

# 轻度下肢不等长儿童步态参数对称性特征分析

鲁潇莹, 李阳, 李一瀛, 俞艳, 姜淑云

(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 通过分析轻度下肢不等长(leg length discrepancy, LLD)儿童步态动力学、运动学及时空参数对称性特征,探讨 LLD 对儿童生长发育可能存在的影响或风险,为早期评估及干预提供理论依据。**方法** 使用改良的传统三维模型,在每名受试者体表放置 31 个荧光标记点,采集步态参数并计算对称指数(symmetry index, SI)。记站立位同侧髂前上棘-外膝-外踝荧光标记点的空间距离为下肢长度,纳入 59 例下肢长度差值  $0.5\text{ cm} < l \leq 2.5\text{ cm}$  儿童为轻度 LLD 组,42 例下肢长度差值  $l < 0.5\text{ cm}$  儿童为正常对照组,再按年龄分为 1~6 周岁组与 7~14 周岁组,分别进行统计分析,计算组间步态参数的 SI 差异。**结果** 1~6 周岁轻度 LLD 儿童与正常儿童相比,承重反应期、足蹬离地面垂直方向地面反作用力以及膝关节最大功率的 SI 存在显著差异;7~14 周岁轻度 LLD 儿童与正常儿童相比,骨盆运动范围的 SI 存在显著差异。**结论** 低年龄段儿童不等长下肢的肌肉力量、控制能力不平衡,随着步态模式发育成熟,不平衡的表现出现在骨盆运动层面,提示临床上应予以及时关注或早期评估。

**关键词:** 下肢不等长; 步态分析; 儿童; 对称性

中图分类号: R 318.01 文献标志码: A

DOI: 10.16156/j.1004-7220.2024.06.023

## Characterization Analysis of the Symmetry of Gait Parameters in Children with Mild Leg Length Discrepancy

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

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

**Abstract: Objective** To analyze the symmetry characteristics of gait dynamics, kinematics, and spatial and temporal parameters in children with mild leg length discrepancy (LLD) and evaluate the likely influence or risk of LLD on children's growth to provide a theoretical basis for early assessment and intervention. **Methods** Using a modified conventional three-dimensional model, 31 markers were placed on the body surface of each subject to collect the gait parameters and calculate the symmetry index (SI). The spatial distance of the ipsilateral markers between the anterior superior iliac spine-external knee-external ankle in the standing position was recorded as the leg length. Then, 59 children with leg length difference in the range of  $0.5\text{ cm} < l \leq 2.5\text{ cm}$  were included in the mild LLD group, and 42 children with leg length difference in the range of  $l < 0.5\text{ cm}$  were included in the control group. According to the children's age, the mild LLD and control groups were divided further into 1-6 year old and 7-14 year old groups. Statistical analyses were conducted separately, and the SI difference in gait parameters was calculated between the groups. **Results** The SI of the vertical ground reaction force and maximum power of the knee joint were significantly different between children with mild LLD and healthy children aged 1-6 years. The SI of pelvic motion was significantly different between children with mild LLD and healthy children aged 7-14 years.

**Conclusions** The younger age group showed an imbalance in muscle strength and control in children with LLD. Moreover, the imbalance during pelvic motion appeared as the gait pattern matured. This indicates that timely attention or early evaluation should be provided in the clinic.

**Key words:** leg length discrepancy (LLD); gait analysis; children; symmetry

下肢不等长 (leg length discrepancy, LLD) 是由先天或后天因素造成的两侧下肢长度不一致的特征表现, 40%~90% 的普通人群具有不同程度的肢体长度差异<sup>[1-2]</sup>。不等长下肢会在膝、髋关节及腰椎等运动节段造成不均匀负荷, 可能导致骨盆倾斜、脊柱侧凸、骨关节炎等继发或伴发症状<sup>[3-4]</sup>。但对于 LLD, 尤其是仅表现出轻度的下肢长度差异的患者, 在其整体步行功能方面是否存在影响, 以及是否需要进行治疗, 目前仍存在争议<sup>[5]</sup>。

目前, LLD 病因仍不明确。结构性的不等长可能与各种原因导致的骺板生长速度变化有关; 功能性的不等长可能与软组织短缩、关节或肌肉挛缩等有关<sup>[6]</sup>。有研究表明, 肢体长度不等会改变参与代偿的各肌肉力量, 引起身体重心异常偏移, 最终影响整个步态模式, 导致更高的代谢需求和更早的关节病变可能<sup>[7]</sup>。多项研究通过鞋或鞋垫模拟腿长差异, 对 LLD 儿童及成人的步态参数进行统计分析, 发现在运动学<sup>[8]</sup>、动力学<sup>[9]</sup>及时空参数<sup>[10]</sup>等方面均存在不同程度的不对称特征。因此, 对于处在生长发育旺盛时期的儿童, 发现可能存在的问题并提供早期干预显得尤为重要。但目前针对 LLD 的研究基本集中在采用鞋垫对下肢长度差异进行模拟, 对于自然发育形成的 LLD, 尤其是尚未发展出明显步态偏差的轻度 LLD, 是否仍然存在一定程度的不对称特征表现, 以及是否具有进一步恶化的风险, 仍未有针对性的研究。本文对轻度 LLD 儿童的步态对称性进行系统分析, 总结其特征表现, 为 LLD 儿童的早期评估及干预方向提供理论支持。

## 1 材料和方法

### 1.1 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 LLD 儿童 59 例, 以及同期招募的正常儿童 42 例。

研究表明, 显著步态偏差出现的临界点在下肢长度差异 2.5 cm 左右, 下肢长度差异在 1 cm 左右

的成年人仍可能存在不同程度的步态偏差<sup>[11-12]</sup>。综合考虑儿童的特殊性, 本文将下肢长度差异  $0.5\text{ cm} < l \leq 2.5\text{ cm}$  的儿童纳入轻度 LLD 组。此外, 根据儿童步态模式发育规律, 7 周岁左右儿童步态发育接近成熟<sup>[13]</sup>, 将入组标准分为 1~6 周岁和 7~14 周岁年龄段, 具体纳入标准如下: ① 年龄 1~6 周岁, 性别不限; ② 年龄 7~14 周岁, 性别不限; ③ 站立位双下肢长度差异 0.5~2.5 cm; ④ 无明显认知功能障碍, 能够配合测试。满足①③④或②③④者纳入 LLD 儿童组。

LLD 儿童排除标准: ① 由手术或其他先天性疾病、外伤等引起的 LLD, 如髋关节置换术后、偏瘫、骨折等; 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 LLD; ④ 无法配合完成步态分析评估者。

正常对照组纳入标准: ① 年龄 1~6 周岁, 性别不限; ② 年龄 7~14 周岁, 性别不限; ③ 站立位下肢长度差异不超过 0.5 cm; ④ 无认知功能障碍, 能够配合测试。满足①③④或②③④者纳入研究。

正常对照组排除标准: ① 存在明显的脊柱侧凸、骨盆倾斜或下肢力线排列不对称; 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。

### 1.2 方法

**1.2.1 荧光标记点放置** 三维模型使用改良的传统模型, 在每名受试者体表放置 31 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。对比 LLD 患者 X 线摄片测量下肢长度差异, 以及运动分析系统荧光标记点位置计算下肢长度差异的结果, 发现两者不存在明显差异。运动分析系统能够有效反映解剖学腿长差异<sup>[14-15]</sup>, 因此, 站立位下肢长度采用同侧髌前上棘-外膝-外踝的荧光标记点之间的空间距离之和计算得出。

**1.2.2 数据采集与分析** 步态数据采用三维步态分析系统与平面测力台采集关节运动学、动力学参

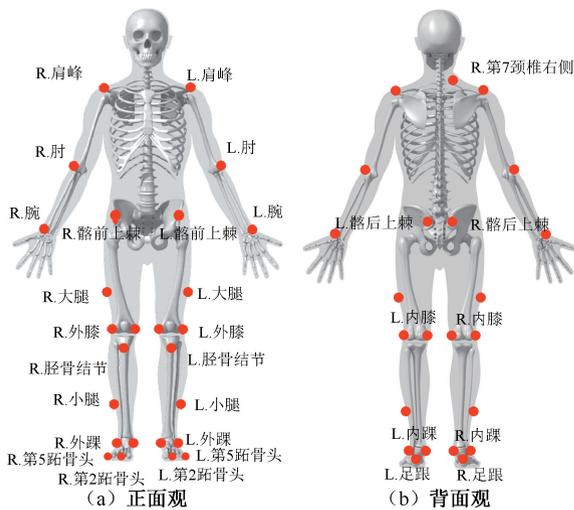


图1 荧光标记点放置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of marker placement (a) Front view, (b) Back view

数,经计算获取时空参数数据。使用的设备包括19个红外线摄像头(Motion Analysis公司,美国)及4个平面测力台(Bertec公司,美国),红外线镜头采样频率为100 Hz,平面测力台采样频率为1 kHz。受试者均采用自然步速步行,每人记录单侧不少于15个步态周期及5个有效力学数据。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。

### 1.3 主要观察指标

**1.3.1 对称指数计算** 对称指数(symmetry index, SI)用于量化左右两侧对称性差异。SI=0%,表示双侧完全对称;SI越大,表示双侧对称性越低。本

文对所有步态参数进行SI计算:

$$SI = \frac{|X_{right} - X_{left}|}{0.5 \times (X_{right} + X_{left})} \times 100\%$$

**1.3.2 步态参数** 运动学参数包括踝关节屈伸运动范围、膝关节屈伸运动范围、髋关节屈伸运动范围、骨盆高度范围、肩关节高度范围;动力学参数包括承重反应期垂直方向地面反作用力( $F_{z1}$ ),足蹬离地面时垂直方向地面反作用力( $F_{z2}$ ),髋、膝、踝关节最大功率;时空参数包括步长、步速、步频、支撑相时间比。

### 1.4 统计学分析

研究数据使用SPSS 26.0软件进行统计分析。数据服从正态分布,使用(均数±标准差)表达;不服从正态分布,用中位数 $M(P_{25}, P_{75})$ 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 $P < 0.05$ 表示差异具有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 受试者资料分析

受试者共101例,双LLD组59例,包括1~6周岁29例,7~14周岁30例;正常儿童对照组42例,包括1~6周岁22例,7~14周岁20例。全部纳入统计分析。

数据采集前对受试者的基本资料进行收集记录。结果表明,对照组与LLD组受试者性别及年龄差异无统计学意义( $P > 0.05$ ),基线资料具有可比性(见表1)。

表1 受试者一般资料比较

Tab. 1 Comparison of basic information of the subjects

组别	$n$	性别		年龄/岁	下肢长度 差值/cm	
		男	女			
对照组	1~6 周岁	22	8	14	3.86±0.27	0.18±0.02
	7~14 周岁	20	10	10	9.20±0.31	0.15±0.03
LLD 组	1~6 周岁	29	10	19	4.24±0.25	0.96±0.05
	7~14 周岁	30	17	13	9.40±0.38	1.10±0.09
$\chi^2/t$			3.810 <sup>a</sup>		-1.009 <sup>b,II</sup> , -0.374 <sup>b,II</sup>	—
$P$			0.283		0.318 <sup>I</sup> , 0.710 <sup>II</sup>	—

注:<sup>a</sup>表示卡方检验的 $\chi^2$ 值,<sup>b</sup>表示 $t$ 检验的 $t$ 值;<sup>I</sup>表示1~6周岁两组间比较值,<sup>II</sup>表示7~14岁两组间比较值。

## 2.2 两组 1~6 周岁受试者运动学参数 SI 比较分析

与对照组相比,1~6 岁年龄段的 LLD 儿童双侧运动学参数 SI 差异无统计学意义( $P>0.05$ ),见表 2。

表 2 1~6 周岁 LLD 儿童与正常儿童运动学参数 SI 比较

Tab. 2 SI comparison of kinematic parameter for children with LLD and normal children aged 1-6 % ,  $M(P_{25}, P_{75})$

参数	对照组	LLD 组	Z	P
踝关节	9.08	10.94	-0.818	0.413
运动范围	(3.66,16.77)	(7.32,17.42)		
膝关节	3.77	3.91	-0.219	0.827
运动范围	(1.56,6.44)	(2.32,6.20)		
髋关节	5.35	5.58	-1.465	0.143
运动范围	(1.57,7.65)	(2.93,9.53)		
骨盆	3.59	3.80	-5.04	0.614
高度范围	(1.53,6.29)	(2.13,7.01)		
肩关节	4.94	2.87	-1.284	0.199
高度范围	(3.00,12.89)	(1.01,12.64)		

## 2.3 两组 1~6 周岁受试者动力学参数 SI 比较分析

与对照组相比,1~6 岁年龄段 LLD 儿童双侧  $F_{Z1}$ 、 $F_{Z2}$  及膝关节最大功率 SI 明显较大,差异有统计学意义( $P<0.05$ ),即 LLD 组  $F_{Z1}$ 、 $F_{Z2}$  及膝关节最大功率对称性明显减低,踝关节、髋关节最大功率的 SI 差异无统计学意义( $P>0.05$ ),见表 3。

表 3 1~6 周岁 LLD 儿童与正常儿童动力学参数 SI 比较

Tab. 3 SI comparison of kinetic parameter for children with LLD and normal children aged 1-6 % ,  $M(P_{25}, P_{75})$

参数	对照组	LLD 组	Z/t	P
$F_{Z1}$	2.83	5.65	-2.397 <sup>b</sup>	0.017
	(1.95,6.00)	(2.91,9.35)		
$F_{Z2}$	1.10	2.66	-2.054 <sup>b</sup>	0.04
	(0.64,3.35)	(1.84,4.37)		
踝关节	11.42	9.93	-0.780 <sup>b</sup>	0.436
最大功率	(6.12,24.05)	(4.65,21.17)		
膝关节	30.20	44.30	0.218 <sup>a</sup>	0.02
最大功率	(18.62,72.06)	(22.40,70.63)		
髋关节	21.00	19.59	-0.818 <sup>b</sup>	0.413
最大功率	(8.77,48.76)	(6.83,32.60)		

注: $F_{Z1}$ 、 $F_{Z2}$  分别为承重反应期垂直方向地面反作用力及足蹬离地面时垂直方向地面反作用力;<sup>a</sup> 表示  $t$  检验的  $t$  值,<sup>b</sup> 表示非参数检验的  $Z$  值。

## 2.4 两组 1~6 周岁受试者时空参数 SI 比较分析

与对照组相比,1~6 岁年龄段 LLD 儿童双侧时

空参数 SI 差异无统计学意义( $P>0.05$ ),见表 4。

表 4 1~6 周岁 LLD 儿童与正常儿童时空参数 SI 比较

Tab. 4 SI comparison of spatiotemporal parameters for children with LLD and normal children aged 1-6 % ,  $M(P_{25}, P_{75})$

参数	对照组	LLD 组	Z	P
步长	2.5	3.33	-0.865	0.387
	(1.37,3.94)	(1.50,5.26)		
步速	1.29	1.42	-0.456	0.648
	(0.73,2.33)	(0.75,2.49)		
步频	2.41	2.56	-0.514	0.608
	(1.34,3.15)	(0.14,5.14)		
支撑相	1.28	3.8	-0.181	0.857
时间	(0.43,2.41)	(2.13,7.01)		

## 2.5 两组 7~14 周岁受试者运动学参数 SI 比较分析

与对照组相比,7~14 周岁年龄段 LLD 儿童在整个步态周期内的骨盆运动高度范围出现了不对称表现,SI 差异有统计学意义( $P<0.05$ ),踝、膝、髋关节运动范围及肩关节高度范围的 SI 差异没有统计学意义( $P>0.05$ ),见表 5。

表 5 7~14 周岁 LLD 儿童与正常儿童运动学参数 SI 比较

Tab. 5 SI comparison of kinematic parameters for children with LLD and normal children aged 7-14 % ,  $M(P_{25}, P_{75})$

参数	对照组	LLD 组	Z	P
踝关节	11.59	7.05	-1.459	0.145
运动范围	(4.18,21.65)	(3.70,14.43)		
膝关节	5.50	2.65	-1.097	0.273
运动范围	(1.96,10.57)	(1.66,6.71)		
髋关节	6.76	4.44	-0.128	0.898
运动范围	(2.45,8.68)	(2.74,8.30)		
骨盆	1.66	3.17	-2.002	0.045
高度范围	(1.20,2.54)	(1.24,6.15)		
肩关节	3.92	4.45	-0.341	0.733
高度范围	(1.56,6.66)	(2.84,8.55)		

## 2.6 两组 7~14 周岁受试者动力学参数 SI 比较分析

与对照组相比,7~14 周岁年龄段 LLD 儿童动力学参数 SI 差异无统计学意义( $P>0.05$ ),见表 6。

## 2.7 两组 7~14 周岁受试者时空参数 SI 比较分析

与对照组相比,7~14 周岁年龄段 LLD 儿童双侧时空参数差异无统计学意义( $P>0.05$ ),见表 7。

## 2.8 双侧 LLD 儿童短缩侧与对侧步态参数比较分析

根据以上统计结果,对于 SI 表现出统计学差异

表 6 7~14 周岁 LLD 儿童与正常儿童动力学参数 SI 比较

Tab. 6 SI comparison of kinetic parameters for children with LLD and normal children aged 7-14

参数	对照组	LLD 组	%, $M(P_{25}, P_{75})$	
			Z	P
$F_{Z1}$	4.40 (2.93, 5.89)	2.81 (0.96, 3.74)	-1.714	0.086
$F_{Z2}$	2.39 (0.77, 2.96)	1.84 (1.14, 4.55)	-0.373	0.709
踝关节	14.65	9.89	-0.319	0.749
最大功率	(8.22, 18.32)	(5.70, 22.97)	-0.298	0.766
膝关节	32.96	37.71	-1.001	0.317
最大功率	(11.10, 69.64)	(10.38, 79.79)		
髋关节	15.42	18.02		
最大功率	(8.87, 40.88)	(10.79, 35.57)		

注:  $F_{Z1}$ 、 $F_{Z2}$  分别为承重反应期垂直方向地面反作用力及足蹬离地面时垂直方向地面反作用力。

的步态参数进行再次深入分析, 对比短缩侧与对侧步态参数差异。纳入分析的步态参数包括 1~

表 8 双侧 LLD 儿童短缩侧与对侧步态参数比较

Tab. 8 Comparison of gait parameters of the shortened and lateral leg side in children with LLD

年龄	参数	短缩侧	对侧	Z/t	P
1~6	$F_{Z1}/(N \cdot kg^{-1})$	1.11	1.12	-0.016 <sup>b</sup>	0.987
		(1.06, 1.08)	(1.05, 1.16)		
	$F_{Z2}/(N \cdot kg^{-1})$	1.00	1.01	-0.410 <sup>b</sup>	0.682
7~14	$W_{max}/[W \cdot (kg \cdot m)^{-1}]$	0.11	0.12	-0.131 <sup>b</sup>	0.896
		(0.06, 0.22)	(0.07, 0.18)		
	骨盆高度 范围/(°)	9.69 (8.51, 12.52)	9.88 (8.31, 12.46)	-0.058 <sup>a</sup>	0.74

注:  $F_{Z1}$ 、 $F_{Z2}$  分别为承重反应期垂直方向地面反作用力及足蹬离地面时垂直方向地面反作用力;  $W_{max}$  为膝关节最大功率; <sup>a</sup> 表示  $t$  检验的  $t$  值, <sup>b</sup> 表示非参数检验的  $Z$  值

### 3 讨论

#### 3.1 1~6 周岁年龄段 LLD 儿童步态对称性特征分析

与正常儿童相比, 1~6 周岁年龄段 LLD 儿童在运动学参数与时空参数方面并未表现出明显的不对称特征。该结果提示, 轻度的双侧 LLD 在步态模式尚未发育成熟的年龄段, 并未对步行效率、平衡稳定性以及躯干、骨盆和下肢关节的运动协调性产生明显的影响。这个阶段, 儿童的步态模式仍在不断发育成熟的过程中, 参与完成步行功能的肌肉、关节会不断进行代偿以适应不等长步态<sup>[16]</sup>, 尚未形成稳定的运动模式。虽然 LLD 组儿童 SI 在数值上略大于正常儿童, 但差异没有统计学意义。

表 7 7~14 周岁 LLD 儿童与正常儿童时空参数 SI 比较

Tab. 7 SI comparison of spatiotemporal parameters for children with LLD and normal children aged 7-14

参数	对照组	LLD 组	%, $M(P_{25}, P_{75})$	
			Z	P
步长	3.40 (1.42, 6.31)	2.95 (0.82, 4.24)	-1.32	0.187
步速	0.69 (0.30, 1.10)	0.71 (0.41, 1.51)	-0.873	0.383
步频	1.45 (0.66, 2.01)	0.17 (0.79, 3.81)	-1.81	0.07
支撑相 时间	0.97 (0.39, 1.31)	1.42 (0.69, 2.10)	-1.459	0.145

6 周岁年龄段儿童双侧垂直方向地面反作用力  $F_{Z1}$ 、 $F_{Z2}$  和膝关节最大功率, 以及 7~14 周岁儿童双侧骨盆高度范围。结果显示, 双侧 LLD 儿童短缩侧与对侧下肢步态参数差异没有统计学意义 (见表 8)。

在动力学方面, LLD 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出现明显的不对称特征表现。在 Mohamed-Saaid 等<sup>[9]</sup> 针对儿童和成年人一项研究中, 同样发现在足蹬离地面时, 不等长下肢的垂直地反力存在不对称差异。垂直方向地面反作用力是最能肢体负载的步态参数之一<sup>[9]</sup>。第 1 个峰值  $F_{Z1}$  对应身体质量快速下落, 产生额外的加速度, 肌肉需要提供稳定关节的力量, 主要包括维持身体重量转移时出现的膝关节屈曲和踝关节短暂跖屈。在承重反应期, 膝关节屈曲提供了最大震荡吸收机制, 因此, 对于大腿前、后肌群, 尤其是股四头肌稳定关节的肌力需求最高, LLD 儿童  $F_{Z1}$  不对称可能主要来源于双侧大腿前、后肌群肌力和肌肉控制能力的不对称。而第 2 个峰值

$F_{Z2}$  源自踝关节发力蹬离地面,儿童双侧  $F_{Z2}$  不对称主要反映了双侧踝跖屈肌群肌肉力量、控制能力不对称,不等长下肢的向前推进力不平衡。但对比短缩侧与长侧下肢的地面反作用力差异,并不能证明短缩侧下肢的肌肉力量或控制能力小于长侧下肢。此外,LLD 儿童膝关节做功最大功率也存在不对称的特征表现。关节最大功率反映了关节运动过程中单位时间肌肉的最大做功量<sup>[17]</sup>,表明不等长下肢在膝关节层面的动态力爆发程度不同,双侧膝关节周围肌群收缩运动模式存在不对称的表现。同样,对比短缩侧与长侧下肢的步态参数差异,尚不能证明下肢长度与肌肉力量之间存在关联。将动力学与运动学表现相联系发现,LLD 儿童在步行过程中,双侧的肌肉虽然基本维持了关节活动范围的对称,但其内在的收缩运动模式存在不平衡,尤其表现在膝关节周围肌群的肌力及运动控制能力。在针对短缩侧与长侧下肢的步态参数分析中发现,长侧下肢的肌肉力量与控制能力并不一定优于短缩侧,推测原因与儿童生长发育过程中的生活或运动习惯、惯用侧肢体等有关,仍有待进一步探索研究。

### 3.2 7~14 周岁年龄段 LLD 儿童步态对称性特征分析

儿童发育至接近成人的成熟步态模式时,在运动学参数方面,骨盆高度范围出现了不对称的特征表现,这与 Per 等<sup>[18]</sup>的一项研究存在一致性。本文认为,在整个步态周期中,LLD 导致双侧髋关节负荷不平衡,骨盆上、下运动角度不对称,核心及髋周肌群对骨盆运动的控制能力失调,即出现了一定程度的骨盆倾斜。进一步对比短缩侧与长侧骨盆高度范围参数,发现并不存在明显的差异,表明短缩侧下肢并不一定会导致骨盆高度范围小于长侧下肢,推测原因仍与双侧髋周或核心肌肉力量及控制能力的差异有关。例如,当短缩侧下肢支撑,而长侧下肢的髋关节外展肌群力量较弱时,可能导致长侧下肢骨盆降低,骨盆高度范围小于短缩侧下肢。在 7~14 周岁年龄段,不对称特征仅表现在骨盆层面,可能由于躯体或脊柱的代偿<sup>[19]</sup>,不对称特征尚未出现在肩关节层面。

动力学方面,在低年龄段存在的垂直方向地面反作用力及膝关节功率的不对称异常表现均消失,可以认为,儿童随着步态模式的成熟,在双侧下肢

不断代偿、发育的过程中,劣势侧的肌肉力量和控制能力增强,轻微不对称的异常表现可能会随之消失。

时空参数方面,与低年龄段相同,并未出现不对称特征表现,与 Akodu 等<sup>[20]</sup>针对 14 岁以上青少年及成年人的研究结果一致。轻度的双侧 LLD 对儿童的步行效率对称性同样不会造成明显的影响。

## 4 结论

轻度的双侧 LLD 对儿童的步行效率不会造成明显的影响,但在儿童步态模式尚未发育成熟的阶段,主要表现为大腿前、后肌群及踝跖屈肌群肌力与控制能力不对称。随着儿童年龄的增长,肌肉为不等长下肢做出的代偿性收缩、舒张模式逐渐固定,进而在骨盆层面反映出不对称的表现。但短缩侧下肢的肌肉力量与控制能力并不一定存在劣势,仍有待进一步深入研究。虽然关节运动和肌肉控制能力的不对称会随着年龄增长而部分消失,但随之新增的骨盆不对称异常表现仍然是值得关注的问题,一定程度上说明在核心、髋周,尤其是大腿前、后肌群仍存在双侧不对称差异。尤其是当儿童进入青少年阶段,LLD 导致骨盆运动的不对称,可能造成骨盆与躯干肌肉的不对称激活,进一步导致脊柱的旋转或弯曲,甚至继发脊柱侧凸等疾病<sup>[21-22]</sup>。

在儿童生长发育的黄金阶段,早期的评估和干预十分重要。通过对轻度双侧 LLD 儿童的步态特征分析发现,不等长下肢存在引起的双侧不对称的可能性,并且随着生长发育,可能反映在肢体的不同节段,在临床上需要给予及时关注,从而降低继发骨盆倾斜、脊柱侧凸、骨关节炎等疾病的风险。

**利益冲突声明:**无。

**作者贡献声明:**鲁潇莹负责试验设计、数据采集、数据统计及论文撰写;李阳、李一瀛、俞艳负责数据采集及分析;姜淑云负责试验设计及文章审校。

### 参考文献:

- [1] BUTKE G. Leg length discrepancy [J]. Gait Posture, 2002(15): 195-206.
- [2] TERTIANTO P, BERIANTO A, DIAN MS. Leg length

- discrepancy [J]. *Indo J Phys Med Rehabil*, 2022, 11(1): 1-12.
- [ 3 ] KELVIN JM, MICHAEL FA. Leg length discrepancy and osteoarthritis in the knee, hip and lumbar spine [J]. *J Can Chiropr Assoc*, 2015, 59(3): 226-237.
- [ 4 ] JAN WR, BARBARA D, KRYSYAN Z. Functional scoliosis caused by leg length discrepancy [J]. *Arch Med Sci*, 2010, 6(3): 393-398.
- [ 5 ] GORDON JE, DAVIS LE. Leg length discrepancy: The natural history (and what do we really know) [J]. *J Pediatr Orthop*, 2019, 39(6): S10-S13.
- [ 6 ] APPLEBAUM A, NESSIM A, CHO W. Overview and spinal implications of leg length discrepancy: Narrative review [J]. *Clin Orthop Surg*, 2021, 13(2): 127-134.
- [ 7 ] JACOB W, ALEXIS S. Assessment of pediatric limb length inequality [J]. *Clin Podiatr Med Surg*, 2022(39): 113-127.
- [ 8 ] RESENDE RA, KIRKWOOD RN, DELUZIO KJ, *et al.* Biomechanical strategies implemented to compensate for mild leg length discrepancy during gait [J]. *Gait Posture*, 2016(46): 147-153.
- [ 9 ] MOHAMED-SAAID F, SULAINAN AR, MUNAJAT I, *et al.* The effects of different degrees of leg length discrepancy on vertical ground reaction force in children and adults: Treatment implications [J]. *Malays Orthop J*, 2023, 17(3): 66-72.
- [ 10 ] KORONTZI M, KAFETZAKIS I, MANDALIDIS D. Effects of artificially induced leg length discrepancy on treadmill-based walking and running symmetry in healthy college students: A lab-based experimental study [J]. *Sensors*, 2023, 23(24): 9695.
- [ 11 ] AZIZAN NA, BASARUDDIN KS, SALLEH AF, *et al.* Leg length discrepancy: Dynamic balance response during gait [J/OL]. *J Healthc Eng*, 2018, doi: 10.1155/2018/7815451.
- [ 12 ] BURKE G, CHRISTINE M, ROBERT R, *et al.* Effects of limb-length discrepancy on gait economy and lower-extremity muscle activity in older adults [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2001, 83A(6): 907-915.
- [ 13 ] PERRY J, BURNFIELD JM. *Gait analysis: Normal and pathological function* [M]. 2<sup>nd</sup> ed. New Jersey: Slack incorporated, 2010.
- [ 14 ] SAM K. Dynamic leg length measurement is a valid method for detecting anatomic leg length discrepancy [J]. *Technol Health Care*, 2021, 29(1): 175-185.
- [ 15 ] SANJEEV S, CAIXIA Z, JOHN JM, *et al.* Computed radiographic measurement of limb-length discrepancy [J]. *J Bone Joint Surg*, 2006, 88(10): 2243-2251.
- [ 16 ] 宋亮, 邢阳辉, 康婷, 等. 下肢不等长对步态影响的实验分析 [J]. *医用生物力学*, 2016, 31(6): 501-505.
- SONG L, XING YH, KANG T, *et al.* Effects of leg length discrepancy on gait: An experimental study [J]. *J Med Biomech*, 2016, 31(6): 501-505.
- [ 17 ] 成鹏, 毕霞, 杨红. 膝关节等速测试峰力矩与总功及平均功率的相关分析 [J]. *中国康复*, 2000, 15(2): 73-74.
- [ 18 ] PER W, ANDERS H, EVA B. Hip joint load in relation to leg length discrepancy [J]. *Med Devices*, 2008(1): 13-18.
- [ 19 ] ISSEI M, MIZUHO O, MAKOTO T. Effect of leg length discrepancy on dynamic gait stability [J]. *Prog Rehabil Med*, 2023(8): 20230013.
- [ 20 ] AKOUDU A, AKINDELE OA. Limb length discrepancy and gait parameters of amateur football players in Lagos State, Nigeria [J]. *S Afr J Sports Med*, 2020, 32(1): v32i1a8029.
- [ 21 ] 席凡辉, 薛旭红, 赵胜, 等. 双下肢不等长及其与脊柱侧凸关系的研究进展 [J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2024, 34(2): 201-205.
- [ 22 ] KIM HS, HA Y, LIM J, *et al.* The effect of leg length discrepancy on paraspinal muscles activation using surface electromyography [J]. *Am J Phys Med Rehabil*, 2024, 103(3): 208-214.