

膝外翻儿童步态的时空、运动学、动力学参数特征

<https://doi.org/10.3969/j.issn.2095-4344.3814>

李阳, 姜淑云, 李一瀛, 俞艳, 鲁潇莹, 王丹辞

2095-4344.3814

投稿日期: 2020-06-28

送审日期: 2020-07-02

采用日期: 2020-07-31

在线日期: 2020-11-09

中图分类号:

R459.9; R318; R68

文章编号:

2095-4344(2021)15-02303-06

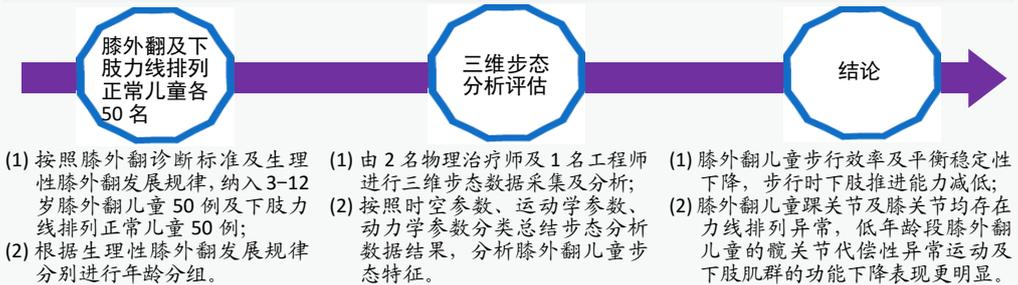
文献标识码: A

文章快速阅读:

文章特点—

△目前临床上对儿童膝外翻的研究主要集中于干预方法方面,对膝外翻儿童步态特征的研究较少;而出现在成熟步态模式后的儿童下肢畸形问题,在生长发育的早期就可初见端倪。

△大多数生理性膝外翻可随年龄增长自行纠正,但目前统计约有20%的儿童无法通过自身生长发育纠正下肢力线的异常排列,最终发展为永久性的畸形问题。对于下肢力线排列发展超出正常范围的生长发育期儿童来说,早期的评估及干预极为重要。



文题释义:

儿童膝外翻: 儿童膝外翻分为生理性膝外翻和病理性膝外翻。正常儿童在3岁左右开始出现生理性膝外翻,此时常态踝距的平均值可达到3.5 cm;大部分正常生理性膝外翻儿童的常态踝距会在7岁后缩小至2 cm以内。当儿童的常态踝距超出相应年龄段的正常范围时应引起重视,及早评估及早干预。

三维步态分析: 是根据生物力学原理,应用计算机辅助及红外摄像技术,在人体步行过程中监测、记录特定时相的关节运动、肌肉活动、对地面的作用力、关节力矩和做功等指标的一种评估技术,能够客观、量化地反映人体步态特征。

摘要

背景: 膝外翻作为一种主要的儿童下肢畸形,在生长发育的早期就可能出现异常表现。但目前研究主要集中于手术治疗方面,对生长发育阶段膝外翻儿童的步态研究较为缺失。

目的: 通过对膝外翻儿童步态特征的系统分析,为儿童膝外翻的早期评估及早期治疗提供科学依据。

方法: 选择膝外翻受试者及健康志愿者各50例,根据膝外翻的发生规律将受试者分为3-6岁及7-12岁年龄段,采用三维步态分析系统采集每位受试者的关节运动学、动力学及时空参数。将膝外翻儿童的步态参数与健康儿童进行比较分析,总结其步态特征。

结果与结论: ①时空参数方面,膝外翻儿童步长、步速减小,步宽增加;7-12岁年龄段膝外翻儿童单下肢支撑时间延长;②运动学参数方面,膝外翻儿童在支撑相足外翻及膝外翻角度增加,胫骨向内扭转角度增加,髌关节最大伸展角度减小,足廓清角度减小;7-12岁年龄段膝外翻儿童还表现出踝关节最大跖屈角度及屈伸运动范围减小;③动力学方面,膝外翻儿童足蹬离地面时垂直方向地反力减小;3-6岁年龄段膝外翻儿童踝、膝关节最大功率下降,膝关节内翻力矩减小;7-12岁年龄段儿童承重反应期垂直方向地反力减低,髌关节功率下降;④结果表明,膝外翻儿童步行效率及平衡稳定性下降,步行时下肢推进能力减低,踝关节及膝关节均存在力线排列异常问题;低年龄段膝外翻儿童的髌关节代偿性异常运动及下肢肌群的功能下降表现更明显;发育为成熟步态模式后的膝外翻儿童,髌关节异常代偿减少,但踝、膝关节的异常力线排列始终存在。

关键词: 膝外翻;儿童;三维步态分析;力线

Spatiotemporal, kinematic and kinetic characteristics of gait in children with genu valgus

Li Yang, Jiang Shuyun, Li Yiyang, Yu Yan, Lu Xiaoying, Wang Danci

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

Li Yang, Master, Gait and Motion Analysis Center, Yueyang Hospital of Integrated Traditional Chinese and Western Medicine, Shanghai University of Traditional Chinese Medicine, Shanghai 200437, China

Corresponding author: Jiang Shuyun, MD, Chief physician, Gait and Motion Analysis Center, Yueyang Hospital of Integrated Traditional Chinese and Western Medicine, Shanghai University of Traditional Chinese Medicine, Shanghai 200437, China

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,上海市 200437

第一作者: 李阳,女,1992年生,山东省威海市人,2018年上海中医药大学毕业,硕士,研究实习员,主要从事人体生物力学方面的研究。**通讯作者:** 姜淑云,博士,主任医师,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,上海市 200437<https://orcid.org/0000-0001-8556-673X> (李阳)**基金资助:** 上海市进一步加快中医药事业发展三年行动计划项目[ZY(2018-2020)-CCCX-2004-06],项目负责人:姜淑云;上海市卫生健康委员会卫生行业临床研究专项(20194Y0024),项目负责人:李阳**引用本文:** 李阳,姜淑云,李一瀛,俞艳,鲁潇莹,王丹辞.膝外翻儿童步态的时空、运动学、动力学参数特征[J].中国组织工程研究,2021,25(15):2303-2308.

Abstract

BACKGROUND: Genu valgus as a major deformity of children's lower limbs may appear abnormal manifestations in the early stage of growth and development. However, the current research mainly focuses on the surgical treatment, and the research on the gait of children with genu valgus is relatively lacking.

OBJECTIVE: To provide scientific basis for the early evaluation and treatment through the systematic analysis of the gait characteristics of children with genu valgus.

METHODS: Fifty children with genu valgus and 50 healthy volunteers were selected. According to the occurrence of genu valgus, the subjects were divided into 3-6 years old and 7-12 years old. Three-dimensional gait analysis system was used to collect the kinematic, dynamic and spatiotemporal parameters of each subject. The gait parameters of children with genu valgus were compared with those of healthy children to summarize the gait characteristics.

RESULTS AND CONCLUSION: (1) In terms of spatiotemporal parameters, the step length, forward velocity and step width of children with genu valgus decreased, while the single support time of children aged 7-12 increased. (2) In terms of kinematic parameters, the angle of foot pronated and genu valgus increased; the angle of tibia internal rotation increased; the maximum extension angle of hip joint decreased; and the angle of foot clearance decreased in children with genu valgus in stance phase; the maximum plantar flexion angle and the range of ankle joint flexion also decreased in children aged 7-12 years old. (3) In terms of dynamics, the ground reaction force in vertical direction decreased when the foot was off the ground; the maximum power of ankle and knee joint of children at the age of 3-6 decreased; and the moment of knee valgus decreased; the ground reaction force in vertical direction decreased and the power of hip joint decreased during the loading response period of children at the age of 7-12. (4) The results show that the walking efficiency and stability of children with genu valgus decreases, the lower limb propulsion ability decreases, and the line alignment is abnormal in ankle and knee joints. In children with knee valgus of low age, the compensatory abnormal movement of hip joint and the functional decline of lower limb muscle group are more obvious; in children with knee valgus of mature gait, the abnormal compensation of hip joint is reduced, but the abnormal line alignment of ankle and knee joint always exists.

Key words: genu valgus; children; three-dimensional gait analysis; force line

Funding: Three-Year Action Plan of Shanghai to Further Accelerate the Development of Traditional Chinese Medicine, No. ZY(2018-2020)-CCCX-2004-06 (to JSY); Shanghai Municipal Health Commission's Special Clinical Research Projects in the Health Industry, No. 20194Y0024 (to LY)

How to cite this article: LI Y, JIANG SY, LI YY, YU Y, LU XY, WANG DC. Spatiotemporal, kinematic and kinetic characteristics of gait in children with genu valgus. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu. 2021;25(15):2303-2308.

0 引言 Introduction

膝外翻是一种以膝关节机械轴的横向位移为特征的疾病^[1],居儿童下肢畸形发生率第2位^[2]。儿童膝外翻分为生理性膝外翻和病理性膝外翻,正常儿童在3岁左右开始出现生理性膝外翻^[3],此时常态踝距的平均值可达到3.5 cm^[4];在步态模式发育成熟后(7岁左右)常态踝距会缩小至2 cm^[5]。正常儿童膝外翻的出现及进展遵循一定的生理规律,多数正常生理性膝外翻可随年龄增长自行纠正^[6]。超出正常范围的生理性膝外翻的发生多与维生素缺乏、肥胖及使用学步车、过早独立步行等因素有关^[5,7]。成熟步态模式下,常态踝距达到2-5 cm为I度膝外翻;5-9 cm为II度膝外翻;大于9 cm属于III度膝外翻^[4]。

膝外翻等下肢力线异常排列会导致儿童步行功能异常,也是造成儿童意外伤害最重要的原因之一^[2]。有研究表明,约有20%的儿童无法通过自身生长发育纠正下肢力线的异常排列,最终发展为永久性的畸形问题^[8]。有流行病学调查研究显示,在5-13岁的学龄儿童中,约有7.1%的重度膝外翻患儿需要进行外科手术干预^[9]。而出现在成熟步态模式后的畸形问题,在生长发育的早期就可初见端倪。对于下肢力线排列发展超出正常范围的生长发育期儿童来说,早期的评估及干预极为重要。目前对于儿童膝外翻的研究主要集中于干预方法方面^[10],对于步态特征的研究尚未见相关报道。此次研究旨在通过对膝外翻儿童步态进行系统分析,总结其特征规律,为儿童膝外翻的早期评估及治疗提供科学依据。

1 对象和方法 Subjects and methods

1.1 设计 病例-对照试验。

1.2 时间及地点 于2019年1月至2020年4月在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完成。

1.3 对象 受试者包括在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门诊就诊的膝外翻儿童50例,及同期招募的正常健康儿童50例。研究方案的实施获得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,批件号:2019-135。所有入组受试者均由法定监护人签署知情同意书。

1.3.1 膝外翻儿童纳入标准 根据儿童发育规律,3岁时出现生理性膝外翻,常态踝距均值在3.5 cm左右,之后开始逐渐缩小,到7岁左右步态模式发育成熟,常态踝距缩小值在2 cm以内^[5],将入组标准区分为3-6岁及7-12岁年龄段,选取常态踝距值超出正常范围的膝外翻儿童,具体纳入标准如下:①年龄3-6周岁,性别不限;②常态踝距>4 cm;③年龄7-12周岁,性别不限;④常态踝距>2 cm;⑤无明显认知功能障碍,能够配合测试;⑥理解、同意参加此次研究并签署知情同意书(满足①②⑤⑥或③④⑤⑥者纳入研究)。

1.3.2 膝外翻儿童排除标准 ①患有引起膝外翻的其他疾病如脊髓灰质炎、佝偻病等;②有导致运动和身体结构异常的神经肌肉系统疾病;③有肿瘤、感染等因素导致的病理性膝外翻畸形;④无法配合完成步态分析评估者。

1.3.3 正常对照组纳入标准 ①年龄3-6周岁,性别不限;②常态踝距<3.5 cm;③年龄7-12周岁,性别不限;④常态踝距<2 cm;⑤WHO生长发育指数在±2SD以内;⑥无早产史/手术史/创伤史及其他影响运动功能的疾病;⑦无认知功能障碍,能够配合测试;⑧理解、同意参加此次研究并签署知情同意书(满足①②⑤⑥⑦⑧或③④⑤⑥⑦⑧者纳入研究)。

1.3.4 正常对照组排除标准 ①存在足内偏、足外偏、膝内翻等下肢力线排列异常;②有导致运动和身体结构异常的神经肌肉系统疾病;③无法配合完成步态分析评估者。

1.4 方法

1.4.1 荧光标记点放置 三维模型使用改良的传统模型^[11],

在每名受试者体表放置 24 个荧光标记点, 见图 1。其中 4 个荧光标记点用于静态数据采集, 在步行测试过程中需移除。

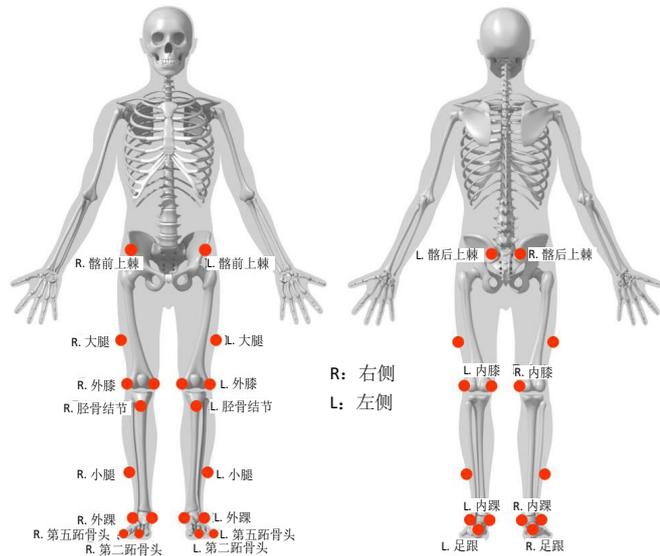


图 1 | 体表荧光标记点位置

Figure 1 | Location of fluorescent labeling points on body surface

1.4.2 步态数据采集 采用三维步态分析系统采集关节运动学、动力学及时空参数数据。使用的三维步态分析系统包括 19 个美国 Motion Analysis 公司红外线摄像头及 4 个 Bertec 公司平面测力台, 红外线镜头采样频率为 100 Hz, 平面测力台采样频率为 1 000 Hz。受试者均采取自然步速步行, 每人记录单侧不少于 15 个步态周期及 5 个有效力学数据。

1.4.3 操作人员 病例数据采集过程中荧光标记点放置均由 2 名具有 2 年以上步态分析操作经验的物理治疗师完成, 数据采集及后期处理由同一名工程师完成。

1.5 主要观察指标

1.5.1 运动学参数 踝关节最大跖屈角度, 踝关节屈伸运动范围, 足廓清角度, 支撑相膝关节外翻角度(均值), 支撑相胫骨扭转角度(均值), 膝、髌关节最大伸展角度, 支撑相髌关节内/外旋角度(均值)、骨盆前/后倾角度(均值)。

1.5.2 动力学参数 承重反应期垂直方向地反力(FZ1), 足蹬离地面时垂直方向地反力(FZ2), 膝关节内翻力矩, 髌/膝/踝关节最大功率。

1.5.3 时空参数 步长、步速、步频、支撑相时间百分比。

1.6 统计学分析 研究数据使用 SPSS 22.0 软件进行统计分析。数据服从正态分布或近似正态分布, 使用 $\bar{x} \pm s$ 表达, 正态分布变量两组间比较采用独立样本 t 检验; 非正态分布变量采用 Wilcoxon 符号秩和检验, 取双侧 $P < 0.05$ 表示差异有显著性意义。

2 结果 Results

2.1 受试者数量分析 受试者共 100 例, 膝外翻组 50 例, 包括 3-6 岁年龄段 32 例, 7-12 岁年龄段 18 例; 对照组 50 例, 包括 3-6 岁年龄段 30 例, 7-12 岁年龄段 20 例。全部纳入统计分析。

2.2 试验流程图 见图 2。

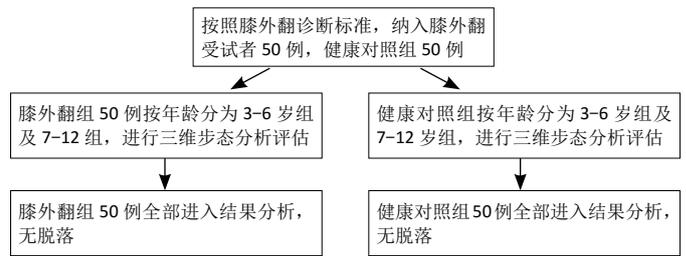


图 2 | 两组患者分组流程图

Figure 2 | Flow chart of group allocation

2.3 基线资料比较 数据采集前对受试者基本资料进行了记录分析, 两组受试者年龄及体质量指数相比, 差异无显著性意义 ($P > 0.05$), 具体结果见表 1。

表 1 | 受试者一般资料比较

Table 1 | Comparison of basic information of included subjects

组别	n	性别 (n)		年龄 ($\bar{x} \pm s$, 岁)	体质量指数 ($\bar{x} \pm s$, kg/m ²)	常态踝距 ($\bar{x} \pm s$, cm)	
		男	女				
膝外翻组	3-6 岁	32	23	9	4.35±0.94	16.49±1.54	5.93±1.58
	7-12 岁	18	7	11	8.36±1.76	19.63±3.11	6.62±2.13
健康对照组	3-6 岁	30	10	20	5.01±0.87	15.75±0.74	/
	7-12 岁	20	4	16	9.30±1.17	18.02±3.00	/
P 值			< 0.05	> 0.05	> 0.05	/	

2.4 两组 3-6 岁年龄段时空参数比较分析 与对照组相比, 3-6 岁年龄段的膝外翻儿童双侧步长、步速明显减小, 步宽明显增加, 差异均有显著性意义 ($P < 0.01$); 步频及支撑相百分比与对照组相比, 未表现出明显差异 ($P > 0.05$), 见表 2。

表 2 | 3-6 岁膝外翻儿童及正常儿童时空参数比较

Table 2 | Comparison of spatiotemporal parameters of 3-6-year-old children with genu valgus and normal children

组别	右侧				
	步长 (cm)	步速 (cm/s)	步频 (步/min)	支撑相百分比 (%)	步宽 (cm)
膝外翻组	40.40±4.67	94.77±13.72	142.78±14.93	62.03±2.00	10.74±1.74
健康对照组	47.20±6.98	109.96±11.97	151.01±8.46	60.96±2.30	8.83±1.43
Z/t 值	-4.531 ^a	-4.629 ^a	-0.183 ^b	-1.803 ^b	4.691 ^a
P 值	0.000	0.000	0.855	0.071	0.000
组别	左侧				
	步长 (cm)	步速 (cm/s)	步频 (步/min)	支撑相百分比 (%)	步宽 (cm)
膝外翻组	39.29±4.69	92.29±13.53	141.33±13.85	61.82±2.19	10.74±1.74
健康对照组	46.29±6.19	109.30±11.62	141.64±13.38	60.99±2.20	8.83±1.43
Z/t 值	-5.009 ^a	-4.623 ^a	-0.202 ^b	1.474 ^a	4.691 ^a
P 值	0.000	0.000	0.840	0.146	0.000

表注: a 表示 t 检验的 t 值, b 表示非参数检验的 Z 值

2.5 两组 3-6 岁年龄段运动学参数比较分析 与对照组相比, 3-6 岁儿童双侧支撑相足内翻平均角度及胫骨向外扭转角度均明显减小 ($P < 0.01$), 支撑相膝关节外翻角度及髌关节外旋角度均值增加 ($P < 0.05$); 在整个步态周期内, 双侧足廓清角度及右侧髌关节最大伸展角度明显减小 ($P < 0.05$); 双侧膝关节最大伸展角度减小, 但差异无显著性意义 ($P > 0.05$), 见表 3。

研究原著

2.6 两组 3-6 岁年龄段动力学参数比较分析 与对照组相比, 3-6 岁膝外翻儿童双侧均表现为 FZ2 及踝关节最大功率明显减低 ($P < 0.01$); 左侧还表现为膝关节最大功率及膝关节内翻力矩明显减小 ($P < 0.01$); 双侧 FZ1 及髌关节最大功率未见明显变化 ($P > 0.05$), 见表 4。

表 3 | 3-6 岁膝外翻儿童及正常儿童运动学参数比较

Table 3 | Comparison of kinematic parameter of 3-6-year-old children with genu valgus and normal children

($\bar{x} \pm s, ^\circ$)

组别	右侧						
	支撑相足内翻角度 均值	足廓清角度 (最大值) 均值	膝伸展角度 (最大值) 均值	支撑相膝外翻角度 均值	支撑相胫骨向外扭转角度 均值	支撑相髌外旋角度 均值	髌伸展角度 (最大值) 均值
膝外翻组	3.70±6.09	70.76±8.03	-7.47±4.42	6.69±2.78	1.72±9.68	5.58±10.38	6.00±5.96
健康对照组	11.74±3.25	74.56±5.25	-5.41±3.94	1.95±2.27	12.09±7.49	-1.75±6.73	9.81±4.87
Z/t 值	-4.705 ^b	-2.310 ^b	1.930 ^a	7.315 ^a	-4.324 ^b	-3.276 ^a	2.745 ^a
P 值	0.000	0.021	0.058	0.000	0.000	0.002	0.008
组别	左侧						
	支撑相足内翻角度 均值	足廓清角度 (最大值) 均值	膝伸展角度 (最大值) 均值	支撑相膝外翻角度 均值	支撑相胫骨向外扭转角度 均值	支撑相髌外旋角度 均值	髌伸展角度 (最大值) 均值
膝外翻组	3.33±5.55	70.56±7.87	-6.07±5.60	7.20±3.26	-0.18±8.92	6.15±6.92	7.62±6.32
健康对照组	10.07±3.27	74.13±5.57	-5.13±5.38	2.41±12.50	7.74±6.61	1.65±6.48	9.91±5.52
Z/t 值	-4.289 ^b	-2.137 ^b	0.666 ^a	-5.228 ^b	3.903 ^a	-2.612 ^a	1.503 ^a
P 值	0.000	0.033	0.508	0.000	0.000	0.011	0.138

表注: 膝关节伸展角度负值代表屈曲; 髌关节外旋角度负值代表内旋; a 表示 t 检验的 t 值; b 表示非参数检验的 Z 值

表 4 | 3-6 岁膝外翻儿童及正常儿童动力学参数比较

Table 4 | Comparison of kinetic parameters of 3-6-year-old children with genu valgus and normal children

($\bar{x} \pm s$)

组别	右侧					
	FZ1(N)	FZ2(N)	踝关节最大功率 (W/kg·m)	膝关节最大功率 (W/kg·m)	髌关节最大功率 (W/kg·m)	膝关节内翻力矩 (N·m/kg·m)
膝外翻组	1.13±0.14	0.95±0.07	1.66±0.49	0.28±0.16	0.53±0.23	0.07±0.07
健康对照组	1.11±0.17	1.06±0.06	2.26±0.51	0.37±0.16	0.48±0.10	0.10±0.04
Z/t 值	-0.03 ^b	-4.365 ^a	-3.012 ^b	-1.713 ^b	-0.325 ^b	-1.772 ^b
P 值	0.976	0.000	0.003	0.087	0.745	0.076
组别	左侧					
	FZ1(N)	FZ2(N)	踝关节最大功率 (W/kg·m)	膝关节最大功率 (W/kg·m)	髌关节最大功率 (W/kg·m)	膝关节内翻力矩 (N·m/kg·m)
膝外翻组	1.12±0.13	0.95±0.07	1.66±0.60	0.24±0.18	0.47±0.15	0.06±0.04
健康对照组	1.11±0.12	1.06±0.08	2.31±0.53	0.45±0.25	0.43±0.14	0.11±0.03
Z/t 值	-0.063 ^b	-3.759 ^a	-2.947 ^a	-2.803 ^b	0.799 ^a	-3.805 ^a
P 值	0.950	0.001	0.005	0.005	0.429	0.000

表注: FZ1, FZ2 分别为承重反应期垂直方向地反力及足蹬离地面时垂直方向地反力。a 表示 t 检验的 t 值; b 表示非参数检验的 Z 值

表 5 | 7-12 岁膝外翻儿童及正常儿童时空参数比较

Table 5 | Comparison of spatiotemporal parameters of 7-12-year-old children with genu valgus and normal children

($\bar{x} \pm s$)

组别	右侧				
	步长 (cm)	步速 (cm/s)	步频 (步/min)	支撑相百分比 (%)	步宽 (cm)
膝外翻组	52.29±6.36	108.17±8.79	125.92±10.09	61.60±1.55	11.85±1.88
健康对照组	56.99±5.14	118.13±12.99	124.00±8.21	60.37±1.22	9.59±1.23
Z/t 值	-2.518 ^a	-2.737 ^a	0.644 ^a	-2.602 ^b	4.427 ^a
P 值	0.016	0.010	0.524	0.009	0.000
组别	左侧				
	步长 (cm)	步速 (cm/s)	步频 (步/min)	支撑相百分比 (%)	步宽 (cm)
膝外翻组	51.14±6.08	108.06±8.94	126.49±9.98	61.83±1.38	11.85±1.88
健康对照组	57.23±5.46	118.81±12.83	123.68±7.31	60.22±0.77	9.59±1.23
Z/t 值	-3.299 ^a	-2.982 ^a	1.012 ^a	-3.324 ^b	4.427 ^a
P 值	0.002	0.005	0.318	0.001	0.000

表注: a 表示 t 检验的 t 值; b 表示非参数检验的 Z 值

2.7 两组 7-12 岁时空参数比较分析 与对照组相比, 7-12 岁年龄段的膝外翻儿童双侧步长、步速减小, 支撑相时间百分比延长, 步宽明显增加, 差异均有显著性意义 ($P < 0.05$), 其中步长、步速左侧减小更明显 ($P < 0.01$); 步频与对照组相比, 未表现出明显差异 ($P > 0.05$), 见表 5。

2.8 两组 7-12 岁年龄段运动学参数比较分析 与对照组相比, 7-12 岁膝外翻儿童双侧踝关节最大跖屈角度及屈伸运动范围明显减小 ($P < 0.01$); 支撑相足内翻角度及胫骨向外扭转角度均值明显减小 ($P < 0.01$); 支撑相膝关节平均外翻角度增加 ($P < 0.05$)。在整个步态周期内, 双侧足廓清角度及右侧髌关节最大伸展角度明显减小 ($P < 0.05$), 见表 6。

2.9 两组 7-12 岁年龄段动力学参数比较分析 与对照组相比, 7-12 岁膝外翻儿童双侧均出现 FZ1 及 FZ2 减低 ($P < 0.05$), 左侧还表现为髌关节最大功率明显减小 ($P < 0.01$), 见表 7。

3 讨论 Discussion

3.1 3-6 岁年龄段膝外翻儿童步态特征分析 与正常儿童相比, 3-6 岁年龄段的膝外翻儿童时空参数方面表现出明显的步长、步速减低, 步宽增加。步长、步速的减低提示步行效率下降,

表 6 | 7-12 岁膝外翻儿童及正常儿童运动学参数比较

(x̄±s, °)

Table 6 | Comparison of kinematic parameter of 7-12-year-old children with genu valgus and normal children

组别	右侧						
	踝跖屈角度 (最大值)	踝关节运动范围	支撑相足内翻角度均值	足廓清角度 (最大值)	支撑相膝外翻角度均值	支撑相胫骨向外扭转角度均值	髌伸展角度 (最大值)
膝外翻组	17.78±5.79	25.50±5.18	4.34±5.65	67.07±5.72	4.29±2.71	6.00±5.96	4.65±4.71
健康对照组	24.71±5.73	31.08±4.99	11.74±2.19	74.06±5.81	2.51±2.33	9.81±4.87	7.06±6.03
Z/t 值	3.751 ^a	-3.423 ^a	-3.196 ^b	-3.296 ^b	2.206 ^a	2.745 ^a	-2.000 ^b
P 值	0.001	0.002	0.000	0.001	0.034	0.008	0.045
组别	左侧						
	踝跖屈角度 (最大值)	踝关节运动范围	支撑相足内翻角度均值	足廓清角度 (最大值)	支撑相膝外翻角度均值	支撑相胫骨向外扭转角度均值	髌伸展角度 (最大值)
膝外翻组	17.73±4.78	26.11±5.34	4.27±5.82	69.00±5.80	4.46±2.63	7.62±6.32	5.55±5.01
健康对照组	23.36±6.28	30.51±4.45	10.09±1.96	73.21±6.34	2.12±1.70	9.91±5.52	8.09±5.93
Z/t 值	3.129 ^a	-2.845 ^a	-3.072 ^b	-2.173 ^a	3.404 ^a	2.842 ^a	1.440 ^a
P 值	0.003	0.007	0.002	0.036	0.002	0.007	0.158

表注: a 表示 t 检验的 t 值; b 表示非参数检验的 Z 值

表 7 | 7-12 岁膝外翻儿童及正常儿童动力学参数比较

(x̄±s)

Table 7 | Comparison of kinetic parameters of 7-12-year-old children with genu valgus and normal children

组别	右侧					
	FZ1(N)	FZ2(N)	踝关节最大功率 (W/kg·m)	膝关节最大功率 (W/kg·m)	髌关节最大功率 (W/kg·m)	膝关节内翻力矩 (N·m/kg·m)
膝外翻组	1.07±0.07	0.99±0.06	2.03±0.46	0.28±0.14	0.37±0.17	0.10±0.06
健康对照组	1.11±0.06	1.05±0.07	2.00±0.44	0.33±0.25	0.38±0.12	0.10±0.03
Z/t 值	2.071 ^b	-3.051 ^a	0.194 ^a	-0.366 ^b	-0.263 ^a	-0.049 ^a
P 值	0.045	0.004	0.847	0.714	0.794	0.961
组别	左侧					
	FZ1(N)	FZ2(N)	踝关节最大功率 (W/kg·m)	膝关节最大功率 (W/kg·m)	髌关节最大功率 (W/kg·m)	膝关节内翻力矩 (N·m/kg·m)
膝外翻组	1.06±0.08	0.99±0.06	2.04±0.54	0.26±0.15	0.30±0.11	0.07±0.06
健康对照组	1.10±0.06	1.04±0.08	1.92±0.39	0.28±0.14	0.43±0.16	0.09±0.03
Z/t 值	-2.017 ^b	-2.046 ^b	0.730 ^a	-0.994 ^b	-2.963 ^a	-1.492 ^a
P 值	0.044	0.041	0.470	0.320	0.005	0.144

表注: FZ1, FZ2 分别为承重反应期垂直方向地反力及足蹬离地面时垂直方向地反力。a 表示 t 检验的 t 值; b 表示非参数检验的 Z 值

而步宽的增加除了受常态踝距异常增加的影响, 还可能是增加步行平衡稳定性的代偿表现。SALAMON 等^[12]的研究发现膝外翻患者存在静态及动态平衡功能明显下降问题, 步宽的增加可拓宽支撑面, 能够有效改善步行时的稳定性控制能力。

运动学方面, 膝外翻儿童支撑相足外翻角度增加及胫骨向内扭转均与足内侧纵弓高度减低有关。平足是造成膝外翻的重要原因之一^[13], 足内侧纵弓塌陷, 跟骨外翻, 距骨头的支撑作用减小, 会导致胫骨向内扭转; 同时出现距下关节过度活动^[14], 造成调节和分配体质量的能力降低, 体质量负荷更多地向下肢内侧转移^[15]。3-6 岁年龄段的膝外翻儿童还表现出髌关节外旋角度增加的特点, 与 FARR 等^[16]的研究结论一致。胫骨扭转及髌关节外旋这些水平面运动异常表现作为一种异常代偿会增加步行时的能量消耗, 进一步导致步行效率减低, 使患儿出现疲劳及易跌倒等问题。在整个步态周期内, 膝外翻儿童足廓清角度及髌关节最大伸展角度减小。足廓清角度由步行过程中足纵轴与地面的夹角计算得出^[11], 最大值出现在支撑相末期、摆动相早期, 在此时相, 胫骨前部肌群的快速活动会使足及足趾背屈以完成足廓清^[17], 足廓清角度的减小提示胫骨前部肌群功能的减低。支撑相末期髌关节最大伸展角度减小会

导致足离地姿势准备不足, 肢体向前行进的推进力不足^[17], 出现 FZ2 减小, 造成步长减小, 步行效率下降。

力矩大小受地面反作用力及力臂大小影响。膝外翻儿童冠状面外翻角度异常增加, 关节中心向内侧偏移, 造成力臂减小, 进而导致膝关节内翻力矩减小, 膝关节外侧载荷异常增加^[18], 增加了膝、髌关节运动损伤的风险^[19]。3-6 岁年龄段膝外翻儿童动力学参数方面还表现为踝关节及膝关节最大功率减低。功率指关节动态力的快速爆发, 多发生在肌肉收缩运动模式转化的过程^[17]。功率的下降提示能量产生的减少, 肌肉收缩及控制能力下降。

3.2 7-12 岁年龄段膝外翻儿童步态特征分析 儿童在 7 岁左右发育为接近成人的成熟步态模式^[7], 7-12 岁年龄段膝外翻儿童在时空参数方面, 除了与 3-6 岁年龄段膝外翻儿童出现相同的步长、步速减低、步宽增加表现外, 还出现支撑相时间百分比增加。支撑相时间百分比代表单侧肢体在步态周期内的支撑时间, 百分比增加则提示步行过程中单侧肢体支撑相时间延长, 步行效率减低。

运动学参数方面, 发育为成熟步态模式的膝外翻儿童同样表现出支撑相足外翻角度增加、胫骨向内扭转以及足廓清

角度、髌关节最大伸展角度减小。这表明随着生长发育, 膝外翻儿童步行时踝关节及膝关节的异常力线排列问题持续存在。与低年龄段膝外翻儿童不同的是, 7-12 岁年龄段膝外翻儿童髌关节的异常代偿运动减少, 而踝关节的异常运动增加, 具体表现为摆动相踝关节最大跖屈角度减小, 踝关节矢状面屈伸运动幅度减小。踝关节最大跖屈角度出现在摆动前期, 即“足趾轴”阶段, 此时跖屈肌肌腱出现弹性反冲, 使踝关节跖屈, 胫骨向前推进, 最大跖屈角度的减小可能与跖屈肌无力有关。比目鱼肌及胫骨后肌的力量不足在影响踝关节跖屈角度的同时, 也是导致足内侧纵弓高度不足的重要原因, 这也造成了步行过程中足在支撑相外翻角度的异常增加^[20]。

动力学方面, 膝外翻儿童在承重反应期与足蹬离地面时垂直方向对地面的反作用力均减小, 与 GANESAN 等^[21]的研究结果一致。足蹬离地面时地反力的减低, 联合髌关节最大伸展角度不足的表现都提示膝外翻儿童在步行过程中下肢推进能力减低, 会对步行效率造成影响。承重反应期的地反力减小提示膝外翻儿童步行过程中的负重能力下降。随着生长发育过程, 儿童的肌肉力量及控制能力改善, 低年龄段膝外翻儿童出现的踝、膝关节最大功率下降的异常表现消失。

3.3 小结 膝外翻不仅仅是外观缺陷, 更会影响整体的步行功能^[22]。长期的膝关节力线排列异常会加重关节软骨及韧带的负担^[23], 增加骨关节炎的患病风险^[14]。目前膝外翻的手术治疗多针对常态踝距大于 10 cm 的重度膝外翻患儿^[24]; 对于轻、中度的儿童膝外翻多采用保守观察或矫形支具治疗^[25], 但矫形支具治疗效果尚不确切^[26]。更多处于生长发育期的膝外翻患儿, 由于家长的关注度不够而没有及早治疗。

超出正常生长发育规律范围的儿童下肢力线排列异常应引起足够重视。儿童生长发育阶段是矫正发育性力线排列异常的黄金阶段, 早期的评估及干预将极大降低青少年时期的手术风险^[27], 希望通过对膝外翻儿童步态特征的分析, 能够为儿童膝外翻的早期评估及早期干预提供思路。此次研究未对 12 岁以上年龄段以及不同性别膝外翻儿童的步态特征进行分析, 有待在以后的研究中进一步探讨。

作者贡献: 试验设计由李阳、姜淑云共同完成, 数据统计及文章撰写由李阳完成, 数据采集由李一瀛、俞艳、鲁满莹、王丹辞共同完成, 文章审校由姜淑云完成。

经费支持: 该文章接受了“上海市进一步加快中医药事业发展三年行动计划项目[ZY(2018-2020)-CCX-2004-06]、上海市卫生健康委员会卫生行业临床研究专项(20194Y0024)”的资助。所有作者声明, 经费支持没有影响文章观点和对研究数据客观结果的统计分析及报道。

利益冲突: 文章的全部作者声明, 在课题研究和文章撰写过程中不存在利益冲突。

机构伦理问题: 研究方案德实施已通过上海中医药大学附属岳阳中西医结合医院伦理委员会审查及医学研究登记备案信息系统备案, 伦理批件编号: 2019-135。

知情同意问题: 参与试验的受试者及其法定监护人为自愿参加, 均对试验过程完全知情同意, 在充分了解试验方案的前提下签署了“知情同意书”。

写作指南: 该研究遵守《观察性临床研究报告指南》(STROBE 指南)。**文章查重:** 文章出版前已经过专业反剽窃文献检测系统进行 3 次查重。

文章外审: 文章经小同行外审专家双盲外审, 同行评议认为文章符合期刊发稿宗旨。

生物统计学声明: 文章统计学方法已经上海中医药大学附属岳阳中西医结合医院生物统计学专家审核。

文章版权: 文章出版前杂志已与全体作者授权人签署了版权相关协议。**开放获取声明:** 这是一篇开放获取文章, 根据《知识共享许可协议》“署名-非商业性使用-相同方式共享 4.0”条款, 在合理引用的情况下, 允许他人以非商业性目的基于原文内容编辑、调整和扩展, 同时允许任何用户阅读、下载、拷贝、传递、打印、检索、超级链接该文献, 并为之建立索引, 用作软件的输入数据或其它任何合法用途。

4 参考文献 References

- [1] HARDGRIB N, GOTTLIEBSEN M, RAHBEK O, et al. Correlation of radiological and clinical measurement of genu valgum in children. *Danish Med J*. 2018; 65(5):A5479.
- [2] 张剑坤, 覃佳强. 重度膝外翻的外科治疗进展 [J]. *现代医药卫生*. 2014, 30(15):2287-2289.
- [3] CHENG JCY, CHAN PS, CHIANG SC, et al. Angular and Rotational Profile of the Lower Limb in 2630 Chinese Children. *J Pediatr Orthop*. 1991;11(2):154-161.
- [4] KASPIRIS A, ZAPHIROPOULOU C, VASILIAIDIS E. Range of variation of genu valgum and association with anthropometric characteristics and physical activity: comparison between children aged 3-9 years. *J Pediatr Orthop B*. 2013;22(4):296-305.
- [5] WALKER JL, HOSSEINZADEH P, WHITE H, et al. Idiopathic genu valgum and its association with obesity in children and adolescents. *J Pediatr Orthop*. 2019;39(7):347-352.
- [6] FABRY G. Clinical practice: the hip from birth to adolescence. *Eur J Pediatr*. 2010;169(2):143-148.
- [7] LIN CJ, LIN SC, HUANG W, et al. Physiological knock-knee in preschool children: prevalence, correlating factors, gait analysis, and clinical significance. *J Pediatr Orthop*. 1999;19(5):650-654.
- [8] NISSIM M, RAM-TSUR R, ZION M, et al. Effects of aquatic motor activities on early childhood cognitive and motor development. *Open J Soc Sci*. 2014; 2(12):24-39.
- [9] MCC C, PINTO CN, FDC G, et al. Prevalence of genu valgum in public elementary schools in the city of SANTOS (SP), Brazil. *Revista Paulista De Pediatria*. 2017;35(4):443-447.
- [10] 胡永波, 劳永翎, 史瑞超, 等. 计算机导航模板在儿童膝内外翻的初步应用 [J]. *中国数字医学*, 2020, 15(1):134-138.
- [11] KADABA MP, RAMAKRISHNAN HK, WOOTTEN ME. Measurement of lower extremity kinematics during level walking. *J Orthop Res*. 1990;8(3):383-392.
- [12] SALAMON J, DIECKHOFF J, JUNG C, et al. Effects of genu varum deformity on postural stability. *Int J Sports Med*. 2012;33(6):469-473.
- [13] EVANS AM. Mitigating clinician and community concerns about children's flatfeet, intoeing gait, knock knees or bow legs. *J Paediatr Child Health*. 2017;53(11):1050-1053.
- [14] UEKI Y, SAKUMA E, WADA I. Pathology and management of flexible flat foot in children. *J Orthop Sci*. 2019;24(1):9-13.
- [15] KIM EK, KIM JS. The effects of short foot exercises and arch support insoles on improvement in the medial longitudinal arch and dynamic balance of flexible flatfoot patients. *J Phys Ther Sci*. 2016;28(11):3136-3139.
- [16] FARR S, KRANZL A, PABLIK E, et al. Functional and radiographic consideration of lower limb malalignment in children and adolescents with idiopathic genu valgum. *J Orthop Res*. 2014;32(10):1362-1370.
- [17] PERRY J, BURNFIELD JM. *Gait Analysis: Normal and Pathological Function*. Slack. 2010.
- [18] HOCH MC, WEINHANDL JT. Effect of valgus knee alignment on gait biomechanics in healthy women. *J Electromyogr Kinesiol*. 2017;35:17-23.
- [19] BARRIOS JA, HEITKAMP CA, SMITH BP, et al. Three-dimensional hip and knee kinematics during walking, running, and single-limb drop landing in females with and without genu valgum. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2015;31:7-11.
- [20] OKAMURA K, KANAI S, OKI S, et al. Does the weakening of intrinsic foot muscles cause the decrease of medial longitudinal arch height? *J Phys Ther Sci*. 2017;29(6):1001-1005.
- [21] GANESAN B, FONG KNK, LUXIMON A, et al. Kinetic and kinematic analysis of gait pattern of 13 year old children with unilateral genu valgum. *Eur Rev Med Pharmacol Sci*. 2016;20(15):3168-3171.
- [22] PRETKIEWICZ-ABACJEW E. Knock knee and the gait of six-year-old children. *J Sports Med Phys Fitness*. 2003;43(2):156-164.
- [23] STEVENS PM, MACWILLIAMS B, MOHR RA. Gait analysis of stapling for genu valgum. *J Pediatr Orthop*. 2004;24(1):70-74.
- [24] 施诚仁, 金先庆, 李仲智. 小儿外科学 [M]. 4 版. 北京: 人民卫生出版社, 2000:475-477.
- [25] 杨景. 中医推拿、蜡疗配合矫形器治疗 X 型腿、O 型腿 100 例疗效观察 [J]. *临床医药文献电子杂志*, 2018, 5(9):54-56.
- [26] HALL M, DIAMOND LE, LENTON GK, et al. Immediate effects of valgus knee bracing on tibiofemoral contact forces and knee muscle forces. *Gait Posture*. 2019;68:55-62.
- [27] HAN K, BAE K, LEVINE N, et al. Biomechanical effect of foot orthoses on rearfoot motions and joint moment parameters in patients with flexible flatfoot. *Med Sci Monit*. 2019;25:5920-5928.