

· 综述 ·

脑瘫患儿肌肉、骨骼、关节和步态的评定方法

陈冬冬 史惟

脑瘫患儿在早期阶段就会表现出异常姿势、肌张力异常和肌力低下等,在异常肌肉状态的作用下,异常姿势被长期固定,随之就会发生骨骼和关节的畸形,导致脑瘫患儿功能下降、日常生活活动能力低下以及相应部位疼痛等问题,所以在早期阶段就应该针对这些问题进行系统管理。科学的评定方法是系统管理的主要组成部分,除可判断脑瘫患儿的运动发育水平和障碍程度外,还可为系统管理者提供科学合理的信息,便于实施有效的系统管理,对预防和控制脑瘫患儿畸形的发展具有重要作用,对各类外科手术治疗前的评定和术后的疗效评定同样是不可或缺的。

脑瘫患儿肌肉、骨骼、关节和步态的常用评定方法有肌肉状态(肌力、肌张力)的评定、关节活动度测定、挛缩或变形状态的测定、步态分析等。根据评定对象的年龄以及障碍程度的不同,这些方法可以单独应用,也可以与其他方法相结合应用。

肌肉状态的评定

一、肌张力测定方法

1. 改良 Ashworth 测定法:系通过关节被动运动确定肌肉抵抗力来临床评定肌张力,是目前常用于测量脑瘫患儿肌张力的方法,但是最近的多项研究结果认为,这种方法在评定脑瘫患儿时的信度并不十分理想,只是由于目前尚无其他更理想的方法可以替代,所以依然被广泛采用。Clopton 等^[1]对 2~17 岁的痉挛型脑瘫患儿采用改良 Ashworth 法测定肌张力并评价其信度,测量部位包括肘屈肌群、髋内收肌群、股四头肌、腓绳肌、腓肠肌和比目鱼肌等,结果显示肘屈肌群和腓绳肌组间信度良好($ICC > 0.75$),在测定其余肌群时组间信度则较低,组内信度同样也是在测定腓绳肌时表现良好($ICC > 0.75$),测定其余肌群时的组内信度呈现中等程度(ICC 在 $0.75 \sim 0.50$)。Fosang 等^[2]认为,改良 Ashworth 法的信度不够理想,在年龄较小的脑瘫患儿中应该谨慎使用。Dimiano 等^[3]研究了改良 Ashworth 法的效度,以 22 例平均 11.9 岁的痉挛型脑瘫为对象,其中粗大运动功能分级(gross motor function classification system, GMFCS) I 级 1 例、II 级 10 例、III 级 8 例、V 级 3 例,在进行徒手肌张力测定的同时通过表面肌电图记录等速运动时牵张反应的发生状况,同时进行粗大运动功能测试(gross motor function measure, GMFM)和儿童疗效数据采集表(pediatric outcomes data collection instrument, PODCI)评价,比较在各种等速运动开始角度状态下,股四头肌和腓绳肌的肌张力与各种其他评估参数之间的相关性,结果显示肌张力的测定结果与各种其他评估参数之间存在中等程度的相关性,在股四头肌其相关程度更为密切。

2. Ely 试验(Ely test):脑瘫患者股直肌痉挛会导致摆动相步态障碍,Ely 试验常被用来判断股直肌是否存在肌张力增高,测试时要求患者髋、膝关节自然放松伸展,俯卧位,检查者徒手被动屈膝患者受检下肢膝关节,如存在股四头肌痉挛,在 $< 90^\circ$ 被动屈膝位检查者即可感知屈膝抵抗,同时伴髋关节屈曲而抬升臀部体征,即阳性结果,反之即阴性。Marks 等^[4]研究了 Ely 试验评价脑瘫患儿股直肌痉挛所致步行摆动相障碍的临床价值,研究对象为 70 例(104 个下肢)痉挛型脑瘫患儿,平均年龄为 13 岁,其中双瘫 42 例、四肢瘫 15 例、偏瘫 13 例,均能步行,通过 Ely 试验、步态分析和动态肌电图确定 Ely 试验在评价脑瘫股直肌障碍所致的摆动相步态障碍时的敏感性和特异性,发现 Ely 试验具有良好的特异性,可以预测脑瘫患者由股直肌痉挛所致的摆动相步态障碍。Kay 等^[5]研究了 Ely 试验对股直肌移位术疗效的预测价值,对 56 例(94 个下肢)手术时平均年龄为 9~10 岁的痉挛型脑瘫患儿进行股直肌移位术治疗其僵硬步态,采用 Ely 试验、步态分析、动态肌电图和徒手肌力测定在手术前、后进行评估(平均术后 19~22 个月随访),根据手术前、后 Ely 试验的结果分组,通过步态分析和动态肌电图比较疗效,结果显示术前 Ely 试验阳性者,术后膝关节活动范围明显上升,术前阴性者无改变;摆动相膝关节最大屈曲峰值均改善,但是术前阴性者改善幅度较小,差异无统计学意义,认为 Ely 试验可以预测手术疗效,对术前股四头肌无力或 Ely 试验阴性者需谨慎。

二、肌力测定方法

肌力训练可以有效地提高脑瘫患儿的运动功能,而且不会导致痉挛增加,已经成为目前脑瘫康复的常用方法。由于脑瘫患者的肌力一般界于传统徒手肌力测定的 3~4 级之间,相对范围比较狭窄,如果采用传统徒手肌力测定法,其敏感性显然不够,只有提高测量方法的精确度才能进行有效的评价,因此近年来国外多采用手持式肌力测定仪(handheld dynamometry, HHD)来评价脑瘫患儿的肌力状况。HHD 是判断被测肌肉在特定肌肉长度时产生力量的能力,具体方法是把 HHD 放置于特定的测试点,令被测者对抗检测人员,注意保持受检关节稳定,HHD 会显示出相应的力量参数,重复 3 次测试,选择最大数值,即为绝对肌力。

Berry 等^[6]研究了 HHD 在脑瘫患儿肌力测定中的信度,15 例平均年龄为 11.7 岁(7~16 岁)的痉挛型脑瘫患儿接受了测试,其中痉挛型双瘫 12 例、痉挛型四肢瘫 3 例,采用 HHD 测定膝伸展和屈曲、髋外展力量,并同时测定 GMFM 量表中的站立和走跑跳分区的分值,结果显示,HHD 测量脑瘫患者痉挛肌群肌力时具有良好的组内和组间重测信度($ICC = 0.84 \sim 0.97$),同时还发现髋外展和膝屈曲力量与 GMFM 分值相关($r = 0.65 \sim 0.53$)。HHD 明显提高了肌力测定的精确性和信度,而且各种型号 HHD 之间具有良好的信度^[7]。随着肌力测定精确度的提高,给脑瘫运动发育研究带来了许多益处,有关的结果越来越

作者单位:200032 上海,复旦大学附属儿科医院华泾社区卫生服务中心联合儿童康复科

通讯作者:史惟,Email:shiweixiyi@hotmail.com

越细致,而且与临床治疗的关系更加密切。Goh 等^[8]研究了脑瘫患儿膝部肌肉状态与粗大运动功能和步行能耗的相关性,采用 HHD 和 Ashworth 法分别测定肌力和肌张力,同时进行 GM-FM 和 3 min 连续步行状态下的步行能耗测定 (energy expenditure indices, EEI),研究对象为 27 例痉挛型双瘫患儿,平均年龄为 9 岁 (7 ~ 12 岁),都能连续独自行走 3 min 以上,其中 GMFCS I 级 12 例、II 级 10 例、III 级 5 例,比较这些对象的腓绳肌、股四头肌的肌力和肌张力与 GMFM、EEI 之间的关系,结果发现,脑瘫患儿膝部的肌肉和骨骼障碍与粗大运动功能和步行能耗之间存在相关性 ($r = 0.42 \sim 0.85$),其中腓绳肌肌力下降和股四头肌痉挛是更为重要的影响因素,这样的研究结果提示,在临床康复治疗过程中,对痉挛型双瘫患儿应该重视提高腓绳肌肌力,同时还需要缓解股四头肌痉挛。

骨骼和关节的评定

一、关节活动度测定

脑瘫患儿由于肌张力异常,关节活动度会受到不同程度限制。关节活动度测定包括主动运动范围和被动运动范围测定,考虑到年龄和认知等因素,目前多数采用被动关节活动度的测定。

1. 被动关节活动度测定:适用于全身各个关节,已有一整套规范的测定方法^[9,10],在脑瘫中最常见的是对髋关节、膝关节和踝关节等进行测定。许多研究认为,关节活动度测定的信度高于肌张力测定,但是各个关节之间还存在着一定的差异。Allington 等^[10,11]的研究结果显示,用量角器进行关节活动度测定,在测量髋伸展时信度最低 (ICC = 0.58),测量腓窝角时最高 (ICC = 0.93),测量膝伸展、髋内收和踝背曲时 ICC 值分别为 0.78、0.91 和 0.87。Kilgour 等^[12]研究了测定痉挛型双瘫患儿在矢状位状态下下肢关节活动度的信度,研究对象为 25 例双瘫患儿,年龄为 6 ~ 17 岁,GMFCS I ~ II 级 22 例,III 级 3 例,另外还有 25 例相同性别和年龄正常儿童作为对照,发现脑瘫组和正常组的组内信度都较高 (ICC > 0.90),绝对差值在 0.7 ~ 4.2°,组间信度相对较低 (ICC < 0.80),绝对差值上升至 8.6°,2 组对象信度相似,采用 2 次平均值的方法并不能提高信度。

2. 腓窝角测定:是评价膝关节挛缩的常用指标之一,测量方法包括传统法和改良法。采用传统法测定时,可以令被测者取仰卧位,一侧下肢伸直,需检查侧的下肢屈膝,同时髋关节屈曲 90°,检查者一手固定骨盆,另一手把小腿被动地抬起直至感到有阻力时,小腿和大腿之间的补角就是腓窝角,而采用改良法时检查侧对侧的下肢不需要伸直,与改良法相比,传统法依然被更多地使用。Thompson 等^[13]研究 2 种方法在评价蜷伏步态脑瘫患儿的腓绳肌长度时的差异,由 9 名专业人员在不同场合采用传统法和改良法测量腓窝角,测量对象为 16 例能步行的呈蜷伏步态的脑瘫患儿,平均年龄为 8.2 岁 (5 ~ 13 岁),同时用三维步态分析系统测定动态腓绳肌长度,结果发现 2 种方法的信度相似,但是改良法与动态腓绳肌长度之间存在相关性,可以更好地反映内侧腓绳肌的挛缩状态。

二、骨骼畸形程度的测定方法

长期关节活动度受限使肌肉和骨骼的对线长期处于不良状态,最终导致骨骼畸形,脑瘫患者最容易出现的畸形部位是髋关节和踝关节。

1. 股骨头偏移百分比 (migration percentage, MP) 的测定方法:MP 值的测量是通过两髋臼内下缘顶点作一连线 (H 线),并以髋臼外上缘作一垂直 P 线 (Perkin 线),P 线外侧股骨头部分与内侧部分的比值乘以百分之一百就是股骨头偏移百分比,即 MP。MP 是评价痉挛型脑瘫患儿髋关节发育不良的主要指标,尤其是 MP 的动态改变状况具有较高预测价值^[14]。MP < 33% 为正常,33% ~ 50% 为髋关节半脱位, > 50% 为全脱位。拍摄骨盆片时的最佳体位是平卧、双下肢内旋中立位、髌骨垂直向上、骨盆无倾斜和旋转;假如存在单侧或双侧髋畸形而难以放正时,需要确保两侧对称;如果髋屈曲或脊柱前凸时,可以使用软垫垫于双大腿之下,以确保骨盆的相对正常,总之关键在于保持髋部的中立位。在测量过程中髋臼外缘 P 线的定位在很大程度上影响着 MP,痉挛型脑瘫患者髋关节骨盆平片常常可以看到在髋臼外上缘存在凹槽状的 Gothic 弓 (Gothic arch), Parrott 等^[15]提出以 Gothic 弓的中心点作为理论上的髋臼外缘 P 线,这样可以提高测量的信度,他们采用上述标准化的测量方法对 20 例平均年龄为 32 个月 (11 个月 ~ 8 岁 5 个月) 的双侧型脑瘫患儿进行 MP 测量,观察 MP 测量的组内信度 (同一测试者间隔 2 周) 和组间信度 (5 例测试者间),MP 的组内信度 ICC 值为 0.95 ~ 0.97,组间信度 ICC 值为 0.91 ~ 0.93,组内测量误差为 5.8%,组间测量误差为 8.3%,认为通过 MP 测定可以在临床判断脑瘫患儿的髋关节发育。Faraj 等^[16]却认为 MP 的组内和组间信度均不理想,存在明显的测量误差,不适合临床应用,可能与他们没有采用标准化的测量方法有关。

Gordon 等^[17]在 2006 年发表的系统评价显示,60% 不能行走的脑瘫患儿在 5 岁时很有可能发生髋关节脱位,通过放射学检查可以早期判断,主要判断指标是 MP 和髋臼指数 (acetabular index, AI),建议对双侧型脑瘫患儿在 30 个月左右就应该通过放射学检查,以对髋关节实施发育监控。Terjesen^[18]对 76 例平均年龄为 4.4 岁未经手术治疗的双侧痉挛型脑瘫患儿在平均间隔 4.8 年后进行了 MP 的重新测定,发现这些对象的 MP 平均每年上升 7%,MP 改变与步行功能和年龄有关,能行走者平均每年上升 2%,不能行走者每年上升 12%,四肢瘫中 < 5 岁的对象 MP 每年上升 13%, > 5 岁的每年上升 7%,在 < 5 岁不能行走的脑瘫患儿中髋关节脱位速度较快。髋关节的脱位在双侧型脑瘫患者中具有较高的发生率,但是通过各种方法相结合进行系统的管理,还是有可能预防和缓解这一现象,瑞典 Hägglund 等^[19]对 1992 年至 1997 年间出生的 258 例脑瘫患儿的髋关节进行了系统管理,与未接受系统管理的 1990 年至 1991 年出生的 103 例对照后提示,系统管理可以有效地控制痉挛型脑瘫患儿的髋关节发育异常。

2. 足踝关节畸形 (马蹄足、后足外翻和后足内翻畸形) 的评定方法:痉挛型马蹄畸形可分为动态型和固定型,前者以痉挛为主要表现,而后者主要是因为挛缩所致。Silfverskiöld 试验是鉴别导致马蹄畸形的腓肠肌以及比目鱼肌是痉挛还是挛缩的常用方法^[20],一般在术中麻醉状态进行,无论膝关节处于任何体位,畸形均不能纠正,为固定型马蹄足,如果在膝关节完全伸直状态,畸形不能纠正,而屈膝位时畸形可以被动纠正,为动态型马蹄足。Steinwender 等^[21]对 29 例双瘫患者在进行多级矫形术中采用 Silfverskiöld 试验鉴别动态型和固定型马蹄足,动态型马蹄足 12 例 (24 足),平均年龄为 12.7 岁,固定型马蹄足

17 例(34 足),平均年龄为 14.4 岁,对固定型马蹄足在多级矫形术中增加小腿三头肌延长术,在间隔 3 年以后进行随访,结果 2 组患者踝关节功能均得到改善,疗效无明显差异。动态型患者踝关节力量无明显下降,提示术中的动态型和固定型鉴别非常重要。

足部内、外翻畸形的程度通常用以下的方法来区分^[22]:①严重内翻——后跟(跟跟角)内翻 $> 10^\circ$;②内翻——后跟内翻角度为 $5^\circ \sim 10^\circ$;③自然状态——后跟处于自然状态,或内翻和外翻角度 $< 5^\circ$;④外翻——后跟外翻角度为 $5^\circ \sim 10^\circ$;⑤严重外翻——后跟外翻 $> 10^\circ$ 。

踝关节外翻畸形主要通过踝关节前后位 X 光片来确定畸形程度,经常使用的是 Scott 踝关节外翻分级法^[23],0 级——无踝外翻,腓骨远端骨骺线与踝穴距骨顶在同一水平线;1 级——腓骨远端骨骺线居于距骨顶与胫骨远端骨骺线间水平;2 级——腓骨骨骺线与远端胫骨骨骺线平齐;3 级——腓骨远端骨骺线居胫骨远端骨骺线近侧。

以上的方法属于临床评价或放射学评价方法,临床评价是判断畸形的最主要和简便的方法,放射学评价则是术前评价的必要手段,但是它们在定量分析方面都存在着不足,并不非常适合于疗效评价。足底压力测定(dynamic pedobarograph)对客观评价治疗效果有着良好的使用价值^[22],它通过压力传感鞋连续测量步行时瞬间的足底压力分布及改变状况,一般把足底分为 5 个区域:①后跟(heel);②足中部内侧(medial midfoot, MM);③足前部内侧(medial forefoot, MF);④足中部外侧(lateral midfoot, LM);⑤足前部外侧(lateral forefoot, LF),它可以提供足底触地模式、各个区域的压力分布参数和压力-时间变化参数等^[24],有效地反映内侧或外侧的重心改变,对严重的足内、外翻是首要的评价工具,还可以监控畸形的发展状态,而且与临床表现最为相关。Park 等^[24]在至少间隔 6 个月后评价手术纠正脑瘫患者足内、外翻的疗效,足底压力测定反映术后足底触地模式得到改善,主要体现在区域、长度和宽度等参数。

步态分析

一、三维步态分析

在评价能行走的脑瘫患者时步态分析是必不可少的。目前主要采用三维步态分析系统,通过数台高速数码相机捕获整个步行周期时在矢状位、冠状位和横断面的各项动态关节活动范围(运动学参数),还可以同时在鞋底植入压力传感器计算关节的力矩和力量(动力学参数),与以往的各种步态分析方法相比,三维步态分析更为敏感和精确^[25],在动态下对各种参数进行适时采集和处理(如足与地面之间的相互影响力、各关节点在空间的坐标位置等),并在此基础上计算出某些反映人体步态特点的特征参数(如关节角度、质心位移、肌肉产生的内力矩及肌肉功率等),从而实现对人体运动功能进行定量分析,另外还可以通过步行周期时相变化发现步行周期中的特征。

有关三维步态分析在分析脑瘫患者中的信度和效度的研究比较少,主要通过各项参数的改变情况来判断各项干预的疗效。Saraph 等^[26]对 32 例平均年龄为 11.1 岁的痉挛型双瘫患儿在接受各种改善步态的外科手术前、后用三维步态分析系统分析手术疗效,持续观察时间为 3 年,发现手术疗效能够持续 3 年以上。Cook 等^[27]比较了临床观察与步态分析在判断脑瘫患

者是否需要外科手术时的差异,发现 2 者在判断是否需要骨骼矫形时保持较好的一致性,而步态分析发现了更多的患者需要接受软组织手术,表明医生的临床观察在判断患者是否需要接受软组织手术时可能会存在困难。Desloovere 等^[28]以 200 例脑瘫患儿为对象研究了步态分析与临床评价(包括肌力、肌张力和关节活动度等)之间的关系,虽然结果显示 2 者之间存在不同程度的统计学意义上的相关性,但是它们之间相关程度并不高,认为步态分析具有独立的评价价值,是其他临床评价方法所不能取代的。

二、视觉步态分析

尽管三维步态分析在评价脑瘫患者的步态方面与以往的视觉评价相比具有更好的敏感性和精确性,但是由于三维步态分析需要特定的装置和经过特别培训的测试人员,加之价格昂贵,因此并不是所有的机构都有能力采用三维步态分析。当电脑步态分析不能被采用时,在临床上往往就会通过视觉观察来分析和评价脑瘫患者的步态问题。视觉步态分析一般通过摄像记录被评价者的步态,然后在正常或慢速播放状态下进行评价,视觉步态分析除了投入少、操作方便之外,而且与三维步态分析相比更加适合对身材偏小的幼年脑瘫患儿进行评估。在脑瘫的视觉步态评价中爱丁堡步态量表和改良医师评价量表是最常用的评价方法。

1. 爱丁堡步态量表(Edinburgh gait score):由 17 个项目构成,评价步行时足踝关节、膝关节、髋关节、骨盆和躯干在支撑周期和摆动周期时的活动状态,每项为 3 级评分法,分值越高则表明与正常状态越背离。Read 等^[29]的研究结果表明,爱丁堡步态量表具有良好的组内和组间信度,同时与三维步态分析具有良好的相关性,能够反映手术前、后的变化。Vieheweger 等^[30]报道了法语版爱丁堡步态量表的信度研究,认为法语版爱丁堡步态量表对足踝部和膝部的评价具有好的组内和组间信度,在评价骨盆、髋和躯干时较低,组间信度高于组内信度,有步态分析经验者间的信度相对较高。Hillman 等^[31]研究了爱丁堡步态量表在评价脑瘫患儿步态时的平行效度,效标包括 Gillette 步态指数、三维步态分析、Gillette 功能评价问卷和步行速度,结果显示爱丁堡步态量表与其他 3 种评价方法之间的校正相关系数在 0.26 ~ 0.79 之间,表明它们之间具有良好的平行效度。

2. 改良医师评价量表:与爱丁堡步态量表相比,评价项目明显减少(7 项),所以评估的时间也大为缩短,大约只需 5 min 左右,从现有的研究结果来看,其信度和效度并不低于爱丁堡步态量表^[32],Wren 等^[33]认为,改良医师评价步态量表在评价脑瘫患者的髋关节蜷曲、足地触地模式和最大髋关节伸展幅度时具有良好的信度和效度,录像慢速播放有助于提高信度,特别是对踝关节位置的评价,但是在有些病例(接近正常状态的病例)中量表评价不能替代三维步态分析。

步态分析是评价能行走脑瘫患者的重要工具,但是无论是三维步态分析还是各种视觉步态评价方法,目前还只是处于临床研究或开发阶段,在脑瘫康复机构真正被使用的机会还很少,相信随着研究的进展,步态分析必将成为脑瘫评估的重要组成部分。

综上所述,可以发现近年来脑瘫患儿肌肉、骨骼、关节和步态的各种评定方法正在从测量工具和方法方面逐步地被标准

化,通过这些标准化研究,可以有效地提高评定的敏感性和精确性,为临床研究和治疗提供合理的信息。在对脑瘫患儿进行系统康复管理过程中一定重视这些这些评定方法,这样才能有利于预防和控制脑瘫患儿畸形,在提高功能的同时提高他们的生活质量。

参 考 文 献

- [1] Clopton N, Dutton J, Featherston T, et al. Interrater and intrarater reliability of the Modified Ashworth Scale in children with hypertonia. *Pediatr Phys Ther*, 2005, 17: 268-274.
- [2] Fosang AL, Galea MP, McCoy AT, et al. Measures of muscle and joint performance in the lower limb of children with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol*, 2003, 45: 664-670.
- [3] Dimiano DL, Quinlivan JM, Owen BF, et al. What does the Ashworth scale really measure and are instrumented measures more valid and precise? *Dev Med Child Neurol*, 2002, 44: 112-118.
- [4] Marks MC, Alexander J, Sutherland DH, et al. Clinical utility of the Duncan-Ely test for rectus femoris dysfunction during the swing phase of gait. *Dev Med Child Neurol*, 2003, 45: 763-768.
- [5] Kay RM, Rethlefsen SA, Kelly JP, et al. Predictive value of the Duncan-Ely test in distal rectus femoris transfer. *J Pediatr Orthop*, 2004, 24: 59-62.
- [6] Berry ET, Giuliani CA, Damiano DL. Intrasession and intersession reliability of handheld dynamometry in children with cerebral palsy. *Pediatr Phys Ther*, 2004, 16: 191-198.
- [7] Click Fenter PC, Bellew JW, Pitts TA, et al. Reliability of stabilised commercial dynamometers for measuring hip abduction strength: a pilot study. *Br J Sports Med*, 2003, 37: 331-334.
- [8] Goh HT, Thompson M, Huang WB, et al. Relationships among measures of knee musculoskeletal impairments, gross motor function, and walking efficiency in children with cerebral palsy. *Pediatr Phys Ther*, 2006, 18: 253-261.
- [9] McDowell BC, Hewitt V, Nurse A, et al. The variability of goniometric measurements in ambulatory children with spastic cerebral palsy. *Gait Posture*, 2000, 12: 114-121.
- [10] Allington NJ, Leroy N, Doneux C, et al. Ankle joint range of motion measurements in spastic cerebral palsy children: intraobserver and interobserver reliability and reproducibility of goniometry and visual estimation. *J Pediatr Orthop B*, 2002, 11: 236-239.
- [11] McWhirk LB, Glanzman AM. Within-session inter-rater reliability of goniometric measures in patients with spastic cerebral palsy. *Pediatr Phys Ther*, 2006, 18: 262-265.
- [12] Kilgour G, Mcnair P, Stott NS. Intrarater reliability of lower limb sagittal range-of-motion measures in children with spastic diplegia. *Dev Med Child Neurol*, 2003, 45: 391-399.
- [13] Thompson NS, Baker RJ, Cosgrove AP, et al. Relevance of the popliteal angle to hamstring length in cerebral palsy crouch gait. *J Pediatr Orthop*, 2001, 21: 383-387.
- [14] Scrutton D, Baird G, Smeeton N. Hip dysplasia in bilateral cerebral palsy: incidence and natural history in children aged 18 months to 5 years. *Dev Med Child Neurol*, 2001, 43: 586-600.
- [15] Parrott J, Boyd RN, Dobson F, et al. Hip displacement in spastic cerebral palsy: repeatability of radiologic measurement. *J Pediatr Orthop*, 2002, 22: 660-667.
- [16] Faraj S, Atherton WG, Stott NS. Inter-and intra-measurer error in the measurement of reimer's hip migration percentage. *J Bone Joint Surg Br*, 2004, 86: 434-437.
- [17] Gordon GS, Simkiss DE. A systematic review of the evidence for hip surveillance in children with cerebral palsy. *J Bone Joint Surg Br*, 2006, 88: 1492-1496.
- [18] Terjesen T. Development of the hip joints in unoperated children with cerebral palsy: a radiographic study of 76 patients. *Acta Orthop*, 2006, 77: 125-131.
- [19] Häggglund G, Andersson S, Düppe H, et al. Prevention of dislocation of the hip in children with cerebral palsy. The first ten years of a population-based prevention programme. *J Bone Joint Surg Br*, 2005, 87: 95-101.
- [20] Perry J, Hoffer M, Giovan P, et al. Gait analysis of the triceps surae in cerebral palsy. A preoperative and postoperative clinical and electromyographic study. *J Bone Joint Surg Am*, 1974, 56: 511-520.
- [21] Steinwender G, Saraph V, Zwick EB, et al. Fixed and dynamic equinus in cerebral palsy: evaluation of ankle function after multilevel surgery. *J Pediatr Orthop*, 2001, 21: 102-107.
- [22] Chang CH, Miller F, Schuyler J. Dynamic pedobarograph in evaluation of varus and valgus foot deformities. *J Pediatr Orthop*, 2002, 22: 813-818.
- [23] Scott SM, Janes PC, Stevens PM. Grice subtalar arthrodesis followed to skeletal maturity. *J Pediatr Orthop*, 1988, 8: 176-183.
- [24] Park ES, Kim HW, Park CI, et al. Dynamic foot pressure measurements for assessing foot deformity in persons with spastic cerebral palsy. *Arch Phys Med Rehabil*, 2006, 87: 703-709.
- [25] Narayanan UG. The role of gait analysis in the orthopaedic management of ambulatory cerebral palsy. *Curr Opin Pediatr*, 2007, 19: 38-43.
- [26] Saraph V, Zwick EB, Auner C, et al. Gait improvement surgery in diplegic children: how long do the improvements last? *J Pediatr Orthop*, 2005, 25: 263-267.
- [27] Cook RE, Schneider I, Hazlewood ME, et al. Gait analysis alters decision-making in cerebral palsy. *J Pediatr Orthop*, 2003, 23: 292-295.
- [28] Desloovere K, Molenaers G, Feys H, et al. Do dynamic and static clinical measurements correlate with gait analysis parameters in children with cerebral palsy? *Gait Posture*, 2006, 24: 302-313.
- [29] Read HS, Hazlewood ME, Hillman SJ, et al. Edinburgh visual gait score for use in cerebral palsy. *J Pediatr Orthop*, 2003, 23: 296-301.
- [30] Viehweger E, Hélix M, Jacquemier M, et al. Application of the edinburgh visual gait score: interobserver and intraobserver reliability. *J Bone Joint Surg Br*, 2005, 87-B: 69.
- [31] Hillman SJ, Hazlewood ME, Schwartz MH, et al. Correlation of the edinburgh gait score with the Gillette Gait Index, the Gillette Functional Assessment Questionnaire, and dimensionless speed. *J Pediatr Orthop*, 2007, 27: 7-11.
- [32] Maathuis KG, van der Schans CP, van Iperen A, et al. Gait in children with cerebral palsy: observer reliability of Physician Rating Scale and Edinburgh Visual Gait Analysis Interval Testing scale. *J Pediatr Orthop*, 2005, 25: 268-272.
- [33] Wren TA, Rethlefsen SA, Healy BS, et al. Reliability and validity of visual assessments of gait using a modified physician rating scale for crouch and foot contact. *J Pediatr Orthop*, 2005, 25: 646-650.

(修回日期: 2008-03-17)

(本文编辑: 松 明)