

· 综述 ·

脑性瘫痪膝关节屈曲畸形的评估及外科治疗进展

聂玉婷¹ 李宇² 朱光辉¹¹ 南华大学儿科学院 中南大学湘雅医学院附属儿童医院(湖南省儿童医院)骨科 儿童骨科学湖南省重点实验室,长沙 410007; ² 娄底市第一人民医院骨科,娄底 417000

通信作者:朱光辉,Email:zgh5650@163.com



全文二维码

【摘要】 脑性瘫痪常伴有肢体畸形,包括上肢、髋、膝、踝、足畸形等,给患儿的生活和行动带来很大的不便。膝关节屈曲畸形是脑性瘫痪患儿肢体畸形中较为常见的一种,目前的治疗方案包括支具治疗、康复锻炼、肉毒素治疗、软组织手术、骨性手术以及外固定治疗等。各种治疗方案的具体适应证不同,目前暂无相应的共识或指南。本文对脑性瘫痪膝关节屈曲畸形的形成原因、评估及治疗方案进行综述,为脑性瘫痪膝关节屈曲畸形的临床诊疗提供参考。

【关键词】 脑性瘫痪; 膝关节屈曲畸形; 下肢畸形; 症状评估; 外科手术; 儿童

基金项目: 国家重点研发计划(2023YFC2507605); 儿童骨科学湖南省重点实验室开放课题(2023TP1019)

DOI:10.3760/cma.j.cn101785-202404047-018

Assessment and Surgical Treatment Progress for Knee Flexion Deformity in Cerebral Palsy

Nie Yuting¹, Li Yu², Zhu Guanghui¹

¹ The School of Pediatrics, University of South China, the Affiliated Children's Hospital of Xiangya School of Medicine, Central South University (Hunan Children's Hospital), Hunan Provincial Key Laboratory of Pediatric Orthopedics, Changsha 410007, China; ² Department of Orthopedics, the First People's Hospital of Loudi, Loudi 417000, China

Corresponding author: Zhu Guanghui, Email: zgh5650@163.com

【Abstract】 Cerebral palsy often accompanies limb deformities, including abnormalities in the upper limbs, hips, knees, ankles, and feet, which significantly hinder the daily activities and mobility of affected children. Among these, knee flexion deformity is a common limb deformity seen in children with cerebral palsy. Current treatment options encompass brace therapy, rehabilitation exercises, botulinum toxin therapy, soft tissue surgery, bony surgery, and external fixation. Each treatment modality has specific indications, and there is no current consensus or guidelines. This article reviews the causes, assessment, and treatment options for knee flexion deformity in cerebral palsy, providing references for the clinical diagnosis and treatment of this condition.

【Key words】 Cerebral Palsy; Knee Flexion Deformity; Lower Limb Deformities; Symptom Assessment; Surgical Procedures, Operative; Child

Fund program: National Key Research and Development Program (2023YFC2507605); Open Project of Hunan Provincial Key Laboratory of Pediatric Orthopedics (2023TP1019)

DOI:10.3760/cma.j.cn101785-202404047-018

脑性瘫痪(以下简称脑瘫)是一种中枢神经系统的非进行性疾病,以持续存在的运动姿势发育性障碍及活动受限为主要表现,其中以痉挛性脑瘫最为常见^[1]。脑瘫的危险因素复杂多样,包括早产、宫内发育迟缓、感染以及辅助生殖技术等^[2]。脑瘫患儿常伴有肢体畸形,对其生活造成了严重影响。其中膝关节屈曲畸形尤为普遍,会导致下肢生物力学改变,降低肌肉运动的有效性,从而出现步态异常^[3-4]。此外,由于膝关节无法完全伸直,导致关节压力主要集中在膝关节

前方,增加了关节软骨的磨损和关节疼痛的风险。因此,患儿在维持正常步态时需要消耗更多的能量,降低了行走效率。这些力学改变可能会对患儿的日常生活和运动能力产生负面影响,因此早期诊断和治疗膝关节屈曲畸形非常重要^[5]。本文将对脑瘫膝关节屈曲畸形的形成原因、评估和治疗进行综述。

一、脑瘫膝关节屈曲畸形的形成原因

痉挛型脑瘫膝关节屈曲畸形的成因包括股后侧肌群(半

腱肌、半膜肌、股二头肌)以及内收肌群痉挛和挛缩、小腿三头肌(腓肠肌、比目鱼肌)痉挛和挛缩、股四头肌拮抗力低于股后侧群肌、髌骨高位以及扁平外翻足畸形,而腘绳肌挛缩是导致膝关节屈曲畸形的主要原因^[6]。在正常步幅中,腘绳肌最大的关节活动度需求发生在摆动末期,在这个时间点上膝关节接近完全伸直,然而腘绳肌的挛缩将限制摆动末期正常的膝关节伸展,从而使膝关节呈持续屈曲状。此外,腓肠肌痉挛是导致膝关节屈曲挛缩的次要原因,通常会出现明显的马蹄足畸形并伴有严重的膝关节挛缩,其原因是踝关节处的力臂比膝关节处的力臂长,从而导致马蹄足畸形先出现,随着膝关节屈曲量的增加,腓肠肌的屈曲力臂也随之增加,进一步加重膝关节屈曲畸形^[7]。

二、脑瘫膝关节屈曲畸形的评估

脑瘫膝关节屈曲畸形的评估一般基于体格检查、影像学检查以及步态分析。具体评估如下:

(一)体格检查

膝关节屈曲畸形的体格检查主要是测量腘窝角,患儿取仰卧位,髋关节屈曲 90°,测量大腿延长线与小腿之间的夹角。在单侧腘窝角测量中,患儿被测下肢的膝、髋关节同时保持 90°,而另一侧下肢伸直,直至感受到阻力或无法进一步伸展膝关节。在双侧腘窝角测量中,双侧膝、髋关节同时保持 90°,分别测量腘窝角。双侧腘窝角测量在评估腘绳肌紧绷度方面比单侧测量更可靠,因为如果存在腰肌挛缩,后者测量的腘窝角会偏大。在麻醉状态下,再次测量腘窝角更为严谨。此外应对股四头肌进行评估,常使用俯卧位股直肌试验评估股直肌痉挛,膝关节屈曲时骨盆上升表明股直肌痉挛^[8]。

(二)影像学

X 线片是评估和诊断膝关节屈曲畸形的必要依据,并能作为矫形手术设计提供术前准备信息。其中膝关节的标准影像学评估包括 3 个体位相:正位片、屈膝 30°侧位片以及髌骨轴位片^[9]。目前还没有标准的技术来测量膝关节屈曲挛缩度,Schroeder 等^[9]使用膝关节最大伸直侧位片来确定挛缩的程度,常在侧位片上测量股骨中段骨干与胫骨中段骨干之间的夹角或测量股骨前缘线和胫骨后缘线之间的夹角。

(三)三维步态分析(three-dimensional gait analysis,3DGA)

3DGA 被认为是评估脑瘫患儿行走能力的最佳方法,也称量化步态分析或基于计算机辅助的步态分析^[10]。该方法是一种综合了多因素的评估方法,它结合了运动学、动力学和肌电图等多组测量数据,为正常与病理步态模式提供定量描述^[11]。这项技术生成的步态分析数据能够为临床医师提供重要信息,辅助他们评估手术治疗是否符合患儿的长期功能恢复需求。

(四)髌骨高位评价

长期膝关节屈曲会导致股四头肌和膝关节伸肌过度拉伸,进而导致髌骨高位^[3]。在对脑瘫患儿实施全身多关节肌肉延长手术时,配合进行髌腱下移手术(patellar tendon advancement,PTA)可以更好地改善膝关节屈曲。对于髌骨高

位的评估,脑瘫中最常用的指标包括 Insall-Salvati 指数、Koshino 指数(KI 指数)以及 Caton-Deschamps 指数(CD 指数)^[9]。Insall-Salvati 指数即髌腱长度(髌骨下极起始至胫骨结节止点)与髌骨垂直高度(髌骨上极至下极长度)之比;CD 指数即髌骨关节面长度与髌骨关节面至胫骨干上端前角的距离比,正常值为 0.6~1.3,大于 1.3 提示高位髌骨;KI 指数即髌骨中心至胫骨近端骨骺中点线的距离与股骨远端至胫骨近端距离之比^[12]。

三、脑瘫膝关节屈曲畸形的治疗

脑瘫膝关节屈曲畸形的治疗方法包括保守治疗、手术治疗等,治疗方法的选择主要取决于患儿的年龄、粗大运动分级(Gross Motor Function Classification,GMFCS)、畸形的严重程度、髋关节和踝关节的相关畸形以及股四头肌的肌力等^[13]。

(一)保守治疗

脑瘫膝关节屈曲畸形的保守治疗主要包括支具固定、物理治疗以及肉毒杆菌毒素治疗等。

1. 支具固定 Ries 等^[14]通过回顾性研究表明,地面反射型踝足矫正器(ground reaction ankle-foot orthoses, GRAFO)和固定式踝足矫形器(solid ankle-foot orthoses, SAFO)都可以有效地减少膝关节屈曲。而 Rogozinski 等^[15]指出膝关节和髋关节挛缩大于 15°是使用 GRAFO 的禁忌证。Di Brina 等^[16]发明了一种新型多层支撑矫形器(multilevel brace orthosis, MLB),并对脑瘫步态的治疗效果进行了案例报告,研究表明 MLB 不仅可以减少膝关节在步态周期中的屈曲程度,还可以减少膝关节的屈曲和伸直力矩,从而改善膝关节功能。

2. 物理治疗 物理治疗主要包括理疗、牵伸运动等。Franki 等^[17]研究表明,伸展训练和力量训练可以显著改善膝关节的屈曲情况,提高关节活动度和肌肉力量。而对于物理治疗的频率和持续时间目前还没有统一的标准, Lee 等^[18]认为,每周进行 1~3 次的伸展运动可以减轻脑瘫患儿的肌肉痉挛。此外,Heewon 还指出了定期进行物理治疗对于保持关节活动度的重要性,可以预防脑瘫患儿运动功能的恶化。

3. 肉毒杆菌毒素 腘绳肌肉毒素注射对年幼儿童有暂时的好处,而对于年龄较大、有明显固定挛缩的患儿没有实际作用。但 Gulati 等^[19]指出,肉毒杆菌毒素可作为治疗局灶性肌张力障碍的有效药物,也可用于治疗年龄较大的患儿以及成人局灶性肌张力障碍。在膝关节屈曲畸形的治疗中,腘绳肌注射肉毒素可以减轻肌肉痉挛、改善膝关节活动度,建议剂量为 3~6 IU/kg,与腘绳肌延长术或内收肌腱切断术联合使用能产生良好的治疗效果。肉毒素注射的副作用相对较小,最常见的是邻近肌肉无力,但在遵循正确的剂量和注射技术的前提下,很少出现副作用^[20]。Park 等^[21]的研究表明,腘绳肌肉毒素注射配合物理治疗和肢体训练能够有效改善肌纤维粗细和功能。

(二)手术治疗

脑瘫膝关节屈曲畸形的手术治疗主要包括软组织手术和骨性手术。

1. 腘绳肌延长术(hamstring surgical lengthening, HSL)

该术式主要解决膝关节动态屈曲畸形,可以改善痉挛型脑瘫患儿的站立、行走以及坐姿^[22-23]。单纯腘绳肌延长术主要适用于脑瘫患儿轻度屈曲畸形,Miller^[7]对腘绳肌延长手术适应证总结如下:①在麻醉状态下腘窝角大于 50° ;②膝关节进行性固定屈曲畸形挛缩 $5^{\circ}\sim 10^{\circ}$;③因腘绳肌挛缩而难以长时间保持坐位;④腘绳肌松懈时,坐位时严重的脊柱后凸可以得到解决。然而 HSL 最常见的术后并发症是膝屈曲畸形的复发,因此再次进行腘绳肌延长术(repeat hamstring surgical lengthening, RHSL)被视为治疗复发性膝关节屈曲畸形的一种有效方法。Morais 等^[24]比较了脑瘫中原发性 HSL 和 RHSL 的结果发现, RHSL 会增加骨盆前倾,因此认为还应考虑其他手术方案(如股骨远端半阻滞术、股骨远端延长截骨术或髌腱远端前置或缩短术等作为替代方案)。此外有研究报道大多数患儿术后平均骨盆倾斜没有明显变化,但在 GMFCS Ⅲ级的患儿中,骨盆前倾有显著增加的趋势^[25]。有研究提出动态腘绳肌长度是术前预测术后骨盆倾斜的唯一因素,并强调了术前检查骨盆倾斜、最小膝关节屈曲角度和动态腘绳肌长度的重要性,以帮助临床医师更好地评估手术利弊,因此建议为 HSL 的脑瘫患儿进行三维步态分析,包括运动分析(特定时相躯干和髌膝踝关节运动等)和建模后的腘绳肌长度^[26]。尽管腘绳肌延长术后的短中期结果良好,但后期屈膝易复发,故加强术后康复锻炼以恢复肌肉功能和关节活动度尤为重要。术后除了可能会出现骨盆前倾角增加外,还可能会出现因为腘绳肌肌力下降、股四头肌肌力相对过强而导致的膝关节过伸畸形,因此需注意预防^[27]。

2. 股直肌转移术(rectus femoris transfer, RFT) 膝关节屈曲畸形还可以通过将股直肌转移到股薄肌腱来治疗,并同时使用膝关节支具以缓解疼痛^[28]。Drehe 等^[29]研究发现对于摆动相膝关节屈曲峰值降低、延迟,以及摆动相膝关节屈曲幅度减小和膝关节屈曲速度降低的患儿,通过股直肌远端肌腱转移术可以显著改善僵硬的膝关节步态,且疗效持久。然而,对于那些在摆动相中膝关节屈曲峰值正常或增加的严重膝关节屈曲步态患儿,此术式效果不佳。由于股直肌远端肌腱转移会进一步削弱膝关节伸肌的力量,因此不建议对这些患儿进行预防性手术,对这些患儿来说,改善膝关节伸肌力量是首要考虑的问题。而股直肌转移术作为脑瘫多平面手术的一部分,可以与其他手术(如腘绳肌松懈术或股骨远端伸展截骨术)同时进行。

3. 膝关节后关节囊松解术(posterior knee capsulotomy, PKC) Taylor 等^[30]研究发现这一手术适用于轻度膝关节屈曲挛缩患儿,结合一次麻醉下的多部位手术能有效改善脑瘫患儿的膝关节屈曲畸形。另一方面, Musielak 等^[31]对双切口下膝关节后囊松解术治疗严重膝关节屈曲挛缩效果进行评价,发现该手术不仅显著提升了膝关节功能,而且并发症也相对较少。

4. 股骨远端半骨骺阻滞术(anterior distal femoral hemiepiphysiodesis, ADFH) Kramer 等^[32]首次报道了关于使用

股骨远端前侧骨骺固定术治疗固定屈曲型膝关节挛缩的临床经验,认为该术式能够将患儿术前 $10^{\circ}\sim 25^{\circ}$ 的固定屈曲畸形纠正至 $0^{\circ}\sim 11^{\circ}$,除 1 例术后发生早期并发症(1 例患儿 1 个月内脱钉)外,未观察到其他并发症。这表明,对于骨骼未成熟患儿来说,通过生长调控逐渐矫正固定性屈曲畸形是一种很好的选择。Stiel 等^[33]回顾性研究结果显示,脑瘫患儿的平均固定膝关节屈曲畸形从术前的 21° 改善到术后的 11° (平均每月矫正 0.2°),且术后并发症少,作者认为股骨前远端半骨骺阻滞术的最佳时机尤其取决于个体剩余的生长潜力、潜在疾病以及畸形程度,建议 10 岁左右进行早期治疗。对于具有较大生长潜力的患儿,建议在取出内固定物时对膝关节屈曲畸形进行轻微过矫(约 5°)以预防畸形复发。而对于生长潜力不足的患儿, Al-Aubaidi 等^[34]提到可以考虑股骨远端髁上截骨术等其他术式。Shore 等^[35]采用了改进的德尔菲共识法以确定手术指征,国际专家小组就股骨远端半骨骺阻滞术治疗儿童脑瘫膝关节屈曲挛缩达成以下共识:① ADFH 适用于非卧床患儿(GMFCS I ~ Ⅲ级);② ADFH 可用于 GMFCS IV 型脑瘫患儿,以帮助站立和转移;③如果患儿至少有 2 年的生长时间(通过任何骨骼成熟度衡量),可以进行 ADFH;④ ADFH 指征为膝关节屈曲挛缩角度 $10^{\circ}\sim 20^{\circ}$;⑤ ADFH 对于大于 30° 的重度膝关节屈曲挛缩而言效果较差,除非辅助其他处理;⑥股骨远端伸展截骨术后复发的膝关节屈曲挛缩可能是 ADFH 的指征;⑦行任何形式的 ADFH 后,持续的临床/放射学随访直至骨骼成熟是必要的,以监测矫正和发现意外的冠状面畸形;⑧如果存在伸肌滞后,可以在行 ADFH 时行髌腱前置或髌腱短缩。Rethlefsen 等^[36]初步研究表明,对于挛缩达 $30^{\circ}\sim 35^{\circ}$ 的患儿, ADFH 联合和髌腱短缩手术可能优于单纯 ADFH。

5. 股骨远端伸展截骨术(distal femoral extension osteotomy, DFEO) 朱光辉等^[37]推荐将股骨远端伸展截骨术与髌腱止点远端移位手术联合使用,特别是对于那些表现出屈膝步态和 $10^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 膝关节屈曲挛缩的痉挛性脑瘫患儿。Nabian 等^[38]研究结果表明,联合 DFEO 和 PTA 在治疗固定膝关节挛缩大于 15° 患儿中成功地改善了步态时膝关节主动伸展。也有研究发现 DFEO 联合 PTA 对患儿的膝关节运动虽有显著的改善作用,但并不会对患儿的整体生活满意度产生显著影响^[39]。该术式的优势在于可以直接改变骨骼结构,从而达到矫正膝关节畸形的效果,是改善膝关节屈曲挛缩的有效方法。但截骨术创伤较大,恢复期较长,且存在一定的手术风险,其术后并发症(如膝外翻、矫正不足、截骨不愈合)也较为常见。Liou 等^[40]发现骨骼发育不成熟的患儿在接受 DFEO 手术后易出现膝外翻畸形,因此建议在 DFEO 过程中进行轻微的内翻对齐,以补偿后续的外翻变化,并提到早期取出内固定可以预防膝外翻的改变。

6. 外固定器 对于固定屈膝大于 30° 的患儿可先行石膏牵伸,再行 DFEO 联合 PTA 或者考虑外固定器逐渐矫正。胡炜等^[41]采用软组织联合 Ilizarov 外固定架治疗 21 例痉挛性脑瘫屈膝畸形(已先行腰段选择性脊神经后根切断

术)的患儿,术后随访 17 例屈膝畸形得到完全矫正。孙保胜等^[42]研究表明采用 Ilizarov 技术对屈膝畸形进行有针对性的治疗,既能矫正屈膝畸形,又能使患儿在治疗期间适当活动患肢,有利于减轻骨质疏松等并发症。总之,使用 Ilizarov 技术治疗脑瘫屈膝畸形的效果是有效的,但还需进一步研究。

四、小结

脑瘫患儿的膝关节屈曲畸形可根据患儿不同情况选择不同的治疗方案。对于膝关节轻度非固定屈曲畸形,可用保守治疗、腓绳肌延长术以及股直肌转移手术等。对于膝关节固定屈曲畸形且具有一定生长潜力的患儿,选择股骨远端半髁阻滞术更为合适。若患儿生长潜力不足,则可考虑选择股骨远端伸展截骨术,同时联合髌腱止点下移术。而对于轻度膝关节屈曲畸形,支具固定也是一个不错的选择。值得提出的是,脑瘫患儿的术后康复是不可或缺的,在中国康复医学会儿童康复专业委员会 2022 年发布的中国脑性瘫痪康复指南中,建议早期综合性康复干预治疗^[43]。目前脑瘫患儿膝关节屈曲畸形仍然是一个治疗难点,尤其是外科治疗方面存在一些局限性,包括手术创伤大、术后恢复周期长、手术效果不稳定等。因此,未来的研究需致力于改进手术技术,通过药物、手术及康复治疗的综合应用,个体化设计手术方案,以提高治疗效果并减少术后并发症。

利益冲突 所有作者声明不存在利益冲突

参 考 文 献

- [1] 李晓捷,唐久来,马丙祥,等. 脑性瘫痪的定义、诊断标准及临床分型[J]. 中华实用儿科临床杂志, 2014, 29(19): 1520. DOI:10.3760/j.issn.2095-428X.2014.19.024.
- [2] Li XJ, Tang JL, Ma BX, et al. Definition, diagnostic criteria and clinic classification of cerebral palsy[J]. Chin J Appl Clin Pediatr, 2014, 29(19): 1520. DOI: 10.3760/j.issn.2095-428X.2014.19.024.
- [3] Michael-Asalu A, Taylor G, Campbell H, et al. Cerebral palsy: diagnosis, epidemiology, genetics, and clinical update[J]. Adv Pediatr, 2019, 66: 189-208. DOI: 10.1016/j.yapd.2019.04.002.
- [4] Otjen JP, Sousa TC, Bauer JM, et al. Cerebral palsy-beyond hip deformities[J]. Pediatr Radiol, 2019, 49(12): 1587-1594. DOI: 10.1007/s00247-019-04519-w.
- [5] Abd El-Kafy EM. The clinical impact of orthotic correction of lower limb rotational deformities in children with cerebral palsy: a randomized controlled trial[J]. Clin Rehabil, 2014, 28(10): 1004-1014. DOI: 10.1177/0269215514533710.
- [6] Rha DW, Cahill-Rowley K, Young J, et al. Biomechanical and clinical correlates of stance-phase knee flexion in persons with spastic cerebral palsy[J]. PM R, 2016, 8(1): 11-18. DOI: 10.1016/j.pmrj.2015.06.003.
- [7] 周宝春,曾庆彩. 髌骨止点下移术及周围神经部分切除术治疗脑瘫膝关节屈曲挛缩畸形[C]//第五届全国儿童康复、第十二届全国小儿脑瘫康复学术会议暨国际学术交流会议论文集. 北京:中国康复医学会, 2012: 274-276.
- [8] Zhou BC, Zeng QC. Treatment of cerebral palsy with knee flexion contracture deformity by patellar insertion and partial peripheral nerve resection[C]//Proceedings of the 5th National Conference on Children's Rehabilitation and the 12th National Conference on Children's Cerebral Palsy Rehabilitation and International Academic Exchange Conference. Beijing: Chinese Association of Rehabilitation Medicine, 2012: 274-276.
- [9] Miller F. Knee flexion deformity in cerebral palsy[M]//Miller F, Bachrach S, Lennon N, et al. Cerebral Palsy. 2nd ed. Cham: Springer, 2020: 2137-2158. DOI: 10.1007/978-3-319-74558-9_136.
- [10] Sarathy K, Doshi C, Aroojis A. Clinical examination of children with cerebral palsy[J]. Indian J Orthop, 2019, 53(1): 35-44. DOI: 10.4103/ortho.IJOrtho_409_17.
- [11] Schroeder KM, Heydemann JA, Beauvais DH. Musculoskeletal imaging in cerebral palsy[J]. Phys Med Rehabil Clin N Am, 2020, 31(1): 39-56. DOI: 10.1016/j.pmr.2019.09.001.
- [12] Desloovere K, Molenaers 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. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2005.10.008.
- [13] Ferreira LAB, Cimolin V, Costici PF, et al. Effects of gastrocnemius fascia lengthening on gait pattern in children with cerebral palsy using the gait profile score[J]. Res Dev Disabil, 2014, 35(5): 1137-1143. DOI: 10.1016/j.ridd.2014.02.001.
- [14] Bittmann MF, Lenhart RL, Schwartz MH, et al. How does patellar tendon advancement alter the knee extensor mechanism in children treated for crouch gait? [J]. Gait Posture, 2018, 64: 248-254. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2018.06.005.
- [15] Aparisi Gómez MP, Marcheggiani Muccioli GM, Guglielmi G, et al. Particularities on anatomy and normal postsurgical appearances of the knee[J]. Radiol Clin North Am, 2023, 61(2): 219-247. DOI: 10.1016/j.rcl.2022.10.009.
- [16] Ries AJ, Schwartz MH. Ground reaction and solid ankle-foot orthoses are equivalent for the correction of crouch gait in children with cerebral palsy[J]. Dev Med Child Neurol, 2019, 61(2): 219-225. DOI: 10.1111/dmcn.13999.
- [17] Rogozinski BM, Davids JR, Davis RB 3rd, et al. The efficacy of the floor-reaction ankle-foot orthosis in children with cerebral palsy[J]. J Bone Joint Surg Am, 2009, 91(10): 2440-2447. DOI: 10.2106/JBJS.H.00965.
- [18] Di Brina C, Rosellini G, Insogna M, et al. Therapeutic effect of the new multilevel brace orthosis on cerebral palsy gait: a case report[J]. Clin Ter, 2024, 175(1): 11-16. DOI: 10.7417/CT.2024.5027.
- [19] Franki I, Bar-On L, Molenaers G, et al. Tone reduction and physical therapy: strengthening partners in treatment of children with spastic cerebral palsy[J]. Neuropediatrics, 2020, 51(2): 89-104. DOI: 10.1055/s-0039-3400987.
- [20] Lee H, Kim EK, Son DB, et al. The role of regular physical therapy on spasticity in children with cerebral palsy[J]. Ann Rehabil Med, 2019, 43(3): 289-296. DOI: 10.5535/arm.2019.43.3.289.
- [21] Gulati S, Sondhi V. Cerebral palsy: an overview[J]. Indian J Pediatr, 2018, 85(11): 1006-1016. DOI: 10.1007/s12098-017-2475-1.
- [22] Pavone V, Testa G, Restivo DA, et al. Botulinum toxin treatment for limb spasticity in childhood cerebral palsy[J]. Front Pharmacol, 2016, 7: 29. DOI: 10.3389/fphar.2016.00029.
- [23] Park ES, Sim E, Rha DW, et al. Architectural changes of the gastrocnemius muscle after botulinum toxin type A injection in children with cerebral palsy[J]. Yonsei Med J, 2014, 55(5): 1406-1412. DOI: 10.3349/ymj.2014.55.5.1406.
- [24] Klatt J, Stevens PM. Guided growth for fixed knee flexion deformi-

- ty[J]. J Pediatr Orthop, 2008, 28(6): 626-631. DOI: 10. 1097/BPO. 0b013e318183d573.
- [23] Bozinovski Z, Popovski N. Operative treatment of the knee contractures in cerebral palsy patients[J]. Med Arh, 2014, 68(3): 182-183. DOI: 10. 5455/medarh. 2014. 68. 182-183.
- [24] Morais Filho MC, Blumetti FC, Kawamura CM, et al. Comparison of the results of primary versus repeat hamstring surgical lengthening in cerebral palsy[J]. J Pediatr Orthop, 2020, 40(5): e380-e384. DOI: 10. 1097/BPO. 0000000000001464.
- [25] Wijesekera MPC, Wilson NC, Trinca D, et al. Pelvic tilt changes after hamstring lengthening in children with cerebral palsy[J]. J Pediatr Orthop, 2019, 39(5): e380-e385. DOI: 10. 1097/BPO. 0000000000001326.
- [26] Hanson AM, Wren TAL, Rethlefsen SA, et al. Persistent increase in anterior pelvic tilt after hamstring lengthening in children with cerebral palsy[J]. Gait Posture, 2023, 103: 184-189. DOI: 10. 1016/j. gaitpost. 2023. 05. 016.
- [27] Dreher T, Vegvari D, Wolf SI, et al. Development of knee function after hamstring lengthening as a part of multilevel surgery in children with spastic diplegia: a long-term outcome study[J]. J Bone Joint Surg Am, 2012, 94(2): 121-130. DOI: 10. 2106/JBJS. J. 0 0890.
- [28] Genêt F, Denormandie P, Keenan MA. Orthopaedic surgery for patients with central nervous system lesions: concepts and techniques[J]. Ann Phys Rehabil Med, 2019, 62(4): 225-233. DOI: 10. 1016/j. rehab. 2018. 09. 004.
- [29] Dreher T, Braatz F, Wolf SI, et al. Distal rectus femoris tendon transfer for the correction of stiff-knee gait in cerebral palsy[J]. JBJS Essent Surg Tech, 2013, 3(1): e5. DOI: 10. 2106/JBJS. ST. L. 00030.
- [30] Taylor D, Connor J, Church C, et al. The effectiveness of posterior knee capsulotomies and knee extension osteotomies in crouched gait in children with cerebral palsy[J]. J Pediatr Orthop B, 2016, 25(6): 543-550. DOI: 10. 1097/BPB. 0000000000000370.
- [31] Musielak B, Al-Saad SR, Jóźwiak M, et al. Outcomes of double-incision posterior knee release for severe knee flexion contracture[J]. J Pediatr Orthop B, 2023, 32(3): 260-267. DOI: 10. 1097/BPB. 0000000000001039.
- [32] Kramer A, Stevens PM. Anterior femoral stapling[J]. J Pediatr Orthop, 2001, 21(6): 804-807.
- [33] Stiel N, Babin K, Vettorazzi E, et al. Anterior distal femoral hemiepiphysiodesis can reduce fixed flexion deformity of the knee: a retrospective study of 83 knees[J]. Acta Orthop, 2018, 89(5): 555-559. DOI: 10. 1080/17453674. 2018. 1485418.
- [34] Al-Aubaidi Z, Lundgaard B, Pedersen NW. Anterior distal femoral hemiepiphysiodesis in the treatment of fixed knee flexion contracture in neuromuscular patients[J]. J Child Orthop, 2012, 6(4): 313-318. DOI: 10. 1007/s11832-012-0415-1.
- [35] Shore BJ, McCarthy J, Shrader MW, et al. Anterior distal femoral hemiepiphysiodesis in children with cerebral palsy: Establishing surgical indications and techniques using the modified Delphi method and literature review[J]. J Child Orthop, 2022, 16(1): 65-74. DOI: 10. 1177/18632521221087529.
- [36] Rethlefsen SA, Hanson AM, Wren TAL, et al. Anterior distal femoral hemiepiphysiodesis with and without patellar tendon shortening for fixed knee flexion contractures in children with cerebral palsy[J]. J Child Orthop, 2020, 14(5): 415-420. DOI: 10. 1302/1863-2548. 14. 200154.
- [37] 朱光辉, 梅海波, 赫荣国, 等. 股骨远端截骨和髌腱止点远端移位联合手术治疗儿童脑瘫屈膝步态的近期效果评价[J]. 中华小儿外科杂志, 2016, 37(10): 785-789. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 0253-3006. 2016. 10. 016.
- Zhu GH, Mei HB, He RG, et al. Distal femoral extension osteotomy plus patellar tendon advancement for crouch gait in children: a preliminary report[J]. Chin J Pediatr Surg, 2016, 37(10): 785-789. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 0253-3006. 2016. 10. 016.
- [38] Nabian MH, Zadegan SA, Mallet C, et al. Distal femoral osteotomy and patellar tendon advancement for the treatment of crouch gait in patients with bilateral spastic cerebral palsy[J]. Gait Posture, 2024, 110: 53-58. DOI: 10. 1016/j. gaitpost. 2024. 02. 019.
- [39] Boyer ER, Stout JL, Laine JC, et al. Long-term outcomes of distal femoral extension osteotomy and patellar tendon advancement in individuals with cerebral palsy[J]. J Bone Joint Surg Am, 2018, 100(1): 31-41. DOI: 10. 2106/JBJS. 17. 00480.
- [40] Liou YL, Lee WC, Kao HK, et al. Genu valgum after distal femur extension osteotomy in children with cerebral palsy[J]. J Pediatr Orthop, 2022, 42(4): e384-e389. DOI: 10. 1097/BPO. 0000000000002076.
- [41] 胡炜, 许世刚, 曹旭, 等. Ilizarov 外固定架治疗痉挛型脑瘫屈膝畸形[J]. 中国骨伤, 2008, 21(12): 922-924. DOI: 10. 3969/j. issn. 1003-0034. 2008. 12. 014.
- Hu W, Xu SG, Cao X, et al. Ilizarov external fixator for the treatment of severe genuflex deformity in spastic cerebral palsy patients[J]. Chin J Orthopa Trauma, 2008, 21(12): 922-924. DOI: 10. 3969/j. issn. 1003-0034. 2008. 12. 014.
- [42] 孙保胜, 孙琳, 祁新禹, 等. Ilizarov 技术治疗儿童膝关节屈曲畸形[J]. 山东医药, 2012, 52(36): 17-18.
- Sun BS, Sun L, Qi XY, et al. Treatment of flexion contracture of knee joint in children by Ilizarov technique[J]. Shandong Med J, 2012, 52(36): 17-18.
- [43] 中国康复医学会儿童康复专业委员会, 中国残疾人康复协会小儿脑性瘫痪康复专业委员会, 中国医师协会康复医师分会儿童康复专业委员会, 等. 中国脑性瘫痪康复指南(2022)第四章: 康复治疗(上)[J]. 中华实用儿科临床杂志, 2022, 37(16): 1201-1229. DOI: 10. 3760/cma. j. cn101070-20220711-00850.
- Chinese Association of Rehabilitation Medicine Pediatric Rehabilitation Committee, Chinese Association of Rehabilitation of Disabled Persons Rehabilitation Committee for Cerebral Palsy, Chinese Medical Doctor Association Pediatric Rehabilitation Committee, et al. Chinese rehabilitation guidelines for cerebral palsy (2022) part 4: rehabilitation treatment(I) [J]. Chin J Appl Clin Pediatr, 2022, 37(16): 1201-1229. DOI: 10. 3760/cma. j. cn101070-20220711-00850.

(收稿日期: 2024-04-20)

本文引用格式: 聂玉婷, 李宇, 朱光辉. 脑性瘫痪膝关节屈曲畸形的评估及外科治疗进展[J]. 临床小儿外科杂志, 2025, 24(5): 490-494. DOI: 10. 3760/cma. j. cn101785-202404047-018.

Citing this article as: Nie YT, Li Y, Zhu GH. Assessment and Surgical Treatment Progress for Knee Flexion Deformity in Cerebral Palsy[J]. J Clin Ped Sur, 2025, 24(5): 490-494. DOI: 10. 3760/cma. j. cn101785-202404047-018.