

文章编号:1004-7220(2015)04-0332-07

单侧发育性髋关节脱位患儿早期进行 Pemberton 截骨术后的足底压力分析

徐超^{1,2}, 严亚波¹, 赵天峰¹, 张扬¹, 赵雄¹, 黄鲁豫¹, 雷伟¹

(1. 第四军医大学西京医院 骨科, 西安 710032; 2. 解放军 522 医院 骨科, 洛阳 471003)

摘要: 目的 研究单侧发育性髋关节脱位(developmental dysplasia of the hip, DDH)患儿早期进行 Pemberton 截骨术(Pemberton's pericapsular osteotomy, PPO)后的足底压力变化情况,为患者的手术治疗和康复提供有参考价值的生物力学结果。**方法** 选取 18 名 4 岁前已行 PPO 的单侧 DDH 患儿作为实验组,同时以 18 名同年龄健康儿童作为对照组,采用 Footscan[®] 足底压力测试系统进行动态足底压力测试。通过比较实验组与对照组足底各分区接触面积百分比(CA%)、压强时间积分(PTI)和站立相各分期时间百分比(CT%),评估行走状态下患者足底压力的变化。**结果** 与对照组和患者健肢相比,患肢在第 2~5 趾区 PTI 较高,在足跟内侧区 PTI 较低。与健肢和对照组相比,患肢第 4、5 跖骨区 CA% 较大,而第 1、2 跖骨区 CA% 较健肢小。与健肢和对照组相比,患肢前足离地期 CT% 增大,足跟着地期 CT% 减少,且总的触地时间更短。**结论** DDH 患者在早期进行 PPO 后足底压力存在残余异常,临床中还需要长时间的强化康复治疗来矫正患者异常的足底压力分布。

关键词: 发育性髋关节脱位; Pemberton 截骨术; 足底压力; 步态分析; 生物力学

中图分类号: R 318.01 文献标志码: A

DOI: 10.3871/j.1004-7220.2015.04.332

Analysis of the plantar pressure in children with unilateral developmental dysplasia of the hip following Pemberton's pericapsular osteotomy at early age

XU Chao^{1,2}, YAN Ya-bo¹, ZHAO Tian-feng¹, ZHANG Yang¹, ZHAO Xiong¹, HUANG Lu-yu¹, LEI Wei¹ (1. Department of Orthopedics, Xijing Hospital, the Fourth Military Medical University, Xi'an 710032, China; 2. Department of Orthopedics, the 522th Hospital of PLA, Luoyang 471003, Henan, China)

Abstract: Objective To investigate the changes of plantar pressure distributions in children with the unilateral developmental dysplasia of the hip (DDH) who underwent the Pemberton's pericapsular osteotomy (PPO) at early age, so as to provide valuable references for clinical therapy and rehabilitation of such patients. **Methods** Eighteen child patients who underwent PPO before 4 year-old were selected as the PPO group, while 18 healthy children at the same age with normal feet were selected as the control group. Footscan system[®] was used to measure the plantar pressure of these subjects during walking. The parameters, i. e. contact area percentage of the total foot contact area (CA%), pressure-time integral (PTI) and contact time percentage of the stance time (CT%) in both PPO group and control group were compared to evaluate changes of the plantar pressures during walking. **Results** Compared with the sound limb in control group and the unaffected limb in PPO group, the affected limb in PPO group showed higher PTI in the 2nd to 5th toe zone and lower PTI in the medial heel zone. The affected limb in PPO group had a higher CA% in the 4th and 5th metatarsals than the unaffected limb in PPO group

收稿日期:2014-10-17; 修回日期:2014-11-25

基金项目:国家自然科学基金项目(81301292)。

通信作者:雷伟,教授,博士研究生导师, E-mail: leiwei@fmmu.edu.cn。

and the sound limb in control group, and a lower CA% in the 1st and 2nd metatarsals than the unaffected limb. Compared with the unaffected limb in PPO group and the sound limb in control group, CT% of the affected limb in PPO group increased in the forefoot push-off phase and decreased in the initial contact phase, and the total contact time of the affected limb was shorter than that of the unaffected limb in PPO group and the sound limb in control group. **Conclusions** There exist residual plantar pressure deviations during walking in DDH patients following PPO at early age, thus a longer period of intensive rehabilitation may be required to change the residual abnormality.

Key words: Developmental dysplasia of the hip (DDH); Pemberton's pericapsular osteotomy (PPO); Plantar pressure; Gait analysis; Biomechanics

发育性髋关节脱位 (developmental dysplasia of the hip, DDH) 涵盖一系列髋关节发育异常的疾病, 病变可发生于髋臼, 也可发生于股骨头, 更可两者皆有^[1]; 严重程度涵盖轻微髋臼发育不良到不可逆的髋关节脱位^[2]。目前各国报道的 DDH 发病率不尽相同^[3-6], 可能存在种族及地理差异。我国一直缺乏准确的 DDH 发病率数据, 但有报道称在国内儿童骨科疾病谱中, DDH 是导致肢体畸形最多的疾病^[7]。对于 DDH 患儿, 有学者认为 4 岁以前进行外科干预可取得满意的临床及影像学结果^[8-9], 医学界也普遍认可早期手术的必要性, 但有关早期手术的年龄上限仍存在争议^[10]。

Pemberton 截骨术 (Pemberton's pericapsular osteotomy, PPO) 由 Pemberton 在 1965 年首次介绍^[11], 属不完全截骨术, 是目前最为流行的治疗 DDH 的手术方法之一, 已有学者从临床症状改善和影像学纠正等方面报道了 PPO 手术的安全性和有效性^[12-13]。但是, 仍有学者报道了 PPO 术后 DDH 患儿与同年龄对照组相比存在步态异常, 进而引起下肢功能受限甚至导致再次手术^[14-18]。先前的步态研究大多聚焦于下肢关节的运动学和动力学参数, 有关 PPO 术后单侧 DDH 患者的足底压力分布特点还鲜有报道。足底压力分析系统能够提供动态运动中全足各区域与地面接触与负载情况的详细信息, 有助于评估术后患者的恢复情况, 更有针对性地监测存在足部疼痛和损伤等风险的足底区域, 更好地理解 DDH 患者在 PPO 术后的步态特点, 从而更加科学谨慎地选择手术方式及制定术后康复方案。

本文旨在客观评估单侧 DDH 患者在 PPO 术后足底压力的分布特点。假设尽管患者在随访结束时取得了满意的临床及影像学结果, 但与对照组相比, 患者仍显示出残留的足底压力异常。这种差异既体

现在患者患肢与对照组之间, 也体现在患者健肢与对照组、患肢与健肢之间。

1 研究对象与方法

设定实验组 (PPO 组) 和对照组。PPO 组对象为纳入西京医院骨科收治的经切开复位、PPO 及股骨旋转截骨治疗的单侧 DDH 患儿 18 名 (女 16 名, 男 2 名), 手术年龄为 (29.72 ± 9.37) 月, 随访时间为 (70.78 ± 27.47) 月。所有受试患儿均无下肢疼痛、结缔组织疾病和其他关节异常, 除上述手术外无其他手术史。采集患儿术前和步态检测前的影像学数据, 包括髋臼指数、中心边缘角以及颈干角; 同时, 所有患儿均在术前及步态检测前完成一份 Harris 髋关节评分量表 (满分 100 分)。选取 18 名同年龄健康儿童作为对照组, 入组条件为无退行性骨及关节病变、无手术及创伤史, 无下肢疼痛。实验组与对照组之间在年龄、身高、体重等方面无显著差异 ($P > 0.05$, 见表 1)。本研究已得到第四军医大学医学伦理委员会批准, 同时获得受试对象父母或监护人签署的足底压力检测知情同意书。

表 1 PPO 术后患者与对照组主要人类学指标的比较

Tab.1 Comparison of the main demographic parameters in PPO group and control group

指标	PPO 组	对照组	P 值
手术年龄/月	29.72 ± 9.37	—	—
随访时间/月	70.78 ± 27.47	—	—
步态检测年龄/月	100.50 ± 35.53	100.11 ± 35.66	0.698
体重/kg	28.78 ± 10.41	29.44 ± 9.39	0.302
身高/cm	126.44 ± 21.03	127.39 ± 19.38	0.498

在骨科步态分析实验室中, 受试者赤足以自我感觉舒适的步速与节奏行走, 使用 Footscan® 足底压

力测试系统(RSscan® International, 比利时)采集数据,该测力系统设有2.00 m×0.40 m×0.02 m测力平板,分布16 384个传感器,采集频率为125 Hz,同时自带Scientific Footscan软件可以进行数据分析。软件默认将足底面积划分为拇趾(T1)、第2~5趾(T2~5)、第1~5跖骨区(M1~5)、足中部(MF)、足跟内侧区(MH)及足跟外侧区(LH)10个区域(见图1)。10个分区保证了该系统能够较为细致地分析足底各区的足底压力情况。

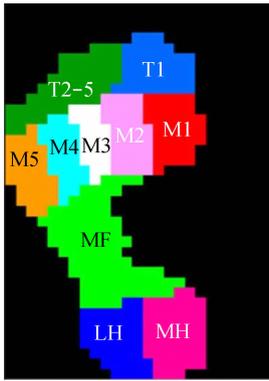


图1 足底10个分区示意图

Fig. 1 Schematic diagram for 10 partition zones of the foot

系统还将单足的整个站立相分为:①足跟着地期(initial contact phase, ICP),即从足跟着地到跖骨区首次着地阶段;②前足着地期(forefoot contact phase, FFCP),即紧随 ICP 并止于所有跖骨区接触测力板阶段;③全足着地期(foot flat phase, FFP),即紧随 FFCP 并止于足跟离开测力板阶段;④足离地期(forefoot push-off phase, FFPOP),即紧随 FFP 并止于全足离开测力板前阶段(见图2)。测力平板置于地板中央,前后均放置长度为1 m且与测力平板等高等宽的硬质垫子,从而组成一个“完整”的总长为4 m的测力平台,可保证受试对象在数据采集前至少在硬垫上行走3步。同时,在测力平台上铺设EVA材料对测力平板进行“伪装”,以避免受试对象在测试时因心理因素调整步态^[19]。每只脚至少采集5次有代表性的足底压力数据,每进行3 min的试验安排受试对象休息30 s。

采集的足底压力参数包括:①各分区的触地面积(contact area, CA);②压强时间积分(pressure-time integral, PTI);③各亚期触地时间(contact

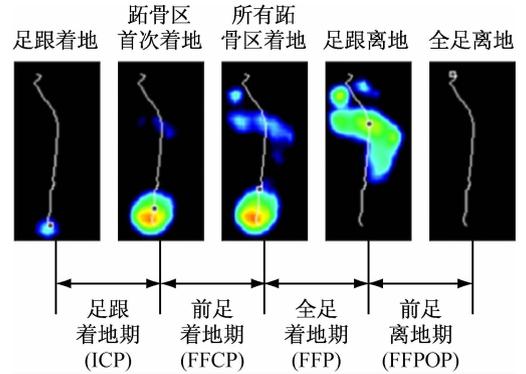


图2 站立相划分的4个亚期示意图

Fig. 2 Schematic diagram for 4 sub-phases of the stance phase

time, CT)。其中,CA以各区域在足底总面积中的占比(CA%)进行校正,CT以各亚期在单足站立相中的占比(CT%)进行校正。患者患肢与健肢的指标分别采用5次有代表性测量数据的平均值,而对照组的数据则采用双侧肢体的平均值^[17]。

统计分析使用SPSS 19.0软件,实验数据经过Kolmogorov-Smirnov单样本检验和散点图检验不符合正态分布,因而患者患肢与健肢在CA%、PTI、CT%等指标上的差异采用Wilcoxon秩和检验进行分析。而患者双侧肢体与对照组之间相应指标的差异则采用Mann-Whitney U检验进行分析。检验水准定为0.05。

2 结果

PPO组受试患者的影像学指标和Harris评分问卷结果见表2。所有指标在步态检测时均较术前得到改善。由于患儿手术年龄均小于4岁,术前中心边缘角的测量存在困难与争议^[9],故未在术前测量该指标。

表2 患者术前和步态检测时的影像学指标和Harris评分

Tab. 2 Radiographic index and Harris hip scores of DDH patients before PPO surgery and at the time of experiment

指标	术前	步态检测时
髋臼指数/(°)	43.86 ± 4.51	21.67 ± 6.13
中心边缘角/(°)	—	26.35 ± 8.24
颈干角/(°)	144.78 ± 7.35	132.21 ± 6.47
Harsi评分	71.22 ± 7.56	89.67 ± 4.01

与对照组相比,PPO组患肢在T2~5区PTI较

高,在 MH 区 PTI 较低。患者健肢与对照组相比, T2~5 区也显示出较高的 PTI,其他的区域两组之间无显著差异。患者患肢与健肢相比,患肢在 M1、

M2、M3 和 MH 区 PTI 小于健肢,而在 T2~5 区 PTI 大于健肢,两组其他区域 PTI 的比较无统计学差异(见表 3)。

表 3 足底各区域压强时间积分的比较

Tab.3 Comparison of the PTI in various zones of the foot for both PPO group and control group

足底区域	PTI/(N·s·cm ⁻²)			P_g		P_s
	术后		对照组	患肢	健肢	
	患肢	健肢				
T1	0.60 ± 0.63	0.48 ± 0.30	0.55 ± 0.27	0.802	0.585	0.346
T2~5	0.23 ± 0.98	0.15 ± 0.80	0.09 ± 0.02	<0.001	0.022	0.039
M1	0.52 ± 0.40	0.95 ± 0.70	0.68 ± 0.46	0.351	0.311	0.001
M2	1.23 ± 1.12	2.37 ± 1.45	1.28 ± 1.13	0.951	0.053	0.004
M3	1.42 ± 0.69	2.30 ± 0.33	1.75 ± 1.43	0.475	0.311	0.001
M4	1.02 ± 0.39	1.28 ± 0.61	1.02 ± 0.87	0.951	0.396	0.128
M5	0.37 ± 0.19	0.52 ± 0.33	0.33 ± 0.21	0.682	0.115	0.111
MF	0.32 ± 0.13	0.35 ± 0.14	0.35 ± 0.13	0.534	0.968	0.438
MH	1.15 ± 0.45	1.57 ± 1.03	1.77 ± 0.71	0.019	0.585	0.039
LH	0.88 ± 0.28	1.27 ± 0.90	1.20 ± 0.56	0.092	0.829	0.196

注: P_g 为使用 U 检验比较患者双下肢与对照组的 PTI, P_s 为使用 Wilcoxon 秩和检验比较患肢与健肢的 PTI

表 4 所示为各组 CA% 的比较结果。PPO 组患肢 T2~5 区、M4、M5 区 CA% 大于健肢,而健肢 M1、M2 区 CA% 大于患肢。患肢 T1 区 CA% 小于对照

组,而 M4、M5 区 CA% 大于对照组。健肢 T1 区 CA% 小于对照组,而 M1 区 CA% 大于对照组。各组间其他区域 CA% 的比较无统计学差异(见表 4)。

表 4 足底各区域面积占总触地面积比值的比较

Tab.4 Comparison of CA% in various zones of the foot for both PPO group and control group

足底区域	CA%/%			P_g		P_s
	术后		对照组	患肢	健肢	
	患肢	健肢				
T1	9.33 ± 2.44	9.19 ± 1.54	12.15 ± 1.75	0.001	<0.001	0.955
T2~5	9.63 ± 1.29	8.38 ± 1.29	9.47 ± 1.93	0.694	0.068	0.020
M1	7.26 ± 1.70	10.48 ± 1.40	7.06 ± 1.36	0.694	<0.001	0.002
M2	5.17 ± 0.95	7.02 ± 1.12	6.13 ± 1.10	0.053	0.093	0.001
M3	5.78 ± 1.05	5.82 ± 1.02	5.47 ± 0.63	0.455	0.533	0.932
M4	7.50 ± 0.91	5.90 ± 0.58	6.24 ± 0.44	<0.001	0.106	0.001
M5	10.27 ± 2.24	7.91 ± 1.63	8.65 ± 0.83	0.044	0.093	0.011
MF	23.88 ± 2.01	24.09 ± 1.26	24.19 ± 1.78	0.852	0.740	0.691
MH	11.65 ± 1.13	11.59 ± 1.19	11.33 ± 0.61	0.120	0.229	0.955
LH	9.54 ± 0.93	9.62 ± 1.06	9.31 ± 0.83	0.547	0.309	0.820

注: P_g 为使用 U 检验比较患者双下肢与对照组的 CA%, P_s 为使用 Wilcoxon 秩和检验比较患肢与健肢的 CA%

表5所示为各组总的CT和各亚期CT%的比较结果。与对照组相比,PPO组患肢FFPOP的CT%明显增加,而ICP的CT%明显减少;健肢FFCP和

ICP的CT%减少,而FFP的CT%增加。患肢ICP和FFP的CT%较健肢低,患肢FFPOP的CT%较健肢高。在总的CT方面,患肢短于健肢和对照组。

表5 站立相各亚期占总触地时间比值及总触地时间的比较

Tab.5 Comparison of CT% in the four sub-stance phases and the total CT of the foot for both PPO group and control group

站立相	CT%/%					
	术后		对照组	P_g		P_s
	患肢	健肢		患肢	健肢	
ICP	10.17 ± 1.55	12.26 ± 1.76	15.30 ± 2.43	<0.001	0.005	0.033
FFCP	14.56 ± 3.59	11.44 ± 2.64	21.96 ± 5.36	0.102	<0.001	0.295
FFP	24.70 ± 5.96	34.69 ± 6.86	19.54 ± 4.21	0.197	<0.001	0.024
FFPOP	50.57 ± 7.25	41.61 ± 6.16	43.20 ± 5.93	0.025	0.623	0.012
CT/ms	623.20 ± 94.67	649.60 ± 91.82	649.60 ± 34.32	0.047	0.360	0.005

注: P_g 为使用U检验比较患者双下肢与对照组的CT%, P_s 为使用Wilcoxon秩和检验比较患肢与健肢的CT%

3 讨论

PPO应用于临床已接近50年,有许多研究报道了该手术良好的影像学及临床效果^[12-13],本文结果也提示患儿主要影像学指标和Harris功能评分较术前得到改善。但是,仍有一些学者报道了PPO术后残存的一些步态异常,包括:在正常步速下,患者双侧髌、膝和踝关节较对照组有更高的峰值垂直应力,同时双侧髌关节表现出更高的地面反作用力负载率^[17],推测与患者股骨头缺血性坏死^[20]与退行性髌关节炎^[21]相关;患侧肢体在术后步速增加,步长增加,但平均每日总的步数减少^[16];患肢髌关节屈曲力矩下降,行走时骨盆更为前倾且向健侧旋转^[15];患侧髌关节屈向量减少,而膝关节伸向量增加^[14]。借助测力平板进行足底压力分析可以测定足底各个分区的多种步态指标,常用的有峰值压力、接触面积、接触时间、力时间积分、压强时间积分和步向角等,能够客观量化评价肢体的负重功能^[22-23],也能帮助更好解释PPO术后患者在动力学和运动学上的异常表现。实验结果支持本文研究前的假设,即单侧DDH病人在PPO术后虽然获得较为满意的影像学 and 临床问卷评分结果,但在足底压力方面仍与对照组有显著差异。

Chang等^[17]对11名PPO术后单侧DDH患者进行步态分析,结果显示患肢站立相及双足站立相

在整个步态周期中所占百分比较对照组有明显下降。本实验也得到相似结果,患肢站立相的绝对时间少于健肢和对照组,这意味着患者更快地将重心从患侧移向健侧。此外,利用Scientific Footscan软件细化考察了站立相各个亚期的时间分布,患肢ICP和FFP的CT%小于健侧,而FFPOP的CT%则显著增大,推测这些变化与患者术后运动时重心降低^[15]以及在术中可能累及的患侧髌关节内收肌和屈肌肌力下降有关^[24-25]。患者步行时,当患肢进入站立相,由于肌肉功能下降及骨盆运动变化^[15]导致患者重心降低,不利于健肢顺利进入ICP,因而患肢通过缩短ICP和FFP以便尽快进入FFPOP来提升身体重心。进入FFPOP后,患肢尽量伸膝关节^[14]和跖屈踝关节^[26]以增加肢体长度,从而提升身体重心,协助健肢进入ICP,同时完成重心向健侧的转移。

与健肢和对照组相比,患肢在M4、M5区CA%较大,而在M1、M2区CA%较健肢小,提示患肢的承重部位有由足内侧向外侧转移的趋势,推测这是DDH患者术后地面反作用力力线外移的结果。Chang等^[15]将这种力线的外移归因于患侧骨盆跛行的增加以及步向角的外移。CA直接反映足底受力区域的变化,如果使用正确的矫形鞋垫增加足内侧的受力面积,或许可以改善足底的压力分布,故研究适用于PPO术后DDH患者的鞋垫将是本课题组

下一步的研究方向。

PTI 能够反映足部各区域所受压强和持续时间的综合信息,可综合评估足部的承重情况^[27]。与对照组相比,患肢在 T2 ~ 5 区 PTI 较高,在 MH 区 PTI 较低。与健肢相比,患肢在 M1、M2、M3 和 MH 区 PTI 小于健肢,而在 T2 ~ 5 区 PTI 大于健肢。分析原因,可能是由于 DDH 患者外移、前移的地面反作用力线^[15]导致在足前部、外侧区域承受较大的压强,而在足内侧区承受压强减小。在时间方面,由于相对较短的 ICP 和较长的 FFPOP 直接导致患肢前足支撑体重时间增加,这些因素叠加最终导致患肢 PTI 的异常变化。由于较高的压强和较长的受力时间,PTI 较高的足底区域可能面临更高的足痛和局部损伤风险^[28],应成为临床中重点监测、评估和保护的区域。

本研究缺乏患儿术前的足底压力测试数据,故无法评价手术对于患者足底压力参数的改善效果。但是,鉴于纳入患儿的手术年龄均小于 4 岁,还处于骨骼和肌肉快速发育的阶段^[29],尤其是脂肪垫和足纵弓的发育会显著影响足底压力参数,故比较术前及术后的相关数据对于评价手术效果意义不大。此外,由于患儿年龄较小,为了在实验时取得患儿配合,有时需要患儿父母的引导帮助,糖果和玩具也常被用来引导受试儿童完成平板测试,以上因素均可能影响实验数据的精确性。但是也有学者对更小的儿童进行过步态研究^[29-30]。最后,参试儿童数量较少,可能会降低结果的代表性。有鉴于此,本研究对每位受试对象进行多次的数据采样,保证提取高质量的实验数据。所有受试患者均由专门医生进行手术并指导康复,保证了医疗质量的同质性。

综上所述,单侧 DDH 患者在 PPO 术后取得了令人满意的影像学 and 临床评分结果,但术后患者仍表现出残存的足底压力异常,包括:

(1) 与对照组和健肢相比,患肢在 T2 ~ 5 区 PTI 较高,在 MH 区 PTI 较低;

(2) 与健肢和对照组相比,患肢在 M4、M5 区 CA% 较大,而在 M1、M2 区 CA% 较健肢小;

(3) 患肢较之健肢和对照组,总触地时间更短,ICP 的 CT% 更小,FFPOP 的 CT% 更大。这些异常提示 PPO 术后单侧 DDH 患者还需要长期的强化康复治疗来恢复正常的足底压力分布。

参考文献:

- [1] Weinstein SL, Mubarak SJ, Wenger DR. Fundamental concepts of developmental dysplasia of the hip [J]. Instr Course Lect, 2014, 63: 299-305.
- [2] Gulati V, Eseonu K, Sayani J, et al. Developmental dysplasia of the hip in the newborn: A systematic review [J]. World J Orthop, 2013, 4(2): 32-41.
- [3] Phelan N, Thoren J, Fox C, et al. Developmental dysplasia of the hip: Incidence and treatment outcomes in the Southeast of Ireland [J]. Ir J Med Sci, 2015, 184(2): 411-415.
- [4] Clarke NM, Reading IC, Corbin C, et al. Twenty years experience of selective secondary ultrasound screening for congenital dislocation of the hip [J]. Arch Dis Child, 2012, 97(5): 423-429.
- [5] 刘秋亮, 王义生, 刘玉峰, 等. 儿童发育性髋关节脱位院内的早期筛查 [J]. 中华医学杂志, 2014, 94(20): 1567-1569.
- [6] Vencalkova S, Janata J. Evaluation of screening for developmental dysplasia of the hip in the Liberec region in 1984-2005 [J]. Acta Chir Orthop Traumatol Cech, 2009, 76(3): 218-224.
- [7] 陈博昌, 杨杰, 吴虹, 等. 新生儿发育性髋关节异常的超声波筛查 [J]. 中华小儿外科杂志, 2007, 28(11): 590-593.
- [8] Harris NH, Lloyd-Roberts GC, Gallien R. Acetabular development in congenital dislocation of the hip. With special reference to the indications for acetabuloplasty and pelvic or femoral realignment osteotomy [J]. J Bone Joint Surg Br, 1975, 57(1): 46-52.
- [9] El-Sayed MM. Single-stage open reduction, Salter innominate osteotomy, and proximal femoral osteotomy for the management of developmental dysplasia of the hip in children between the ages of 2 and 4 years [J]. J Pediatr Orthop B, 2009, 18(4): 188-196.
- [10] 郭源. Pemberton 截骨术治疗发育性髋脱位的适应证和技术 [J]. 中华小儿外科杂志, 2005, 26(11): 605-606.
- [11] Pemberton PA. Pericapsular osteotomy of the ilium for treatment of congenital subluxation and dislocation of the hip [J]. J Bone Joint Surg Am, 1965, 47: 65-86.
- [12] 王旭, 董平, 韵向东, 等. Pemberton 截骨术联合软组织松解及股骨上段截骨治疗发育性髋关节脱位 [J]. 中国矫形外科杂志, 2009, 17(7): 501-504.
- [13] Aydin A, Kalali F, Yildiz V, et al. The results of Pemberton's pericapsular osteotomy in patients with developmental hip dysplasia [J]. Acta Orthop Traumatol Turc, 2012, 46(1): 35-41.
- [14] Pedersen EN, Alkjaer T, Soballe K, et al. Walking pattern

- in 9 women with hip dysplasia 18 months after periacetabular osteotomy [J]. *Acta Orthop*, 2006, 77(2): 203-208.
- [15] Chang CF, Wang TM, Wang JH, *et al.* Residual gait deviations in adolescents treated during infancy for unilateral developmental dysplasia of the hip using Pemberton's osteotomy [J]. *Gait Posture*, 2012, 35(4): 561-566.
- [16] Karam MD, Gao Y, Mckinley T. Assessment of walking pattern pre and post peri-acetabular osteotomy [J]. *Iowa Orthop J*, 2011, 31: 83-89.
- [17] Chang CF, Wang TM, Wang JH, *et al.* Adolescents after pemberton's osteotomy for developmental dysplasia of the hip displayed greater joint loading than healthy controls in affected and unaffected limbs during gait [J]. *J Orthop Res*, 2011, 29(7): 1034-1041.
- [18] Romano CL, Frigo C, Randelli G, *et al.* Analysis of the gait of adults who had residua of congenital dysplasia of the hip [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 1996, 78(10): 1468-1479.
- [19] Yan SH, Zhang K, Tan GQ, *et al.* Effects of obesity on dynamic plantar pressure distribution in Chinese prepubescent children during walking [J]. *Gait Posture*, 2013, 37(1): 37-42.
- [20] Roach JW, Hobatho MC, Baker KJ, *et al.* Three-dimensional computer analysis of complex acetabular insufficiency [J]. *J Pediatr Orthop*, 1997, 17(2): 158-164.
- [21] Recnik G, Kralj-Iglic V, Iglic A, *et al.* Higher peak contact hip stress predetermines the side of hip involved in idiopathic osteoarthritis [J]. *Clin Biomech*, 2007, 22(10): 1119-1124.
- [22] 杨阳, 蒲放, 钱雅君, 等. 日常运动时足底压力实时检测方法研究 [J]. *医用生物力学*, 2011, 26(4): 299-304.
 Yang Y, Pu F, Qian YJ, *et al.* Real-time plantar pressure measurement for monitoring exercise load in daily life activities [J]. *J Med Biomech*, 2011, 26(4): 299-304.
- [23] 张潇, 卢世壁. 人体足底压力的测量与分析 [J]. *医用生物力学*, 1994, 9(2): 108-115.
- Zhang X, Lu SB. Measurement and analysis of the human plantar pressure [J]. *J Med Biomech*, 1994, 9(2): 108-115.
- [24] Konigsberg DE, Karol LA, Colby S, *et al.* Results of medial open reduction of the hip in infants with developmental dislocation of the hip [J]. *J Pediatr Orthop*, 2003, 23(1): 1-9.
- [25] Bassett GS, Engsborg JR, Mcalister WH, *et al.* Fate of the psoas muscle after open reduction for developmental dislocation of the hip (DDH) [J]. *J Pediatr Orthop*, 1999, 19(4): 425-432.
- [26] 张伟, 黄耀添, 王军, 等. 单侧先天性髋关节脱位病人的动态足底压力测定初步分析 [J]. *医用生物力学*, 1998, 13(4): 204-207.
 Zhang W, Huang YT, Wang J, *et al.* Preliminary analysis on dynamic sole pressure in the unilateral congenital dislocation of the hip [J]. *J Med Biomech*, 1998, 13(4): 204-207.
- [27] 郗淑燕, 张庆民, 张致媛, 等. 拇外翻对前足底压力分布的改变 [J]. *医用生物力学*, 2010, 25(3): 224-229.
 Qie SY, Zhang QM, Zhang ZY, *et al.* Distribution changes of forefoot plantar pressure in hallux valgus [J]. *J Med Biomech*, 2010, 25(3): 224-229.
- [28] Burns J, Crosbie J, Hunt A, *et al.* The effect of pes cavus on foot pain and plantar pressure [J]. *Clin Biomech*, 2005, 20(9): 877-882.
- [29] Bertsch C, Unger H, Winkelmann W, *et al.* Evaluation of early walking patterns from plantar pressure distribution measurements. First year results of 42 children [J]. *Gait Posture*, 2004, 19(3): 235-242.
- [30] Jeans KA, Karol LA. Plantar pressures following Ponseti and French physiotherapy methods for clubfoot [J]. *J Pediatr Orthop*, 2010, 30(1): 82-89.