

· 综述 ·

痉挛性脑瘫异常步态的相关因素与治疗

陈述, 罗杰, David P. Roye Jr, 李旭*

(汕头大学广州华新骨科医院儿童骨科, 广东广州 510630)

摘要: 脑瘫是儿童运动功能障碍最常见的病因。本文阐释了脑瘫患者中枢神经系统损伤特点、神经肌肉源性发育缺陷以及步态异常三者之间的内在联系。头部 MRI 是判断大脑损伤情况的金标准, 三维步态分析是描述脑瘫患者步态异常的金标准, 最近的研究发现遗传学分析在脑瘫的研究中越来越重要。本文还总结了目前对痉挛型脑瘫患者常用的手术治疗方式及疗效。从微观和功能的角度对痉挛型脑瘫患者的肌肉发育缺陷(包括肌力减弱、肌腱短、痉挛和选择性运动控制障碍)的受累情况进行特异性的分析和治疗总结。

关键词: 脑瘫, 痉挛, 步态异常, 相关因素

中图分类号: R687 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-8478 (2023) 15-1406-05

Associated factors and treatment of abnormal gait in spastic cerebral palsy // CHEN Shu, LUO Jie, Roye DP Jr, LI Xu. Department of Pediatric Orthopedics, Guangzhou Huaxin Orthopedics Hospital, Shantou University, Guangzhou 510630, China

Abstract: Cerebral palsy is the most common cause of motor dysfunction in children. In this paper, the relationship among central nervous system impairments, neuromuscular developmental defects and gait abnormalities in cerebral palsy is discussed. The cranial MRI is the gold standard for judging the brain impairment, while three-dimensional gait analysis is the gold standard for describing gait abnormalities in cerebral palsy, additionally recent studies have found that genetic analysis is increasingly important in the study of cerebral palsy. This article also summarizes the surgical treatment methods and the curative effect of spastic cerebral palsy. Specific analysis and summary of treatment for muscle development defects, including muscle weakness, shortened tendon, spasm and disorder in selective motor control (SMC) were conducted in microcosmic and functional perspectives.

Key words: cerebral palsy, spasm, abnormal gait, related factors

胎儿和新生儿期大脑尚处于发育阶段, 若此时受到了非进展性的损害, 将造成永久性的发育障碍, 影响运动和姿势, 导致活动功能受损, 这一系列的疾病, 称之为“脑瘫”。除了运动障碍, 脑瘫还常合并多种功能(感觉、知觉、认知、交流和行为)的异常、癫痫和继发的肌肉骨骼问题^[1]。

脑瘫是儿童运动功能障碍最常见的病因。全世界范围新生儿的发病率约为 2~3/1 000, 超低体重儿中脑瘫的发病率是 60~150/1 000^[2]。脑瘫的诊断通常基于肌张力和姿势的异常、粗大运动功能发育迟缓、以及独立行走后步态的异常。脑瘫患儿如果 2 岁前不能行走, 在 7 岁前能独立行走的概率是 10%^[3]。近些年, 三维步态分析已经成为描述脑瘫患儿异常步态的金标准^[4]。目前国内将三维步态分析系统应用在脑瘫诊疗的研究还处于起步阶段, 主要是针对脑瘫患者

非手术疗法的疗效评价^[5]。可能发生脑瘫的高危胎儿以及确诊为脑瘫的患儿, 神经影像学都能发现其特异性的中枢神经损伤特点。神经功能的异常会导致肌肉功能的异常, 从而进一步改变骨骼肌肉系统的解剖形态。但步态异常与神经损伤之间目前仍未发现特异性的相关性。

1 中枢系统损伤特点

脑瘫患者大脑损伤的主要原因是缺氧, 其它的原因还包括有脑出血, 感染, 大脑发育不良, 神经源性毒素等。新生儿窒息导致脑瘫的发生率<10%^[6]。脑瘫可分为 3 种主要类型: 痉挛型脑瘫约占 87%, 病灶主要累及大脑皮质运动区域及其下方的白质。运动障碍型脑瘫约占 7.5%, 主要累及基底节, 研究表明

DOI:10.3977/j.issn.1005-8478.2023.15.12

作者简介: 陈述, 主治医师, 研究方向: 儿童骨科, (电话)18826451595, (电子信箱)291912585@qq.com

* 通信作者: 李旭, (电话)020-28261365, (电子信箱)drlyxinger@aliyun.com

运动障碍型脑瘫患者的运动功能受累程度与基底节和丘脑的体积减小的程度相关^[7]。共济失调型脑瘫约占4%，主要累及小脑结构^[8]。

大体上，病灶位于脑室周围白质的脑瘫患者表现为轻或中度的运动功能受损，很少伴有其他功能的受累。然而，如果是大脑发育不全、病灶位于皮质、皮质下或基底节的脑瘫患者，除了运动功能受损之外，还通常伴有认知和语言功能的障碍^[9]。尽管早期大脑损伤是脑瘫的主要原因，但近些年通过利用外显子测序技术测试脑瘫患者的基因发现，14%的患者有与脑瘫发病相关的单基因突变；有31%的患者发生与临床症状有关的基因组拷贝数变异，这使得学者们认识到遗传学分析在脑瘫研究中的重要性^[10]。

头部MRI是判断脑瘫患者大脑损伤情况的金标准。Reid等^[11]研究纳入1065例脑瘫儿童的头部MRI和CT，发现最常见的是脑白质损伤，占19%~45%。脑灰质损伤占14%~22%。局部血管损伤占10%，局部血管畸形占11%，其他畸形占4%~23%。然而，脑瘫患者的头颅MRI有异常表现的概率是86%，其中有14%的临床诊断为脑瘫患儿的头部MRI是无异常的^[12]。其中以共济失调型脑瘫患者发生头颅MRI无异常的比例最高^[13]。

2 步态的影响因素及治疗方法

2.1 脑瘫患者神经肌肉发育缺陷对步态的影响和手术治疗

由于痉挛型、运动障碍型和共济失调型脑瘫患者的大脑原发病的不同，使得神经肌肉发育缺陷程度各异，从而在动力驱动、肌张力、异常运动类型、协调性等方面也不一致，进而导致患者不同程度的肌肉活性和关节周围生物力学因素的异常，加上患者肢体长度和体重发育等方面的差异，最终导致了患者不同类型的步态异常。本文主要讨论痉挛型脑瘫患者步态异常的特点。

痉挛型脑瘫患者主要影响步态周期中的摆动相前期到摆动相中期。由于皮质脊髓束的受累，皮质脊髓束兴奋性运动信号的减少以及后期肌肉弹性的降低都会导致肌肉活性以及大小的减小。由于肌肉发育落后于骨骼，使得肌肉骨骼不匹配，跨关节的肌肉如：腓肠肌、股后肌群、股直肌的牵拉作用就会导致关节挛缩和步态异常。神经肌肉性发育缺陷的表现主要包括肌肉力量减弱、肌腱短、肌肉痉挛及选择性运动控制(selective motor control, SMC)障碍。这些缺陷可能导

致的步态异常包括马蹄步态、垂足步态、屈膝步态及僵膝步态等。

垂足步态是由于胫前肌无力导致摆动相踝背屈不足，而马蹄步态是由于跖屈肌群短缩及痉挛，从而在站立相和摆动相都导致踝背屈受限。垂足步态和马蹄步态均会减少前进的驱动力，也会减少站立相的足的触地面积，进而影响身体平衡性。

屈髋肌群和屈膝肌群的短缩和痉挛，以及伸髋肌群和踝跖屈肌群的无力会导致屈膝步态。屈膝步态会引起髋关节和膝关节在站立相的力线异常。在儿童早期就可能会导致骨性畸形，永久性的膝关节屈曲，后期可能导致下肢扭转畸形^[14]。正常儿童股骨前倾角大约30°，发育到骨成熟时前倾角大约减小到15°。而髋关节伸直受限的脑瘫儿童骨成熟时前倾角通常>15°，临床表现为髋关节内旋畸形。而屈膝步态的脑瘫患者，会使得如髂腰肌等肌肉产生内旋力臂增大，从而进一步加重髋关节内旋畸形。

伸膝肌群痉挛影响摆动相前期的力学特性，从而导致摆动相早期屈膝受限，最终临床表现为僵膝步态。此外，屈髋肌群无力会影响摆动相早期髋关节和膝关节的屈曲运动。

痉挛型脑瘫患儿的手术治疗手段包括：一次性解决多个关节节段，多个平面手术(Single Event Multi-level Surgery, SEMLS)、选择性脊神经背根切断术(Selective Dorsal Rhizotomy, SDR)和截骨术。研究表明，SEMLS方法治疗脑瘫儿童的内八字步态可以显著改善步态质量，并在步态效率方面也有较小的改善作用^[15]。此外，有人认为采用股后肌延长合并系列石膏矫形治疗脑瘫患者的蹲伏步态，术后患者在临床评估、功能和运动学参数方面都得到了显著性改善^[16]。有明确证据表明，脑瘫患者行腓肠肌延长术后摆动相踝背屈的角度有效增加。但目前还没有充足的证据表明背屈角度的增加可以有效地使患者足下垂的症状改善及减少患者对足踝支具的需求^[17]。研究发现SDR术后可以显著改善脑瘫患者的步态，步长显著性提高，但步频与步速的提高不明显；通过三维步态分析的下肢关节运动学参数结果显示，SDR对下肢远端关节的改善大于近端关节^[18]。但也有报道，在对129例脑瘫患者行SDR术后，有2例发生了硬膜外出血的并发症^[19]。证据表明股骨远端短缩截骨术合并髌腱前移术治疗脑瘫的蹲伏步态及严重屈膝挛缩是一种安全有效的方法。但三维步态分析结果显示：术后会发生骨盆前倾加重以及僵膝步态^[20]。此外，采用经皮螺钉置入行股骨远端前方半

骨骺阻滞可以有效治疗蹲伏步态的脑瘫患者僵硬性的屈膝挛缩。但是患者必须满足以下条件：至少2年的生长发育潜能；屈膝挛缩的角度 $<30^\circ$ 。术后要密切随访，避免发生继发性畸形^[21]。

2.2 肌力减弱对痉挛型脑瘫患者的步态影响及治疗

痉挛型脑瘫的患者由于肌力减弱，通常会导致摆动相踝背屈受限，以及站立相时伸髋、伸膝受限。一侧髋外展肌群肌力减弱，会使得患者行走时对侧骨盆下沉，增加同侧躯干摆动的幅度，目的是使得身体重心和髋关节中心的水平距离更近，从而维持身体平衡。Schweizer等^[22]利用步态评分作为步态功能的评估参考，研究发现肌力减弱会使得测试者得分更低。Barber等^[23]研究发现痉挛性脑瘫患者的踝跖屈扭矩要比正常人低33%，原因是脑瘫患者腓肠肌内侧肌力比正常人小37%，脑瘫患者腓肠肌的拮抗肌肌力比正常人大4%。此外，脑瘫患者的肌肉耐力也比同龄人低。

某些常规的脑瘫的治疗方式如：SDR、肌腱延长术、肌腱转位术、脊髓鞘膜内置入巴氯芬都会一定程度的减弱肌肉力量。此外，支具、石膏固定和注射肉毒素A也会产生类似作用^[24]，但也有研究发现脑瘫患儿注射一次肉毒素A后6周和6个月，肌肉力量并未减弱^[25]。对受累肌肉进行康复力量训练能够有效改善步态。

2.3 肌腱短对痉挛型脑瘫患者的步态影响及治疗

脑瘫患者的肌腱短，尤其是跨关节的肌肉（如髋、膝关节的屈肌群、踝的跖屈肌群）受累也会导致关节挛缩进一步加重，关节机械应力异常，从而加重步态异常。踝的跖屈肌群肌腱短，使得站立相和摆动相踝关节过度跖屈（尖足或马蹄步态），如果同时合并有踝背屈肌群的无力，就会进一步影响摆动相的踝背屈。尖足步态会使得摆动相时足的抬高度降低，髋关节会代偿性的“划圈”以增加足的抬高度。胫后肌腱短会导致马蹄内翻畸形（包括足的跖屈、内转以及内收畸形）。如果是下端的近端和远端同时受累，常导致屈膝步态，长期的屈膝步态有可能进一步加重骨性畸形，使得患者行走过程中更容易疲劳。Rha等^[26]研究发现腓肠肌内侧头的肌腱短与初始接触相屈膝增加之间有相关性；并且半腱肌腱短与初始接触相和单腿支撑相时屈膝增加之间存在相关性。

对痉挛型脑瘫患者的肌腱短的治疗方法包括肌腱延长和系列石膏矫正，需注意的是这两种方法都会使得术后肌肉力量较术前减弱。也有研究提出可通过肌肉生长因子调控来治疗，但肌肉生长因子增加会使得

肌肉的尺寸和整体长度增加，因此治疗效果有待进一步证实^[27]。

2.4 肌肉痉挛对痉挛型脑瘫患者的步态影响及治疗

肌肉痉挛会导致关节位置异常，限制步态过程关节屈伸的正常频率，从而导致步态异常。Dayanidhi等^[28]研究表现肌肉的发育与卫星细胞关系紧密，从脑瘫患者的肌肉活检中发现，脑瘫患儿与正常儿童相比，卫星细胞的含量少60%~70%，这有可能是导致脑瘫患者肌肉痉挛的原因。跖屈痉挛使得踝关节马蹄畸形加重，从而导致尖足步态；胫后肌痉挛会导致足马蹄内翻畸形加重；股后肌痉挛使得摆动相末期伸膝受限以及初始接触相屈膝增加；股直肌痉挛使得摆动相早期快速屈膝和最大屈膝均受限，从而造成僵膝步态；髋内收肌痉挛导致剪刀步态。

治疗痉挛的方法包括：肉毒素-A注射，口服或脊髓鞘膜内置入巴氯芬泵以及SDR。此外，增加肌肉力量也有利于缓解痉挛。Williams等^[29]研究发现对一组患者采用注射肉毒素-A联合肌力训练，另一组单独使用肉毒素-A注射的患者，前者在痉挛缓解、肌力增强以及功能改善方面显著优于后者。

2.5 SMC对痉挛型脑瘫患者步态的影响及治疗

SMC是指当系统发出一个自主姿势或运动的指令，某块特定肌肉单独激活并反应的功能受损。SMC受累会导致患者在步态周期中屈肌和伸肌的不自共同激活。Chruscikowski等^[30]研究表明SMC障碍会使得步态功能显著性变差。Rha等^[26]研究发现SMC障碍会使得摆动相末期伸膝减少，从而导致屈膝步态。Zhou等^[31]研究表明，SMC障碍会导致初始接触相屈膝增加、跨步长以及速度降低。在站立相中期的时候，踝关节背屈，SMC受累导致此时膝关节不能完全伸直。步宽是指双足后跟与行进方向的垂直距离；在协同肌的作用下，SMC受累与否，不会导致步宽发生显著性改变。步态观察分析表明SMC受累会使得髋、膝关节从站立相的伸直状态向摆动相的屈曲状态的转变过程变慢，从而引起步态不对称，摆动相时足的抬高度变差，最终使得跨步长变短，导致僵膝步态。

治疗方面，目前已取得了快速的进展。无论是机器被动锻炼或主动康复运动都有很好的早期疗效。通过高强度的被动牵拉及主动的训练，譬如：伸膝合并踝背屈训练以及屈髋合并伸膝训练，将有利于改善此类患者关节活动度以及踝背屈肌群及跖屈肌群的肌力，从而改善平衡性及跨步长，最终改善步态^[32]。但不建议对这类患者做股后肌群的延长手术。

3 小 结

本文回顾了脑瘫的自然病程, 相应的神经肌肉发育缺陷, 以及随后的步态异常发生机理。讨论了目前对异常步态常用的治疗手段。越来越多的证据表明脑瘫患者的步态异常与中枢系统损伤、神经肌肉发育缺陷之间关系密切。更好地理解其中的关联就能更好地阐明步态异常的内在机制, 从而制定精准的治疗策略。最终实质性地改善脑瘫患儿的功能。

参考文献

- [1] Rosenbaum P, Paneth N, Leviton A, et al. A report: the definition and classification of cerebral palsy. April 2006 [J]. *Dev Med Child Neurol*, 2007, 49 (109): 8-14.
- [2] Oskoui M, Coutinho F, Dykeman J, et al. An update on the prevalence of cerebral palsy: a systematic review and meta-analysis [J]. *Dev Med Child Neurol*, 2013, 55 (6): 509-519.
- [3] Wu YW. Prognosis for ambulation in cerebral palsy: a population-based study [J]. *Pediatrics*, 2004, 114 (5): 1264.
- [4] Gage JR, Novacheck TF. An update on the treatment of gait problems in cerebral palsy [J]. *J Pediatr Orthop*, 2001, 10 (4): 265-274.
- [5] 姜淑云, 李阳, 俞艳. 三维步态分析技术在儿骨科临床应用研究进展 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2018, 26 (13): 1206-1210.
- [6] Nelson KB, Blair E. Prenatal factors in singletons with cerebral palsy born at or near term [J]. *Obstet Gynecol Surv*, 2016, 71 (2): 65-66.
- [7] Laporta-Hoyos O, Ballester-Plané J, Vázquez E, et al. PS-247 association of motor function with basal ganglia and thalamus volumes in dyskinetic cerebral palsy [J]. *Arch Dis Childhood*, 2014, 99 (Suppl 2): A202.
- [8] Sellier E, Platt MJ, Andersen GL, et al. Decreasing prevalence in cerebral palsy: a multi-site European population-based study, 1980 to 2003 [J]. *Dev Med Child Neurol*, 2016, 58 (1): 85-92.
- [9] Himmelmann K, Uvebrant P. Function and neuroimaging in cerebral palsy: a population-based study [J]. *Dev Med Child Neurol*, 2011, 53 (6): 516-521.
- [10] MacLennan AH, Thompson SC, Gez J. Cerebral palsy: causes, pathways, and the role of genetic variants [J]. *Am J Obstet Gynecol*, 2015, 213 (6): 779-788.
- [11] Reid SM, Dagia CD, Ditchfield MR, et al. Population-based studies of brain imaging patterns in cerebral palsy [J]. *Dev Med Child Neurol*, 2014, 56 (3): 222-232.
- [12] Reid Lee B, Cunnington R, Boyd Roslyn N, et al. Surface-based MRI-driven diffusion tractography in the presence of significant brain pathology: a study linking structure and function in cerebral palsy [J]. *PLoS One*, 2016, 11: e0159540.
- [13] Bax M, Tydeman C, Flodmark O. Clinical and MRI correlates of cerebral palsy: the European Cerebral Palsy Study [J]. *JAMA*, 2006, 296 (13): 1602-1608.
- [14] Steele KM, Demers MS, Schwartz MH, et al. Compressive tibio-femoral force during crouch gait [J]. *Gait Posture*, 2012, 35 (4): 556-560.
- [15] Moisan G, Bonnefoy-Mazure A, De Coulon G, et al. Assessment of gait quality and efficiency after undergoing a single-event multilevel surgery in children with cerebral palsy presenting an intoeing gait pattern [J]. *Childs Nerv Syst*, 2022, 38: 1523-1530.
- [16] Long JT, Cobb L, Garcia MC, et al. Improved clinical and functional outcomes in crouch gait following minimally invasive hamstring lengthening and serial casting in children with cerebral palsy [J]. *J Pediatr Orthop*, 2020, 40 (6): e510-e515.
- [17] Sclavos N, Ma N, Passmore E, et al. Ankle dorsiflexor function after gastrocsoleus lengthening in children with cerebral palsy: a literature review [J]. *Medicina (Kaunas)*, 2022, 58 (3): 375.
- [18] 汪乐, 徐林, 刘港, 等. 脑性瘫痪儿童选择性脊神经后根切断术的荟萃分析 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2022, 30 (15): 1372-1376.
- [19] 何小平. 痉挛型脑瘫腰骶段 SPR 术后并发颅内出血 2 例报告 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2014, 22 (23): 2201-2202.
- [20] Park H, Park BK, Park KB, et al. Distal femoral shortening osteotomy for severe knee flexion contracture and crouch gait in cerebral palsy [J]. *J Clin Med*, 2019, 8 (9): 1354.
- [21] Shore BJ, McCarthy J, Shrader MW, et al. Anterior distal femoral hemiepiphyseodesis 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.
- [22] Schweizer K, Jacqueline R, Coslovsky M, et al. The influence of muscle strength on the gait profile score (GPS) across different patients [J]. *Gait Posture*, 2014, 39 (1): 80-85.
- [23] Barber L, Barrett R, Lichtwark G. Medial gastrocnemius muscle fascicle active torque-length and Achilles tendon properties in young adults with spastic cerebral palsy [J]. *J Biomech*, 2012, 45 (15): 2526-2530.
- [24] Hallett M. How does botulinum toxin work [J]. *Ann Neurol*, 2000, 48 (1): 7-8.
- [25] Eek MN, Kate H. No decrease in muscle strength after botulinum neurotoxin-a injection in children with cerebral palsy [J]. *Front Human Neurosci*, 2016, 10: 506.
- [26] 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]. *PMR*, 2016, 8 (1): 11-18.
- [27] Barber LA, Read F, Lovatt SJ, et al. Medial gastrocnemius muscle volume in ambulant children with unilateral and bilateral cerebral palsy aged 2 to 9 years [J]. *Dev Med Child Neurol*, 2016, 58 (6): 1146-1152.
- [28] Dayanidhi S, Lieber RL. Skeletal muscle satellite cells: Mediators of muscle growth during development and implications for developmental disorders [J]. *Muscle Nerve*, 2015, 50 (5): 723-732.

(下转 1414 页)

- mentation ACL repair, stable knee, and favorable PROMs, but a re-rupture rate of 11% within 2 years [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2021, 29 (11): 3706-3714.
- [26] Bieri KS, Scholz SM, Kohl S, et al. Dynamic intraligamentary stabilization versus conventional ACL reconstruction: a matched study on return to work [J]. *Injury*, 2017, 48 (6): 1243-1248.
- [27] Connolly PT, Zittel KW, Panish BJ, et al. A comparison of postoperative pain between anterior cruciate ligament reconstruction and repair [J]. *Eur J Orthop Surg Traumatol*, 2021, 31 (7): 1403-1409.
- [28] Vermeijden HD, Monaco E, Marzilli F, et al. Primary repair versus reconstruction in patients with bilateral anterior cruciate ligament injuries: What do patients prefer [J]. *Adv Orthop*, 2022, 2022: 3558311.
- [29] Glasbrenner J, Raschke MJ, Kittl C, et al. Comparable instrumented knee joint laxity and patient-reported outcomes after ACL repair with dynamic intraligamentary stabilization or ACL reconstruction: 5-year results of a randomized controlled trial [J]. *Am J Sports Med*, 2022, 50 (12): 3256-3264.
- [30] Ahmad SS, Schürholz K, Liechti EF, et al. Seventy percent long-term survival of the repaired ACL after dynamic intraligamentary stabilization [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2020, 28 (2): 594-598.
- [31] Hoogeslag RAG, Huis In't Veld R, Brouwer RW, et al. Acute anterior cruciate ligament rupture: repair or reconstruction? Five-year results of a randomized controlled clinical trial [J]. *Am J Sports Med*, 2022, 50 (7): 1779-1787.
- [32] Takahashi T, Kondo E, Yasuda K, et al. Effects of remnant tissue preservation on the tendon graft in anterior cruciate ligament reconstruction: a biomechanical and histological study [J]. *Am J Sports Med*, 2016, 44 (7): 1708-1716.
- [33] Jiang L, Chen T, Sun S, et al. Nonbone marrow CD34+ cells are crucial for endothelial repair of injured artery [J]. *Circ Res*, 2021, 129 (8): 146-165.
- [34] 李光磊, 王宝鹏, 张汉宽, 等. 前交叉韧带解剖学研究进展 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2021, 29 (16): 1491-1495.
- [35] 张振, 赵甲军, 左坦坦, 等. 关节镜下前交叉韧带重建的手术时机 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2020, 28 (4): 307-313.
- [36] Malahias MA, Chytas D, Nakamura K, et al. A narrative review of four different new techniques in primary anterior cruciate ligament repair: "Back to the future" or another trend [J]. *Sports Med Open*, 2018, 4 (1): 37.
- [37] 周鹏, 邵宏斌, 杨勤旭, 等. 前交叉韧带重建膝关节本体感觉的恢复 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2019, 27 (12): 1073-1077.
- [38] van Eck CF, Limpisvasti O, ElAttrache NS. Is there a role for internal bracing and repair of the anterior cruciate ligament? A systematic literature review [J]. *Am J Sports Med*, 2018, 46 (9): 2291-2298.
- [39] Haviv B, Kittani M, Yaari L, et al. The detached stump of the torn anterior cruciate ligament adheres to the femoral notch wall and then to the posterior cruciate ligament within 6 months from injury [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2019, 27 (8): 2653-2658.
- (收稿:2023-02-01 修回:2023-03-24)
(同行评议专家: 龚继承 陈 磊 贾丙申)
(本文编辑: 宁 桦)

(上接 1409 页)

- [29] Williams SA, Elliott C, Valentine J, et al. Combining strength training and botulinum neurotoxin intervention in children with cerebral palsy: the impact on muscle morphology and strength [J]. *Disabil Rehabil*, 2013, 35 (7): 596-605.
- [30] Chruscikowski E, Fry N, Noble JJ, et al. Selective motor control correlates with gait abnormality in children with cerebral palsy [J]. *Gait Posture*, 2017, 52 (1): 107-109.
- [31] Zhou JY, Lowe E, Cahill-Rowley K, et al. Influence of impaired selective motor control on gait in children with cerebral palsy [J]. *J Child Orthop*, 2019, 13 (1): 73-81.
- [32] Kimberley TJ, Novak I, Boyd L, et al. Stepping up to rethink the future of rehabilitation: IV STEP considerations and inspirations [J]. *Pediatr Phys Ther*, 2017, 41 (suppl 3): S76-S85.
- (收稿:2022-08-25 修回:2023-02-10)
(同行评议专家: 臧建成 李贵涛)
(本文编辑: 宁 桦)