

文章编号:1004-7220(2018)05-0459-06

痉挛型脑瘫儿童步态运动学特征

王雪森^{1,2}, 闫松华^{1,2}, 郑华³, 付晓虎³, 孔繁闰¹, 王启宁⁴, 张宽^{1,2}

(1. 首都医科大学 生物医学工程学院, 北京 100069; 2. 首都医科大学 临床生物力学应用基础研究北京市重点实验室, 北京 100069; 3. 首都医科大学附属北京儿童医院 康复科, 北京 100045; 4. 北京大学 工学院, 北京 100871)

摘要:目的 基于步态分析方法研究痉挛型脑瘫儿童行走的运动学特征。方法 应用便携式步态分析仪对16例痉挛型脑瘫儿童和16例健康儿童平地常速来回行走的步态进行测试,比较痉挛型脑瘫儿童患侧与健侧、痉挛型脑瘫儿童与健康儿童的步态差异。结果 与健侧相比,痉挛型脑瘫儿童患侧单步时间、摆动时间和跖骨离地期显著长于健侧($P < 0.05$),患侧步频、步速、支撑相末期显著低于健侧($P < 0.05$)。痉挛型脑瘫儿童患侧步态周期时间、单步时间、站立时间、摆动时间、站立相所占百分比、支撑相中期、摆动前期和跖骨离地期相比于正常儿童均显著增加($P < 0.05$)。痉挛型脑瘫儿童跨步长、步速、步频、支撑相末期相比于正常儿童均显著降低($P < 0.05$),拔腿强度也降低($P = 0.05$)。结论 痉挛型脑瘫儿童行走时稳定性降低,其患侧单步时间、摆动时间、跖骨离地期和拔腿强度或许可以作为敏感指标应用于临床评估,指导脑瘫儿童的康复治疗。

关键词:痉挛型脑瘫儿童; 便携式步态分析仪; 步态; 运动学特征

中图分类号: R 318.01 文献标志码: A

DOI: 10.16156/j.1004-7220.2018.05.013

Kinematic Characteristics of Gait for Children with Spastic Cerebral Palsy

WANG Xuesen^{1,2}, YAN Songhua^{1,2}, ZHENG Hua³, FU Xiaohu³, KONG Fanrun¹,
WANG Qining⁴, ZHANG Kuan^{1,2}

(1. School of Biomedical Engineering, Capital Medical University, Beijing 100069, China; 2. Beijing Key Laboratory of Fundamental Research on Biomechanics in Clinical Application, Capital Medical University, Beijing 100069, China; 3. Rehabilitation Department, Beijing Children's Hospital affiliated to Capital Medical University, Beijing 100045, China; 4. College of Engineering, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: Objective To analyze kinematic characteristics of children with spastic cerebral palsy during walking based on the method of gait analysis. **Methods** The gait of 14 children with spastic cerebral palsy and 16 healthy children, who were required to walk back and forth on level ground at normal speed, was tested using portable gait analyzer. The gait differences between diseased side and healthy side of lower limbs for children with spastic cerebral palsy, as well as the gait differences between children with spastic cerebral palsy children and healthy children were compared. **Results** For children with spastic cerebral palsy, single step time, swing time and toe-off time of diseased side were significantly longer than those of healthy side ($P < 0.05$), while step frequency, velocity and terminal stance were significantly shorter than those of healthy side ($P < 0.05$). Compared with healthy children, gait cycle time, single step time, stance time, swing time, percentage of stance phase, mid

收稿日期:2017-10-16; 修回日期:2017-12-22

基金项目:北京市自然科学基金项目(7152018),北京市科委重大项目(Z151100003715001),教育部博士点基金项目(20121107110018)。

通信作者:闫松华,副教授,E-mail: yansh74@ccmu.edu.cn

stance phase, pre-swing stage and toe-off time for diseased side of children with spastic cerebral palsy were significantly longer ($P < 0.05$). Stride, velocity, step frequency and terminal stance of the children with spastic cerebral palsy were significantly lower than those of healthy children ($P < 0.05$). Pulling acceleration for children with spastic cerebral palsy also decreased compared with healthy children ($P = 0.05$). **Conclusions** The stability of children with spastic cerebral palsy decreased during walking, and their single step time, swing time, toe-off time and pulling acceleration might be considered as the sensitive indicators.

Key words: children with spastic cerebral palsy; portable gait analyzer; gait; kinematic characteristics

脑性瘫痪简称脑瘫,是指出生前至婴儿期内各种原因引起的非进行性脑损伤导致的中枢性运动障碍及姿势异常^[1],主要障碍有肌肉痉挛、肌无力和选择性运动控制丧失以及肌肉挛缩和骨畸形等继发性缺陷^[2]。脑瘫是引起儿童残疾的主要疾患之一,严重影响儿童的身心健康及生活质量^[3,4]。

痉挛型脑瘫是脑瘫中最常见的类型,占有脑瘫儿童的60%~70%。该类型儿童主要因不同程度的肌张力增高及原始反射持续存在,阻碍有效运动的发生^[4]。痉挛型脑瘫儿童因其上位神经元损伤部位的不同致使下肢骨骼结构以及步态的异常,从而严重损害儿童的行走能力,限制儿童的日常活动和生活独立性^[5-6]。因此,了解痉挛型脑瘫儿童步态特征可以为临床痉挛型脑瘫儿童步行能力的评价与康复治疗提供一些量化、客观的数据参考,对于临床诊断、治疗和康复评估具有重要的意义。

脑瘫儿童临床功能评定多采用量表评定的方法。这类方法简便易行,但由于操作过程主观性较强,不同的医师在评价过程中得到的结果不尽相同。这在一定程度上可能会影响患者治疗的时机和疗效的评价。而针对脑瘫儿童运动的协调性,国内外学者利用多种方法进行相关研究,多数方法是基于时间序列数据进行分析,例如:神经感觉运动发育评价表、婴儿运动表现测试评价表、全身运动质量评估量表等。这类分析方法较为精确,但相关数据却在临床评估过程中很难获得^[7-14]。

步态分析旨在通过运动生物力学手段,揭示步态异常的关键环节和影响因素;从运动学(时空数据)、动力学、肌肉活动等方面量化受试者的行走能力,或者监测其运动功能等;可以提供一系列运动生物力学参数和曲线,从而对人体运动功能做客观、定量的评定。三维步态分析系统应用于脑瘫方面的研究有十几年的历史,是目前步态分析实验的

金标准,其客观和量化的特点弥补了临床脑瘫功能评定过程中主观性强的缺点,有利于评定标准的制定和实施^[15-16]。但是,三维步态分析系统的应用也存在诸多局限性,如需要特定场地、操作复杂、准备时间长、需要若干固定技术人员辅助测试、仅能获得几秒数据,以及许多病人由于体力有限导致无法完成测试。而便携式步态分析仪的出现则有效解决了上述问题,更适合应用于临床。本文通过应用一种便携式步态分析仪对痉挛型脑瘫儿童的步态特征进行分析研究,为临床诊断提供一定的理论依据和实验基础。

1 对象与方法

1.1 实验对象

研究对象分为实验组和对照组。实验组:16例痉挛型脑瘫儿童,均来自北京儿童医院康复科门诊;对照组:16例健康儿童,均来自于北京市玉林小学,其性别、年龄、身体质量指数(body mass index, BMI)与脑瘫儿童相匹配。

脑瘫儿童纳入标准:①年龄2~10岁;②符合痉挛型脑瘫的诊断标准;③GMFCS I级或II级;④无需借助器具可以独立行走;⑤能听懂简单的指令,步态实验中能充分合作;⑥18个月内没接受过外科手术。排除标准:①合并影响步行能力及姿态的其他神经肌肉和骨关节疾病;②合并严重的其他系统疾病,如先天性心脏病,不能耐受实验;③1个月内有癫痫或惊厥发作。正常儿童智力正常,无肌肉、骨关节疾患,无外伤史。

在测试过程中有两名脑瘫儿童不能很好配合实验,考虑到数据的科学性和研究的严谨性,故将其排除。最终纳入研究的为14名脑瘫儿童和16名健康儿童。所有受试者均签署知情同意书,其基本资料见表1。

表1 受试者基本资料(* P>0.05)

Tab.1 Basic data of subjects

指标	患者组	对照组
年龄/a	6.77 ± 1.46	7.14 ± 0.27 *
性别(男性/女性)	7/7	8/8
身高/m	1.21 ± 0.11	1.24 ± 0.04 *
体质量/kg	24.79 ± 8.74	24.96 ± 5.3 *
BMI/(kg·m ⁻²)	16.59 ± 2.77	16.25 ± 3.12 *

1.2 实验仪器

应用 IDEEA (Intelligent Device for Energy Expenditure and Activity) 便携式步态分析系统 (Minisun公司, 美国)。该系统由 1 个主机 (记录行走过程中收集的数据)、两个脚机 (记录脚和脚踝的数据) 和 5 个肢体三维加速度传感器组成。测试时主机固定在腰间, 脚机固定在双侧踝关节侧方, 将微型传感器粘贴在胸骨角下方、双侧大腿前侧中央、双侧踝关节侧方、双侧足底第 4 和第 5 跖骨之间 (见图 1)。仪器启动后, 受试者可自由行走, 其双大腿、双足以及胸骨上的步态参数数据能自动记录到腰部的主机。IDEEA 便携式步态分析仪组成结构简单, 配带过程方便, 大约 5 min 便可完成传感器的佩戴。

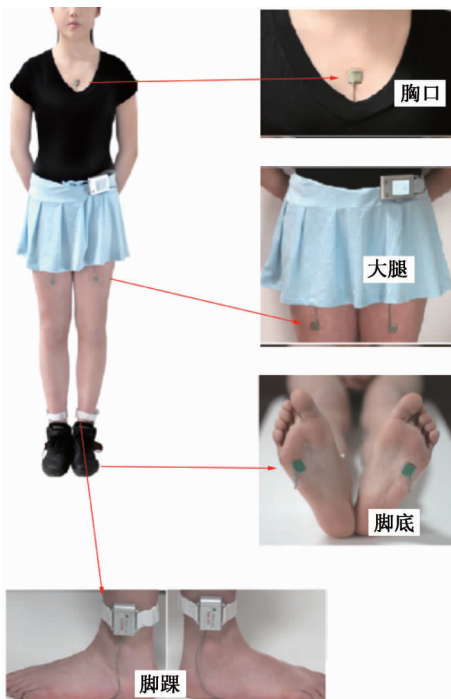


图1 IDEEA 佩戴方法示意图

Fig.1 Schematic diagram of wearing IDEEA

1.3 实验步骤

受试者佩戴 IDEEA 设备, 穿鞋 (鞋跟不超过 2.5 cm, 舒适) 独立行走 3 个来回: 7 m × 6 次。数据采集结束后, 将数据导入电脑, 选取其中行走比较稳定的 10 个步态周期的数据进行处理分析。为保证实验过程顺利进行, 受试儿童家长和理疗师全程陪伴。所有受试者传感器的佩戴都由同一人完成。在正式进行测试前, 每位测试者先进行几次练习以确保受试者能够熟悉实验环境。

1.4 测试指标

IDEEA 设备的原理是基于对活动姿势的客观、动态测量, 计算活动的物理及生理参数, 并与实际测量指标进行对比、修正, 然后通过人工智能、神经网络、大数据库 (过去近 20 年积累的临床数据) 对单步长、单步频、单脚支撑时间、单脚触地状况、单脚摆动状况等进行精确计算。因系统本身携带有正常人与病人的数据参考, 故可对患者行走能力进行及时评估。本研究通过步态周期等指标分别对脑瘫儿童的患侧与健侧、脑瘫儿童和健康儿童的步态进行比较分析。

1.4.1 步态周期 行走时, 一侧足跟着地到该侧足跟再次着地所经过的时间^[17-18]。

1.4.2 单步时间 行走时, 一侧足跟着地到另一侧足跟着地所经过的时间^[18]。

1.4.3 站立时间 一个步态周期内, 同侧足跟着地到足尖离地即下肢接触地面并承受重力所用的时间^[17]。

1.4.4 摆动时间 一个步态周期内, 足底离开地面向前迈步到再次落地所用的时间^[17]。

1.4.5 跨步长 由一侧足跟着地到该侧足跟再次着地所进行的距离, 也称步幅^[19]。

1.4.6 步速 步行的平均速度, 指单位时间内行走的距离^[17]。

1.4.7 步频 单位时间内行走的步数^[18]。

1.4.8 站立相所占百分比 同侧足跟着地到足尖离地即下肢接触地面并承受重力的时间所占步态周期的百分比。

1.4.9 支撑相中期 支撑相中间阶段的时间。此时支撑足全部着地, 对侧足处于摆动相, 是唯一单足支撑全部重力的时相^[18]。

1.4.10 支撑相末期 下肢主动加速蹬离的时间,

开始于足跟抬起,结束于足离地^[18]。

1.4.11 摆动前期 足尖离开地面前面的准备活动,从髋和骨盆开始屈曲起,到同侧足尖离地止^[18]。

1.4.12 跖骨离地期 足趾用力着地,通过下肢的蹬踏动作而向前推进的时期^[17]。

1.4.13 拔腿强度 位于摆动前期足底传感器向前的最大加速度^[27]。

1.5 统计学分析

应用 Excel 2010 和 SPSS 22.0 对数据进行处理分析。经检验脑瘫儿童患侧、健侧及正常儿童的数据具有正态性,采用配对 *t* 检验对健康儿童双侧、患者患侧与健侧步态参数的差异进行比较,采用独立样本 *t* 检验对脑瘫儿童和健康儿童步态参数的差异进行比较,显著性检验标准定为 $P < 0.05$ 。数据用均值 \pm 标准差表示。

2 结果

对健康儿童左侧与右侧各步态参数进行配对 *t* 检验,结果表明差异没有显著性。在与脑瘫儿童各参数进行对比时,使用健康儿童双侧数据结果的平均值。

2.1 痉挛型脑瘫儿童患侧与健侧各运动学参数对比

痉挛型脑瘫儿童的患侧与健侧相比,步态周期、站立时间、跨步长、站立相、支撑相中期无显著差异,而患侧单步时间、摆动时间和跖骨离地期显著延长($P < 0.05$),步频、步速和支撑期末期显著降低($P < 0.05$,见表2)。

2.2 痉挛型脑瘫儿童患侧与健康儿童运动学参数对比

与健康儿童相比,痉挛型脑瘫儿童患侧步态周期时间、单步时间、站立时间、摆动时间、站立相所占百分比、支撑相中期、摆动前期和跖骨离地期均显著增大($P < 0.05$),跨步长、步速、步频、支撑相末期均显著降低($P < 0.05$)。除此之外,拔腿强度也有所降低,但无统计学差异($P = 0.05$,见表3)。

3 讨论

痉挛型脑瘫儿童是脑瘫儿童最为常见的类型,对于痉挛型脑瘫儿童的运动学特征研究一直是近

表2 痉挛型脑瘫儿童患侧与健侧各运动学参数对比($\bar{x} \pm SD, n = 14, * P < 0.05$)

Tab.2 Comparison of kinematic parameters between affected side and healthy side for children with spastic cerebral palsy

参数	患者患侧	患者健侧
步态周期/s	1.20 \pm 0.34	1.09 \pm 0.15
单步时间/s	0.62 \pm 0.17	0.51 \pm 0.08 *
站立时间/s	0.80 \pm 0.30	0.73 \pm 0.10
摆动时间/s	0.42 \pm 0.06	0.37 \pm 0.07 *
跨步长/s	0.86 \pm 0.15	0.86 \pm 0.19
速度/($m \cdot s^{-1}$)	0.77 \pm 0.19	0.89 \pm 0.07 *
步频/(min^{-1})	102.7 \pm 21.95	119.32 \pm 19.58 *
站立相/%	64.82 \pm 5.10	66.69 \pm 4.55
拔腿强度, <i>g</i>	0.69 \pm 0.55	0.95 \pm 0.78
支撑相中期/%	19.43 \pm 5.04	17.84 \pm 3.32
支撑相末期/%	17.25 \pm 3.36	23.00 \pm 3.94 *
摆动前期/%	10.99 \pm 4.48	9.33 \pm 3.14
跖骨离地期/%	4.51 \pm 1.10	4.02 \pm 0.57 *

表3 痉挛型脑瘫儿童患侧与健康儿童各运动学参数对比($\bar{x} \pm SD, * P < 0.05$)

Tab.3 Comparison of kinematic parameters between children with spastic cerebral palsy and healthy children

步态参数	患者患侧($n = 14$)	健康儿童($n = 16$)
步态周期/s	1.20 \pm 0.34	0.97 \pm 0.06 *
单步时间/s	0.62 \pm 0.17	0.47 \pm 0.03 *
站立时间/s	0.80 \pm 0.30	0.58 \pm 0.05 *
摆动时间/s	0.42 \pm 0.06	0.38 \pm 0.03 *
跨步长/s	0.86 \pm 0.15	0.95 \pm 0.06 *
速度/($m \cdot s^{-1}$)	0.77 \pm 0.19	1.02 \pm 0.10 *
步频/(min^{-1})	102.70 \pm 21.95	129.07 \pm 9.28 *
站立相/%	64.82 \pm 5.10	60.43 \pm 1.87 *
拔腿强度, <i>g</i>	0.69 \pm 0.55	1.00 \pm 0.30
支撑相中期/%	19.43 \pm 5.04	16.36 \pm 2.22 *
支撑相末期/%	17.25 \pm 3.36	20.77 \pm 2.00 *
摆动前期/%	10.99 \pm 4.48	7.15 \pm 1.02 *
跖骨离地期/%	4.51 \pm 1.10	3.63 \pm 0.40 *

年热点。先前的相关研究多采用传统的三维运动捕捉系统在实验室中进行,可对患者进行精确的步态分析,但对空间、检测环境和受试者的配合有较高要求,对于临床实验的实施存在着一定的难度^[20]。本研究采用一种便携式步态分析仪对痉挛型脑瘫儿童步态的运动学特征进行了测试和分析,因为其便携、灵敏、精确、易操作、成本低,不受空间的限制可以测量多步的行走等特点,更加适合应用于临床实验^[21]。该设备应用于测试患者的步态已经被研究者验证过^[22],准确性值得信赖。

本研究发现,痉挛型脑瘫儿童的患侧与健侧以

及与正常儿童相比,单步时间、摆动时间、跖骨离地期显著延长,步频、步速、支撑末期显著降低,推测原因是患侧足踝部肌张力增大,从而步行能力受限,导致患侧在行走时姿态变换速度变慢,增加了部分姿态变换期的时间。该结果与杨运华等^[23]、李海^[24]的研究结论一致。江晓峰^[25]研究发现,由于跖屈肌牵张反射引起的踝痉挛与肌张力升高,使患儿首次着地时踝关节跖屈角度明显增加,导致足尖着地给胫骨产生向后的推力,妨碍身体向前推进和利用下肢的动量向前,从而降低了步频和步速,增加了单步时间和摆动时间。正常儿童在步行过程中可以很顺利地实现身体重心在双侧足之间的转换,而脑瘫儿童的姿势转换速度和准确性都降低,故不得不通过代偿地增加双足支撑时间来保持身体平衡,并协调下一步运动的继续进行。因此,痉挛型脑瘫儿童步态周期明显大于正常儿童,这进一步解释了痉挛型脑瘫儿童的步态特点。

另外,本研究表明,脑瘫儿童支撑相显著延长,跨步长明显缩短。王玉霞等^[26]应用三维步态分析系统也获得了类似的研究结果;同时,还通过分析骨盆的运动参数发现,骨盆前倾过度阻碍了摆动肢髓关节的充分屈曲,使摆动肢空间摆动幅度减小,这可能是造成跨步长缩短的重要原因。

拔腿强度指位于摆动前期足底传感器向前的最大加速度,能够反映步行时腿部力量的强弱。在摆动前期病人的前足逐渐抬起,位于步态的推动期,源动力主要来源于踝关节周围跖屈肌肉^[27]。本研究应用拔腿强度评估脑瘫儿童的步行能力,结果发现,与健康儿童相比,痉挛型脑瘫儿童患侧的拔腿强度有所下降,可能是由于痉挛型脑瘫儿童患侧神经损伤,在加强的牵张反射中,使肌肉突然被动活动时感到阻力,随后到某一程度时肌肉松弛,从而使前足推进能力减退,患侧拔腿强度则减少。因此,拔腿强度或许可作为敏感指标,定量地评估痉挛型脑瘫儿童相比于健康儿童步行能力下降的程度。

本研究也存一定的局限性。例如:样本量相对不大,选择痉挛型脑瘫儿童的受试者 I 级和 II 级没有分开。在后续研究中应考虑上述因素,以期为脑瘫儿童康复训练和诊断治疗效果评估提供更明确的实验数据和理论基础。

4 结语

痉挛型脑瘫儿童的步态可通过便携式步态分析系统进行量化的测量和评估。患侧单步时间、摆动时间和跖骨离地期以及拔腿强度较为灵敏和特异,较好反映了痉挛型脑瘫儿童步态的异常。便携式步态分析系统可以方便有效地应用于临床,进行脑瘫儿童步态特征的研究。

致谢:感谢参与本研究的所有受试者,包括到首都医科大学附属北京儿童医院康复科就诊的 16 名患儿与北京市玉林小学的 16 名学生们;感谢给予本研究支持的首都医科大学附属北京儿童医院康复科的医生们和北京市玉林小学的老师。

参考文献:

- [1] 中华医学会儿科学分会神经学组. 小儿脑性瘫痪的定义、诊断条件及分型[J]. 中华儿科杂志, 2005(4): 262.
- [2] ARMAND S, DECOULON G, BONNEFOY-MAZURE A. Gait analysis in children with cerebral palsy [J]. EFORT Open Rev, 2016, 1(12): 448-460.
- [3] 杨李, 吴德, 唐久来. 小儿脑瘫病因学的研究进展[J]. 中国实用儿科杂志, 2008(9): 710-711.
- [4] 陈善萍, 齐红丽. 小儿脑瘫的国内治疗进展[J]. 哈尔滨医药, 2011, 31(3): 215-216.
- [5] 阎炯, 刘念, 张庆松. 小儿脑性瘫痪病因学的研究进展[J]. 中国实用儿科杂志, 2007(3): 231-233.
- [6] 王志敏, 陈龙伟, 李树伟, 等. 痉挛型脑瘫患儿步态的运动学参数分析[J]. 陕西医学杂志, 2010, 39(2): 140-142.
- [7] DEJNABADI H, JOLLES BM, AMINIAN K. A new approach for quantitative analysis of inter-joint coordination during gait [J]. IEEE T Biomed Eng, 2008, 55(2): 755-764.
- [8] 孙嘉利, 唐丹, 钟世镇. 三维步态分析的研究与应用[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2007, 11(5): 944-948.
- [9] DESLOOVE REK, MOLEENAERS G, FEYS H, et al. Do dynamic and static clinical measurements correlate with gait analysis parameters in children with cerebral palsy? [J] Gait Posture, 2006, 24(3): 302-313.
- [10] LUCA PA, DAVIS RB, OUNPUU S, et al. Alterations in surgical decision making in patients with cerebral palsy based on three-dimensional gait analysis [J]. J Pediatr Orthop, 1997, 17(5): 608-614.
- [11] FARMER SE, PEARCE G, STEWART C. Developing a technique to measure in tra-limb coordination in gait: Applicable to children with cerebral palsy [J]. Gait Posture,

- 2008, 28 (2): 217-221.
- [12] 冉茂群, 周世林, 肖农, 等. 脑性瘫痪儿童的步态特征分析 [J]. 中国组织工程研究, 2013, 17(41): 7329-7334.
- [13] KRASOVSKY T, LEVIN MF. Toward a better understanding of coordination in healthy and poststroke gait [J]. *Neurorehabil Neural Repair*, 2010, 24(3): 213-224.
- [14] 黄一琳, 陈龙伟. 三维步态分析对脑瘫患儿下肢运动功能的评价[J]. 西部医学, 2015, 27(12): 1860-1862.
- [15] FIONA D, MORRIS M E, BAKER R, *et al*. Gait classification in children with cerebral palsy: A systematic review [J]. *Gait Posture*, 2007, 25 (1): 140-152.
- [16] BROWN CR, HILLMAN SJ, RICHARDSON AM, *et al*. Reliability and validity of the visual gait assessment scale for children with hemiplegic cerebral palsy when used by experienced and inexperienced observers [J]. *Gait Posture*, 2008, 27(4): 648-652.
- [17] 闫松华, 周兴龙, 党德华, 等. 小学阶段超重/肥胖儿童平地行走的运动学研究 [J]. 医用生物力学, 2014, 29 (6): 548-553.
- YAN SH, ZHOU XL, DANG DH, *et al*. Kinematic analysis on gait of overweight and obese primary school children during level walking [J]. *J Med Biomech*, 2014, 29 (6): 548-553.
- [18] 励建安, 孟殿怀. 步态分析的临床应用 [J]. 中华物理医学与康复杂志, 2006, 28(7): 500-503.
- [19] 张昊华, 闫松华, 方沉, 等. 用便携式步态分析仪评估全髋关节置换术手术效果 [J]. 医用生物力学, 2015, 30 (4): 361-366.
- ZHANG HH, YAN SH, FANG C, *et al*. To evaluate the operation effect of total hip arthroplasty with portable gait analyzer [J]. *J Med Biomech*, 2015, 30(4): 361-366.
- [20] 张文通, 钮金圆, 许光旭, 等. 一种便携式步态分析仪评估脑卒中步态时空参数的信度与效度研究 [J]. 康复学报, 2016, 26(5): 25-28.
- [21] 周萌, 曹光磊, 张宽, 等. 便携式步态分析仪量化评价全膝关节置换病人的步态特征 [J]. 中国矫形外科杂志, 2015, 23(7): 615-619.
- [22] SUN J, LIU Y, YAN S, *et al*. Clinical gait evaluation of patients with knee osteoarthritis [J]. *Gait Posture*, 2017, 58: 319-324.
- [23] 杨运华, 王悦曦. 痉挛型脑瘫患儿的步态分析 [J]. 凯里学院学报, 2012, 30(6): 66-68.
- [24] 李海. 痉挛型脑瘫儿童步行时的动态足底压力特征 [J]. 中国康复医学杂志, 2007, 22(1): 44-47.
- [25] 江晓峰. 双侧痉挛型脑瘫儿童的步态特征分析 [J]. 中国康复理论与实践, 2009, 15(1): 65-66.
- [26] 王玉霞, 于涛, 楮琴, 等. 三维步态分析痉挛型脑性瘫痪儿步行中时空参数和骨盆运动特征 [J]. 中国组织工程研究, 2012, 16(22): 4039-4043.
- [27] 郑陈帆, 闫松华, 张宽, 等. 坐骨神经痛患者的步态特征 [J]. 医用生物力学, 2016, 31(1): 73-77.
- ZHENG CF, YAN SH, ZHANG K, *et al*. Gait characteristics of patients with sciatica [J]. *J Med Biomech*, 2016, 31 (1): 73-77.