理界面

Fig. 2 Walking data processing interface in Visual 3D software

2.4 主要观察指标

2.4.1 运动学参数 足踝关节:踝关节屈伸运动范围、支撑相足内翻角度均值、最大足内旋角度、支撑相足偏角均值、足廓清角度;膝关节:膝关节屈伸运动范围、支撑相中期屈曲角度、支撑相内/外翻角度均值;髌关节:髌关节屈伸运动范围、支撑相最大内收角度。

2.4.2 动力学参数 踝、膝及髌关节的最大功率、支撑相踝关节最大内翻力矩。

2.4.3 时空参数 步长、步速、步频、步宽、支撑相

占步态周期的百分比。

2.5 统计学分析

应用 SPSS 22.0 统计软件进行统计分析,所有假设检验均采用双侧检验,以 $P \leq 0.05$ 为差异有统计学意义。若 GJH 组与健康对照组数据服从正态分布或近似正态分布,采用两独立样本 t 检验,用(均数 \pm 标准差)表达;若数据不服从正态分布,采用非参数秩和检验。男女比例采用卡方检验、Fisher 精确检验。

3 研究结果

3.1 运动学参数变化

与健康儿童对照组相比,GJH 儿童组的支撑相内翻角度均值减小($P < 0.001$),最大足内旋角度增加($P < 0.001$),支撑相足偏角均值增加($P < 0.001$),最大足廓清角度减小($P = 0.004$)。踝关节屈伸运动范围无显著性差异($P = 0.116$)。

与健康儿童对照组相比,GJH 儿童组的膝关节支撑相中期屈曲角度增加($P = 0.032$),髌关节支撑相最大内收角度减小($P = 0.002$)。膝、髌关节屈伸运动范围及支撑相膝关节内/外翻角度均值无显著性差异(见表 2)。

表 2 运动学参数对比

Tab. 2 Comparison of kinematic parameters

关节	角度/(°)	对照组 ($n=56$)	GJH 组 ($n=56$)	P
踝	屈伸运动范围	30.74 \pm 5.48	29.34 \pm 4.94	0.116
	支撑相内翻角度均值	11.22 \pm 2.89	6.83 \pm 3.29	0.000*
	最大足内旋角度	11.53 \pm 5.87	14.96 \pm 5.95	0.000*
	支撑相足偏角均值	-7.91 \pm 4.59	-1.48 \pm 5.76	0.000*
	最大足廓清角度	74.92 \pm 6.35	71.98 \pm 6.99	0.004*
膝	屈伸运动范围	59.44 \pm 5.12	59.21 \pm 5.82	0.795
	支撑相中期屈曲角度	4.81 \pm 4.49	5.88 \pm 4.92	0.032*
	支撑相内/外翻角度均值	1.48 \pm 2.20	1.52 \pm 2.20	0.822
髌	屈伸运动范围	43.96 \pm 5.57	41.42 \pm 4.44	0.059
	支撑相最大内收角度	8.47 \pm 2.16	7.34 \pm 2.88	0.002*

注:* $P < 0.05$; 支撑相足偏角均值的负值为外偏,正值为内偏。

3.2 动力学参数变化

与健康儿童对照组相比,GJH 儿童组膝关节最大功率减低($P = 0.05$),髌关节最大功率减小($P < 0.001$),支撑相踝关节最大内翻力矩减小($P = 0.009$);两组踝关节最大功率无显著差异($P = 0.540$),见图 3。

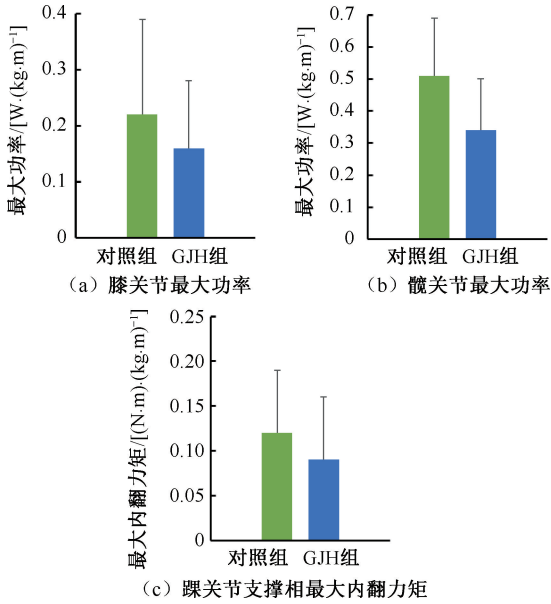


图3 动力学参数比较

Fig. 3 Comparison of kinetic parameters (a) Knee-maximum power, (b) Hip-maximum power, (c) Ankle-maximum inversion moment in stance phase

3.3 时空参数变化

与健康儿童对照组相比, GJH 儿童组的步长 ($P=0.001$)、步速 ($P<0.001$) 及步频减小 ($P<0.001$), 支撑相占步态周期的百分比及步宽增加 ($P<0.001$), 见图4。

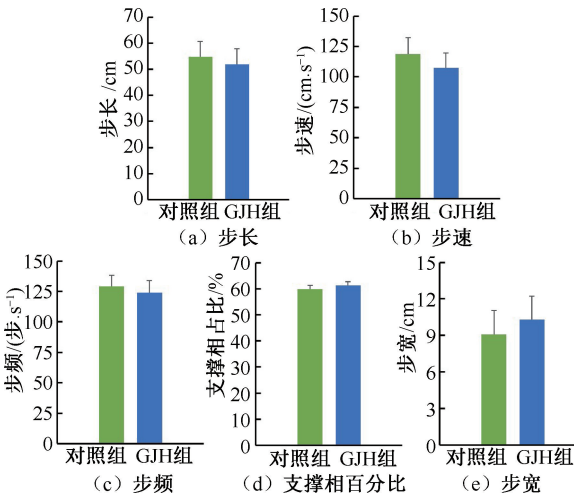


图4 时空参数比较

Fig. 4 Comparison of temporal and spatial parameters

(a) Step length, (b) Forward velocity, (c) Cadence, (d) Total support time, (e) Step width

4 讨论

GJH 儿童的关节被动活动度大于正常范围, 但

步行时踝、膝及髋关节在矢状面的屈伸运动范围没有受到明显影响, 与 Nikolajsen 等^[16]的研究结果相同。下肢关节屈伸运动的影响主要表现在膝关节支撑相中期的屈曲角度增加。动力学参数也显示 GJH 儿童膝关节最大功率存在减小趋势。支撑相中期开始时股四头肌产生一个小的能量爆发促使股骨越过胫骨前进, 膝关节进行性伸展, 以维持下肢承重稳定性。功率指关节动态力的快速爆发, 多发生在肌肉收缩模式转化的过程。功率的下降提示能量产生减少, 肌肉运动控制能力下降。膝关节最大功率发生在支撑相早期, 该阶段膝关节近乎伸展, 存在两个伸展机制, 首先是身体向量位于身体前方带动膝关节伸展, 其次是股四头肌等肌肉的主动控制。支撑相早、中期膝关节的屈伸运动与股四头肌功能密切相关。另一影响因素则可能是 GJH 儿童膝关节韧带或关节囊松弛, 造成关节运动控制能力下降。但由于两组的数据差异性较小, 是否存在 GJH 儿童膝关节功能下降以及股四头肌控制能力减低的情况, 有待进一步探究。也有国外研究表明, 10 岁及青春期 GJH 患者的膝关节运动功能及肌肉活动与正常对照组相比没有差异性^[16-17]。但在 GJH 成人研究中发现膝关节功能的减退, 患膝骨关节炎的风险增加^[17-18]。因此, 需要长期关注 GJH 儿童的膝关节功能。

GJH 儿童踝关节在支撑相冠状面内翻角度及力矩减小, 呈外翻趋势, 与 Chen 等^[19]研究结果一致。支撑相足外翻角度的增加通常与足内翻肌群的控制能力下降有关。但 GJH 儿童韧带松弛的特征可能会影响足部骨骼排列, 导致中足高度减低, 进而使足外翻角度增加^[20]。支撑相足内/外翻的运动控制非常重要, 影响整个下肢的负重力线。在本研究中并没有观察中足高度指标, GJH 儿童支撑相足内翻角度的减小是否与足弓高度减低有关, 有待进一步探究。

GJH 儿童足相对胫骨内旋角度及足偏角均值的增加, 提示步行稳定性降低。足偏角指足长轴与足前进方向的夹角。足偏角增加在步行过程中表现为足尖更靠近足前进方向, 两足跟之间的距离增加。同时, GJH 儿童的步宽增加及髋内收角度的减小, 均提示下肢支撑稳定性减弱, 需要更大的支撑面积以维持步行稳定性。通过足偏角增加步宽以

达到步行稳定性,从而引起足内旋角度的增加。GJH 儿童下肢支撑稳定性的减弱可能与下肢关节韧带松弛及肌肉力量减弱有关。

足廓清角度反映了足廓清能力,即摆动相早期足抬离地面的能力。摆动相早期踝关节快速背屈,胫骨前肌快速增加其活动强度,以完成廓清^[21]。足廓清角度是由足纵轴与地面的夹角计算得出,角度与足廓清能力成正比。足廓清角度的减小提示胫骨前肌运动控制能力下降,影响下肢向前迈进。髌关节最大功率发生在支撑相末期,此时髌关节处于伸展位,以最大步长前进。髌关节最大功率下降也可能会影响步行效率。GJH 儿童步长、步速及步频的减低及支撑相百分比(包含单支撑相及双支撑相)的增加,也进一步提示了 GJH 儿童步行效率下降。

5 结论

GJH 及健康儿童对照组运动学及动力学参数的差异性提示 GJH 儿童的步行效率及平衡稳定性低于健康儿童。目前尚无有效证据表明 GJH 儿童的膝关节功能下降,但需要长期关注。同时,因韧带松弛引起的下肢体线问题,如平足、足外翻,临床医生及家长应引起注意,及时干预,避免运动损伤的发生。本研究未对不同年龄及不同性别 GJH 儿童的步态特征进行分析,有待进一步探究。

利益冲突声明:无。

作者贡献声明:试验设计由俞艳、姜淑云共同完成;数据统计及论文撰写由俞艳完成;数据采集由李一瀛、李阳、俞艳、鲁潇莹共同完成;论文审校由姜淑云完成。

参考文献:

[1] MAARJ M, CODA A, TOFTS L, *et al.* Outcome measures for assessing change over time in studies of symptomatic children with hypermobility: A systematic review [J]. *BMC Pediatr*, 2021, 21(1): 527.

[2] SMITS-ENGELSMAN B, KLERKS M, KIRBY A. Beighton score: A valid measure for generalized hypermobility in children[J]. *J Pediatr*, 2011(158): 119-123.

[3] CASTORI M, HAKIM A. Contemporary approach to joint hypermobility and related disorders [J]. *Pediatr*, 2017 (29): 640-649.

[4] ADIB N, DAVIES K, GRAHAME R, *et al.* Joint hypermobility syndrome in childhood. A not so benign multisystem disorder? [J]. *Rheumatology (Oxford)*, 2005 (44): 744-750.

[5] FATOYE F, PALMER S, MACMILLAN F, *et al.* Proprioception and muscle torque deficits in children with hypermobility syndrome [J]. *Rheumatology (Oxford)*, 2009(48): 152-157.

[6] ANIETO EM, ANIETO IB, ITUEN OA, *et al.* The relationship between kinaesthesia, motor performance, physical fitness and joint mobility in children living in Nigeria [J]. *BMC Pediatr*, 2023, 23(1): 526.

[7] ENGELBERT RHH, BANK RA, SAKKERS RJB, *et al.* Pediatric generalized joint hypermobility with and without musculoskeletal complaints: A localized or systemic disorder? [J]. *Pediatrics*, 2003(111): e248-e254.

[8] ITUEN OA, DUYSSENS J, FERGUSON G, *et al.* The strength of balance: Strength and dynamic balance in children with and without hypermobility [J]. *PLoS One*, 2024, 19(6): e0302218.

[9] JUUL-KRISTENSEN B, KRISTENSEN JH, FRAUSING B, *et al.* Motor competence and physical activity in 8-year-old school children with generalized joint hypermobility [J]. *Pediatrics*, 2009(124): 1380-1387.

[10] REMVIG L, KUMMEL C, KRISTENSEN JH, *et al.* Prevalence of generalized joint hypermobility, arthralgia and motor competence in 10-year-old school children [J]. *Int Musculoskeletal Med*, 2011(33): 137-145.

[11] CASTORI M, HAKIM A. Contemporary approach to joint hypermobility and related disorders [J]. *Curr Opin Pediatr*, 2017(29): 640-649.

[12] HEIGHES LA, ABELLEYRA LASTORIA DA, BENI R, *et al.* The relationship between joint hypermobility and patellar instability: A systematic review [J]. *J Orthop*, 2024(56): 40-49.

[13] 钟国庆,曾小龙,谢宇,等. 全身关节过度活动患者步行时膝关节步态图特征 [J]. *中华关节外科杂志(电子版)*, 2020, 14(1): 33-39.

[14] 向福荣,唐圣鑫,刘鑫鑫,等. 女性全身关节过度活动患者跳深着陆时膝关节应力分析 [J]. *医用生物力学*, 2023, 38(2): 317-323.

XIANG FR, TANG SX, LIU XX, *et al.* Analysis of knee joint stress during drop jump landing in females with generalised joint hypermobility [J]. *J Med Biomech*, 2023, 38(2): 317-323.

[15] COLLINS TD, GHOUSSAYNI SN, EWINS DJ, *et al.* A six degrees-of-freedom marker set for gait analysis:

- Repeatability and comparison with a modified Helen Hayes set [J]. *Gait Posture*, 2009, 30(2): 173-180.
- [16] NIKOLAJSEN H, JUUL-KRISTENSEN B, HENDRIKSEN PF, *et al.* No difference in knee muscle activation and kinematics during treadmill walking between adolescent girls with and without asymptomatic generalised joint hypermobility [J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2021, 22(1): 170.
- [17] JUUL-KRISTENSEN B, HANSEN H, SIMONSEN EB, *et al.* Knee function in 10-year-old children and adults with generalised joint hypermobility [J]. *Knee*, 2012, 19(6): 773-778.
- [18] JUNGE T, HENRIKSEN P, HANSEN S, *et al.* Generalised joint hypermobility and knee joint hypermobility: Prevalence, knee joint symptoms and health-related quality of life in a Danish adult population [J]. *Int J Rheum Dis*, 2019, 22(2): 288-296.
- [19] CHEN H, ZENG X, XIE Z, *et al.* Kinematic alterations of the ankle in subjects with generalized joint hypermobility compared with the controls; A cross-sectional study [J]. *J Orthop Surg*, 2022, 30(3): 10225536221125951.
- [20] MALAKOUTIKHAH H, MADENCI E, LATT LD. The contribution of the ligaments in progressive collapsing foot deformity: A comprehensive computational study [J]. *Orthopaed Res*, 2022, 40(9): 2209-2221.
- [21] BAJELAN S, SPARROW WAT, BEGG R. The ankle dorsiflexion kinetics demand to increase swing phase foot-ground clearance: Implications for assistive device design and energy demands [J]. *Neuroeng Rehabil*, 2024, 21(1): 105.

(上接第 306 页)

- [20] HU Z, LI M, WEI J, *et al.* Assessing the impact of gait speed on gait stability using multi-scale entropy fused with plantar pressure signals [J]. *Front Bioeng Biotechnol*, 2024(12): 1328996.
- [21] TOKUNAGA T, TAKEGAWA R, UETA Y, *et al.* Assessing fall risk and equilibrium function in patients with age-related macular degeneration and glaucoma: An observational study [J]. *PLoS One*, 2024, 19(4): e0301377.
- [22] SON CH, SIM GW, KIM K. A study on the effects of a self-administered eye exercise program on the balance and gait ability of chronic stroke patients: A randomized controlled trial [J]. *J Pers Med*, 2024, 14(6): 595.
- [23] ZENG Z, XUE A, WANG H, *et al.* Effects of various hyperopia intervention levels on male college students' gait kinematics [J]. *Front Physiol*, 2023(14): 1161711.